



# ADAPTASI-PENINGKATAN KETAHANAN

## Air Tawar di Kepulauan Aru

EDITOR: HERY HARJONO • HARYADI PERMANA • SUSILOHADI

PENULIS: WAHYOE SOEPRI HANTORO • MOHAMAD RAHMAN DJUWANSAH

EKO SUBOWO • IDA NARULITA • MOHAMAD AZIZ FURQON

TJOEK AZIS SOEPRAPTO • HERI NUROHMAN • ENKOS KOSASIH • SUYATNO

tidak diperjualbelikan.



ADAPTASI-PENINGKATAN  
**KETAHANAN**  
*Air Tawar*  
*di Kepulauan Aru*

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dilarang mereproduksi atau memperbanyak seluruh atau sebagian dari buku ini dalam bentuk atau cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

© Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang No. 28 Tahun 2014

*All Rights Reserved*

Buku ini tidak diperjualbelikan.



# ADAPTASI-PENINGKATAN KETAHANAN Air Tawar di Kepulauan Aru

**EDITOR:** HERY HARJONO • HARYADI PERMANA • SUSILOHADI  
**PENULIS:** WAHYOE SOEPRI HANTORO • MOHAMAD RAHMAN DJUWANSAH  
EKO SUBOWO • IDA NARULITA • MOHAMAD AZIZ FURQON  
TJOEK AZIS SOEPRAPTO • HERI NUROHMAN • ENKOS KOSASIH • SUYATNO

LIPI Press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2020 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)  
Pusat Penelitian Geoteknologi

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Adaptasi–Peningkatan Ketahanan Air Tawar di Kepulauan Aru/Wahyoe Soepri Hantoro, Mohamad Rahman Djuwansah, Eko Subowo, Ida Narulita, Mohamad Aziz Furqon, Tjoeek Aziz Soeprapto, Heri Nurohman, Engkos Kosasih, dan Suyatno–Jakarta: LIPI Press, 2020.

xxii hlm. + 303 hlm.; 14,8 × 21 cm

ISBN: 978-602-496-152-7 (*e-book*)

1. Ketahanan air
2. Kawasan pesisir
3. Kepulauan Aru

551.48

*Copy editor* : Tantrina Dwi Aprianita  
*Proofreader* : Sarwendah Puspita Dewi dan Noviasuti Putri Indrasari  
*Penata isi* : Ermina dan Meita Safitri  
*Desainer sampul* : D.E.I.R. Mahelingga

*Cetakan Pertama* : September 2020



Diterbitkan oleh:  
LIPI Press, anggota Ikapi  
Gedung PDDI LIPI, Lantai 6  
Jln. Jend. Gatot Subroto 10, Jakarta 12710  
Telp.: (021) 573 3465  
*e-mail*: [press@mail.lipi.go.id](mailto:press@mail.lipi.go.id)  
*website*: [lipipress.lipi.go.id](http://lipipress.lipi.go.id)

 LIPI Press  
 @lipi\_press

Buku ini merupakan karya buku yang terpilih dalam Program Akuisisi Pengetahuan Lokal 2020 Balai Media dan Reproduksi (LIPI Press), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# DAFTAR ISI

---

DAFTAR GAMBAR .....	vii
PENGANTAR PENERBIT .....	xix
PRAKATA .....	xxi
I. Kondisi Geografi Kepulauan Aru .....	1
II. Bahan dan pendekatan .....	11
III. Keadaan Kepulauan Aru.....	21
A. Meteorologi .....	21
B. Kelautan.....	35
C. Fisiografi pesisir dan pulau kecil Kepulauan Aru .....	43
D. Morfologi dan geologi.....	53
E. Air dan Perencanaan Pengelolaan Wilayah .....	72
IV. Adaptasi dan Peningkatan Ketahanan .....	81
A. Keadaan yang Dihadapi .....	81
B. Kerentanan .....	96
C. Adaptasi dan Penguatan Lingkungan .....	113
D. Pemulihan dan Penguatan.....	114
E. Perlindungan Lingkungan.....	117

Buku ini tidak diperjualbelikan.

F. Pengembangan Daya Dukung Sumber Daya Air.....	120
G. Hutan Lindung, Cagar Biosfer dan Suaka Margasatwa.....	121
H. Taman Nasional.....	122
I. Kebun Raya .....	123
J. Eko Sains Teknopark .....	124
K. Penanganan yang Diusulkan.....	137
L. Pendekatan Penanganan.....	138
M. Teknologi dan Penerapan .....	158
N. Tinjauan terhadap beberapa tempat .....	197
VI. Mitigasi dan Adaptasi Kepulauan Aru Terhadap Kerentanan Sumber Daya Air Melalui Pemulihan dan Perlindungan Lingkungan Alamiah .....	267
UCAPAN TERIMA KASIH .....	275
DAFTAR PUSTAKA.....	277
INDEKS .....	283
GLOSARIUM .....	293
BIOGRAFI PENULIS.....	295

# DAFTAR GAMBAR

---

Gambar 1.1	Peta Indonesia Timur (Kepulauan Aru).....	2
Gambar 1.2	Peta Wilayah Pengembangan Gugus Pulau Kawasan Sekeliling Laut Banda, Provinsi Maluku, dan Kawasan Sekitar .....	3
Gambar 1.3	Peta Pembagian Daerah Administrasi Kabupaten Kepulauan Aru .....	5
Gambar 1.4	Peta Penggunaan Lahan di Kepulauan Aru Bagian Utara.....	7
Gambar 1.5	Peta Lokasi (Kota Dobo dan Sekitarnya) dan Tutupan Lahan-Ekosistem .....	8
Gambar 2.1	Diagram Hubungan Antara Sumber Daya Air, Penguatan Ketahanan Lingkungan, dan Daya Saing Masyarakat .....	15
Gambar 2.2	Diagram Alir Analisis Pengembangan Ekosistem Penguat Daur dan Neraca Air.....	19
Gambar 3.1	Peta Arah dan Kecepatan Angin Kawasan Indonesia dan Samudra Hindia .....	21
Gambar 3.2	Peta Arah dan Kecepatan Arus serta Gelombang Kawasan Indonesia dan Samudra Hindia .....	22

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Gambar 3.3	Peta Arah dan Kecepatan Arus serta Gelombang Kawasan Indonesia Timur (Kepulauan Aru dan sekitarnya).....	23
Gambar 3.4	Pembagian Mintakat Hujan di Benua Maritim Indonesia .....	24
Gambar 3.5	Citra satelit Sebaran Formasi Awan Hujan di Indonesia dan Sekitarnya pada Februari 2015.....	24
Gambar 3.6	Citra Satelit Sebaran Formasi Awan Hujan di Indonesia dan Sekitarnya pada Agustus 2014.....	25
Gambar 3.7	Kurva Curah Hujan dan Hari Hujan Tahun 2011 di Dobo, Kepulauan Aru.....	25
Gambar 3.8	Kurva presipitasi bulanan dari tahun 1979 hingga 1994 di kawasan sekitar Kepulauan Aru (133.75E-06.25S) .....	26
Gambar 3.9	(a) Kurva presipitasi bulanan dari tahun 1979 hingga 1994 di kawasan sekitar Kepulauan Aru bagian utara (136.25e-06.25s). (b) Kurva presipitasi bulanan dari tahun 1979 hingga 1994 di kawasan sekitar Kepulauan Aru bagian selatan (136.25E-08.75S) .....	27
Gambar 3.10	Peta <i>Standard Precipitation Index</i> (SPI) Wilayah Indonesia pada Desember–Januari Tahun 2017–2018 .....	28
Gambar 3.11	Korelasi Curah Hujan di Tual dengan Kemunculan Gejala ENSO.....	30
Gambar 3.12	Siklus Curah Hujan Tahunan untuk Kepulauan Tual, Daerah Terdekat dengan Aru, Data dari Tahun 1951–1976. Penurunan Landai pada Kurva Curah Hujan Bulanan dari Januari hingga Agustus.....	31
Gambar 3.13	Siklus Curah Hujan Tahunan untuk Kepulauan Tual, Data dari Tahun 1951–1976. Kenaikan Tajam pada Kurva Curah Hujan Bulanan dari Oktober hingga Januari.....	32
Gambar 3.14	Pola Curah Hujan Tahunan di Kepulauan Tual.....	33
Gambar 3.15	Pola Perubahan Temperatur Tahunan di Kepulauan Tual.....	34
Gambar 3.16	Pola Temperatur Udara Tahunan di Kepulauan Tual .....	34

Gambar 3.17	Kurva Perubahan Suhu Anomali Permukaan Laut Kawasan Sekitar Kepulauan Aru di Beberapa Tempat (Laut Banda, Perairan Dekat Aru dan Laut Arafura) .....	35
Gambar 3.18	Pola Pasang Surut Harian di Dobo Berdasar Pengukuran Selama 8 Hari .....	36
Gambar 3.19	Model Pola Pasang Surut Harian di Perairan di Sekitar Kepulauan Aru .....	37
Gambar 3.20	(a) dan (b). Diagram Distribusi Arah dan Kecepatan Angin Rata-Rata Maksimum Harian di Perairan Kepulauan Aru .....	38
Gambar 3.21	Diagram Distribusi Arah dan Ketinggian Gelombang Perairan Barat dan Timur Kepulauan Aru.....	39
Gambar 3.22	Diagram Distribusi Arah dan Ketinggian Gelombang Rata-Rata Kawasan Sekitar Kepulauan Aru .....	39
Gambar 3.23.	Peta Model Ketinggian Maksimum Gelombang di Perairan Laut Banda dan Sekitarnya .....	40
Gambar 3.24	Peta model gelombang berlaku untuk tanggal 18 Februari 2015 berdasarkan data kecepatan angin.....	41
Gambar 3.25	Peta model gelombang berlaku untuk tanggal 31 Mei 2017 berdasarkan data kecepatan angin.....	41
Gambar 3.26	Peta Kecenderungan Kenaikan Muka Laut Estatik .....	42
Gambar 3.27	Citra Satelit dan Sebaran Ekosistem Perairan (Terumbu Karang) dan Pantai (Mangrove dan Rawa Pantai) di Kepulauan Aru Bagian Utara .....	44
Gambar 3.28	Peta Kawasan Tangkapan Air dan Pola Aliran Pulau Aru .....	46
Gambar 3.29	Peta Tutupan-Kelembapan Lahan dan Kawasan Tangkapan Air-Pola Aliran Pulau Aru.....	49
Gambar 3.30	Citra satelit Landasat 7 sepanjang alur lembah di timur Benjina memperlihatkan tutupan lahan di sekitar Jirlai, lingkungan sekitar Selibatata dan Gulili yang berupa semak dan pohon, kebun ladang, dan lahan terbuka dari perambahan hutan di sisi alur untuk ladang dan sumber kayu .....	50
Gambar 3.31	Citra satelit Landasat 7 Pulau Barakan dan Baun yang Masih Memiliki Tutupan Hutan Primer.....	51

Gambar 3.32	Citra Satelit Landasat 7 Sekitar Estuari di Pesisir Timur Kecamatan Aru Tengah Tmur Sekitar Pemukiman Kaiwaba dan Basada yang Masih Memiliki Tutupan Mangrove.....	52
Gambar 3.33	Peta Kawasan Tangkapan Air dan Pola Aliran Pulau Aru .....	54
Gambar 3.34	Peta Morfologi dan Pembagian Kelompok Bentang Alam serta Sebaran Keadaan Morfologi Pantai dan Tutupan Mangrove.....	55
Gambar 3.35	Peta Geologi Kepulauan Aru.....	57
Gambar 3.36	Penampang Sintetik Stratigrafi Kepulauan Aru.....	59
Gambar 3.37	Lintasan Pengukuran Tahanan Jenis di Dobo dan Sekitarnya, di Pesisir Barat Pulau Womar, Kepulauan Aru .....	62
Gambar 3.38	Penampang Model Tahanan Jenis Lintasan 1 dari Pantai ke Arah Tengah Permukiman Desa Durjela Pulau Wamar, Kepulauan Aru.....	63
Gambar 3.39	Penampang Model Tahanan Jenis Lintasan 2 di Desa Wangel, Pulau Wamar.....	64
Gambar 3.40	Penampang Model Tahanan Jenis Dipole-Dipole Lintasan di Desa Kota Dobo, dari Kantor Depag di Jalan Ali Murtopo.....	64
Gambar 3.41	Penampang A–A ( <i>litho-resistivity</i> ) memperlihatkan sekuen stratigrafi berdasar interpretasi nilai tahanan jenis pemeruman metode Schlumberger.....	66
Gambar 3.42	Penampang A–C ( <i>litho-resistivity</i> ) memperlihatkan sekuen stratigrafi berdasar interpretasi nilai tahanan jenis pemeruman metode Schlumberger. ....	67
Gambar 3.43	Penampang B–B' ( <i>litho-resistivity</i> ) memperlihatkan sekuen stratigrafi berdasarkan interpretasi nilai tahanan jenis pemeruman metode Schlumberger.....	68
Gambar 3.44	Penampang dan C–C' ( <i>litho-resistivity</i> ) memperlihatkan sekuen stratigrafi berdasar interpretasi nilai tahanan jenis pemeruman metode Schlumberger. ....	69
Gambar 3.45	Peta Kawasan Hutan dan Lingkungan Laut Kepulauan Aru Bagian Utara.....	73

Gambar 3.46	Foto Citra Satelit Sebagian Kawasan Rencana Cagar Alam di Kepulauan Aru .....	74
Gambar 3.47	(a) Foto Citra Satelit Permukiman (Irloy); dan (b) Permukiman (Algadang) di dalam Kawasan Rencana Cagar Alam di Kepulauan Aru .....	74
Gambar 3.48	(a) Tutupan Lahan di Pulau Baun (kawasan Suaka Margasatwa) dan Barakey yang Berupa Hutan Tropis Primer Dataran Rendah, Mangrove, dan Terumbu Karang-Lamun. (b) Citra di Pulau Workai Bagian Selatan Sebagai Kawasan Pelestarian Sosial Budaya.....	75
Gambar 3.49	(a) Citra di Pulau Penambulaii Bagian Utara Sebagai Kawasan yang Layak Diusulkan Sebagai Kawasan Pelestarian Ekosistem Lahan Basah Pesisir Pulau Kecil. (b) Citra di Pulau Eudin dan Kultubaii di Perairan Kecamatan Aru Selatan Timur Sebagai Kawasan yang Layak Diusulkan Sebagai Kawasan Pelestarian Ekosistem Pulau Kecil dan Perairan Terumbu Karang....	76
Gambar 3.50	Peta Kawasan Strategis Pusat Pengembangan Kabupaten Kepulauan Aru Bagian Utara .....	77
Gambar 4.1	Muara dan Endapan Pematang Pantai di Aru Selatan Timur .....	83
Gambar 4.2.	Permukiman di Pematang Pantai dan Lahan di Pesisir Barat Aru Selatan.....	84
Gambar 4.3	(a) Penambangan Pasir Pematang Pantai di pesisir (30–150 meter dari garis pantai) di Pulau Womar. (b) Penambangan Pasir di Tepi Pantai di Desa Durjela di Pulau Womar .....	85
Gambar 4.4	(a) Penambangan Pasir di Pantai Pulau Wasir di Perairan Barat Laut Aru. (b) Penambangan pematang pasir menjadi usaha ekonomi yang melibatkan banyak pihak yang ditopang modal dan peralatan berat .....	85
Gambar 4.5	(a) Abrasi Pantai Dampak Penambangan Pasir di Pantai (intertidal) di Pulau Womar. (b) Tanggul Pelindung Pantai di Kalar untuk Menahan Abrasi Akibat Gempuran Gelombang.....	86
Gambar 4.6	Desa Wangel di Dobo, pesisir barat pulau. Tanggul pelindung dari abrasi telah beberapa kali diperbaiki.	

	Pengambilan pasir di pantai dan koral dari rataaan terumbu di perairan .....	86
Gambar 4.7	(a) Sumur umum di Kalar-kalar; dan (b) Sumur umum di desa Wokam. Kedua sumur tersebut dibuat di pematang pantai berpasir .....	87
Gambar 4.8	Diagram Urutan Perubahan Lensa Air Tawar di Pulau Kecil Akibat Pengelolaan Berlebih dengan Cara Pengambilan Terpusat dalam Jumlah Besar di Suatu Sistem Air Tawar Tanah Dangkal Pesisir dan Pulau Kecil.....	89
Gambar 4.9	Kondisi air tawar pada teknologi modul sumur optimalisasi skala kecil rancangan LIPI dibanding dengan eksploitasi air sumur skala besar (kasus Pulau Derawan dan Maratua). .....	90
Gambar 4.10	Peta DEM dan Kerentanan Biogeofisik Pulau Kecil dan Pesisir Landai Kepulauan Aru .....	99
Gambar 4.11	Peta DEM dan Kerentanan Biogeofisik Pulau Kecil dan Pesisir Landai Kepulauan Aru Bagian Barat Sekitar Pulau Womar .....	100
Gambar 4.12	Peta DEM dan Kerentanan Biogeofisik Pulau Kecil dan Pesisir Landai Sekitar Benjina, Kecamatan Pulau-Pulau Aru, Kab. Kepulauan Aru .....	101
Gambar 4.13	Peta DEM dan Kerentanan Biogeofisik Pulau Kecil dan Pesisir Landai Pesisir Timur (Pulau Penambulai), Kecamatan Aru Tengah Selatan, Kepulauan Aru .....	101
Gambar 4.14	Peta DEM dan Kerentanan Biogeofisik Pulau Kecil dan Pesisir Landai Sekitar Meror dan Batugoyang, Kecamatan Aru Selatan Timur, Kab. Kepulauan Aru...	102
Gambar 4.15	Citra Satelit dan Peta Kerentanan Pesisir Terhadap Kejadian Penurunan Daratan di Kepulauan Aru Bagian Utara .....	107
Gambar 4.16	Peta Kerentanan Neraca Air Tawar Pesisir Kepulauan Aru .....	110
Gambar 4.17	Diagram Perbandingan Pembangunan Unsur-Unsur Lingkungan Secara Alamiah Maupun Rekayasa .....	117

Gambar 4.18	Peta Deliniasi Nilai Kesesuaian Morfologi untuk Konstruksi Bangunan Reservoir Air di Kepulauan Aru.....	145
Gambar 4.19	Peta Geologi dan Deliniasi Nilai Kesesuaian Geologi untuk Konstruksi Bangunan Reservoir Air di Kepulauan Aru .....	148
Gambar 4.20	Peta Tutupan Lahan dan Deliniasi Nilai Kesesuaian Lahan serta Tata Ruang untuk Konstruksi Bangunan Reservoir Air di Kepulauan Aru.....	150
Gambar 4.21	Peta Tutupan Lahan dan Deliniasi Gabungan Nilai Kesesuaian Lahan serta Tata Ruang untuk Konstruksi Bangunan Reservoir Air di Kepulauan Aru .....	151
Gambar 4.22	Peta Tutupan Lahan dan Nilai Akhir Kesesuaian Lahan serta Tata Ruang untuk Konstruksi Bangunan Reservoir Air di Kepulauan Aru.....	152
Gambar 4.23	Peta Nilai Unsur Pola Aliran Sungai dan Badan Air untuk Reservoir di Kepulauan Aru .....	153
Gambar 4.24	Peta Penggunaan Lahan di Kepulauan Aru dan Kesesuaiannya bagi Pembangunan Teknologi Ketersediaan Air .....	154
Gambar 4.25	Peta Kesesuaian Pembangunan Teknologi Ketersediaan Air Berdasarkan Gabungan Hasil Analisis Kesesuaian terhadap Morfologi, Geologi, Tutupan Lahan, dan Penggunaan Lahan di Kepulauan Aru.....	155
Gambar 4.26	Peta Kesesuaian Tingkat Kepentingan dan Prioritas Pembangunan Teknologi Peningkatan Ketersediaan Air terhadap Rencana Pengembangan Kawasan Strategis di Kabupaten Kepulauan Aru.....	156
Gambar 4.27	Peta Kesesuaian dan Tingkat Kepentingan serta Prioritas Pembangunan Teknologi Peningkatan Ketersediaan Air terhadap Rencana Pengembangan Kawasan Strategis di Kabupaten Kepulauan Aru untuk Tiap Wilayah Kecamatan.....	157
Gambar 4.28	Diagram sumur optimalisasi pengelolaan air tawar di pantai terdiri dari unit injeksi air hujan dan sumur kolektor air tanah tawar. ....	164

Gambar 4.29	Model Teknis Reaktor Pengolahan Limbah Cair Keluarga (skala kecil), debit < 5 l/menit, dan kapasitas hingga 200 L .....	167
Gambar 4.30	Septik tank untuk Pulau Kecil Landai dan Datar.....	168
Gambar 4.31	Penampang Sintetik Akuifer Buatan Embung Tertutup/ Semi Tertutup Sebagai Penyimpanan Air yang Dipakai Ketika Musim Kering.....	174
Gambar 4.32	Model Penempatan Embung Tertutup dan Cekungan Kolektor Air Hujan di Lahan yang Masih Baik Tutupan Lahannya (Hutan atau Kebun Tanaman Rapat).....	175
Gambar 4.33	Model Penempatan Akuifer Buatan Embung Tertutup dan Kolektor Air Hujan di Lahan yang Masih Baik Tutupan Lahannya (Hutan atau Kebun Tanaman) dan dari Atap Rumah .....	177
Gambar 4.34	Contoh Penampang Geologi Daerah Bekasi dari Hasil Pemeruman Geofisika Terhadap Lapisan Sedimen untuk Penentuan Akuifer Sasaran Injeksi Air Tawar....	180
Gambar 4.35	Penampang sintetik injeksi air hujan ke dalam lapisan akuifer dalam. Geologi Kepulauan Aru memiliki perlapisan sedimen nyaris sejajar namun terdiri dari batuan sedimen halus dan endapan karbonat yang tidak sesuai untuk penyimpanan air .....	181
Gambar 4.36	Penampang Perbandingan Teknologi Resapan Air Biopori dan Injeksi. ....	184
Gambar 4.37	Peta Geologi dan Pola Aliran Sungai Acuan Penempatan Pintu Air/ Bendungan di Beberapa Tempat Sebagai Salah Satu Unsur untuk Mengatur Daur Air di Pulau Aru.....	188
Gambar 4.38	Peta Indeks Pembahasan Lokasi Terpilih untuk Percontohan Pengembangan Teknologi.....	196
Gambar 4.39	Citra satelit Desa Jambulenga di Kecamatan PP Aru ...	198
Gambar 4.40	Citra Satelit Desa Lamerang di Kecamatan PP Aru.....	200
Gambar 4.41	Citra Satelit Desa Wokam di Kecamatan PP Aru.....	201
Gambar 4.42	Citra Satelit Desa Wahayum di Kecamatan Aru Utara.....	202
Gambar 4.43	Citra Satelit Desa Warilau di Kecamatan Aru Utara. ..	203

Gambar 4.44	Citra satelit Desa Wahangulangula di Kecamatan Aru Utara.....	204
Gambar 4.45	Citra Satelit Desa Kaibolafin di Kecamatan Aru Utara.....	206
Gambar 4.46	Citra Satelit Kepulauan Kulur di Kecamatan Aru Utara.....	207
Gambar 4.47	Citra Satelit Lingkungan (Utara) di Sekitar Kolamar, Kecamatan Aru Utara .....	208
Gambar 4.48	Citra Satelit Lingkungan (Selatan) di Sekitar Kolamar, Kecamatan Aru Utara .....	209
Gambar 4.49	Citra Satelit Lingkungan Semi Karst di Sekitar Desa Masidang, Kecamatan Aru Utara.....	211
Gambar 4.50	Citra Satelit Lingkungan Semi Karst di Sekitar Selmona, Kecamatan Aru Utara .....	212
Gambar 4.51	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Mahongsel, Kecamatan Aru Utara .....	213
Gambar 4.52	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Leiting, Kecamatan Aru Utara .....	215
Gambar 4.53	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Gomsey, Kecamatan Aru Utara .....	216
Gambar 4.54	Citra satelit lingkungan di sekitar Komfane, Kecamatan Aru Utara .....	217
Gambar 4.55	Citra satelit lingkungan di sekitar Kobamar, Kecamatan PP Aru.....	219
Gambar 4.56	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Watulei, Kecamatan Aru Utara .....	220
Gambar 4.57	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Dosinamalau, Kecamatan Aru Tengah Timur.....	221
Gambar 4.58	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Koijabi, Kecamatan Aru Tengah Timur.....	222
Gambar 4.59	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Kobror, Kecamatan Aru Tengah Timur .....	223
Gambar 4.60	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Lorang, Kecamatan Aru Tengah .....	226

Gambar 4.61	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Gomar Sungai Kecamatan Aru Selatan Timur.....	227
Gambar 4.62	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Jorang, Kecamatan Aru Selatan Timur.....	228
Gambar 4.63	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Karey, Kecamatan Aru Selatan Timur.....	229
Gambar 4.64	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Baltubur, Kecamatan Aru Selatan Timur.....	230
Gambar 4.65	Citra satelit lingkungan di sekitar Belmun, Pulau Workai, Kecamatan Aru Tengah Selatan .....	232
Gambar 4.66	Citra Satelit Lingkungan Permukiman Jursian di Pulau Kumir, Kecamatan Aru Selatan Timur .....	233
Gambar 4.67	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Salarem, Kecamatan Aru Selatan Timur.....	234
Gambar 4.68	Citra satelit lingkungan di sekitar Gomo-gomo, Kecamatan Aru Selatan Timur berupa sisa hutan tropis sekunder dataran rendah, semak belukar, dan lahan terbuka serta rawa danau .....	236
Gambar 4.69	Citra Satelit Lingkungan di Bagian Selatan Pulau Barakan, Kecamatan Aru Selatan Timur.....	237
Gambar 4.70	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Batu Goyang, Kecamatan Aru Selatan Timur.....	238
Gambar 4.71	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Ngaibor, Kecamatan Aru Selatan .....	240
Gambar 4.72	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Fatural, Kecamatan Aru Selatan Timur.....	241
Gambar 4.73	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Ngaiguli, Kecamatan Aru Selatan .....	242
Gambar 4.74	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Kalar-kalar, Kecamatan Aru Selatan .....	244
Gambar 4.75	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Rebi, Kecamatan Aru Selatan .....	245
Gambar 4.76	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Hokmar, Kecamatan Aru Selatan .....	247

Gambar 4.77	Gambar 5.60 Citra satelit lingkungan di sekitar Taberfane, Kecamatan Aru Selatan. Desa tepi pantai berpasir kuarsa dan karbonat di atas batuan napal batu gamping Formasi Jambulenga dan gamping cangkang Formasi Manumbai .....	248
Gambar 4.78	Citra satelit lingkungan di sekitar Taberfane, Kecamatan Aru Selatan. Desa tepi pantai berpasir kuarsa dan karbonat di atas batuan napal batu gamping batu lumpur Formasi Wasir dan gamping cangkang Formasi Manumbai .....	250
Gambar 4.79	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Nafar, Kecamatan PP Aru .....	251
Gambar 4.80	Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Lau-lau, Kecamatan PP Aru. ....	253
Gambar 4.81	Citra satelit lingkungan di sekitar Tunggu, Kecamatan PP Aru. ....	254
Gambar 4.82	Citra Satelit Lingkungan di Pulau Womar bagian utara .....	257
Gambar 4.83	Citra Satelit Lingkungan di Pulau Womar bagian selatan. ....	258
Gambar 4.84	Citra Satelit Lingkungan di Kota dan Pinggir Barat Dobo .....	260
Gambar 4.85	Citra Satelit Lingkungan Pula Wamar dengan Usulan Pengelolaan yang Didasarkan pada Pendekatan untuk Pemulihan dan Penguatan Ekosistem Pendukung Neraca dan Daur Air .....	262
Gambar 4.86	Citra Satelit Lingkungan Sekitar Juring di Tepi Kanal dan Lahan Basah Pedalaman Kecamatan Aru Selatan Timur .....	264
Gambar 4.87	Citra Satelit Permukiman Juring di Salah Satu Gugus Pulau di Dalam Kanal di Pedalaman Kecamatan Aru Selatan Timur. ....	265



## PENGANTAR PENERBIT

---

Sebagai penerbit ilmiah, LIPI Press mempunyai tanggung jawab untuk menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Upaya tersebut merupakan salah satu perwujudan tugas LIPI Press untuk ikut serta dalam mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Buku *Adaptasi–Peningkatan Ketahanan Air Tawar di Kepulauan Aru* hadir menjawab tantangan akan ancaman bahaya kejadian ekstrem yang sering dihadapi oleh kawasan pesisir landai, khususnya di Kepulauan Aru. Perambahan kawasan rentan bagian hulu maupun pesisir Pulau Aru telah memunculkan ancaman rusaknya air bersih. Selain itu, kejadian ekstrem geologi dan cuaca serta rusaknya pesisir akibat perambahan ekosistem yang serampangan juga dapat meningkatkan ancaman bahaya kejadian ekstrem muka laut tinggi.

Buku ini merupakan pengembangan dari hasil penelitian penulis dengan memfokuskan pada pendekatan analitik untuk memulihkan dan meningkatkan kapasitas lingkungan pulau kecil dalam memperkuat daur dan neraca hidrologi berdasarkan kemampuan potensi alam.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Masalah ketersediaan air dan bagaimana meningkatkan ketahanannya di suatu pulau kecil menjadi bahasan utama dalam buku ini.

Buku ini penting untuk dibaca, khususnya bagi masyarakat dan pemangku kepentingan di pesisir landai karena memberikan alternatif cara penguatan sumber daya dan lingkungannya sebagai mitigasi dan adaptasi terhadap kejadian ekstrem alam.

LIPi Press

Buku ini tidak diperjualbelikan.

# PRAKATA

---

Indonesia memiliki ribuan pulau besar dan kecil yang terserak di kawasan ekuator dengan dinamika cuaca dan geologi yang dapat memicu ancaman bahaya. Bahaya dapat terjadi dengan tiba-tiba tanpa ada tanda-tanda sebelumnya. Bahaya yang tidak dapat terpantau ini dapat meningkat dari waktu ke waktu.

Ada dua hal yang dapat memicu kejadian ekstrem ancaman bahaya, yaitu gejala alamiah dan semakin parahny kerusakan alam akibat ulah manusia. Eksploitasi dan perambahan ekosistem menghancurkan pelindung alam yang selama ini diandalkan pulau kecil untuk bertahan dari kejadian ekstrem cuaca, laut, dan kebumihan serta menjamin kelangsungan sumber daya kehidupan.

Gugusan Kepulauan Aru terdiri dari pulau datar dan rendah yang ketinggiannya tidak lebih dari 50 meter dari muka laut. Aru adalah salah satu di antara banyak pulau kecil yang menyangg masalah ancaman bahaya kejadian ekstrem dan kerusakan lingkungan. Ancaman bahaya ini tidak hanya berupa kejadian yang mengakibatkan kerusakan fisik, tetapi juga ketika sumber daya utama bagi kehidupan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

manusia, misalnya air, mengalami kerusakan sehingga tidak dapat lagi mencukupi kebutuhan kehidupan. Dalam kasus Aru, perambahan kawasan rentan bagian hulu maupun pesisirnya memunculkan ancaman rusaknya air bersih. Selain itu, kejadian ekstrem geologi dan cuaca serta rusaknya pesisir akibat perambahan ekosistem yang serampangan juga dapat meningkatkan ancaman bahaya kejadian ekstrem muka laut tinggi.

Berdasarkan keadaan alam dan bahan yang tersedia, upaya mengurangi ancaman bahaya dapat dilakukan dengan memulihkan ekosistem lingkungan. Sebagai contoh, cara pengelolaan dan pengolahan limbah diterapkan guna melindungi ekosistem tempat air tawar tersimpan. Selain itu, teknologi sederhana dirancang untuk memulihkan dan meningkatkan ketersediaan air (dalam hal kualitas dan kuantitas) di permukiman. Namun, teknologi tersebut juga harus memiliki ketahanan terhadap ancaman bencana alam. Tulisan ini dapat menjadi acuan cara menganalisis dan menentukan teknologi yang sesuai untuk memperkuat ketahanan air bersih di gugusan pulau datar dalam menghadapi kerentanan kejadian ekstrem alam.

Buku ini membahas permasalahan tersebut dan memberi alternatif cara penguatan sumber daya dan lingkungannya sebagai mitigasi dan adaptasi terhadap kejadian ekstrem alam, khususnya di pesisir landai dan pulau kecil. Masalah ketersediaan air dan bagaimana meningkatkan ketahanannya di suatu pulau kecil datar menjadi bahasan utama dari buku ini.

Akhir kata, terima kasih kepada pihak yang tidak semuanya dapat disebutkan dalam tulisan ini, yang telah membantu selama penelitian di lapangan dan di laboratorium hingga buku ini terselesaikan. Semoga amal ibadah Ibu dan Bapak mendapat balasan hidayah dari Allah Swt.

Wahyoe Soepri Hantoro

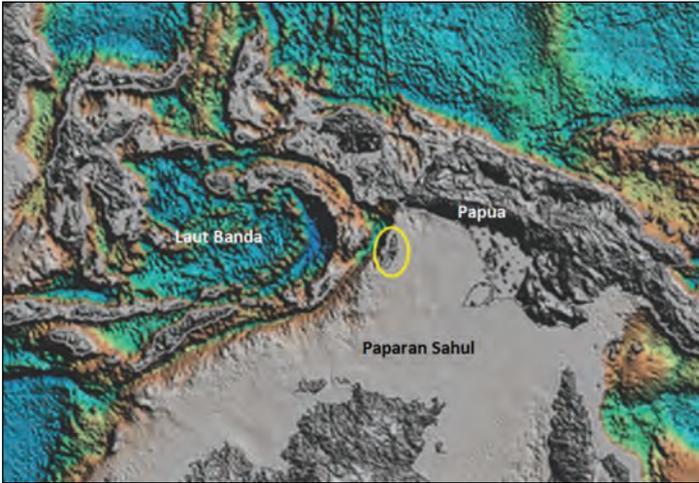
# I

## Kondisi Geografi Kepulauan Aru

---

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak di sabuk ekuator di antara dua samudra dan dua benua besar. Hal tersebut, berdasarkan beberapa penelitian, menjadikan hampir semua pesisir dan pulau kecil rentan terhadap kejadian ekstrem yang akhir-akhir ini semakin sering muncul dan mengancam (Gambar 1) (Pusat Survei Geologi, 2007; NASA-SRTM, 2007). Salah satu kawasan tersebut adalah Kepulauan Aru yang terletak di garis depan perbatasan dengan Australia.

Kepulauan Aru terletak di perairan dangkal Laut Arafura dan menempati paparan tepian kontinen Sahul yang dikelilingi perairan luas (Gambar 1.1). Kabupaten Kepulauan Aru terdiri dari gugusan pulau di bagian terluar wilayah Indonesia bagian tenggara dan masuk dalam Provinsi Maluku (Pusat Survei Geologi, 2007). Pembagian wilayah pemerintahan provinsi ini, selain Provinsi Riau Kepulauan, didasarkan pada pengelompokan gugusan pulau (Gambar 1.2). Pendekatan ini dilakukan untuk mengatasi kendala perhubungan dan komunikasi serta ancaman 2 kejadian ekstrem di seputar Laut Banda. Seperti diketahui, wilayah Kabupaten Kepulauan Aru tidak

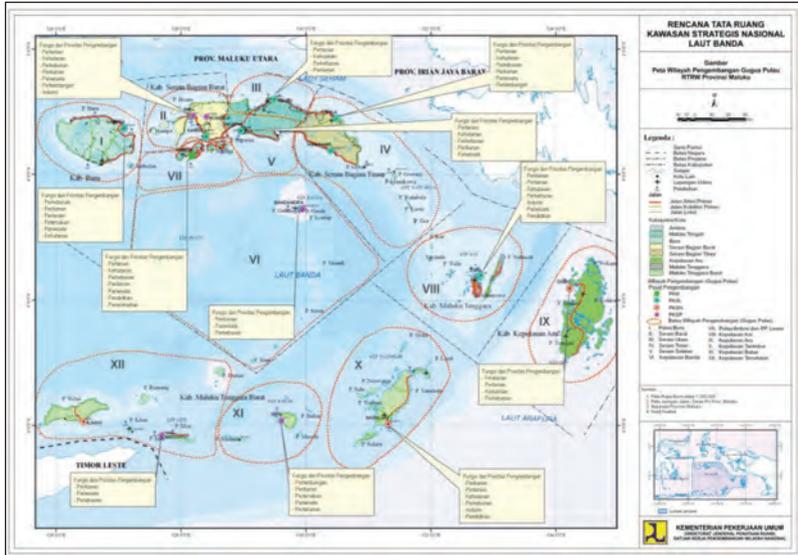


Sumber: NASA-SRTM (2007)

**Gambar 1.1** Peta Indonesia Timur (Kepulauan Aru)

berada di perairan atau menghadap langsung Laut Banda, tetapi di paparan dangkal Sahul. Keadaan ini memungkinkan kawasan ini menjadi penyangga bagi wilayah lain dalam pengelolaan sumber daya dan mitigasi bencana perairan luas Laut Arafura dan Laut Banda.

Kepulauan Aru terdiri dari pulau utama yang dikelilingi pulau kecil yang memiliki pantai landai yang rapat dengan tutupan mangrove (Gambar 1.3 dan 1.4). Di Pulau Womar atau Wamar—bagian barat laut gugusan Kepulauan Aru—terletak Kota Dobo yang menjadi ibu kota Kabupaten Kepulauan Aru (Gambar 1.3, Gambar 1.4, Gambar 1.5). Kabupaten Aru terbagi atas tujuh kecamatan, yaitu Kecamatan Aru Kepulauan, Kecamatan Aru Utara, Kecamatan Aru Tengah, Kecamatan Aru Tengah Timur, Kecamatan Aru Tengah Selatan, Kecamatan Aru Selatan, dan Kecamatan Aru Selatan Timur. Kanal alur lembah retakan yang membagi pulau menjadi beberapa bagian daratan menjadi batas antar-kecamatan.



Sumber: Hantoro dkk. (2018)

**Gambar 1.2** Peta Wilayah Pengembangan Gugus Pulau Kawasan Sekeliling Laut Banda, Provinsi Maluku, dan Kawasan Sekitar

Ibu kota Kabupaten Kepulauan Aru, Kota Dobo, mengalami perkembangan pesat setelah pemekaran Kepulauan Aru. Wilayah Dobo semula termasuk salah satu kecamatan dalam Kabupaten Maluku Tenggara, kemudian menjadi Kabupaten Kepulauan Aru. Sayangnya, perkembangan kota kecamatan tidak secepat kota kabupaten karena sulit dijangkau dengan transportasi darat maupun laut.

Beberapa permukiman di pesisir barat dan timur secara perlahan berkembang seiring meningkatnya usaha penangkapan hasil laut di sekeliling kepulauan. Salah satu kota kecamatan yang cukup cepat perkembangannya di pesisir barat kepulauan adalah Benjina. Sebagai kota Kecamatan Aru Tengah, Benjina menjadi pangkalan dan titik sandar armada kapal besar dari perusahaan penangkapan ikan di kawasan perairan Laut Arafura (Gambar 1.2 dan Gambar 1.3).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dalam rencana tata ruang, Benjina akan dilengkapi dengan bandar udara dan pelabuhan yang ada pun akan dikembangkan. Wilayah permukiman di pesisir timur pulau utama, seperti Kolamar, Koijabi, Bemun, dan Meror dapat dicapai dengan transportasi laut (Gambar 1.2 dan Gambar 1.3). Selain itu, terdapat alur kanal yang cukup untuk dilayari kapal motor yang dapat memotong jarak dari pesisir barat menuju pesisir timur menuju kota-kota tersebut. Alur ini terbentuk dari kelurusan struktur yang memotong pulau utama.

Transportasi laut menjadi andalan untuk menghubungkan ibu kota kabupaten dengan kota kecamatan di pulau utama. Transportasi laut juga masih menjadi andalan dalam hal penyaluran volume besar bahan kebutuhan dan hasil bumi yang menghubungkan Dobo dengan titik-titik simpul pengembangan di Indonesia timur, seperti Merauke, Timika, Fakfak, Tual, dan Ambon. Pelayaran terbatas terjadi antara beberapa wilayah permukiman di bagian timur Aru, misalnya Kojabi, dengan Merauke (Gambar 1.3).

Transportasi darat hanya tersedia di sekitar Dobo (Pulau Wamar) dan di wilayah Kecamatan Aru Selatan dan Aru Tengah. Namun, jaringan jalan yang ada masih sangat terbatas jangkauan maupun kualitasnya. Sementara itu, transportasi udara masih terkendala sarana dan prasarana yang terbatas. Sarana yang tersedia hanyalah landas pacu milik TNI. Di Benjina terdapat landas pacu yang melayani penerbangan non-reguler pesawat kecil atau helikopter untuk kepentingan perusahaan penangkapan ikan. Namun, penerbangan reguler ke wilayah ini hanya dapat dicapai melalui Ambon (ibu kota Provinsi Maluku). Selain itu, belum ada penerbangan reguler yang menghubungkan langsung wilayah Kepulauan Aru dengan kota-kota di Provinsi Papua atau Papua Barat (Gambar 1.2 dan Gambar 1.3).

Pembangunan Kepulauan Aru diarahkan pada pengembangan tiga wilayah, yaitu Aru Utara (WP I), Aru Tengah bagian Timur (WP II), dan Aru Selatan (WP III) (Gambar 1.3).



Sumber: Bappeda Kab. Kepulauan Aru (2011)

**Gambar 1.3** Peta Pembagian Daerah Administrasi Kabupaten Kepulauan Aru

WP I diarahkan untuk pengembangan pusat produksi perkebunan, pusat pelayanan jasa, pusat transportasi regional, pusat tanaman pangan, pusat hutan produksi, pusat budi daya perikanan, pusat perdagangan dan pariwisata. WP II ditiitikberatkan pada pengem-

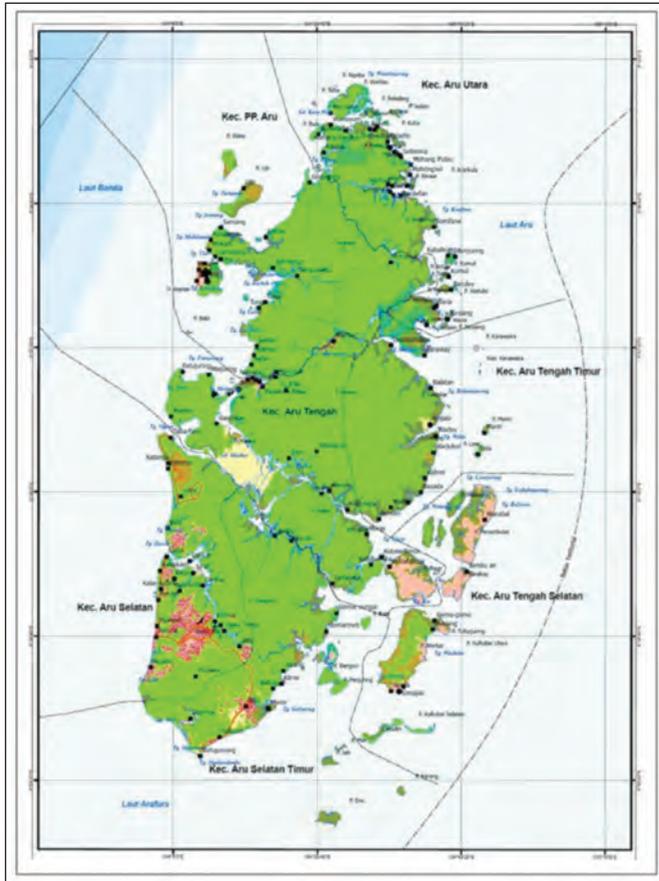
Buku ini tidak diperjualbelikan.

bangun pusat-pusat produksi kehutanan, produksi pertanian, budi daya perikanan dan mutiara, perlindungan hutan, pelayanan jasa, industri pengolahan perikanan dan pertanian dan pariwisata. WP III diarahkan untuk pengembangan pusat-pusat pertahanan dan keamanan, produksi pertanian, produksi perkebunan, pelayanan jasa, konservasi laut, industri pengolahan pertanian, perkebunan dan pertanian, pelayanan jasa laut, wisata konservasi laut dan pariwisata.

Sementara itu, komunikasi dapat mengandalkan jaringan seluler provider tertentu. Namun, jangkauannya juga terbatas dan tergantung pada ketersediaan menara simpul penghubung dan kapasitas jaringan maupun dayanya.

Pertahanan keamanan laut kawasan sekitar Aru berpusat di Kota Dobo (Gambar 1.4) yang saat ini berstatus sebagai pangkalan TNI AL. Pangkalan ini merupakan satu dari beberapa pangkalan di Indonesia bagian timur selatan, seperti Tual, Merauke, Fakfak, dan Saumlaki. Beberapa pos angkatan laut ditempatkan di kota ibu kota kecamatan di bagian selatan kepulauan (Desa Kalar, Kecamatan Aru Selatan) (Gambar 1.2 dan Gambar 1.3).

Kepulauan Aru tergolong strategis karena berbatasan langsung dengan wilayah Australia (Gambar 1.2). Kepulauan Aru juga memiliki pola cuaca dan monsunial (Prawiwardoyo, 1996; Aldrian & Susanto, 2003). Sementara itu, kawasan Laut Arafura dikenal sebagai daerah yang unsur lingkungan darat, perairan dan meteorologinya berperan penting dalam kemunculan kejadian ekstrem atau perubahan cuaca skala regional, bahkan global (Ropelewski & Halpert, 1997; Halpert & Ropelewski, 1992; Rasmusson & Carpenter, 1982). Hasil penelitian selama ini mengungkap bahwa sumber daya alam dan lingkungan pulau kecil dan pesisir di beberapa kawasan di Indonesia, termasuk Kepulauan Aru, sangat terbatas dan rentan terhadap kejadian ekstrem (Hantoro, Latief, Susilohadi, Gusman Hidayat, Suminar & Airlangga, 2006) maupun perubahan lingkungan dampak antropogen (Hantoro & Djuwansah, 2014). Daya dukungnya sering kali terlampaui oleh



Sumber: Hantoro, Situmorang, Subehi, Soehardjono, & Irianto (2014)

**Gambar 1.4** Peta Penggunaan Lahan di Kepulauan Aru Bagian Utara

Buku ini tidak diperjualbelikan.

permintaan eksploitasi sumber daya alamnya (Hantoro dan Soeprapto, 2003; Hantoro & Suharsono, 2004). Kejadian ekstrem merupakan faktor kuat yang berpengaruh terhadap kondisi SDA-lingkungan. Secara spesifik, kawasan di bagian tepi *InterTropical Convergence Zone* (ITCZ) rentan terhadap perubahan cuaca serta kemunculan kejadian ekstrem, misalnya badai tropis (Hastenrath, 1997; Prawiwardoyo, 1996).



Sumber: Bappeda Kab. Kep. Aru (2011)

**Gambar 1.5** Peta Lokasi (Kota Dobo dan Sekitarnya) dan Tutupan Lahan-Ekosistem

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Kepulauan Aru berada di perairan Laut Arafura yang luas tetapi dangkal dan menghadap perairan cekungan dalam Laut Banda. Letak ini berpengaruh terhadap kondisi fisik dan kimiawi perairan dangkal di sekitar kepulauan ini. Selain mengalami tekanan akibat kejadian ekstrem alamiah yang muncul di sekitar kepulauan, kawasan ini sejak beberapa puluh tahun terakhir banyak menerima tekanan antroposen seiring dengan kenaikan jumlah penduduk dan meningkatnya kegiatan eksploitasi sumber daya dan lingkungan. Akibatnya, terjadi perubahan keseimbangan pada siklus, neraca, dan rezim hidrologi (Hehanussa & Haryani, 2001). Hal tersebut menjadi ancaman baru dan meningkatkan kerentanan pulau kecil pesisir landai terhadap kerusakan lingkungan. Beberapa upaya dilakukan untuk menemukan bentuk adaptasi manusia terhadap kerusakan lingkungan, mencari upaya pemulihan kerusakan lingkungan, serta menemukan upaya penguatan agar lingkungan dan manusia aman dari ancaman kejadian ekstrem lebih lanjut (Hantoro, Suprpto, Hadiwisastro, Latif, Airangga, Handayani, ... Kosasih (2008a); dan Hantoro, Hadiwisastro, Arsadi, Masduki, Latif, Suyatno, & Kosasih (2008b).

Wilayah Kabupaten Kepulauan Aru menjadi bagian dari perencanaan ruang berbasis Laut Banda yang simpul pengembangannya didasarkan pada kelompok gugus kepulauan (Gambar 1.2). Pengelolaan Aru untuk 5 hingga 10 tahun ke depan telah dirumuskan dalam Rencana Tata Ruang dan Rencana Pembangunan Jangka Menengah dan Panjang (Bappeda Kabupaten Kepulauan Aru, 2011). Penentuan kawasan hutan serta pengelolaan kawasan khusus telah ditetapkan, dan dalam tulisan ini, menjadi acuan bagi penentuan kesesuaian pembangunan sarana penguatan dan peningkatan ketersediaan sumber daya air (Gambar 1.3 dan Gambar 1.4). Hutan tropis di pulau ini juga menghadapi ancaman kerusakan bila dalam pengelolaan ruang, karena kemudahan akses ke hutan tropis, berdampak pada kelestarian wilayah yang tergolong hutan primer tropis dataran rendah pulau kecil ini. Penentuan dan upaya perlindungan kawasan hutan di bagian tengah pulau yang menjadi kawasan suaka margasatwa, cagar alam, dan hutan lindung merupakan janji untuk mempertahankan ekosistem Kepulauan Aru yang harus dikawal konsistensinya.

Terkait dengan upaya pelestarian dan pemerolehan manfaat dari ekosistem alamiah bagi ilmu pengetahuan, diusulkan tempat yang memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai kebun raya dan eko sains teknopark. Ekosistem yang diusulkan diusahakan mencakup lingkungan daratan, perairan darat (*limnic*), pesisir, dan perairan laut. Beberapa daerah yang diusulkan tersebut dibahas pada bagian akhir buku.

## II

# Bahan dan pendekatan

---

Bahan dalam buku ini berkaitan dengan daur dan neraca hidrologi, yaitu unsur meteorologi, geologi batuan pembangun dan morfologi pulau, tutupan lahan, serta pola aliran dan unsur antropogen yang menjadi unsur baru dalam neraca hidrologi. Beberapa pengukuran di lapangan dilakukan untuk memperoleh data guna mengetahui keadaan beberapa unsur lingkungan setempat (geologi) dan sebagai acuan untuk membuat model yang menyangkut keadaan lingkungan berdasar waktu dan ruang (kelautan dan atmosfer). Untuk unsur yang menyangkut fisiografi dan geografi, data yang dipergunakan adalah yang terkait dengan pengelolaan dan perencanaan wilayah.

Masalah keseimbangan neraca tidak spesifik dikaitkan dengan isu perubahan iklim, tetapi lebih dilihat dari sisi ancaman kerusakan air tawar tanah dangkal pesisir akibat pengaruh air asin. Hal ini tergolong bentuk ancaman sebagai dampak kejadian ekstrem. Ancaman lain adalah rusaknya sumber daya alam lingkungan lebih lanjut akibat kejadian ekstrem alam, terutama yang berkaitan dengan tinggi muka laut. Dugaan bahwa kejadian ekstrem muncul karena gangguan

iklim, ancaman tinggi muka laut akibat gelombang tinggi dan kuat bersamaan dengan kejadian pasang maksimum, juga diperhitungkan sebagai ancaman yang dihadapi pesisir kepulauan. Kenaikan muka laut estatik juga diperhitungkan sebagai ancaman. Walaupun berlangsung secara perlahan, pada jangka waktu tertentu ancaman tersebut menguat karena genangannya menjangkau pesisir landai yang sangat luas (Hantoro, 2012; Hantoro & Djuwansah (2014); Hantoro, Situmorang, Subehi, Soehardjono, & Irianto (2014).

Secara garis besar, unsur penyebab muka laut tinggi terkait dengan gejala astronomis, cuaca-iklim, kelautan, geologi, dan dampak kegiatan manusia (Hantoro, 2012).

- $h_{ex(tot)}$  =  $h_{as} + h_{cl} + h_{oc} + h_{gl} + h_{ant}$  (m) .....1)
- $h_{ex(tot)}$  = Tinggi muka laut relatif saat kejadian ekstrem
- $h_{as}$  = Tinggi muka laut relatif unsur atmosferis
- $h_{cl}$  = Tinggi muka laut relatif unsur cuaca-iklim
- $h_{oc}$  = Tinggi muka laut relatif unsur kelautan
- $h_{gl}$  = Tinggi muka laut relatif unsur geologi
- $h_{ant}$  = Tinggi muka laut relatif unsur antropogenik

Semua unsur tersebut terpenuhi sebagai penyebab kejadian muka laut tinggi di kawasan Kepulauan Aru.

Beberapa rumusan mengenai kerentanan, bahaya, bencana, dan adaptasinya dipakai sebagai dasar pendekatan dalam bagian pembahasan (Anwar & Harjono, 2011). Unsur ancaman bahaya, kejadian ekstrem dan risiko dampaknya menjadi perhatian utama buku ini. Buku ini mengentengahkan kejadian ekstrem sebagai pemicu muka laut tinggi dengan berapa pun besaran bahaya dan bencananya, bahkan suatu kejadian non-fisik (misalnya bahaya dari kejadian sosial) dapat menjadi acuan. Risiko ini sebenarnya telah terlihat ketika analisis besaran bahaya dan besaran kerugian dilakukan.

Risiko dapat diformulasikan sebagai:

$$R = H \times V$$

$$V = A/CC$$

$$\text{Maka } R = H \times A/CC$$

$R$  = risiko

$H$  = bahaya (*Hazard*)

$V$  = kerentanan (*Vulnerability*)

$A$  = jenis bencana

$CC$  = kemampuan menghadapi (*coping capacity*) (Hantoro, 2012).

Unsur bahaya pada rumusan ini telah memiliki besaran, yaitu  $M_{H.e1}$ . Besaran di suatu kejadian ke-1 dinyatakan dengan rumus:

$$M_{H.e1} = E_{e1} \cdot r_{e1} \cdot (Lt)$$

dimana,

$M_{H.e1}$  = Besaran bahaya kejadian 1

$E_{e1}$  = Besaran kejadian 1

$r_{e1}$  = Perulangan bagian pada kejadian 1

$v_{e1}$  = Kecepatan datangnya kejadian 1

$L_{e1}$  = Lingkungan/luasan kejadian

$h_{e1}$  = ketinggian muka laut

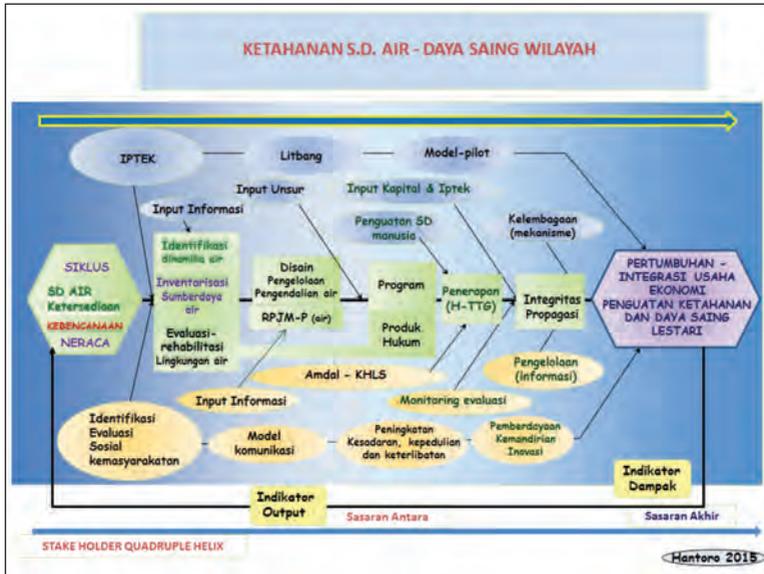
$m_{tot}$  = msasa air laut

$$\text{maka } R = E_{e1} \cdot R_{e1} \cdot (Lt) \times A/CC$$

Perumusan ini harus memperhitungkan adanya perubahan pada beberapa unsur seiring perubahan waktu. Bila pandangan mengenai risiko ini digunakan pada Kepulauan Aru, ancaman yang paling besar risikonya adalah perubahan muka laut akibat kejadian ekstrem yang datang dalam waktu singkat (*slow onset*) maupun perlahan (*slow/rapid onset*) (Hantoro, Arsadi, Suherman, Aziz, Suyatno, & Kosasih (2017a); (Hantoro, Subehi, Situmorang, Firmansyah, Syamsi, Yoganingrum, & Munandar (2017b) dan (Hantoro, Djuwansah, Soebowo, Suherman, Aziz, Soeprpto, & Kosasih (2017c).

Interpretasi citra satelit yang didukung data spasial sekunder dilakukan pada beberapa unsur lingkungan di pesisir. Unsur tersebut, selain sebagai peredam ancaman atau penahan bahaya, juga menyangkut kerentanan kerusakan. Pengukuran parameter fisis lapisan sedimen dilakukan untuk memperoleh gambaran dan selanjutnya menjadi dasar pemetaan kawasan pesisir rawan kerusakan neraca air tawar tanah dangkal. Berdasarkan data sebaran unsur pembangun lingkungan pesisir dan kondisi geologi kepulauan, dibuat peta dengan ulasan mengenai kerentanan dalam beberapa hal (Hantoro, 2012). Hasilnya adalah peta kerentanan neraca air tawar dangkal pantai yang disandang lingkungan dan masyarakat Kepulauan Aru. Luaran lain adalah peta kesesuaian daerah untuk pengembangan teknologi peningkatan ketahanan neraca air melalui penyimpanan air serta pembenahan sanitasi permukiman pesisir dengan pembangunan modul reaktor limbah.

Usulan pemulihan dan penguatan neraca air tawar pesisir disampaikan berdasarkan keadaan geologi litologi daerah permukiman dan model teknologi yang telah berhasil dikembangkan dan diterapkan di daerah lain (Hantoro, Suprpto, Hadiwisastro, Latif, Airlangga, Handayani, & Kosasih, 2008a). Pendekatan tersebut dilakukan dengan memperhitungkan keadaan setempat dan masalah yang sedang dan akan dihadapi. Ketahanan lingkungan dan sumber daya alam, dalam hal ini air, sangat berperan dan berpengaruh penting terhadap daya saing masyarakat setempat. Hal tersebut dapat digambarkan hubungannya seperti pada Gambar 2.1.



Sumber: Hantoro dkk. (2015)

**Gambar 2.1** Diagram Hubungan Antara Sumber Daya Air, Penguatan Ketahanan Lingkungan, dan Daya Saing Masyarakat

Proses pembangunan dan pengembangan sarana untuk adaptasi dan peningkatan ketahanan SDA harus memperhitungkan setiap unsur lingkungan serta keterpaduan antarpemangku kepentingan secara horizontal maupun vertikal. Oleh karena itu, kajian ilmiah dari para akademisi diperlukan. Sosialisasi konsep dan perspektif pengembangannya perlu disosialisasikan secara luas melalui berbagai media yang mudah dijangkau oleh semua pemangku kepentingan (Yoganingrum, Maryati, Rezaldi, & Hantoro, 2012).

Selain analisis mengenai pemulihan neraca air tawar pesisir, analisis mengenai pentingnya pemulihan dan penguatan lingkungan pesisir dan perairan pun dilakukan. Analisis tersebut dilakukan berdasarkan beberapa hal, yaitu daya dukung ekosistem, tingkat ancaman bahaya alamiah, dan kerusakan antropogen.

Terkait dengan ketersediaan air, sebagai antisipasi dan adaptasi permintaan dan kerentanan neraca hidrologi, dilakukan analisis data geologi, morfologi, dan tutupan lahan. Selain data tersebut, data sebaran kependudukan juga diperlukan untuk memperoleh gambaran sebaran masyarakat terkait penyediaan air. Informasi mengenai rencana tata ruang dan pembangunan jangka menengah dan panjang diperlukan untuk dapat menentukan lebih baik lagi daerah pengembangan berdasarkan kesesuaiannya.

Analisis ini dilakukan guna memperoleh kesesuaian tempat dan keadaan lingkungannya bagi beberapa upaya guna meningkatkan ketahanan ketersediaan air. Hal lain yang perlu diperhitungkan adalah di mana dan bagaimana membangun penyimpanan air tawar yang aman dan berkinerja baik. Untuk keperluan pengembangan reservoir, analisis kesesuaiannya diawali dengan mengenali dan membagi bentang alam. Daratan kepulauan Aru dapat dibagi dalam 7 kelompok, yakni datar-landai, landai bergelombang, bergelombang-berbukit, karst landai, karst bergelombang, berbukit landai, dan berbukit rendah terjal. Berdasarkan kelompok tersebut, diberi 5 tingkat bobot kesesuaian terhadap kesesuaian bangunan reservoir. Kesesuaian geologi juga dibagi dalam 5 kelas terkait dengan jenis litologi dan kerapatan struktur. Kesesuaian daya dukung dan peruntukan lahan dibagi menjadi 5 tingkatan. Informasi mengenai keadaan, status dan rencana peruntukan lahan berikut rencana pengembangan kawasan juga menjadi pertimbangan dalam penentuan prioritas melalui penilaian kesesuaian lahan pembangunan reservoir. Kesesuaian dari beberapa unsur kriteria keadaan alam tersebut kemudian digabung untuk mendapat nilai akhir. Penyampaian gambaran keadaan dan dinamika alam serta kemasyarakatan daerah ini dimaksudkan sebagai acuan untuk memperoleh gambaran perbedaan antara keduanya apabila suatu saat terjadi perubahan akibat pesatnya pembangunan. Informasi mengenai hal ini juga menjadi pertimbangan penentuan letak dan prioritas pengembangan reservoir peningkatan ketersediaan air. Setidaknya diusulkan tiga pendekatan peningkatan ketersediaan air, yaitu melalui penyimpanan di permukaan dengan cara mem-

bangun embung atau reservoir dengan teknologi embung tertutup, injeksi air hujan ke dalam lapisan akuifer dangkal dan dalam, serta sumur optimalisasi air tawar. Sebagai kelengkapan sumur optimalisasi, dibangun reaktor limbah keluarga untuk menghindarkan tercemarnya lapisan sedimen dangkal penyimpanan air. Ketiga teknologi tersebut telah dibuat dan terus dikembangkan di beberapa tempat di kawasan pulau kecil dan pesisir.

Data dan informasi mengenai iklim dan meteorologi menjadi unsur penting dalam dinamika alam yang berpotensi sebagai suatu kejadian ekstrem yang memicu ancaman bahaya. Selain itu, iklim dan meteorologi merupakan bagian penting dari siklus dan neraca hidrologi. Penyimpangan pada siklus dan neraca air—dengan penyebab alamiah maupun kelalaian manusia—berdampak terhadap ketersediaan air, kemudian memicu banyak masalah, misalnya bencana kekeringan dan banjir. Mengetahui dinamika neraca hidrologi pada masa lampau dan upaya mengetahui kecenderungan perubahannya pada masa depan menjadi tantangan dalam membangun rekayasa adaptasi.

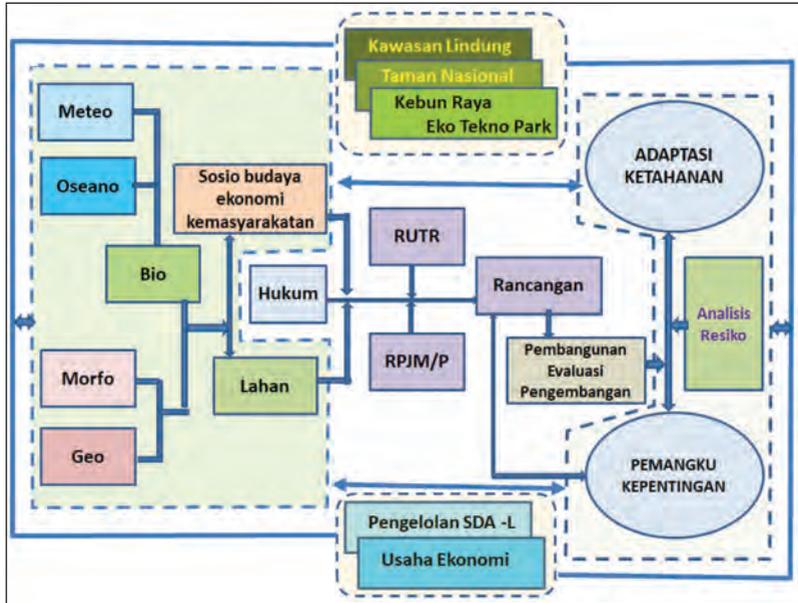
Berdasarkan data statistik dan dokumen tata ruang, terutama sejak pemekaran Kepulauan Aru kurang lebih 10 tahun silam, perubahan besar terlihat dengan adanya peningkatan transportasi dan perbaikan sarana penghubung kawasan ini dengan ibu kota provinsi di Ambon. Perubahan yang cepat ini merupakan dampak dari Aru menjadi simpul basis kapal tangkap ikan samudra selain Tual, untuk perairan Laut Arafura dan Laut Banda. Namun, ada gejala kejadian ekstrem alam yang dapat menjadi ancaman terhadap kegiatan ekonomi tersebut. Data dan informasi terkait siklus dan neraca hidrologi dikemukakan dan dihubungkan dengan ketersediaan air bagi pulau ini.

Data mengenai keadaan laut diperlukan terkait dengan kemunculan kejadian ekstrem yang dapat mengancam pesisir landai dengan muka laut tinggi dan merusak lingkungan, misalnya pencemaran air tawar dan kerusakan sanitasi. Kerentanan ini mengancam kawasan permukiman pesisir, seperti di Dobo, di beberapa permukiman pesisir

di sekeliling pulau utama, dan di beberapa pulau kecil di wilayah timur Aru.

Berdasarkan pemahaman akan keadaan alam dan lingkungan, disusun urutan nilai kesesuaian teknis untuk pembangunan dan pengembangan teknologi penyimpanan dan pengelolaan ketersediaan air bersih. Urutan nilai ini kemudian dihubungkan dengan syarat keadaan sosial kemasyarakatan dan tata ruang serta rencana pengembangan kawasan strategis. Berdasarkan tinjauan keadaan lapangan, dibahas teknis pembangunan teknologi pengelolaan air bersih di beberapa tempat terpilih yang didasarkan pada prioritas pembangunannya. Kawasan cepat berkembang di sekitar Dobo merupakan prioritas utama, menyusul beberapa tempat lainnya sesuai dengan perspektif pengembangan kawasan.

Penguatan neraca air diupayakan melalui penguatan ekosistem yang menjadi unsur dari siklus air. Salah satu unsur tersebut adalah hutan yang utuh di mana air tertahan (*interception*) dan tersimpan sebelum mengalir menjadi badan air. Hutan juga berperan sebagai pengatur iklim lokal dengan apa siklus air berlangsung. Upaya pemulihan dan perlindungan ekosistem ini harus memperhitungkan terjadinya perubahan lingkungan sebagai dampak pembangunan. Perubahan tersebut akan mengorbankan hutan primer sehingga perlu kompensasi ekosistem yang mampu menggantikan peran hutan. Salah satunya adalah pengembangan taman nasional dan kebun raya. Pengembangannya didasarkan pada keseimbangan alam dan proses yang memperhitungkan kelengkapan data pada semua unsur alam yang ada di kawasan yang dimaksud. Dengan alur dan skema analisis pengembangan lingkungan pengganti hutan (Gambar 2.2), diperoleh gambaran tempat, besaran, lingkup peran, dan daya dukung, hingga sumbangan taman nasional dan kebun raya terhadap adaptasi maupun kegiatan semua sektor kehidupan (Gambar 2.1 dan Gambar 2.2). Wacana pembangunan kebun raya dan eko sains teknopark juga disinggung guna melengkapi alasan pengembangan dan pembangunan teknologi ketersediaan air (Gambar 2.2).



Sumber: (Hantoro, dkk. 2017b)

**Gambar 2.2** Diagram Alir Analisis Pengembangan Ekosistem Penguat Daur dan Neraca Air

Dalam dokumen rencana tata ruang dan pembangunan jangka menengah-panjang Kabupaten Kepulauan Aru, dicadangkan kawasan pengembangan perlindungan yang berpotensi sebagai bagian dari lingkungan penguat neraca air. Unsur lingkungan tersebut masih harus ditambah luasan dan sebarannya ke beberapa wilayah yang menjadi sasaran pengembangan kawasan strategis, misalnya Aru Utara dan bagian lain sebagai kawasan pengembangan SDA dan teknologi tinggi, kawasan minapolitan, pertumbuhan cepat, pengembangan wisata, pertahanan dan keamanan, pelestarian sosial budaya, dan pengembangan fungsi serta daya dukung lingkungan.

Dalam buku ini, terdapat sejumlah luaran dari beberapa sistem dan teknologi yang telah dihasilkan untuk diterapkan di Kepulauan Aru. Luaran ini terpisah dengan muatan yang terkait dengan ketahanan kawasan pesisir-pulau kecil dalam bentuk film animasi, komik,

Buku ini tidak diperjualbelikan.

brosur, naskah kebijakan hingga buku teknis sebagai luaran kegiatan kompetitif dan unggulan LIPI (Hantoro dkk, 2014; 2017).

Walau teknologi yang diusulkan telah diterapkan di beberapa tempat dengan hasil memuaskan, masih perlu waktu untuk menguji kinerja dan ketahanannya terhadap kejadian yang dapat berpengaruh pada kinerja atau bahkan merusak teknologi tersebut. Empat hal pokok manfaat dan ketangguhan teknologi tersebut, yaitu

- 1) Kemudahan masyarakat membangun, mengembangkan, dan mengelola (tidak rumit, murah dan mudah memperoleh bahan);
- 2) Menyediakan sumber daya yang diharapkan dari pembangunan teknologi ini saat neraca air tidak tercukupi karena gangguan kekeringan;
- 3) Dapat bertahan dari kerusakan dan tetap pada kinerja dalam memberi ketersediaan air saat terjadi banjir, saat hujan berlebihan maupun genangan air laut ketika muka laut tinggi. Hal sama terhadap terjangan air dan material gelombang tsunami;
- 4) Dapat bertahan terhadap kejadian ekstrem geologi seperti longsor, patahan, dan gempa bumi.

Dengan mempertimbangkan hal tersebut, penelitian dan pengembangan teknologi disesuaikan dengan keadaan di tiap daerah—yang berbeda jenis dan besaran ancaman bencananya. Buku ini ditulis berdasarkan keadaan Pulau Aru yang kerentanannya berbeda dengan pulau kecil lain, tergantung kejadian ekstrem yang mengancam. Kekeringan dan tsunami merupakan kejadian ekstrem yang paling besar kemungkinan terjadinya dan harus dihadapi. Selain itu, gelombang tinggi cuaca buruk perairan terbuka di Laut Arafura dan Banda juga termasuk kejadian ekstrem yang mungkin terjadi.

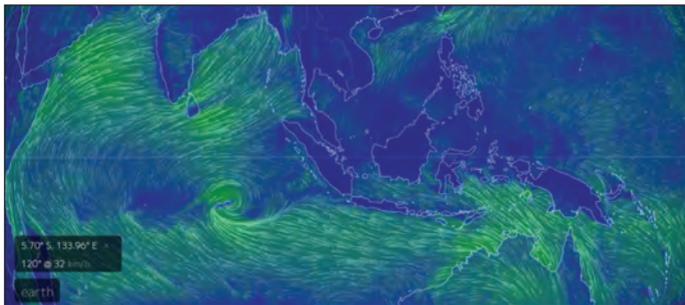
### III

## Keadaan Kepulauan Aru

---

### A. Meteorologi

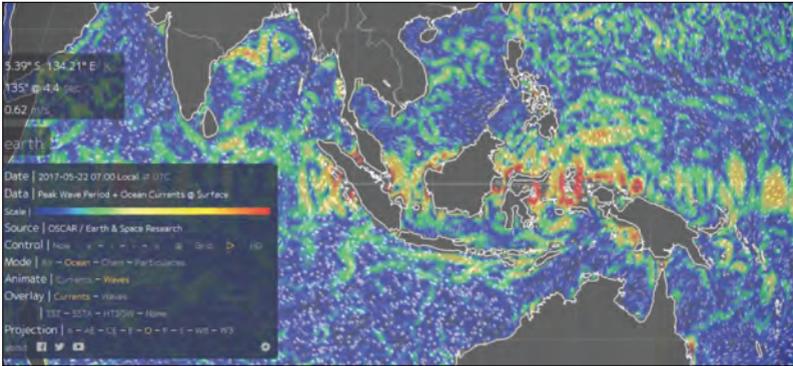
Karena dikelilingi Laut Banda dan Laut Arafura serta berdekatan dengan Benua Australia, Kepulauan Aru berada di antara pengaruh kuat dua kawasan tersebut. Dinamika tekanan udara antara dua kawasan tersebut memicu gerakan masa udara berupa angin yang dapat mencapai kecepatan tinggi di atas 30 km/jam (Gambar 3.1).



Sumber: Nullschool (30 Mei 2017)

**Gambar 3.1** Peta Arah dan Kecepatan Angin Kawasan Indonesia dan Samudra Hindia

Buku ini tidak diperjualbelikan.

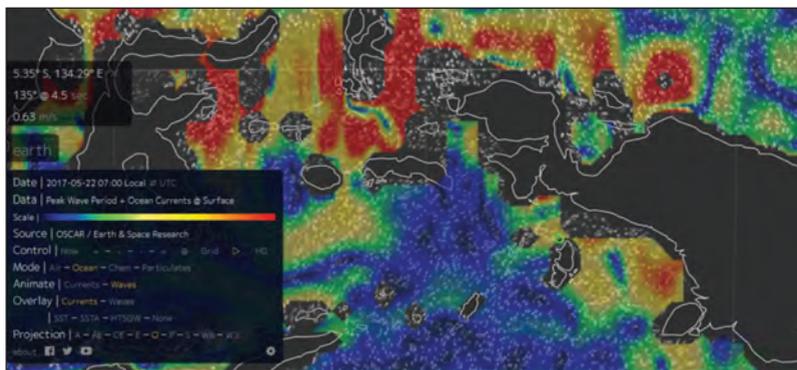


Sumber: Nullschool (30 Mei 2017)

**Gambar 3.2** Peta Arah dan Kecepatan Arus serta Gelombang Kawasan Indonesia dan Samudra Hindia

Kecepatan dan arah angin menggerakkan massa air sebagai arus permukaan dengan kecepatan 0,63 m/detik di sekitar utara Aru dan gelombang yang berarah  $135^{\circ}$  @ 4,0 detik yang dapat memberi ancaman di perairan dan pesisir. Di perairan lepas Laut Banda, ketinggian gelombang dapat mencapai 2,51 m dengan arah dan periode  $100^{\circ}$  @ 8,4 detik (Gambar 3.2 dan Gambar 3.3). Keadaan ini sangat dinamis dan mencapai maksimum saat kejadian ekstrem cuaca, yakni ketika terjadi badai tropis di belahan selatan ekuator di sekitar Laut Aru. Gelombang di perairan barat kepulauan Aru pada Mei dipengaruhi oleh keadaan di Samudra Hindia dan Laut Banda (Gambar 3.2 dan Gambar 3.3) dengan periode 4,5 detik dan arus berkecepatan 0,63 m/detik (perairan sekitar Dobo, Pulau Womar).

Informasi ini penting dalam perencanaan pengembangan ketahanan dan adaptasi kawasan pesisir terhadap ancaman kejadian ekstrem laut. Informasi cuaca dan iklim juga penting bagi perencanaan pengembangan kawasan tertentu terkait dengan pengelolaan sumber daya laut perikanan tangkap dan budi daya.



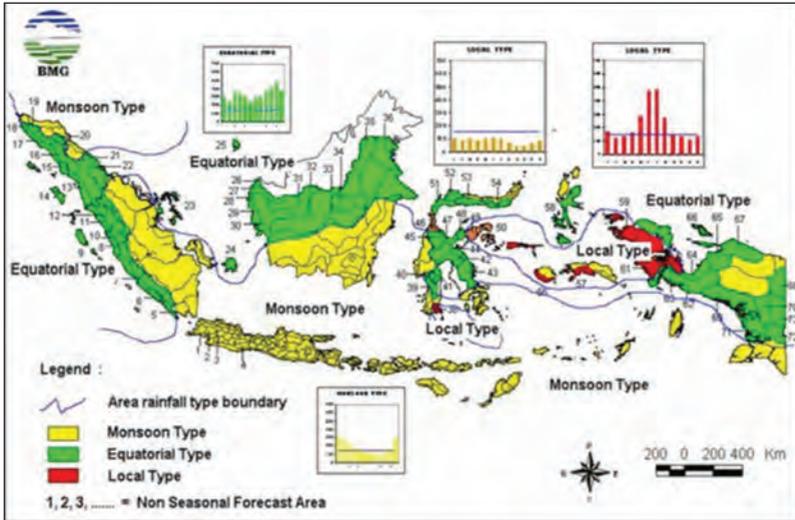
Sumber: Nullschool (30 Mei 2017)

**Gambar 3.3** Peta Arah dan Kecepatan Arus serta Gelombang Kawasan Indonesia Timur (Kepulauan Aru dan sekitarnya)

Berdasarkan pemintakatan hujan di Indonesia, Kepulauan Aru berada pada kawasan yang hujannya dipengaruhi oleh putaran musim atau jenis monsunal (Gambar 3.4). Pada jarak yang tidak terlalu jauh dengan kawasan ini, pola hujan ditandai oleh jenis ekuatorial (Papua Selatan) dan lokal (Ambon dan Papua Barat bagian utara) (Aldrian & Susanto, 2003).

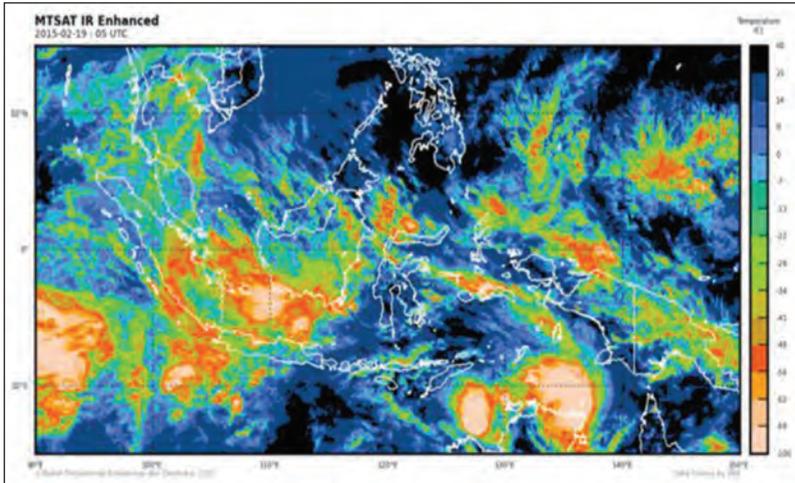
Formasi awan tebal menyebar di kawasan ini saat musim basah (Gambar 3.5) pada akhir dan awal tahun, sementara formasi awan sangat tipis dan nyaris tidak terbentuk saat musim kering pada pertengahan tahun (Gambar 3.6). Sebagai pulau datar tanpa tinggian gunung di perairan laut luas, distribusi awan dan hujan di kawasan ini cenderung menyebar merata. Sementara itu, morfologi landai tanpa tinggian mengurangi peluang hujan orografi. Beda kuat suhu dan tekanan udara antara darat dan laut memungkinkan terbentuknya pembubungan kelembapan yang membentuk awan hujan. Jenis hujan

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: BMKG (2011a)

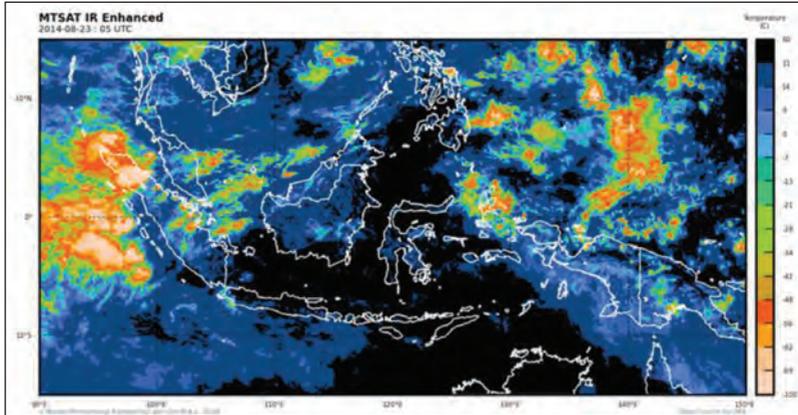
**Gambar 3.4** Pembagian Mintakat Hujan di Benua Maritim Indonesia



Sumber: BMKG (2015)

**Gambar 3.5** Citra satelit Sebaran Formasi Awan Hujan di Indonesia dan Sekitarnya pada Februari 2015

Buku ini tidak diperjualbelikan.

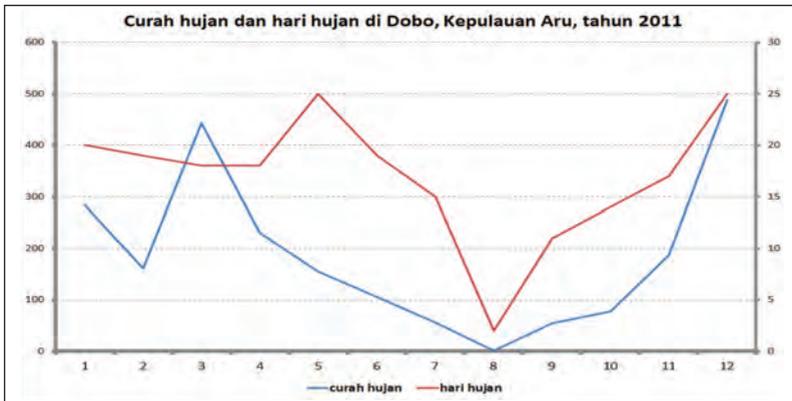


Sumber: BMKG (2015)

**Gambar 3.6** Citra Satelit Sebaran Formasi Awan Hujan di Indonesia dan Sekitarnya pada Agustus 2014

siklon berpotensi kuat mengingat kawasan ini berdekatan dengan jalur siklon tropis belahan selatan.

Informasi keadaan cuaca Kepulauan Aru dan perairan di sekitarnya diperoleh dari stasiun BMKG di bandara Dobo yang baru beroperasi kurang lebih 1 tahun. Informasi lain diperoleh dari stasiun BMKG di Tual serta sumber data cuaca-iklim dari pusat data



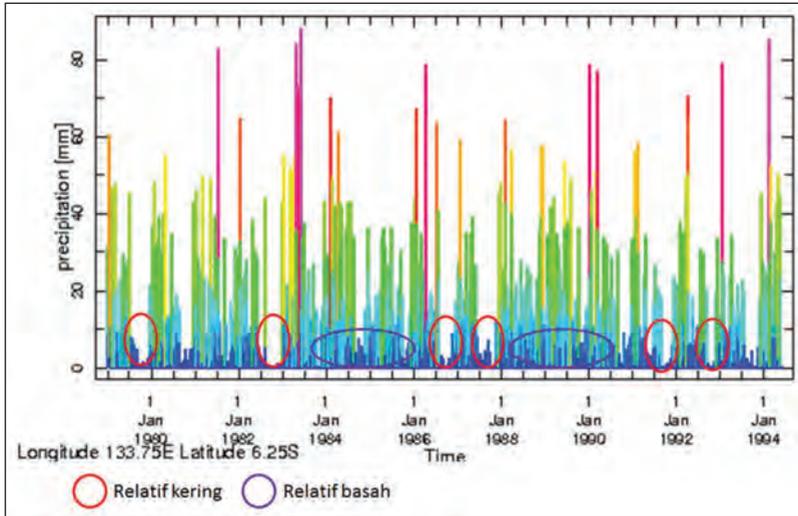
Sumber: BMKG Dobo (2011)

**Gambar 3.7** Kurva Curah Hujan dan Hari Hujan Tahun 2011 di Dobo, Kepulauan Aru

Buku ini tidak diperjualbelikan.

internasional. Data cuaca iklim spasial kawasan ini memiliki resolusi dan kualitas yang terbatas.

Berdasarkan data meteorologi terbatas hasil pencatatan BMKG (tahun 2011) di Dobo, diperoleh gambaran bahwa total curah hujan tercatat sebesar 2241,8 mm/tahun dengan distribusi hari hujan dan curah hujan hampir identik. Namun, terdapat perbedaan pada capai-

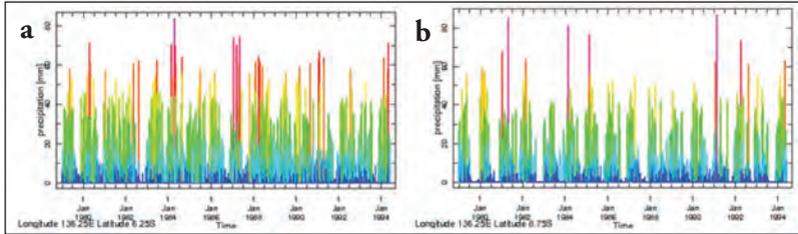


Sumber: CDIAC IGOS (2012)

**Gambar 3.8** Kurva presipitasi bulanan dari tahun 1979 hingga 1994 di kawasan sekitar Kepulauan Aru (133.75E-06.25S).

an maksimal awal tahun hujan pada Maret dan Desember, sementara hari hujan maksimal pada Mei dan Desember (Gambar 3.7).

Perbandingan antara dua tempat dengan bujur yang sama dan lintang berbeda (136.25E-06.25S dengan 136,25E-08.75S) (Gambar



Sumber: CDIAC IGOSS (2012)

**Gambar 3.9** (a) Kurva presipitasi bulanan dari tahun 1979 hingga 1994 di kawasan sekitar Kepulauan Aru bagian utara (136.25E-06.25S). (b) Kurva presipitasi bulanan dari tahun 1979 hingga 1994 di kawasan sekitar Kepulauan Aru bagian selatan (136.25E-08.75S).

3.9a dan Gambar 3.9b) memperlihatkan adanya perbedaan kerapatan hujan bulanan.

Walaupun tidak tersedia data cuaca yang mewakili bagian selatan, berdasarkan data curah hujan tersebut, ditafsirkan adanya perbedaan kerapatan hujan antara bagian utara dan selatan Aru. Namun, tidak terdapat perbedaan antara kerapatan hujan pada tempat dengan lintang yang sama dengan bujur yang berbeda (Gambar 3.8 dengan Gambar 3.9a). Keadaan ini diperkuat oleh keadaan tutupan lahan antara bagian utara dan bagian selatan yang berbeda. Aru bagian utara ditandai oleh luasnya lahan basah dan kerapatan hutan, sementara Aru bagian selatan ditandai oleh luasnya lahan kering dan terbuka dengan selingan semak (Gambar 3.29). Sebaliknya, dapat dipertanyakan apakah kehadiran Pulau Aru berperan sebagai regulator iklim mikro di perairan Arafura. Hal ini karena kerusakan lingkungan pulau ini dapat berisiko pada terjadinya perubahan dinamika cuaca di kawasan sekitarnya.

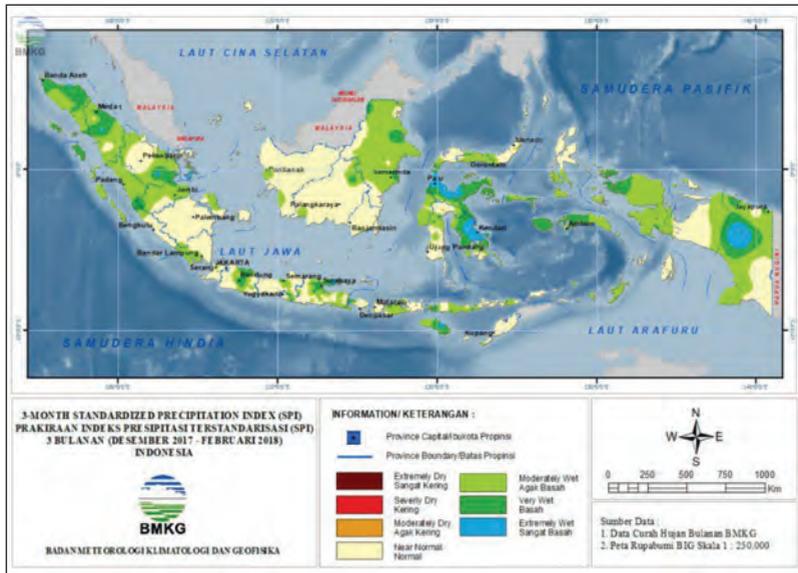
Berdasarkan catatan curah hujan bulanan sejak 1990 hingga 1995, terlihat perubahan yang tampaknya beriringan dengan gejala ENSO. Kondisi ini membuat kawasan Aru menghadapi rendahnya kekurangan air meteorik pada tahun tertentu, tetapi berlimpah pada waktu lain. Kondisi demikian memberi peluang dalam memperoleh air pada satu waktu, yakni saat keberadaannya berlebih. Peluang ini

Buku ini tidak diperjualbelikan.

banyak terlewatkan saat kelebihan air yang tidak sempat meresap menjadi air larian permukaan dan mengalir ke laut.

Kecenderungan perubahan data curah hujan yang tergambar dan dapat dihitung dari waktu ke waktu tersebut memberi gambaran perulangan dari skala waktu dan besarnya. Berdasarkan hal tersebut, perubahan neraca hidrologi dari waktu ke waktu dan ketersediaan air dapat diketahui. Berapa banyak air yang meresap tersimpan atau terbuang ke laut serta berapa keperluan yang harus tersedia saat menghadapi musim kering panjang dan dari mana air tawar diperoleh pun dapat dicari tahu. Informasi tersebut dapat diturunkan pada berapa banyak dan bagaimana air dapat disimpan dan dipergunakan saat diperlukan.

Terkait dengan neraca hidrologi pulau, diperlukan data cuaca yang pengolahannya memberikan indeks hujan (*Standart Precipitation Indeks/SPI*). Informasi ini memberi gambaran mengenai curah hujan



Sumber: BMKG (2018)

**Gambar 3.10** Peta *Standard Precipitation Index (SPI)* Wilayah Indonesia pada Desember–Januari Tahun 2017–2018

Buku ini tidak diperjualbelikan.

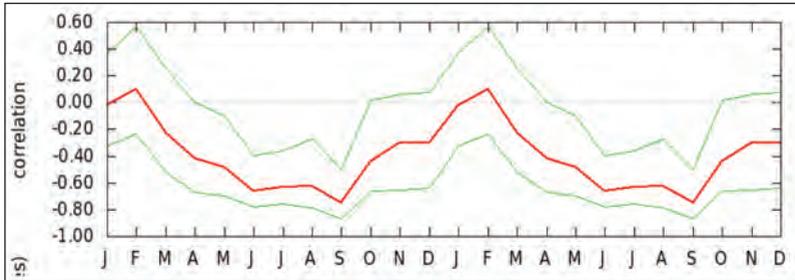
dalam suatu satuan waktu untuk suatu kawasan (Gambar 3.10). Pada puncak musim basah monsunal antara Desember hingga Januari, indeks hujan di kawasan kepulauan Aru umumnya berada pada keadaan normal. Pada keadaan demikian, air meteorik di Kepulauan Aru cukup untuk menjaga neraca hidrologi pada tingkat keperluan pada saat sekarang untuk sistem air perkotaan/permukiman dan budi daya terbatas (perkebunan dan pertanian ladang).

Aspek cuaca keikliman yang perlu diperhatikan adalah kemunculan suatu penyimpangan pada skala regional atau global yang berpengaruh terhadap cuaca setempat. Salah satu gejalanya adalah fenomena ENSO yang kemunculannya berhubungan dengan perubahan curah hujan (Tabel 1 dan Gambar 3.11). Guna mengetahui keadaan cuaca kawasan Kepulauan Aru, digunakan data Kepulauan Tual yang diperoleh dari GHCN. Jarak Kepulauan Tual ke Kepulauan Aru adalah antara 150–200 km (ujung utara dan selatan). Stasiun

**Tabel 1.** Indeks Hubungan Antara Kemunculan ENSO dengan Cuaca

	bulan	Lag	corr	p	no	95% CI
NINO3.4	Jan–Mar	-2	-0,022	0,9152	25	-0,32... 0,37
NINO3.4	Feb–Apr	-2	0,095	0,6529	25	-0,23... 0,57
NINO3.4	Mar–Mei	-2	-0,227	0,2757	25	-0,52... 0,25
NINO3.4	Apr–Juni	-2	-0,418	0,0374	25	-0,67... 0,00
NINO3.4	Mei–Juli	-2	-0,481	0,0150	25	-0,70... -0,10
NINO3.4	Juni–Aug	-2	-0,658	0,0004	25	-0,78... -0,39
NINO3.4	Juli–Sep	-2	-0,630	0,0007	25	-0,76... -0,36
NINO3.4	Aug–Okt	-2	-0,622	0,0009	25	-0,79... -0,27
NINO3.4	Sep–Nov	-2	-0,748	0,0000	25	-0,86... -0,50
NINO3.4	Okt–Des	-2	-0,438	0,0284	25	-0,66... 0,02
NINO3.4	Nov–Jan	-2	-0,301	0,1532	24	-0,66... 0,06
NINO3.4	Des–Feb	-2	-0,301	0,1525	24	-0,64... 0,08

Sumber: Menne dkk. (2012)



Sumber: GHCN (2018)

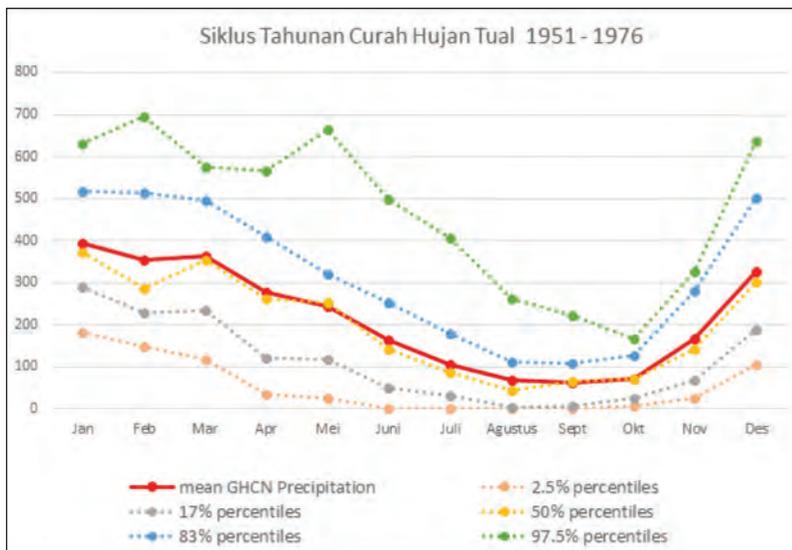
**Gambar 3.11** Korelasi Curah Hujan di Tual dengan Kemunculan Gejala ENSO

Tual dapat dianggap mewakili kawasan Laut Banda bagian tenggara dan perairan Laut Arafura.

Dari Gambar 3.11, terlihat bahwa pola curah hujan di kawasan ini memiliki ciri monsunial. Bulan dengan curah hujan dan tinggi berada pada pertengahan dan akhir/awal tahun. Keadaan ini dapat diartikan bahwa penyimpanan air hanya cukup untuk pemenuhan satu tahun kebutuhan. Perpanjangan bulan kering dapat mengakibatkan kekurangan persediaan pada tahun berikutnya. Bila musim hujan lebih lama, belum tentu kapasitas reservoir mampu menyimpan, dengan kata lain, air hujan terbuang. Penghitungan antara air hujan dan kapasitas penyimpanan menjadi acuan untuk menentukan jenis dan besarnya reservoir yang harus disiapkan.

Korelasi antara curah hujan dengan kejadian ENSO dinyatakan oleh garis merah, sedangkan garis hijau menunjukkan tingkat *confidencial* 95%. Korelasi curah hujan terhadap Nino 3.4 ini dibuat dalam rata-rata 3 bulanan. Korelasi curah hujan Tual dengan ENSO sebesar -0,748. Artinya, apabila terjadi El Nino, akan berdampak pada pengurangan curah hujan tertinggi sebesar 74,8% pada September, Oktober, dan November, dengan selisih waktu terlambat 2 bulan dari saat fenomena ENSO. Apabila terjadi La Nina, hujan akan bertambah, dengan selisih waktu terlambat 2 bulan. Nilai korelasi -0,748 merupakan nilai yang tinggi. Pada keadaan demikian, kawasan ini berpeluang mengalami perubahan neraca hidrologi yang dapat terjadi setiap 5–7 tahun periode kemunculan ENSO. Hal ini

Buku ini tidak diperjualbelikan.



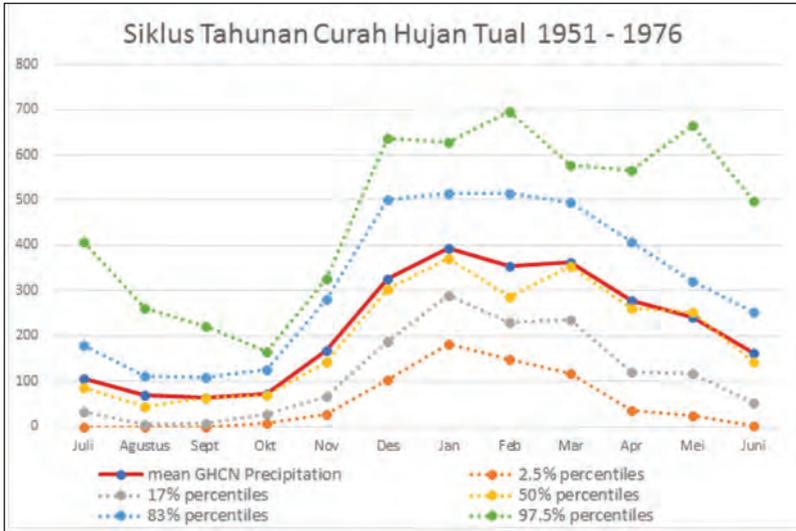
Sumber: KNMI (2018)

**Gambar 3.12** Siklus Curah Hujan Tahunan untuk Kepulauan Tual, Daerah Terdekat dengan Aru, Data dari Tahun 1951–1976. Penurunan Landai pada Kurva Curah Hujan Bulanan dari Januari hingga Agustus

menjadi pertimbangan pada penentuan pembangunan reservoir dan pengelolaan airnya.

Kedua grafik (Gambar 3.12 dan Gambar 3.13) memperlihatkan perubahan curah hujan dalam satu tahun. Grafik menunjukkan curah hujan yang mengalami penurunan dari hujan maksimum sejak Desember. Curah mencapai puncak pada Januari. Pada grafik, curah hujan menurun sedikit hingga Maret dan semakin menurun hingga posisi terendah pada September. Puncak curah hujan selama 3 bulan memberi peluang bagi upaya pengumpulan dan penyimpanan air di reservoir. Penyimpanan masih dapat diteruskan bersamaan dengan dimulainya pemakaian air hingga pertengahan Juni. Pemakaian air semakin meningkat, sementara penyimpanan berkurang seiring berkurangnya volume hujan yang dapat disimpan—karena reservoir lebih diutamakan untuk menyimpan air baku. Keperluan air rumah

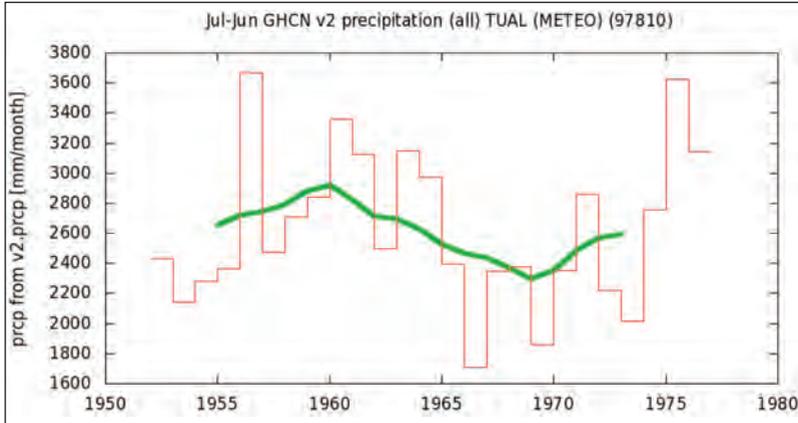
Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: KNMI (2018)

**Gambar 3.13** Siklus Curah Hujan Tahunan untuk Kepulauan Tual, Data dari Tahun 1951–1976. Kenaikan Tajam pada Kurva Curah Hujan Bulanan dari Oktober hingga Januari

tangga masih dapat diimbangi hingga Juni, tetapi mulai memerlukan penambahan saat memasuki bulan Juli. Sementara itu, perubahan dari curah hujan minimum ke maksimum berlangsung lebih cepat. Setelah mengalami curah hujan minimum selama 3 bulan, bulan Oktober ditandai dengan kenaikan curah hujan dengan cepat. Hal ini berlangsung selama 2 bulan hingga mencapai puncak pada Desember. Keadaan ini mengingatkan bahwa masa dimulainya penyimpanan air setidaknya sudah harus dimulai pada November hingga Februari. Masa 4 bulan dianggap cukup untuk memenuhi jumlah yang harus disediakan untuk keperluan saat musim kering. Masalahnya, bila ENSO La Nino memperpanjang masa kering hingga dua bulan dan mempercepatnya pada tahun berikutnya, bulan kering akan semakin panjang dan hanya memiliki bulan basah sangat singkat, yakni pada bulan Januari.



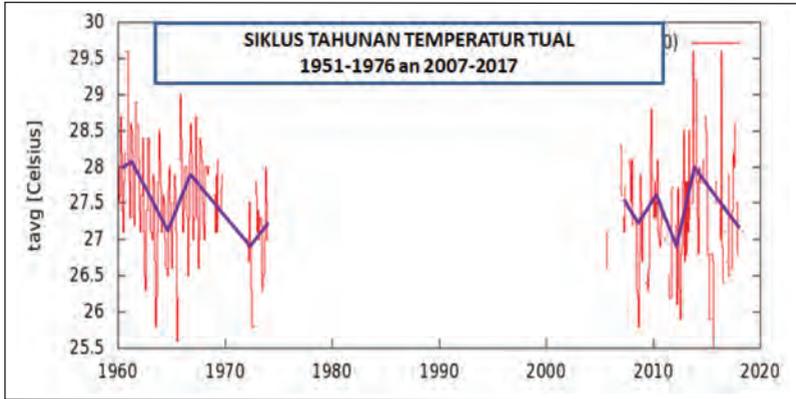
Sumber: KNMI (2018)

**Gambar 3.14** Pola Curah Hujan Tahunan di Kepulauan Tual

Berdasarkan data *GHCN-Climate Setting* di stasiun Tual, curah hujan bulanan di Kepulauan Tual bertipe lokal dengan pengaruh monsonal dan puncak hujan terjadi pada Januari. Curah hujan bulanan berkisar antara 90 mm–400 mm (Gambar 3.11, 3.12, dan 3.13), sedangkan curah hujan tahunan berkisar antara 2.400 mm–3.000 mm (Gambar 3.14). Temperatur rata-rata berada pada kisaran 26,5–28°C (Gambar 3.16).

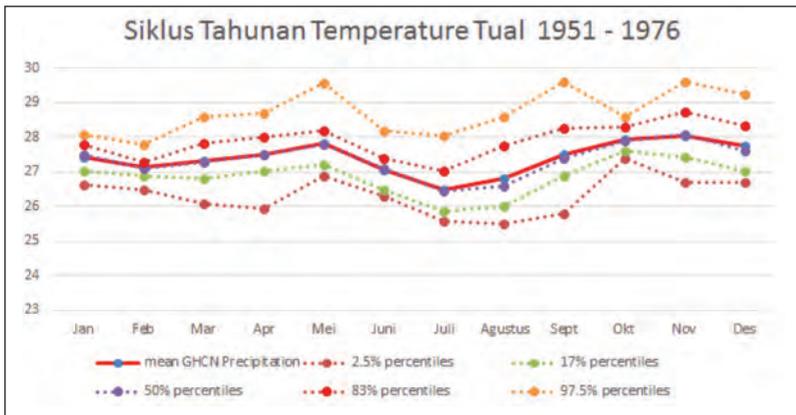
Berdasarkan data terbatas dari tahun 1951–1071 dan 2007–2017, keadaan suhu di perairan Laut Arafura dan Laut Banda tenggara memperlihatkan perubahan pada putaran 5 tahunan (Gambar 3.17). Perubahan suhu yang berkaitan dengan kemunculan ENSO tersebut memberi peringatan adanya perubahan curah hujan berupa pergeseran bulan hujan. Perubahan pola bulanan dalam satu tahun memperlihatkan suhu yang relatif turun pada Juli; hal ini diperkirakan berhubungan dengan musim dingin di Benua Australia (Gambar 3.15).

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: KNMI (2018)

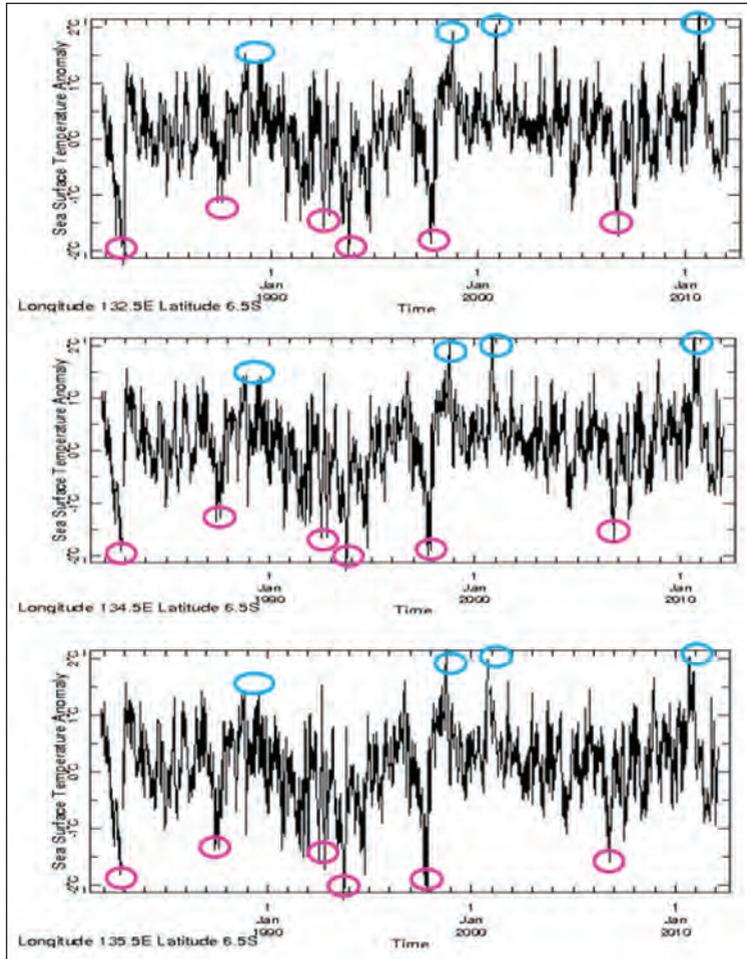
**Gambar 3.15** Pola Perubahan Temperatur Tahunan di Kepulauan Tual



Sumber: KNMI (2018)

**Gambar 3.16** Pola Temperatur Udara Tahunan di Kepulauan Tual

Selain memberi tanda perubahan distribusi hujan bulanan, keadaan suhu juga menandai keadaan cuaca, seperti tekanan udara, kecepatan dan arah angin yang berpengaruh pada neraca hidrologi.



Sumber: IGOSS NMC SSTA (2017)

**Gambar 3.17** Kurva Perubahan Suhu Anomali Permukaan Laut Kawasan Sekitar Kepulauan Aru di Beberapa Tempat (Laut Banda, Perairan Dekat Aru dan Laut Arafura)

## B. Kelautan

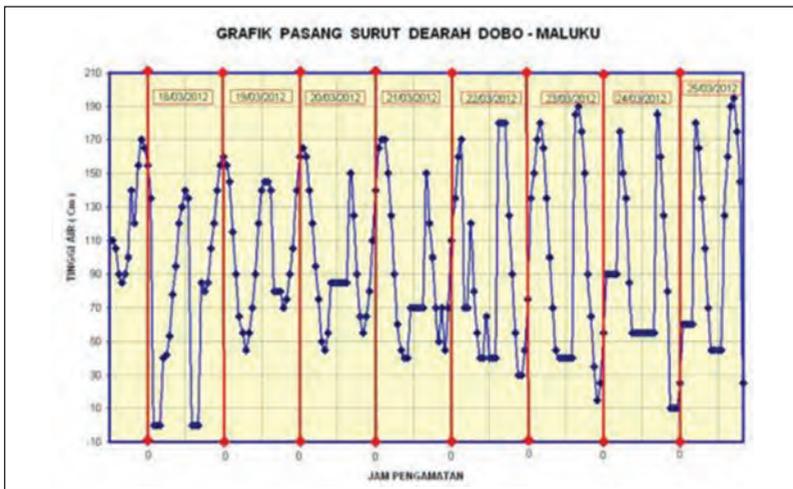
Suhu permukaan laut kawasan perairan sekitar Kepulauan Aru memperlihatkan kepekaan terhadap perubahan suhu global terkait dengan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

gejala ENSO. Kurva anomali suhu permukaan perairan Laut Banda dan Laut Arafura (Gambar 3.17) memberi gambaran perubahan yang mengikuti kejadian ENSO El Nino maupun La Nina.

Data ini memperkuat analisis kedekatan hubungan antara curah hujan dan ENSO di kawasan sekitar Kepulauan Aru yang berdampak pada pergeseran bulan hujan. Data juga memberi peringatan bahwa neraca air di kawasan ini sangat peka terhadap gejala ENSO. Berdasarkan hal tersebut, rancangan peningkatan ketersediaan air harus memperhitungkan kemungkinan perlunya cadangan yang cukup besar untuk mengatasi masalah kekurangan air. Kawasan pengembangan teknologi diutamakan dipilih dari kawasan yang rentan dalam hal ketersediaan air, misalnya di permukiman padat dan kawasan strategis lainnya.

Perubahan muka laut harian pasang surut berikut berapa jauh jangkauannya ke darat merupakan contoh informasi yang diperlukan.



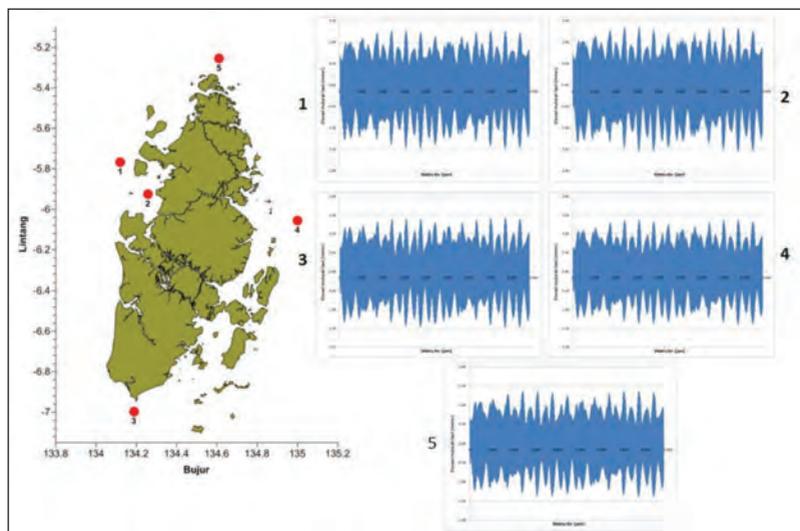
Sumber: (Hantoro dkk, 2017b dan 2017c)

**Gambar 3.18** Pola Pasang Surut Harian di Dobo Berdasar Pengukuran Selama 8 Hari

Data hasil pengukuran pantai sisi utara kota di Dobo selama beberapa hari memberi gambaran ketinggian puncak dan dasar pasang surut (Gambar 3.18). Hasil memperlihatkan perubahan tinggi muka laut pada saat pengukuran mencapai 200 cm. Perbedaan besar perubahan ketinggian melibatkan perpindahan masa air laut yang memicu arus kuat, terutama di estuari dan alur lembah yang membelah pulau.

Perubahan harian muka laut di perairan sekitar Aru di beberapa titik memperlihatkan pola yang sama (Gambar 3.19). Pasang surut di sekeliling kepulauan ini melibatkan gerakan masa air dari perairan di sebelah barat Laut Banda dan di bagian timur Laut Arafura.

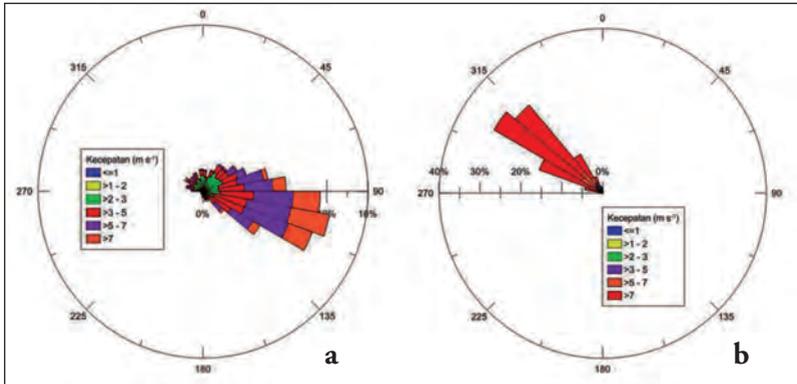
Data berikutnya adalah arah dan kecepatan angin yang didasarkan pada penurunan ketinggian gelombang di beberapa tempat di sekitar Aru. Arah, kecepatan, dan lama embusan angin memberikan gambaran arah dan ketinggian gelombang yang ditimbulkannya. Pada model diagram terlihat bahwa distribusi arah umum tiupan angin bersamaan dengan pola perubahan musim (Gambar 3.20a dan 3.20b).



Sumber: Hantoro dkk, 2017 b dan c

**Gambar 3.19** Model Pola Pasang Surut Harian di Perairan di Sekitar Kepulauan Aru

Buku ini tidak diperjualbelikan.

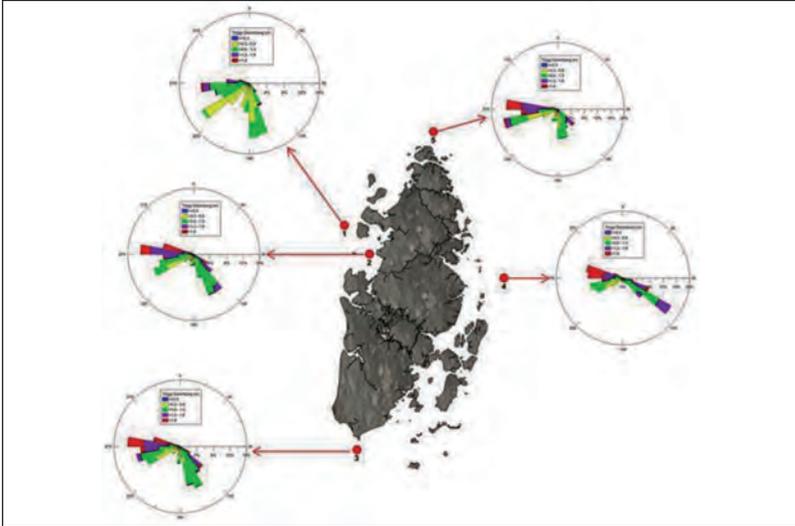


Sumber: Aziz dalam Hantoro dkk. (2014)

**Gambar 3.20 (a) dan (b).** Diagram Distribusi Arah dan Kecepatan Angin Rata-Rata Maksimum Harian di Perairan Kepulauan Aru

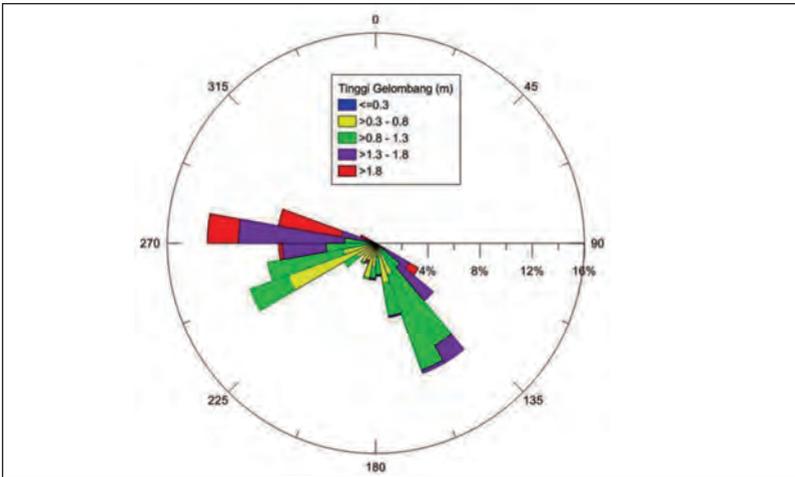
Kecepatan angin baratan mencapai 7 m/detik pada musim hujan, terutama dari arah barat dengan penyebaran kecepatan relatif merata, dan ditandai oleh munculnya angin dari arah berbeda dengan kecepatan rendah. Musim kering ditandai oleh angin tenggara yang distribusi kecepatannya hampir maksimal mencapai 7 m/detik. Berdasarkan arah dan kecepatan angin ini, dapat diturunkan model arah dan kecepatan gelombang rata-rata untuk kawasan Aru dengan distribusi ke arah barat dan ke tenggara dengan ketinggian mencapai > 1,8 m (Gambar 3.21).

Berdasarkan model regional yang memperhitungkan aliran udara saat badai tropis, rata-rata ketinggian gelombang di perairan sekitar Aru dapat mencapai 3 m (Aziz dalam Hantoro dkk., 2014) dan meningkat ke arah selatan ke Laut Arafura (Gambar 3.23 dan 3.24). Pada keadaan cuaca dan perairan tersebut, pantai timur Aru merupakan daerah yang mengalami hantaman gelombang yang jauh lebih kuat dibandingkan pesisir dan pantai barat. Kecepatan angin dan ketinggian gelombang di perairan bagian timur kepulauan dapat mencapai maksimal dengan distribusi kejadian yang hampir seragam bila dibandingkan perairan bagian barat yang memiliki distribusi kecepatan dan arah lebih beragam.



Sumber: Aziz (2014); Latif (2014)

**Gambar 3.21** Diagram Distribusi Arah dan Ketinggian Gelombang Perairan Barat dan Timur Kepulauan Aru



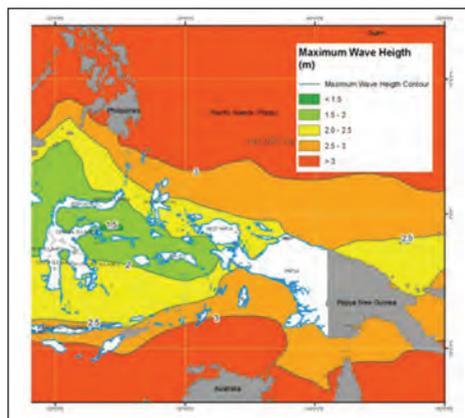
Sumber: Aziz (2014)

**Gambar 3.22** Diagram Distribusi Arah dan Ketinggian Gelombang Rata-Rata Kawasan Sekitar Kepulauan Aru

Buku ini tidak diperjualbelikan.

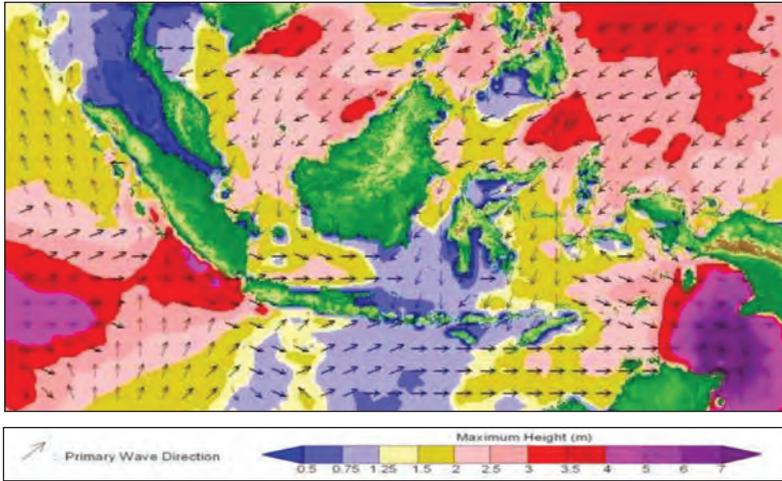
Kecepatan tinggi angin di perairan terbuka sekitar Laut Arafura terpicu oleh perbedaan tekanan udara ekstrem antara daratan Australia dengan perairan Banda. Keadaan ini kemudian membangkitkan gelombang kuat yang dapat mencapai 6 hingga 7 m ketinggiannya (Gambar 3.23 dan Gambar 3.24). Kekuatan gelombang ini bila melanda pantai gugusan pulau di Kepulauan Aru dapat menjadi ancaman serius bagi kondisi fisik pada tebing atau mangrove dan hutan pantainya. Limpasan air ke darat secara berangsur mengisi dan membuat air tawar yang telah ada pada akuifer dangkal tercemar dan sulit untuk dipulihkan dengan hanya mengandalkan air hujan. Tingginya gelombang ini bagi ekosistem pantai Kepulauan Aru tampaknya dapat diredam oleh ekosistem yang telah lama terbentuk oleh keseimbangan alam menumbuhkan terumbu karang dan mangrove sebagai pelindung pantai.

Berdasarkan model rata-rata ketinggian gelombang, kawasan Aru menghadapi ancaman gelombang yang mencapai 3 meter. Gelombang menghantam pantai sisi barat maupun timur (Gambar 3.22, 3.23, dan 3.24) pada waktu tertentu tergantung musim. Pantai sisi barat



Sumber: Latif (2014a)

**Gambar 3.23** Peta Model Ketinggian Maksimum Gelombang di Perairan Laut Banda dan Sekitarnya



Sumber: BMKG (2015)

**Gambar 3.24** Peta model gelombang berlaku untuk tanggal 18 Februari 2015 berdasarkan data kecepatan angin.



Sumber: Nullschool (2017)

**Gambar 3.25** Peta model gelombang berlaku untuk tanggal 31 Mei 2017 berdasarkan data kecepatan angin.

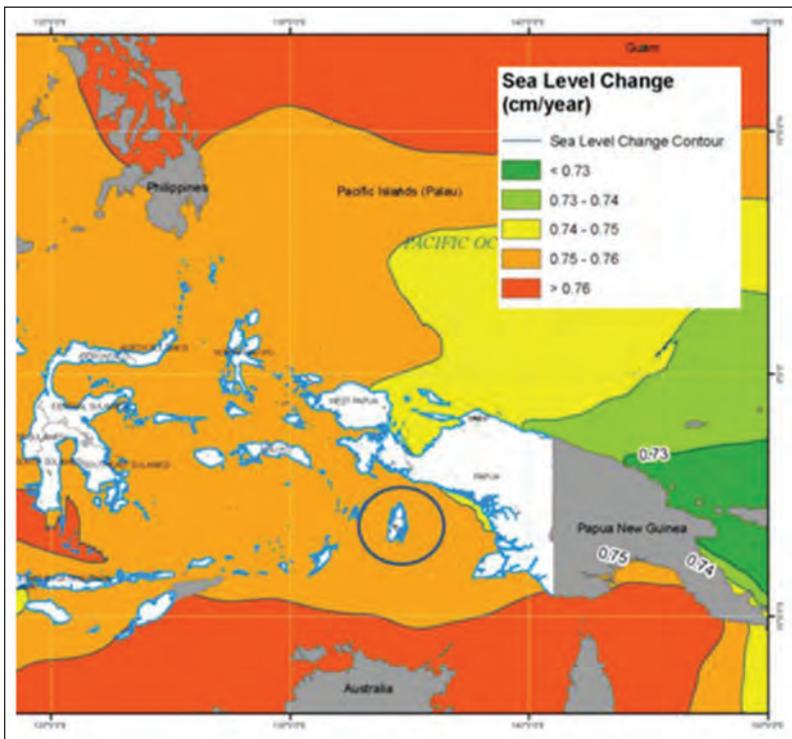
daya Aru menjadi bagian yang paling lama terpapar gelombang tinggi (Gambar 3.21 dan Gambar 3.22).

Beberapa tempat di wilayah pantai di Pulau Womar dan wilayah pulau utama (sisi barat) telah mengalami perambahan pada mangrovenya. Pantai pun telah mengalami penggerusan dengan kecepatan

hingga 1–2 m selama lima tahun terakhir, seperti di pantai Desa Durjela dan Wangel.

Kecepatan angin dan ketinggian gelombang kawasan ini mencapai puncak pada saat musim tenggara atau ketika terjadi cuaca ekstrem terkait kemunculan badai tropis. Pada akhir Mei 2017, ketinggian gelombang di sekitar Pulau Womar di Aru utara adalah sebesar 0,7 m (Gambar 3.25).

Unsur ketinggian gelombang dan pasang maksimum diperlukan untuk mengetahui hingga berapa jauh air laut diempaskan naik ke pantai ke permukiman. Penggenangan permukiman oleh air laut (yang kemudian meresap) akan mencemari air tawar di dalam lapisan



Sumber: Latif (2014b)

**Gambar 3.26** Peta Kecenderungan Kenaikan Muka Laut Estatik

Buku ini tidak diperjualbelikan.

permukaan sedimen. Pencemaran ini tidak mudah diimbangi oleh resapan air hujan pada saat musim hujan. Ketebalan lapisan air tawar berangsur menipis digantikan oleh air asin.

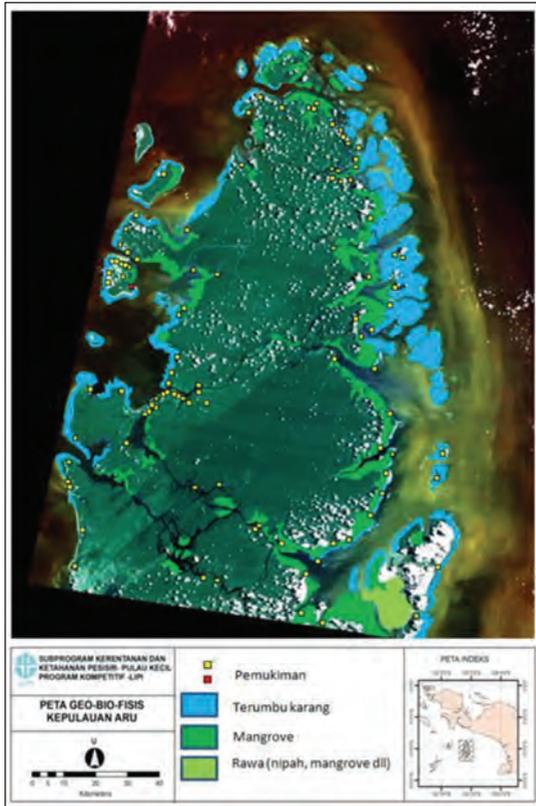
Pesisir landai Kepulauan Aru menghadapi ancaman penggenangan karena gelombang tinggi dan penurunan lahan. Selain itu, wilayah ini juga menghadapi kecenderungan ancaman penggenangan dari kenaikan muka laut terkait gejala kenaikan muka laut eustatik. Peta model kecenderungan kenaikan muka laut di sekitar perairan Kepulauan Aru (Gambar 3.26) memperlihatkan kecepatan 0,75 cm/tahun atau mendekati kecenderungan pesimistik menurut IPCC sebesar 1 cm/th (IPCC, 2007).

Kecenderungan tersebut bila dikaitkan dengan kecenderungan penurunan tektonik yang sebagaimana teramati di pesisir timur akan menghadapi Kepulauan Aru pada kerentanan yang serius dalam hal penggenangan air laut. Di pesisir landai, setiap penurunan permukaan daratan yang diiringi kenaikan muka laut berakibat semakin jauhnya jangkauan limpasan dan genangan air laut (Hantoro dkk., 2008a).

### **C. Fisiografi pesisir dan pulau kecil Kepulauan Aru**

Kepulauan Aru terdiri atas pulau utama dan beberapa pulau kecil di sekelilingnya. Kawasan kepulauan ini memanjang arah utara selatan, berukuran kurang lebih 150 km panjang dan 85 km lebarnya. Kepulauan ini terletak di perairan dangkal paparan tepi kontinen Sahul di suatu mintakat geologi stabil yang memberi daratan landai (Gambar 3.27).

Pesisir barat pulau umumnya berupa pantai terbuka, tetapi sebagian lagi tertutup mangrove, seperti yang berada di balik Pulau Wamar (Gambar 3.27). Sebagian pesisir barat berupa pantai dengan tebing rendah tetapi relatif curam dengan daratan belakang pantai berupa dataran dengan tutupan hutan yang sebagian telah terbuka sebagai kebun, terutama di sekitar permukiman (Gambar 1.3 dan Gambar 3.27). Pulau-pulau di perairan barat Aru merupakan pulau



Peta dasar, sumber: Landsat (2007)

**Gambar 3.27** Citra Satelit dan Sebaran Ekosistem Perairan (Terumbu Karang) dan Pantai (Mangrove dan Rawa Pantai) di Kepulauan Aru Bagian Utara

landai berpantai pasir terbuka. Sementara itu, pulau-pulau di perairan timur Aru merupakan bagian yang semula suatu tinggian yang muncul setelah genang laut susut dari tinggi puncak muka laut dan mengeringkan daratan yang telah tertutup endapan Holosen berupa lempung dan napal laut dangkal. Keadaan ini menjadikan tinggian tersebut sebagai pulau-pulau kecil.

Landai dan dangkalnya perairan di sekeliling kepulauan memberi kesempatan terumbu karang terbentuk luas. Namun, sebagian terumbu karang tersebut berada pada tekanan kekeruhan sedimen dari muara dan resuspensi sedimen dasar laut dangkal yang teraduk oleh gelombang. Terumbu yang lebih baik pertumbuhannya berada di pesisir barat, timur laut, dan tenggara yang relatif terbebas dari suspensi dibanding sisi timur (Gambar 3.27). Sementara itu, perairan sekitar muara di belakang pulau-pulau di perairan timur yang terganggu suspensi, terumbu karangnya masih tumbuh kurang baik, dan rataannya umumnya berupa padang lamun. Kekeruhan di lepas pulau-pulau di timur Aru merupakan resuspensi remah organik dari rataannya mangrove yang tidak mudah mengalami penggumpalan untuk mengendap.

Landainya pesisir timur memberi peluang mangrove tumbuh membentuk rataannya tebal di pantai intertidal. Sisi barat mangrove di pesisir terlindung di belakang Pulau Wamar dan di pesisir timur di sekitar estuari didominasi *Rhizophora* sp. yang tumbuh di substrat lempungan. Biota tersebut menjadi pelindung pesisir dan lingkungan tempat biota hayati itu ditemukan berlimpah keragaman maupun populasinya (Gambar 3.27). Keadaan demikian diperkirakan sebagai alasan berkembangnya permukiman di pantai yang mata pencaharian penduduknya sebagian besarnya adalah sebagai nelayan sambil berkebun di darat (Hantoro, 2006). Karena pulau berada di antara dua laut luas, yaitu Banda dan Arafura, permukiman di pesisir landai dan pulau kecil ini menyandang kerentanan dari perairan lepas berupa tingginya muka laut dan terjangan gelombang, terutama saat kejadian cuaca ekstrem (Hantoro dkk., 2008a).

Kepulauan Aru merupakan daratan yang cukup luas tanpa tinggian. Hal ini diakibatkan oleh tidak adanya kegiatan tektonik kuat yang lazimnya membentuk gunung dan pegunungan. Keadaan tersebut tidak menghasilkan daerah tadah hujan dan aliran sungai yang luas dengan alur sungai yang panjang. Namun, pulau ini memiliki estuari lebar, terutama di bagian ujung dari alur lembah sebagai kanal yang memotong pulau. Lembah tersebut terbentuk, terkikis, dan melebar dari retakan terkait dengan struktur yang memotong pulau.



Sumber: Peta dasar Landsat 2007

**Gambar 3.28** Peta Kawasan Tangkapan Air dan Pola Aliran Pulau Aru

Keadaan tersebut menghasilkan pola aliran berupa sungai pendek dan menyebar (*radier*) yang berhubungan dengan kelurusan sesar atau kekar-retakan sekitar lembah utama yang memotong pulau. Alur panjang lembah yang memotong pulau menjadi lembah ke arah alur sungai kecil mengalir. Retakan besar lembah ini membagi Aru menjadi beberapa daerah tangkapan air, kurang lebih 16 daerah tangkapan di darat dan 5 di pulau-pulau (Gambar 3.28).

Daerah tangkapan air umumnya dibatasi oleh alur kanal atau badan air dan tinggian yang memisahkan daerah aliran. Satu bidang daerah tangkapan yang dibatasi badan air (Gambar 3.28, daerah tangkapan 4, 10, 11, 12), bisa jadi terbagi oleh tinggian memanjang dan daratan sempit, seperti pada daerah tangkapan (Gambar 3.28, daerah tangkapan 2, 3 dan 7). Batasan ini ditentukan untuk mengetahui ke arah mana air permukaan mengalir dalam satu bidang tangkapan hujan.

Terbatasnya luas daerah tangkapan serta penyebaran dan pendeknya alur sungai menjadi tantangan dalam membangun penyimpanan air skala besar. Lahan untuk kolam atau cekungan air

serta daerah tangkapan pengumpulan air hujan menjadi sangat terbatas pula.

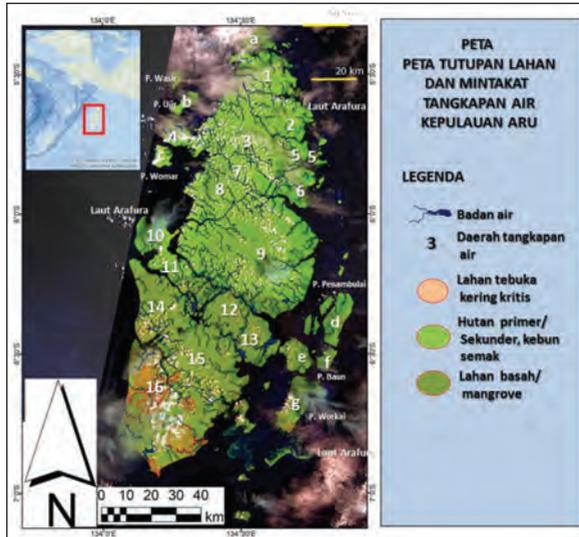
Gugusan pulau di sekeliling pulau utama selama zaman es terakhir (20 hingga 14 ribu tahun silam) merupakan tinggian dari suatu bagian daratan luas setelah terjadi susut laut. Tinggian daratan kemudian terpisah ketika bagian yang mengalami pengikisan tergenang oleh naiknya muka laut ketika mencapai ketinggian permukaan seperti keadaan sekarang. Gugusan pulau di perairan barat Aru umumnya berupa singkapan batuan yang tergolong Formasi Wasir berumur Tersier-Kuarter. Formasi ini terdiri dari napal, kalkarenit, dan batu lempung. Singkapan batuan gampingan umumnya padat, dan bila mengalami pelarutan pada kekar retaknya, akan membentuk ceruk dan alur gua bawah tanah. Pulau-pulau di perairan bagian timur Aru umumnya merupakan singkapan batu pasir kuarsa, lempung sisipan konglomerat, dan lanau karbonat dari Formasi Tanah Merah.

Daratan pulau tidak cukup luas dan datar-landai, sementara singkapan batuan umumnya dari jenis karbonatan. Keadaan tersebut tidak memberi peluang banyak pada air hujan tertahan sebagai air permukaan dan tersimpan sebagai bagian dari air tanah dalam. Singkapan batuan yang mengalasi hutan di antaranya batuan yang mudah membentuk solum yang besar perannya dalam peresapan dan penyimpanan air tanah dangkal. Peluang peresapan air meteorik terjaga karena kerapatan hutan di sebagian Aru masih terjaga. Daratan yang datar dan rapatnya tumbuhan menyebabkan tebalnya solum, sementara air membentuk genangan luas sebagai rawa yang tinggi kandungan asam humusnya. Ketika hutan mengalami perambahan, paparan solum segera mengalami pengikisan, dan meninggalkan singkapan batuan pasiran, napalan, dan karbonatan (Formasi Tanah Merah dan Formasi Koba) yang sulit untuk pemulihan kembali solum dan hutannya. Lahan terbuka di Aru bagian selatan merupakan dampak dari terbukanya hutan dan keadaan iklim lebih kering yang mempersulit pemulihan hutan (Gambar 3.29). Selain keadaan iklim dan jenis batuanya, wilayah Aru Selatan dan Selatan Timur (daerah

tangkapan hujan 15, Gambar 3.28 dan Gambar 3.29) tidak banyak memiliki alur sungai. Selain rendahnya presipitasi, kekar dan sesar di bagian ini tidak serapat dibanding kekar dan sesar di bagian utara pulau. Hal sama juga terlihat pada daerah tangkapan hujan nomor 9 (Gambar 3.28) di bagian yang masih memiliki hutan primer dan dicadangkan sebagai kawasan lindung (Kecamatan Aru Tengah dan Tengah Timur). Formasi Koba dari batuan napalan dan gampingan tersingkap dan menjadi alas ekosistem hutan tropis dataran rendah bagian tengah Aru. Berdasarkan jenis batuan dan kurangnya alur sungai, bila terjadi perambahan di kawasan ini, akan segera diikuti kerusakan lahan yang tidak mudah dipulihkan kembali. Kawasan ini dirancang sebagai daerah WP II (Gambar 1.3) dengan kegiatan hutan produksi dan pertanian. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian kegiatan di kawasan ini. Yang selama ini dilakukan adalah membangun akses dan membuka lahan yang berdampak buruk bagi keutuhan lingkungan sisa hutan tropis pulau kecil di Aru.

Terbentuk dan berkembangnya lahan terbuka kering dan kritis di Aru Selatan (Gambar 3.29) disebabkan oleh beberapa hal:

1. Iklim lebih kering (curah hujan lebih rendah, kelembapan lebih rendah, evaporasi lebih tinggi) di bagian selatan Pulau Aru (Gambar 3.8, Gambar 3.9a dan Gambar 3.9b, serta Gambar 3.29).
2. Akses menuju hutan melalui jaringan jalan dari pesisir ke arah pedalaman (Gambar 1.3).
3. Perambahan hutan untuk ladang dan sumber kayu bahan.
4. Perakaran dangkal dari tumbuhan hutan sebelumnya menghasilkan solum tipis dari singkapan batuan napalan dan pasir kuarsa.
5. Batuan pasir kuarsa dan lanau karbonat pada cuaca dengan kelembapan rendah sangat sulit memberi lapukan yang membentuk solum tebal dengan cepat (Gambar 3.35).



Sumber: Peta dasar Landsat 2007, hasil analisis pada studi ini

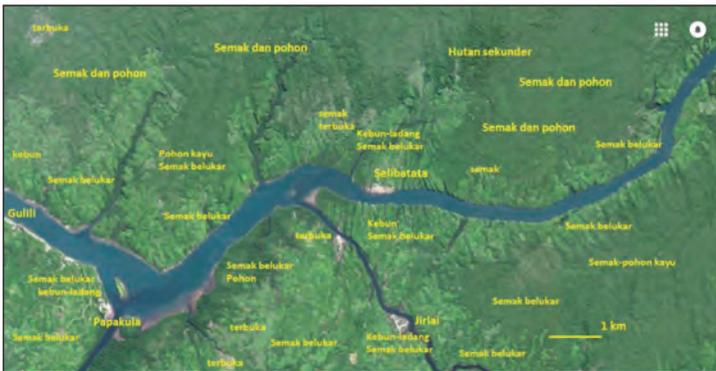
**Gambar 3.29** Peta Tutupan-Kelembapan Lahan dan Kawasan Tangkapan Air-Pola Aliran Pulau Aru

6. Begitu hutan dirambah dan lahan menjadi terbuka, solum tipis cepat hilang akibat erosi oleh jatuhnya hujan dan aliran permukaan.
7. Singkapan batuan napal dan karbonat padat dan ketat dengan rumput dan semak hanya sedikit meloloskan air resapan.
8. Cuaca dan lahan kering gersang terbuka mudah tersulut kebakaran yang mematikan tanaman pionir.

Keadaan ini dapat terjadi di bagian lain Pulau Aru bila melihat keadaan singkapan batuan napal di wilayah yang terdapat hutan, yakni di bagian tengah dan utara pulau. Rancangan pengembangan wilayah yang lebih mengandalkan lahan luas sebagai kapitalnya dan dengan semakin mudahnya akses membuat risiko kerusakan hutan semakin besar. Pertimbangan cermat dan matang harus dilakukan dalam penentuan tempat dan jenis lahan untuk pengembangan usaha yang harus mengorbankan lahan hutan. Daerah tangkapan hujan yang

masih memiliki hutan primer haruslah menjadi lahan yang dilindungi atau ditetapkan sebagai kawasan perlindungan. Daerah tangkapan hujan yang memiliki alur sungai terbatas (kerapatan dan panjang alur) merupakan daerah yang harus dilindungi dari perubahan tutupan lahannya. Tempat-tempat tersebut sangat rentan terhadap setiap perubahan lingkungan, terutama akibat perambahan. Erosi tinggi saat tutupan hutan yang menjadi jarang akan segera diikuti erosi kuat yang sedimen rombakkannya terangkut dan menjadikan kanal-kanal mengalami pendangkalan. Keadaan tersebut dapat memutus alur transportasi kanal dari pesisir bagian barat dan timur.

Berdasarkan citra satelit kombinasi kanal 1, 2, dan 3 (Gambar 3.27) di kawasan Kepulauan Aru, dapat dikenali tutupan hutan tropis yang masih menyisakan hutan primer, terutama di bagian tengah pulau atau bagian pesisir yang belum terjangkau transportasi. Di pesisir, sebagian besar telah mengalami perambahan menjadi hutan sekunder, tetapi masih memiliki kerapatan relatif baik. Berdasarkan citra, pengurangan tutupan hutan akibat perambahan terjadi di bagian yang memiliki akses mudah (Gambar 3.30), antara lain sepanjang kanal sempit atau lembah retakan yang menghubungkan pesisir



Peta dasar, sumber: Google (2018)

**Gambar 3.30** Citra satelit Landsat 7 sepanjang alur lembah di timur Benjina memperlihatkan tutupan lahan di sekitar Jirlai, lingkungan sekitar Selibatata dan Gulili yang berupa semak dan pohon, kebun ladang, dan lahan terbuka dari perambahan hutan di sisi alur untuk ladang dan sumber kayu.

barat dan timur. Akses mudah berupa jalur jalan tersebut terdapat di bagian selatan Aru, terutama di Kecamatan Aru Selatan. Bagian ini menyisakan lahan berupa semak dan lahan terbuka dari tutupan hutan yang sebelumnya diduga cukup rapat yang tumbuh di atas solum dari batu pasir kuarsa Formasi Tanah Merah. Usaha memperbaiki lahan di kawasan ini disampaikan pada pembahasan tiap lokasi terpilih yang mewakili keadaan/masalah spesifik daerah dan bagaimana cara mengatasinya.

Dua permukiman terdapat di bagian tengah dan menempati kawasan yang dicadangkan sebagai kawasan lindung (Gambar 3.46, Gambar 3.47a dan Gambar 3.47b). Penipisan tutupan hutan juga terlihat di sekitar permukiman pantai bagian barat maupun timur seiring dengan perluasan permukiman. Tutupan lahan darat dan perairan beberapa pulau kecil masih menyisakan tutupan hutan kering dan hutan rawa, seperti di Pulau Baun, Workai, Penambulai, Barakan, dan pulau-pulau di bagian utara (Gambar 3.31). Hutan mangrove serta hutan pantai pasang surut di beberapa tempat sudah mengalami perambahan, misalnya di Pulau Workai, tetapi di pesisir timur pulau utama kondisinya masih memperlihatkan kerapatan tinggi, terutama di estuari lebar. Tutupan hutan mangrove juga masih tersisa di pesisir timur di wilayah Kecamatan PP Aru dan Aru Tengah (Gambar 3.32).



Peta dasar, sumber: Google (2018)

**Gambar 3.31** Citra satelit Landsat 7 Pulau Barakan dan Baun yang Masih Memiliki Tutupan Hutan Primer

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Peta dasar, sumber: Google (2018)

**Gambar 3.32** Citra Satelit Landsat 7 Sekitar Estuari di Pesisir Timur Kecamatan Aru Tengah Tmur Sekitar Pemukiman Kaiwaba dan Basada yang Masih Memiliki Tutupan Mangrove

Sisa tutupan mangrove hutan primer masih tersisa di sisi barat gugusan pulau kecil di timur pulau utama Aru (Pulau Penambulai, Workai, dan lain-lain). Perambahan mangrove terjadi di pesisir barat kepulauan, terutama di bagian dekat pemukiman. Perambahan bertujuan memperoleh kayu untuk bahan bangunan atau memperluas lahan permukiman (Pulau Womar sekitar Dobo). Hal sama juga terjadi di permukiman pesisir timur yang perumahannya dibangun dengan tiang kayu pohon ini karena alasan kekuatannya. Mangrove di sekitar muara pesisir barat masih terlihat utuh tanpa gangguan pada suksesi di bagian depan ratahan seperti di pesisir di belakang Pulau Womar. Kondisi mangrove di pesisir timur relatif lebih bagus, terutama di sekeliling estuari dan muara, tetapi di sekitar permukiman mengalami perambahan dan meninggalkan lahan mangrove berseling semak belukar. Peta tata guna lahan dari Bappeda Kabupaten Kepulauan Aru juga menyatakan bahwa hutan tropis pantai (mangrove) di beberapa bagian kepulauan masih utuh (Bappeda, 2011). Mintakat di pesisir barat kepulauan menempati langsung mintakat pantai supratidal, terutama di bagian pantai terbuka relatif terjal dengan ratahan luas terumbu karang di perairan dangkal. Pantai pesisir landai berpasir di

Buku ini tidak diperjualbelikan.

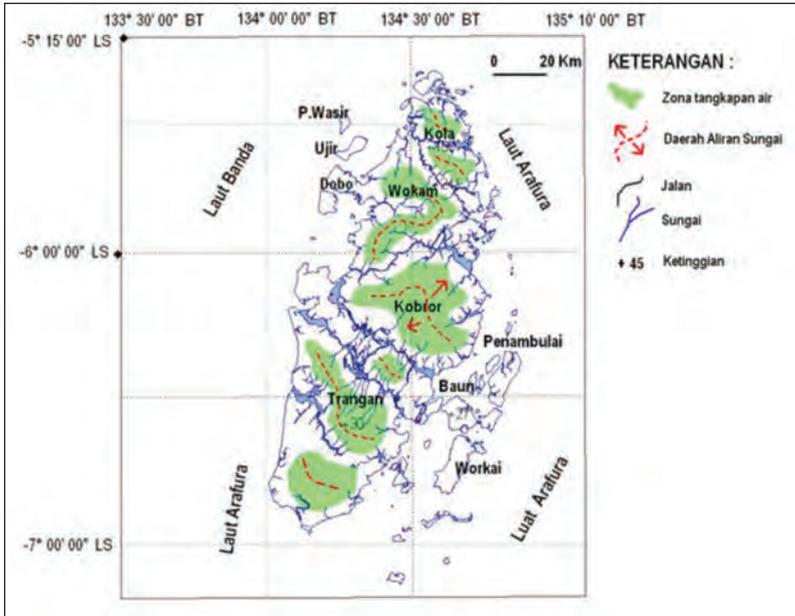
pantai barat umumnya terbuka tanpa tutupan ratahan mangrove. Di bagian yang relatif terlindung, seperti di estuari atau teluk dekat Desa Katantar dan Hokmar, Ngaibar (pesisir barat), Dosimar dan Meror (pesisir selatan), mangrove yang adalah jenis yang mengandalkan substrat pasaran, seperti *Sonneratia* sp. Di pesisir timur, mangrove berkembang baik dengan dominasi jenis *Rhizophora* sp., seperti di sekitar Kobasang, Kobamar, dan Dosinamalau (Gambar 3.27).

Terumbu karang berkembang luas di perairan barat maupun timur kepulauan, terutama di perairan terbuka jernih yang bebas dari sedimentasi muara atau di sekeliling pulau kecil. Sebagian terumbu karang mengalami perambahan berupa pembongkaran dan penambangan koralnya sebagai bahan bangunan (fondasi bangunan atau timbunan rawa). Pembongkaran banyak terjadi di seputar Pulau Wamar di seluruh Dobo, di Tanjung Malakatani antara desa Samang hingga Wokam, di perairan dekat Benjina dan pesisir barat Aru bagian selatan (misalnya di Katantar, Kalar, dan Fatur). Dampak dari perambahan ini adalah rusak dan matinya terumbu karang. Dampak lainnya adalah berkurang atau sama sekali hilangnya pecahan koral terumbu karang yang semula mengisi dan membentuk ratahan pasir pantai. Keadaan ini diperburuk dengan pengerukan dan penambangan pasir di pantai.

#### **D. Morfologi dan geologi**

Gerak relatif Kerak Benua Australia terhadap Lempeng Samudra Pasifik yang mendorong dan mengangkat daratan Papua menyebabkan terjadinya pembubungan di Paparan Sahul, lalu membentuk daratan Kepulauan Aru. Selain pembubungan yang mengangkat sekuen endapan laut dangkal, perubahan muka laut estatik sempat menenggelamkan dan memunculkan paparan Sahul di sekitar Aru. Hal ini kemudian menghasilkan pembentukan lapisan sedimen dan menutup sedimen lebih tua yang telah terpancung. Sekuen lebih muda tersebut adalah perselingan endapan laut dangkal, pantai, dan darat dataran rendah. Bagian timur dari daratan kepulauan mengalami penurunan. Hal ini terlihat dari morfologi pesisir, alur estuari dan

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Modifikasi dari Hartono & Ratman (1992)

**Gambar 3.33** Peta Kawasan Tangkapan Air dan Pola Aliran Pulau Aru

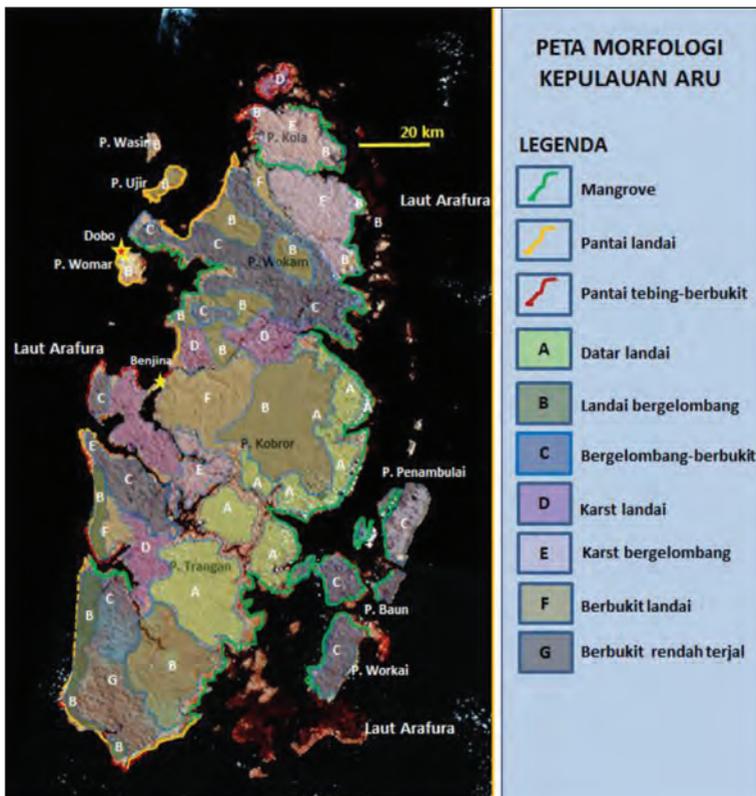
pertumbuhan dan pembentukan gugusan pulau kecil dan terumbu karang (Gambar 3.27).

Keadaan geologi dan bentang alam berikut tutupan lahan pulau menjadi acuan penting, di samping keadaan cuaca, untuk membuat rancangan adaptasi bagi lingkungan Kepulauan Aru dalam menghadapi kerentanan ketersediaan air di masa depan. Berdasarkan keadaan alam tersebut, diusulkan beberapa pendekatan yang aman, yaitu membangun embung tertutup, injeksi air ke dalam akuifer, dan sumur optimalisasi.

Identifikasi dan analisis daerah aliran sungai, serta morfologi bersamaan dengan geologi, diperlukan ketika berbicara tentang neraca-siklus hidrologi dan pengelolaan air permukaan dan air tanah dalam. Sebagai pulau kecil landai tanpa cukup alur sungai dan badan air, walau berlimpah hujannya, ketersediaan air tidak dapat

merata ke setiap bagian pulau. Hal tersebut disebabkan karena sebagai pulau datar, pulau Aru terbagi dalam banyak daerah tangkapan air (Gambar 3.33). Keadaan ini menjadi salah satu kendala dalam upaya membangun reservoir karena memerlukan jaringan distribusi air yang luas pula.

Secara garis besar, bentang alam di Kepulauan Aru terbagi dalam beberapa kelas, yaitu datar-landai, landai bergelombang, bergelombang-berbukit, karst landai, karst bergelombang, berbukit landai dan berbukit rendah terjal (Gambar 3.34). Walaupun pada umumnya



Sumber: DEM-USGS (2017).

**Gambar 3.34** Peta Morfologi dan Pembagian Kelompok Bentang Alam serta Sebaran Keadaan Morfologi Pantai dan Tutupan Mangrove

Buku ini tidak diperjualbelikan.

bentang alamnya datar, erosi dan pelarutan pada kekar dan sesar yang terdapat di batuan menghasilkan alur lembah dengan tebing terjal.

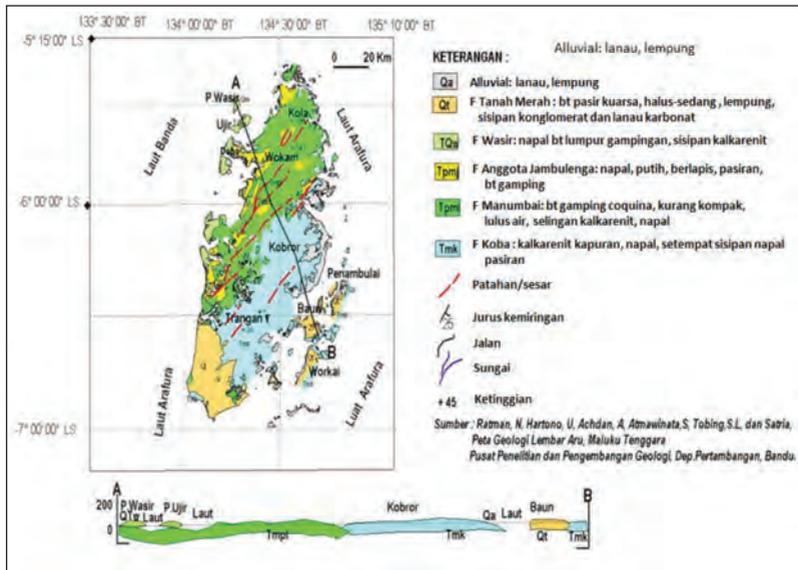
Alur-alur ini sempit dan sering kali tidak menerus sebagaimana lazimnya morfologi daerah dengan batuan karbonat (Samodra, 2006). Keadaan ini menjadi tantangan apabila ingin membangun sarana jalan maupun reservoir di bentang alam tersebut. Pengolahan untuk pertanian memerlukan penyiapan lahan yang meliputi perataan dan penataan alur irigasi yang rumit. Keadaan ini juga menambah kesulitan dalam memperoleh luasan dan ketinggian cukup untuk pembangunan reservoir skala besar yang mengandalkan distribusinya secara gravitasi. Diperlukan biaya mahal untuk membangun jaringan irigasi yang harus menjangkau jarak jauh karena harus mengandalkan pompa serta dalam saluran tertutup untuk menghindari kehilangan air akibat penguapan dan kebocoran.

Keadaan morfologi, daerah tangkapan hujan, kerapatan struktur geologi, kerapatan dan kedalaman alur sungai, jenis batuan dan tutupan lahan, menjadi unsur yang dipertimbangkan dalam penentuan lahan yang sesuai untuk membangun reservoir. Pertimbangan berikutnya adalah kelayakan pembangunan dikaitkan dengan peruntukannya. Morfologi ini terbentuk sebagai bagian dari proses denudasi yang menguat seiring perubahan muka laut yang menyebabkan paparan Sahul suatu ketika berupa daratan. Jenis batuan juga berpengaruh pada pembentukan morfologi.

Morfologi Kepulauan Aru umumnya ditandai oleh bentang alam landai, perairan dangkal dengan rataaan terumbu karang luas, pesisir pantai landai, estuari lebar, dan rataaan mangrove luas. Dataran pesisirnya sangat luas, tetapi sebagian memiliki pesisir dengan tebing pantai tinggi dan curam di bagian yang menghadap perairan lepas, terutama pesisir bagian selatan sisi barat yang menghadap perairan Laut Banda. Sisa pematang pantai tersingkap di pesisir berupa tinggian memanjang, beberapa baris berderet sejajar pantai, dahulu terbentuk dari endapan pasir karbonat berselingan dengan endapan gamping cangkang yang terbentuk pada lingkungan supra tidal (di atas garis

pasang surut). Sebagian pematang ini terbentuk dari endapan sedimen pantai dengan ciri struktur silang siur dan cetak jejak binatang.

Sisa pematang pasir ini dapat ditemukan di pantai sekeliling Pulau Womar di sekitar Dobo. Tingginya pematang pantai mencerminkan relatif tingginya muka laut waktu itu, diduga pada masa relatif tinggi muka laut Holosen atau 6000 tahun silam. Pasir dan kerikil masih dalam keadaan lepas belum tersemenkan menjadi ciri sedimen pematang pantai Holosen. Lapisan batu pasir di pantai sisi barat Aru (Benjina dan wilayah lainnya) merupakan endapan dari umur yang lebih tua dengan butir sedimen yang telah mengalami perekatan semen karbonat. Pematang pantai sedimen lepas ini diandalkan sebagai akuifer tempat air tawar dari hujan meresap dan tersimpan aman. Permukiman yang dibangun di atas morfologi ini memiliki sumur gali dengan air tawar yang tersedia dalam jumlah dan kualitas baik (Desa Wokam di Kec. PP Aru, desa Wangel, dan Durjela di Womar,



Sumber: Modifikasi dari Hartono & Ratman (1992)

**Gambar 3.35** Peta Geologi Kepulauan Aru

Meror di Aru Selatan Timur, Hokmar, Ferui, Ngabor di Aru Selatan, Basada, Kaiwaba, Kobror, Warloy di Alor Tengah Timur).

Kepulauan Aru merupakan gugusan pulau kecil datar landai yang terbentuk akibat pembubungan tepian paparan kontinen. Daratan pulau sebagian juga mengalami gejala penurunan (Hartono & Ratman, 1992) serta berulang kali mengalami perubahan genang dan susut laut estatik, setidaknya sejak 4 juta tahun silam (Pliosen-Miosen Atas).

Keadaan demikian menghasilkan bentang alam relatif datar dan geologi batuan pulau yang dicirikan perselingan sedimen hasil pengendapan dari lingkungan laut dangkal, pantai, dataran basah rawa pantai dan litoral maupun darat (Gambar 3.36) yang berlangsung bergantian di suatu paparan tepi kontinen yang jauh dari sumber bahan sedimen klastik. Sedimen klastik yang terbentuk di lingkungan ini memperoleh bahan dari rombakan singkapan batuan yang muncul ketika susut laut. Saat paparan tepi kontinen berupa laut dangkal, pengendapan bahan halus di lingkungan terbuka menghasilkan napal berselingan batu gamping berlapis. Pada saat susut laut, paparan berupa daratan luas dengan alur lembah sungai yang sebagian berupa lahan basah dengan tumbuhan hutan tropis serta bakau.

Batas antara satu formasi dengan formasi lainnya ditandai oleh bidang ketidakselarasan. Bidang ini sering kali menysisakan solum purba yang memiliki kesarangan. Dengan keadaan tersebut, bidang ini berpeluang menjadi lorong bagi air yang meresap di lapisan atas ketika mencapai bidang ketidakselarasan ini, kemudian menyebar hingga menemukan rongga untuk meneruskan alirannya.

Geologi Kepulauan Aru ditandai oleh seri endapan fasies laut dangkal, pantai terbuka, rawa pantai, darat, dan fluviatil. Batas antara sekuen umumnya ditemukan sebagai ketidakselarasan (Gambar 3.35 dan 3.36), tetapi sesungguhnya ketidakselarasan sangat umum ditemukan, terutama di satuan Kuarter. Ketidakselarasan ini teramati sebagai batas antarsatuan litologi atau bidang erosi akibat dari perubahan muka laut seiring genang dan susut laut perulangan zaman es selama zaman Kuarter.

	Litologi	Deskripsi	Lingkungan pengendapan dan Umur
Qa		Alluvial, Lumpur, pasir, fragmen koral, pecahan koral dan batuan, terumbu	Alluvium, lingkungan pantai, dataran banjir dan darat Holosen
Qt		Formasi Tanah Merah Batu pasir kuarsa, lempungan, sisipan konglomerat Lempungan, sisipan batubara	Lingkungan pantai, darat, fluvial dan rawa pantai Pliosen Atas
TQ		Formasi Wasir Napal, batu lumpur gampingan, sisipan batu lumpur gampingan dan napal pasiran Napal, batu gamping cangkang, sisipan batu lumpur gampingan dan napal pasiran	Lingkungan laut dangkal, fasies tepi terbuka intertidal Pliosen Bawah
TQ		Napal, batu lumpur, pasiran, batulumpur karbonat Lempungan	Lingkungan laut dangkal, fasies tepi dekat muara
Tpm		Anggota Jambulanga Napal putih, berlapis, pasiran, selingan kalkarenit Selingan gamping bioklastik Napal putih, berlapis, pasiran, sisipan kalkarenit sisipan gamping bioklastik Formasi Manumbai Batugamping cockuina, selingan kalkarenit sisipan napal	Lingkungan laut dangkal terbuka, fasies tepi, terumbu karang Pliosen
Tpm		Batugamping cockuina, selingan kalkarenit sisipan napal	Lingkungan laut dangkal terbuka, fasies tepi, terumbu karang Dominasi moluska dan crustacea, sedikit koral Miosen Atas – Pliosen Atas
Tmk		Formasi Koba Kalkarenit kapuran napalan, flute marks sisipan napal pasiran Kalkarenit kapuran napalan, flute marks sisipan napal pasiran	Lingkungan laut dangkal terbuka, fasies tepi pantai intertidal dan infra tidal Miosen Atas
			Lingkungan laut dangkal-sedang terbuka, fasies tepi pantai intertidal dan infra tidal Miosen Tengah

Sumber: Modifikasi Hartono & Ratman (1992)

**Gambar 3.36** Penampang Sintetik Stratigrafi Kepulauan Aru

Kelompok batuan Kuartar terdiri dari batu pasir kuarsa berbutir halus dan sedang. Lapisan sedimen dari kelompok ini masih memiliki kesarangan dan kelolosan bagi resapan dan penyimpanan air meteorik (hujan). Kesarangan dan kelolosan pada lapisan tertentu dari batuan yang mengandung air asin dapat memicu terjadinya pengendapan garam melalui penguapan yang naik ke permukaan.

Singkatan batuan yang umum ditemukan adalah batu gamping cangkang, pasir karbonat dan kuarsa, lempung abu-abu-hitam, dan napal atau batu gamping napalan (Hartono & Ratman, 1992). Lingkungan pengendapan relatif dangkal dan sejarah perubahan muka

laut yang relatif tinggi perulangannya di kawasan ini menghasilkan sekuen sedimen yang sangat cepat berubah secara lateral dan vertikal dengan ditandai bidang ketidakselarasan dan erosi. Namun, hal ini memperlihatkan hubungan menjemari di antara dua fasies sedimen. Sekuen sedimen dari lingkungan pengendapan berbeda dapat membentuk perulangan dan perubahan cepat secara vertikal.

Kelompok sedimen dan kondisi tutupan daratan bersama dengan kondisi cuaca tropis telah lama menghasilkan keseimbangan pada siklus hidrologinya, tetapi rentan kerusakan bila unsurnya terganggu. Sebagai pulau landai, walau luas, Kepulauan Aru memiliki keterbatasan dalam menahan air meteorik untuk tinggal tersimpan lama sebagai air formasi. Dua hipotesis tersebut akan dibuktikan kebenarannya melalui penelitian. Terdapatnya lapisan napal dan lempung dapat menahan lolosnya air dalam akuifer sedimen klastik kasar, tetapi pemancungan atau batas ketidakselarasan di antara satu urutan sedimen dapat memberi peluang lolosnya air dari sedimen klastik suatu sekuen ke sekuen lainnya yang berada di bawahnya.

Geologi daratan Pulau Aru terbentuk oleh singkapan beberapa satuan batuan atau sedimen dengan jurus atau batas litologi yang berarah utara timur laut dan selatan barat daya. Lapisan lebih tua tersingkap di bagian timur, sementara yang lebih muda di sisi bagian barat. Kelurusan struktur sesar berarah sama dengan jurus perlapisan sedimen yang kemiringannya sangat landai. Struktur yang teramati berupa kelurusan yang ditafsirkan sebagai lembah pelebaran sesar dan kekar akibat pembubungan tepian kontinen. Struktur umumnya berarah barat daya-timur laut dan pasangannya berarah tenggara barat laut. Rapatnya kekar pada batuan mendorong perakaran menerobos jauh ke dalam sehingga menambah peluang pengisian air ke dalam akuifer. Besar butir dan kesarangan pada solum memberi keuntungan bagi peresapan dan menaikkan tegangan cairan antarpori-pori (ruang antarbutir) yang menyebabkan air tawar dan air asin tetap terpisah.

Daratan datar-landai dan pulau tidak cukup luas, sementara singkapan batuan umumnya dari jenis karbonatan. Keadaan tersebut tidak memberi peluang banyak pada air hujan tertahan sebagai air permukaan dan tersimpan sebagai bagian dari air tanah dalam. Sing-

kan batuan yang mengalasi hutan merupakan batuan yang tidak mudah membentuk solum yang besar peranannya pada peresapan dan penyimpanan air tanah dangkal. Peluang peresapan air meteorik berlangsung hanya karena kerapatan hutan di sebagian Aru masih terjaga. Daratan yang datar dan rapatnya tumbuhan menyebabkan terjaganya solum dari erosi, sementara air membentuk genangan luas sebagai rawa yang tinggi kandungan asam humusnya. Ketika hutan mengalami perambahan, paparan solum segera mengalami pengikisan, dan meninggalkan singkapan batuan napalan serta karbonatan yang sulit untuk kembali pulih tutupan hutannya. Lahan terbuka di Aru bagian selatan merupakan dampak perambahan hutan dan keadaan iklim lebih kering yang memungkinkan kebakaran semak yang mempersulit pemulihan hutan.

Pemeruman tahanan jenis metode Schlumberger dan Dipole-dipole dilakukan di sekitar Dobo di Pulau Womar pada satuan batuan Formasi Wasir. Pengukuran bertujuan memperoleh gambaran sifat fisis dan penyebaran perlapisan sedimen untuk rincian stratigrafi daerah ini. Data ini diperlukan untuk mengetahui di bagian mana kandungan air di dalam perlapisan sedimennya. Informasi perlapisan dan isi air lapisan sedimen dangkal ini diperlukan untuk penentuan lokasi dan pembuatan sumur optimalisasi air berikut sumur injeksinya serta pembuatan reaktor limbah keluarga. Data ini juga diperlukan ketika merancang reservoir tertutup yang memerlukan lapisan sedimen kedap air dan bahan pasiran dan kerikil pengisi kolam. Data ini juga diperlukan sebagai acuan penentuan muka air tanah yang berubah seiring pasang surut (Narulita, Santosa, Hantoro, & Djuwansah, 2005).

Pada pengembangan sistem injeksi air ke dalam akuifer yang lebih dalam, informasi lebih rinci mengenai perlapisan sedimen di bawah permukaan dapat diperoleh melalui pemboran uji dan pengukuran sifat fisis (logging). Keratan pemboran diperiksa lebih lanjut sifat fisisnya melalui analisis sedimentografi dan kimia. Tahap ini akan dilakukan ketika tempat pembangunan sistem injeksi ke dalam akuifer telah ditentukan.

Beberapa lintasan sejajar maupun tegak lurus pantai dipilih sehingga dapat melintas pulau (Gambar 3.37). Semua lintasan pengukuran merupakan singkapan Formasi Wasir yang tersusun dari seri napal, napal pasiran, batu lumpur gampingan, serta batu gamping bioklastik dan kalkarenit. Pengukuran tahanan jenis metode Dipole-dipole dirancang dengan lintasan tegak lurus pantai dengan panjang lintasan dari 80 hingga 100 meter. Hal ini guna mengetahui pola sebaran air tawar di akuifer dangkal dekat pantai. Lintasan di Desa Durjela (150 meter) (Gambar 3.37) yang melalui singkapan napal pasiran dan batu gamping cangkang mengandung fragmen terumbu karang. Solum bagian atas berwarna hitam, sementara pasir dan lanauan merupakan hasil lapukan dari batuan napal lempungan dan kalkarenit Formasi Wasir. Napal lempungan berlapis halus dan kedap air.

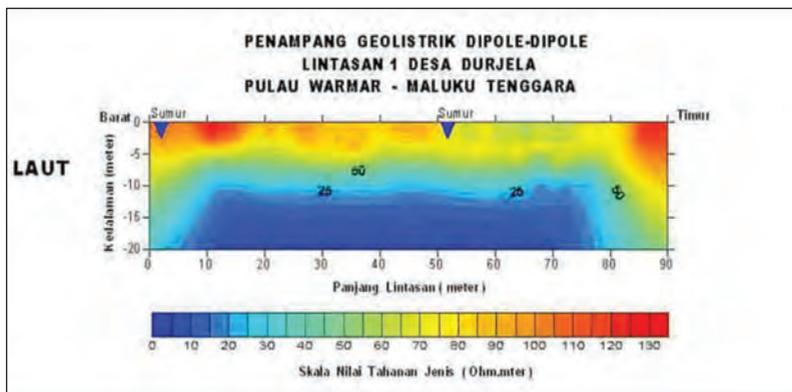
Hasil pengukuran di Durjela memperlihatkan kantong atau lensa air tawar pada akuifer dangkal sedimen fasies pasir pantai berpori gampingan (Gambar 3.38) yang memiliki kesarangan tinggi terdapat



Peta dasar, sumber: Google (2018)

**Gambar 3.37** Lintasan Pengukuran Tahanan Jenis di Dobo dan Sekitarnya, di Pesisir Barat Pulau Womar, Kepulauan Aru

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Hantoro dkk. (2014)

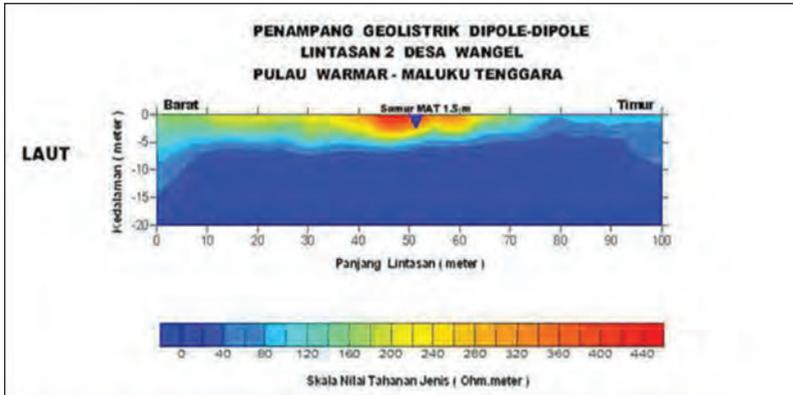
**Gambar 3.38** Penampang Model Tahanan Jenis Lintasan 1 dari Pantai ke Arah Tengah Permukiman Desa Durjela Pulau Wamar, Kepulauan Aru

pada beberapa dinding sumur penduduk. Sedimen pasir gampingan ini dianggap sebagai pematang pantai purba yang menumpang tidak selaras di atas batuan napal lumpur gampingan Formasi Wasir dan Anggota Jambulenga (Gambar 3.36). Ketebalan lensa dapat mencapai > 6 m dan berangsur menjadi payau sebelum mencapai lapisan yang mengandung air asin—diduga sebagai bagian dari air intrusi maupun air formasi. Pengisian lensa diduga hanya berasal dari permukaan resapan air meteorik, tetapi mungkin juga dari aliran resapan di darat secara lateral melalui bidang ketidakselarasan antara sedimen pasir pematang pantai. Bidang yang lolos air ini berupa solum dari hancuran gamping cangkang yang tersingkap di bagian tengah pulau dan di bagian pantai sebagai lapisan yang berisi air asin. Setempat terdapat batu gamping pejal yang tidak lolos air, ditandai oleh nilai tahanan sangat tinggi pada penampang. Berdasarkan hasil pemeruman, nilai tahanan jenis ini dapat ditentukan dan dirancang pembuatan sumur optimalisasi dan injeksi air hujan. Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui pada kedalaman berapa air tawar terdapat dan berapa tebal lapisan sedimen yang kosong dan terisi air tawar maupun asin. Dari data ini, ditentukan berapa dalam drum air yang telah diberi lubang ditanam sehingga hanya air tawar yang masuk ke dalam drum tanpa

Buku ini tidak diperjualbelikan.

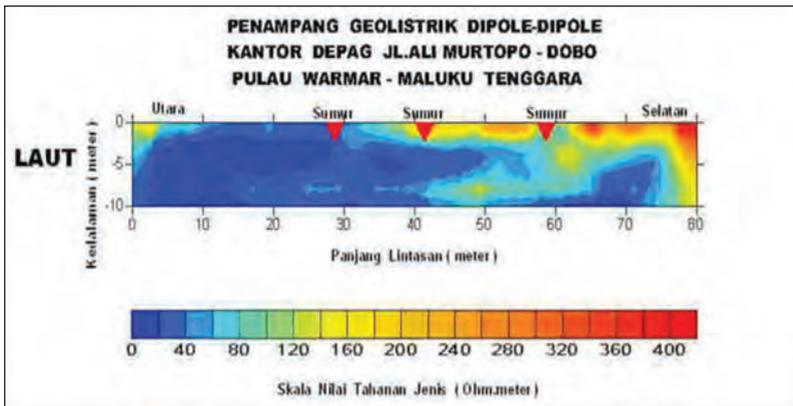
meloloskan air asin. Data ini juga diperlukan untuk mengetahui pada kedalaman berapa meter sisa pengolahan limbah dari hasil limbah keluarga dibuang.

Penampang di Desa Wangel memperlihatkan lensa tipis air tawar sekitar 4 m (warna merah) di dalam sedimen yang berupa gamping



Sumber: Hantoro dkk. (2014)

**Gambar 3.39** Penampang Model Tahanan Jenis Lintasan 2 di Desa Wangel, Pulau Wamar



Sumber: Hantoro dkk. (2014)

**Gambar 3.40** Penampang Model Tahanan Jenis Dipole-Dipole Lintasan di Desa Kota Dobo, dari Kantor Depag di Jalan Ali Murtopo

Buku ini tidak diperjualbelikan.

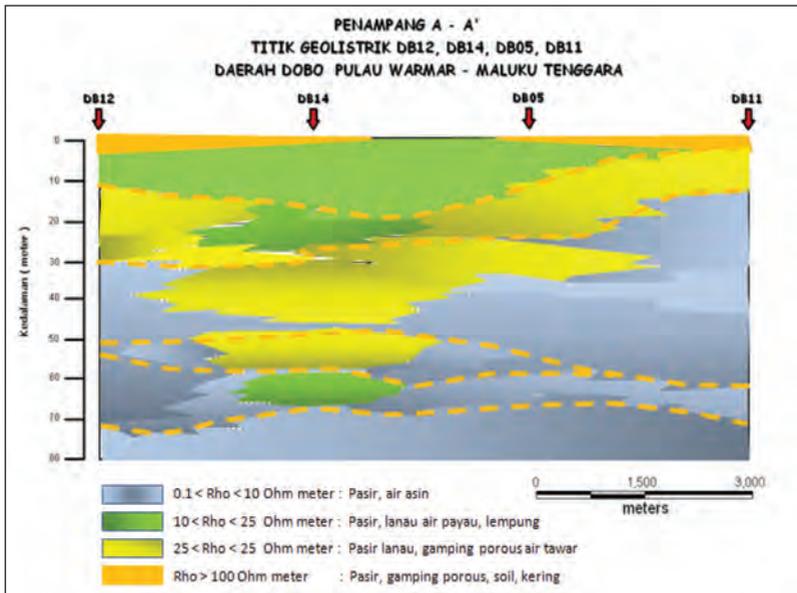
cangkang dan napal pasiran. Lensa air tawar sepanjang 20 meter terdapat pada jarak 40 meter dari pantai, menipis, dan penyebaran hanya mencapai 80 meter dari garis pantai, digantikan kandungan air asin pada akuifer dangkal (Gambar 3.39). Pengisian akuifer terjadi melalui resapan setempat dari air hujan pada batuan gamping cangkang dan pasir karbonat. Air tawar dekat pantai merupakan resapan air hujan yang mengisi endapan pasir pantai. Air tawar ini berada di bagian atas, sementara bagian bawahnya terisi air asin di dalam lapisan sedimen.

Penampang berikutnya (Gambar 3.40) merupakan hasil dari lintasan tegak lurus pantai dari Kantor Dinas Agama dan berseberangan dengan lapangan olah raga di Jalan Ali Murtopo. Penampang memperlihatkan ciri kandungan air tawar dekat pantai yang terjebak pada satuan batu gamping cangkang. Ke arah darat, lapisan batuan ditafsirkan terisi oleh air asin air formasi dan sebagian air intrusi dari laut. Lensa air tawar mulai terdeteksi pada jarak 30 meter dari titik awal pengukuran, lapisan kemudian menebal di beberapa tempat bersamaan dengan kemunculan batuan dengan nilai tahanan jenis tinggi. Pada penampang terlihat bentuk membaji dari air asin di antara dua lensa air tawar yang diduga sebagai intrusi air asin akibat pengambilan air tawar yang berlebihan.

Pengukuran tahanan jenis berdasar metode Schlumberger dilakukan pada 4 lintasan (Gambar 3.37). Pengukuran dilakukan dengan tujuan memperoleh sifat fisis lapisan sedimen yang lebih dalam hingga 100 m. Data, selain memberi gambaran lebih baik mengenai stratigrafi (litologi dan butir), juga membantu memperkirakan kandungan air di dalam sedimen. Pemahaman mengenai geologi bawah permukaan tersebut diperlukan untuk rancangan pemakaian dan teknologi penyimpanan air di akuifer dalam. Lintasan pertama diatur sejajar pantai barat melalui Desa Durjela dan Wangel (A–C). Lintasan kedua memotong dari sisi barat ke bagian utara pulau (B–B'). Lintasan ketiga dimulai dari bagian barat laut ke arah tengah kemudian memutar ke utara (A–A'). Lintasan terakhir dimulai dari pantai barat melintas bagian tengah pulau ke sisi timur pulau (C–C').

Penentuan arah lintasan diharapkan menghasilkan gambaran sebaran litologi dan kemungkinan kelurusan struktur seperti sesar.

Penafsiran geologi bawah permukaan didasarkan pada nilai yang diperoleh setelah perlakuan pengolahan data sesuai prosedur serta data mengenai litologi dan fasies lingkungan pengendapan yang menghasilkan endapan sedimen pembentuk perlapisan di kawasan lingkungan paparan tepi kontinen Sahul. Data tersebut merujuk pada peta geologi Kepulauan Aru. Pada penampang terlihat adanya perubahan lateral litologi dan kemungkinan adanya kandungan airnya. Sebagai lingkungan yang mengalami perubahan dari laut dangkal menjadi darat, di sekitar Dobo di Pulau Womar ditemukan gambaran yang menandai adanya pengendapan pantai, delta dan dataran limpah, serta fluviatil (sungai). Bidang erosi atau ketidakselarasan membatasi satuan litologi satu dengan yang lain menjadi



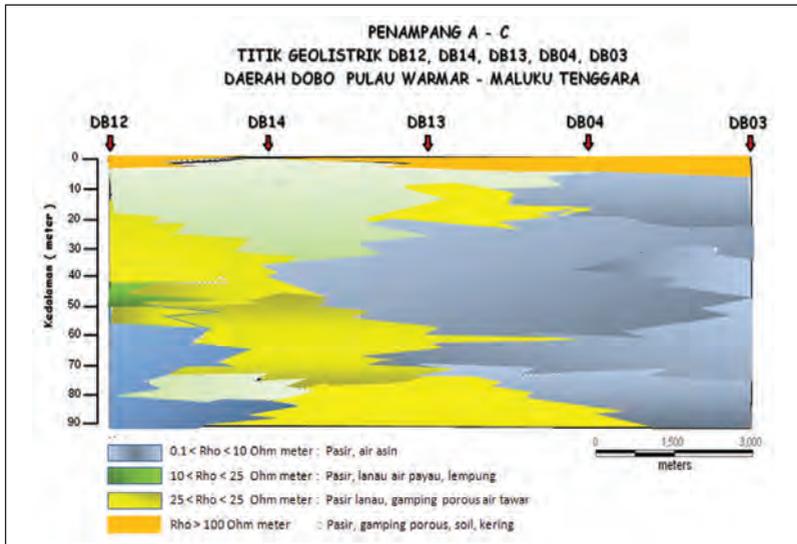
Sumber: Hantoro dkk. (2014)

**Gambar 3.41** Penampang A–A (*litho-resistivity*) memperlihatkan sekuen stratigrafi berdasar interpretasi nilai tahanan jenis pemeruman metode Schlumberger.

ciri geologi dari lingkungan yang berada pada pengaruh perubahan muka laut. Bidang ini umumnya masih menyisakan solum purba yang memiliki kesarangan, dan dengan demikian, dapat menjadi tempat tersimpannya air.

Perubahan lingkungan ini juga menghasilkan kandungan air tawar dan air asin yang terjebak di dalam lapisan sedimen. Gambaran ini menjadi acuan penentuan titik sumur bor pengambilan air dari akuifer dalam, dan sebaliknya (pengisian air hujan melalui injeksi). Salah satu cara yang diusulkan untuk meningkatkan ketersediaan air baku di Kota Dobo adalah pemakaian air tanah dalam yang harus diimbangi dengan penyimpanan air hujan ke dalam akuifer dalam.

Lintasan pengukuran A–A' (Gambar 3.41) dimulai dari pantai barat laut (mercusuar) melintas bagian dalam pulau, kembali menuju pantai utara pulau (Gambar 3.37), menghasilkan gambaran yang ditafsirkan berupa urutan perlapisan mendatar yang cepat berubah-



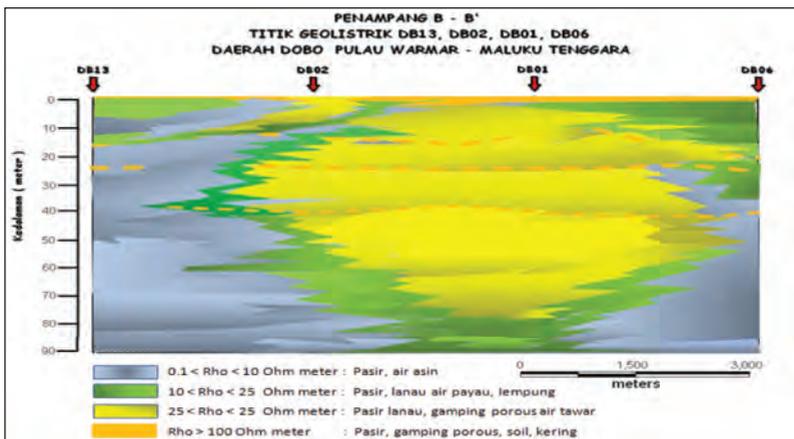
Sumber: Hantoro dkk. (2013); (2014)

**Gambar 3.42** Penampang A–C (*litho-resistivity*) memperlihatkan sekuen stratigrafi berdasar interpretasi nilai tahanan jenis pemeruman metode Schlumberger.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

an litologi dan kandungan airnya. Air tawar terdapat pada lapisan gamping pasir dan cangkang pada kedalaman 20 m. Lapisan yang mengandung air ini menebal, tetapi juga terdapat lebih dalam hingga 60 m, berubah semakin dangkal ke arah ujung lintasan di titik A' dekat lapangan olah raga di Jalan Ali Murtopo. Lapisan bagian atas (20 m) berupa napal padat, sementara bagian bawah berupa lapisan pasir yang mengandung air asin.

Lintasan A–C (Gambar 3.42) dimulai dari titik sama di mercusuar, menuju selatan hingga ujung selatan Desa Durjela, dan melintasi Desa Wangel. Litologi pasir dan gamping lulus air dengan kandungan air tawar juga terukur pada awal lintasan pada kedalaman 20 meter, tetapi satuan ini berangsur menjadi dalam keberadaannya ke arah selatan. Titik sekitar Desa Wangel diwakili oleh nilai tahanan jenis rendah yang sama dengan yang diperlihatkan lintasan Dipole-dipole, yakni berupa air tawar di permukaan dan menjadi payau ke arah bawah. Ujung selatan lintasan bagian atasnya berupa lapisan sedimen dengan nilai tahanan yang mewakili satuan



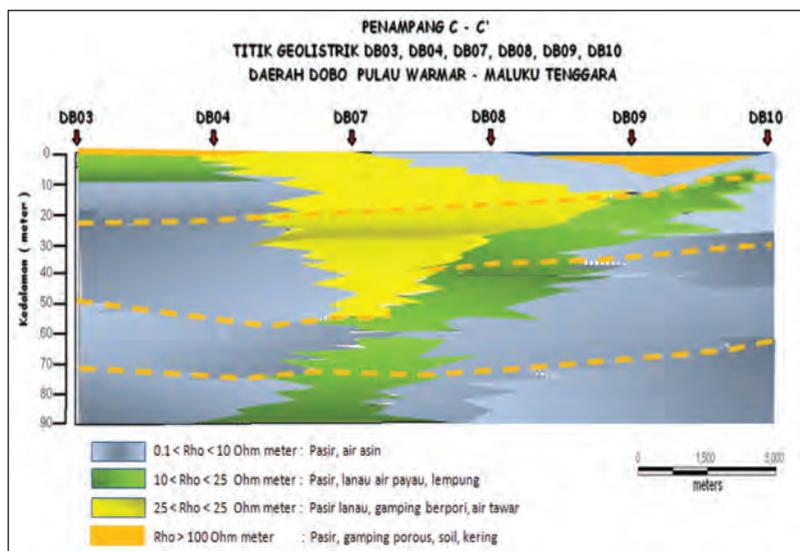
Sumber: Hantoro dkk. (2013); (2014)

**Gambar 3.43** Penampang B–B' (*litho-resistivity*) memperlihatkan sekuen stratigrafi berdasarkan interpretasi nilai tahanan jenis pemeruman metode Schlumberger.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

relatif sarang; mengandung air tawar dan menumpang di atas satuan yang terisi oleh air asin.

Lintasan pengukuran B–B' (Gambar 3.43) diawali dari pantai timur Pulau Wamar di dekat Desa Wangel. Lintasan ditandai oleh satuan sedimen yang memiliki tahanan jenis rendah, diduga mengandung air payau di permukaan, sebagaimana juga terlihat pada lintasan A–C. Bagian dalam titik awal lintasan berupa satuan yang ditafsirkan terisi air asin. Ke arah bagian tengah lintasan, yakni pada titik yang berjarak kurang lebih 2.000 meter, bagian atas lintasannya masih dicirikan dengan nilai tinggi tahanan jenis, yang ditafsirkan dengan adanya batuan padat tetapi mengandung air tawar. Bagian tengah lintasan dari permukaan hingga kedalaman 80 meter dicirikan dengan nilai tahanan jenis relatif tinggi, yang mewakili satuan relatif sarang, yang diduga gamping cangkang fasies terumbu yang mengandung air tawar. Ujung lintasan di Desa Durjela diwakili oleh bagian atas



Sumber: Hantoro dkk. (2013); (2014)

**Gambar 3.44** Penampang dan C–C' (*litho-resistivity*) memperlihatkan sekuen stratigrafi berdasar interpretasi nilai tahanan jenis pemeruman metode Schlumberger.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

berupa satuan sedimen dengan nilai tahanan rendah, diduga satuan napal pasiran mengandung air payau, sementara di bagian dalam berupa satuan sedimen mengandung air asin.

Lintasan C–C' (Gambar 3.44) adalah lintasan paling panjang (> 1200 meter) yang diawali dari pantai timur Pulau Wamar dan berakhir di bagian tenggara pulau (bunker Pertamina). Lintasan ini ditandai oleh satuan sedimen pasiran dan lempungan di bagian atas yang mengandung air tawar. Ke bawah, berangsur menjadi satuan lanau pasiran dan gamping pasiran yang mengandung air payau. Dari kedalaman 10 meter sampai dengan 90 meter, ada satuan pasiran yang mengandung air asin. Di bagian tengah lintasan, lintasan diwakili oleh sedimen gamping dan lanau pasiran napalan yang relatif tinggi nilai tahanan jenisnya. Satuan ini berupa lensa hingga kedalaman 50 meter, membaji ke arah timur, dialasi oleh satuan sedimen yang mengandung air payau hingga ke akhir lintasan, tetapi menjemari dengan satuan pasir lempungan yang terisi air asin.

Model stratigrafi litoresistivitas ini dapat mewakili sebagai gambaran yang sama di beberapa pesisir yang tersusun oleh satuan gamping cangkang, pasir lanauan, napal pasiran dan lempung karbonatan. Untuk Formasi Koba yang berupa batu gamping padat dengan rongga pelarutan, gambaran litoresistivitas akan berbeda. Rongga pelarutan cukup besar lulus air ini tidak memberi peluang pemisahan antara masa air tawar dengan air asin karena air tawar resapan langsung tercampur dengan air asin di dalam akuifer berongga.

Beberapa hal dapat dicatat dari hasil penafsiran nilai tahanan jenis dari lapisan sedimen bawah tanah di Pulau Womar. Salah satunya adalah terdapat perselingan lapisan batuan klastik dan karbonatan berumur Tersier hingga kedalaman >80 meter. Lapisan dengan kesarangan dan kelulusan dari batuan sedimen mengandung air asin dan air tawar. Perlapisan mendatar berubah litologi dan kandungan airnya dari asin, payau, dan tawar. Sedimen Kuartar umumnya tipis sebagai batuan klastik berlapis dengan penyebaran terbatas. Batas perlapisan tipis di satuan Kuartar ditafsirkan sebagai bidang erosi atau ketidakselarasan dengan perubahan cepat dari sedimen fasies darat dan

laut dangkal. Kelompok satuan sedimen Kuarter secara keseluruhan berpotensi sebagai lapisan akuifer dangkal (Gambar 3.35, Gambar 3.36, Gambar 3.37, Gambar 3.38, Gambar 3.39, dan Gambar 3.40). Sebagai satuan sedimen klastik pasiran, satuan sedimen Kuarter sangat baik sebagai bahan untuk akuifer dangkal buatan pada pembangunan reservoir tertutup, yakni pengisi galian yang dialasi lapisan kedap air. Salah satu kelompok sedimen Kuarter adalah endapan pematang pantai berupa pasir gampingan yang sebagian tersingkap berupa punggungan tingggaan di pesisir, seperti di Pulau Womar, pantai barat pulau utama (Kecamatan Aru Selatan), sekitar Meror di Aru Selatan, dan sebagian pantai timur pulau utama serta pulau-pulau kecil di Kecamatan Aru Selatan Timur (Gambar 3.35 dan Gambar 3.36). Ketebalan lapisan ini diperkirakan setempat mencapai 20 meter. Lapisan sedimen pasiran gampingan ini dialasi dan sebagian dibatasi oleh bidang ketidakselarasan dengan satuan lebih tua berupa lapisan sedimen lempung sisipan kalkarenit (batu gamping pasir) yang berumur Terier Kuarter kelompok Formasi Wasir yang tersingkap di Pulau Womar dan sebagian pesisir barat Aru. Pada penampang, kelompok sedimen ini terdapat pada kedalaman 10 hingga 30 meter (Gambar 3.35, Gambar 3.36, Gambar 3.41, Gambar 3.42, Gambar 3.43, dan Gambar 3.44).

Satuan batuan yang memiliki kesarangan dan lolos air yang berada pada kedalaman lebih dari 20 meter hingga sekitar 80 meter di Pulau Womar, ditafsirkan sebagai lapisan sedimen pasiran dan gampingan dari kelompok yang terbentuk di lingkungan laut dangkal, delta atau pantai yang termasuk dalam Formasi Wasir, Anggota Jambulenga, dan sebagian dari Formasi Manumbai. Kelompok sedimen dari beberapa formasi tersebut tersingkap di sisi barat Aru bagian utara (Gambar 3.35, Gambar 3.36, Gambar 3.41, Gambar 3.42, Gambar 3.43, dan Gambar 3.44).

Lapisan sedimen yang bersifat gamping kapuran, napal dengan sisipan napal pasiran memiliki kesarangan dan kelolosan mengandung air asin. Air asin ini diduga sebagai air formasi. Satuan ini ditafsirkan sebagai bagian dari Formasi Manumbai dan pada penampang hasil

pengukuran di Dobo terdapat pada kedalaman > 80 meter (Gambar 3.35, Gambar 3.36, Gambar 3.41, Gambar 3.42, Gambar 3.43, dan Gambar 3.44). Formasi Manumbai terdiri dari batuan gamping cangkang yang memiliki kesarangan di tempat yang masih terdapat air asin.

## **E. Air dan Perencanaan Pengelolaan Wilayah**

Selain keadaan alam, unsur yang juga harus dipertimbangkan dalam upaya adaptasi terhadap risiko ancaman bahaya kejadian ekstrem adalah bagaimana pengelolaan wilayah tersebut direncanakan dan dilakukan. Pengelolaan dan hasilnya di masa depan dapat dilihat pada bagaimana rencana tata ruang dan rencana pembangunan kawasan tersebut disiapkan. Pengembangan dan penataan Kepulauan Aru dalam RTRW kawasan Laut Banda menempatkan Aru sebagai kawasan depan yang kehidupan sosial ekonomi masyarakatnya diarahkan untuk mengelola sumber daya laut dan daratannya secara lestari dengan pendekatan sebagai sumber bahan pangan dan pendayagunaan ekosistem sebagai kawasan wisata alam (Gambar 3.45).

Sebagian besar daratan pulau masih berupa hutan tropis yang sangat rentan terhadap perambahan. Selain itu, jenis batuan napalan dan karbonatan, di mana terdapat bentangan hutan, sangat rawan mengalami kerusakan solum yang sulit pemulihannya ketika hutan rusak menjadi lahan terbuka. Kerawanan lainnya adalah keterbatasan transportasi yang menyebabkan pengamanan kekayaan alam tidak dapat dilakukan. Citra satelit mengungkapkan terjadinya perambahan hutan berupa penebangan dan pembukaan lahan kebun di sepanjang alur yang menjadi akses menuju pedalaman.

Dokumen Rencana Tata Ruang dan Rencana Pembangunan Jangka Menengah-Panjang tingkat kabupaten maupun provinsi memberikan gambaran mengenai upaya pemerintah mengelola sumber daya alam dengan sangat hati-hati. Dalam dokumen itu, pembangunan kawasan ekonomi harus dirancang dengan saksama dan dilakukan bersamaan dengan perlindungan dan penguatan lingkungan serta sumber daya alam. Hal ini dilakukan guna menurunkan risiko ancam-



an bencana dari kejadian ekstrem apa pun ketika ketahanan sumber daya dan lingkungan menjadi rapuh akibat pengelolaan serampangan. Keutuhan lingkungan menjadi kekuatan untuk menghadapi bencana tersebut.

Peta yang terkait dengan rencana penataan ruang dan pembangunan pusat kegiatan di Kepulauan Aru dijadikan sebagai bahan rujukan dalam buku ini, terutama dalam analisis kesesuaian tempat dan waktu pembangunan serta pengembangan teknologi peningkatan ketersediaan air. Selain pertimbangan unsur teknis yang didasarkan pada



Sumber: Google (2018)

**Gambar 3.46** Foto Citra Satelit Sebagian Kawasan Rencana Cagar Alam di Kepulauan Aru



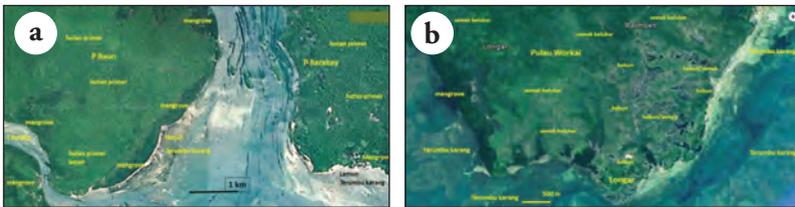
Sumber: Google (2018)

**Gambar 3.47** (a) Foto Citra Satelit Permukiman (Irluy); dan (b) Permukiman (Algardang) di dalam Kawasan Rencana Cagar Alam di Kepulauan Aru

keadaan alam, unsur sosial kemasyarakatan dan unsur ketersediaan air di kawasan pusat pengembangan ekonomi juga diperhitungkan. Berdasarkan penilaian tersebut, dapat diperoleh gambaran di bagian mana, jenis sarana, besaran, kapan dan bagaimana skema pembiayaan pembangunan sarana penguatan ketersediaan air tersebut dilakukan.

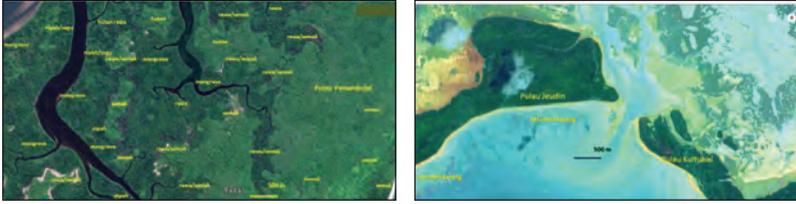
Kawasan cagar alam dan suaka margasatwa disediakan di bagian tengah pulau. Kawasan ini menempati daerah dengan singkapan batuan batu gamping kapuran dan napal. Kawasan hutan lindung berbatasan dengan alur rekahan yang dapat menjadi akses masuk ke kawasan ini (Gambar 3.45, Gambar 3.46, dan Gambar 3.47a dan Gambar 3.47b). Beberapa pemukiman, yaitu Irloy, Alkadang dan Manjau, letaknya berdekatan dengan kawasan lindung. Kawasan-kawasan tersebut juga berbatasan dengan lahan yang dicadangkan bagi hutan produksi konversi—yang seharusnya ditapis oleh lahan hutan produksi tetap guna menghindari akses langsung ke cagar alam.

Berdasarkan interpretasi citra satelit Landsat kanal 257, sebagian besar sisi kanal yang membelah pulau telah mengalami perambahan, sebagian di antaranya bahkan telah menjadi lahan tanaman jangka pendek. Hal sama terlihat di sebagian kawasan sekitar estuari di pesisir timur pulau. Alokasi kawasan lindung juga menyangkut lingkungan di luar pulau utama yang diperuntukkan bagi ekosistem pulau kecil di Pulau Baun dan wilayah lain di Kecamatan Aru Tengah dan Selatan



Sumber: Google (2018)

**Gambar 3.48** (a) Tutupan Lahan di Pulau Baun (kawasan Suaka Margasatwa) dan Barakey yang Berupa Hutan Tropis Primer Dataran Rendah, Mangrove, dan Terumbu Karang-Lamun. (b) Citra di Pulau Workai Bagian Selatan Sebagai Kawasan Pelestarian Sosial Budaya



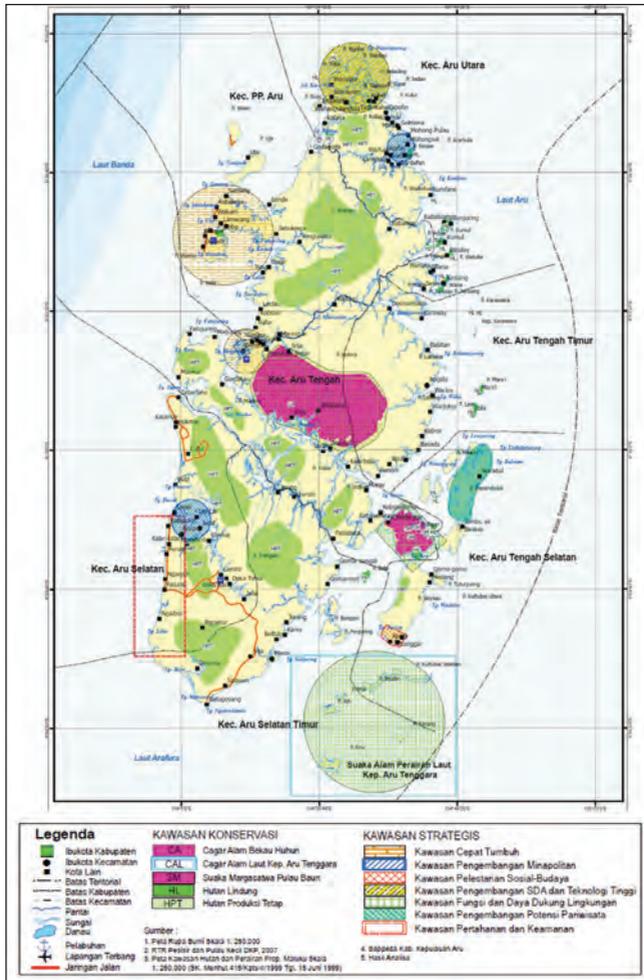
Sumber: Google (2018)

**Gambar 3.49** (a) Citra di Pulau Penambulii Bagian Utara Sebagai Kawasan yang Layak Diusulkan Sebagai Kawasan Pelestarian Ekosistem Lahan Basah Pesisir Pulau Kecil. (b) Citra di Pulau Eudin dan Kultubai di Perairan Kecamatan Aru Selatan Timur Sebagai Kawasan yang Layak Diusulkan Sebagai Kawasan Pelestarian Ekosistem Pulau Kecil dan Perairan Terumbu Karang

Timur (Gambar 52, Gambar 55a, Gambar 55b, Gambar 56a, Gambar 56b, dan Gambar 57). Kawasan ini, walaupun berada di suatu pulau terpisah, letaknya berdekatan dengan pesisir dan pulau yang akan berkembang permukimannya seiring dengan penetapannya sebagai kawasan pengembangan sentra hasil hutan dan perikanan (Gambar 1.3 dan 3.45).

Sebagai hutan tropis dataran rendah pulau kecil yang tidak banyak tersisa di tempat lain, luasan kawasan lindung ini seharusnya lebih luas daripada yang telah dirancang. Sebagian lahan berstatus hutan produksi tetap (seperti di wilayah Kecamatan Aru Tengah, Aru Tengah Timur, Aru Selatan, dan Selatan Timur, serta Pulau-Pulau Aru) seharusnya ditingkatkan menjadi kawasan hutan lindung yang berfungsi sebagai kawasan hutan penyangga hutan lindung inti.

Demikian halnya dengan kawasan hutan lindung di Pulau Baun yang seharusnya diperluas dengan memasukkan beberapa pulau (Pulau Penambulii, Minion, dan sebagainya) yang terletak di antara pulau utama dan Pulau Penambulii. Hutan lindung atau yang berstatus taman nasional pesisir dan laut, selain di beberapa pulau lepas pantai wilayah Kecamatan Aru Selatan, perlu diperluas dengan daerah pesisir dan pantai di kawasan estuari wilayah Kecamatan Aru Selatan Timur, Aru Tengah Timur, dan Aru Utara. Kawasan lindung ini mencakup beberapa ekosistem sekaligus sebagai lingkungan yang



Sumber: Bappeda Kab. Kep. Aru dalam Hantoro dkk. (2012).

**Gambar 3.50** Peta Kawasan Strategis Pusat Pengembangan Kabupaten Kepulauan Aru Bagian Utara

Buku ini tidak diperjualbelikan.

utuh, yaitu darat, lahan basah rawa, pantai, dan perairan dangkal, termasuk pulau kecil.

Informasi lain pun harus diperhitungkan sebagai rujukan analisis kesesuaian pembangunan pengembangan sebagai sasaran program jangka menengah dan jangka panjang. Terdapat beberapa kawasan pengembangan yang tersebar merata menurut potensi dan daya dukung sumber daya alam dan lingkungan setempat (Bappeda Kab. Kep. Aru, 2011).

Kawasan pusat pengembangan tersebut memerlukan air dalam jumlah yang cukup guna menjamin keberlangsungan programnya.

Beberapa kawasan tersebut berikut lokasinya adalah:

1. Kawasan cepat tumbuh di sekitar Pulau Wamar dan Benjina di Aru Tengah;
2. Kawasan pengembangan minapolitan di Aru Selata (Kalar) dan Utara (Binaar);
3. Kawasan pelestarian sosial budi daya di Pulau Workai Selatan (Yonggar);
4. Kawasan pengembangan SDA dan teknologi tinggi di Aru Utara (Yelawan) dan sekitar Benjina;
5. Kawasan fungsi dan daya dukung lingkungan di Aru Selatan di Pulau Jeh, Mar, Jeudin, Karang, Kutubai Selatan, dan Enu;
6. Kawasan pengembangan potensi pariwisata di Pulau Penambulai;
7. Kawasan pertahanan dan keamanan di Aru Selatan;

Dari kawasan-kawasan tersebut, permintaan akan air sangat tinggi di kawasan yang cepat pertumbuhannya. Keragaman kegiatan di kawasan ini sangat tinggi, dan hampir semuanya memerlukan air dalam jumlah banyak, bahkan jumlahnya selalu meningkat. Kawasan lain yang permintaan akan airnya juga tinggi adalah kawasan pengembangan industri hasil sumber daya alam—dari budi daya hingga industri pengolahan. Kawasan pengembangan SDA dan teknologi tinggi juga

memerlukan jaminan ketersediaan air, terutama bila mengembangkan industri sumber daya alam hasil hutan menggunakan teknologi tinggi. Kawasan militer dan pertahanan juga mensyaratkan jaminan ketersediaan air guna mendukung kegiatannya. Kawasan lain, seperti pengembangan wisata, memerlukan air untuk menjamin konsumsi dan sanitasi hunian wisata. Dalam sektor pertanian dan perkebunan, air juga menjadi bagian penting, terutama bila komoditas yang dikembangkan memerlukan air dalam jumlah banyak. Oleh karena itu, pemilihan jenis komoditas yang akan dikembangkan harus mempertimbangkan banyak hal, misalnya nilai ekonomi dan kesesuaian lahan dengan jenis komoditas tersebut—apakah komoditas tersebut termasuk jenis yang tidak memerlukan air dalam jumlah besar atau tidak. Teknologi pengairan hemat air, seperti *drip* dan *springle irrigation*, harus dipertimbangkan untuk dikembangkan. Walaupun curah hujan total untuk Kepulauan Aru termasuk cukup ( $> 2.500$  mm/tahun), hujan tersebar tidak merata dengan puncak hujan pada akhir dan awal tahun (monsunal). Keadaan demikian di suatu pulau datar akan menyebabkan sulitnya penyaluran air secara ruang dan waktu serta mahal biayanya. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan membangun reservoir dengan volume kecil dan tersebar di tempat yang memerlukan.



## IV

# Adaptasi dan Peningkatan Ketahanan

---

### A. Keadaan yang Dihadapi

Curah hujan di kawasan Kepulauan Aru relatif tinggi, bahkan hingga 2241,8 mm per tahun berdasarkan data dari bandara Dobo (BMKG, 2011). Tingginya curah hujan menjadi unsur positif pada neraca hidrologi. Bila terjadi keadaan ekstrem cuaca, kerawanan ketersediaan air meningkat. Hal ini tentunya harus menjadi perhatian. Cuaca di Kepulauan Aru ditandai oleh arah tiupan angin yang berubah seiring putaran musim, yakni angin tenggara dan barat laut. Kecepatan angin dapat mencapai lebih dari 7 meter/detik dan ketinggian gelombang mencapai 2 meter. Gelombang dengan cepat meningkat ketinggiannya saat kejadian ekstrem cuaca, kemudian menjangkau permukiman pesisir pantai terbuka, merusak pantai, dan menimbulkan genangan. Saat kejadian ekstrem dan pasang perbani, genangan di kawasan kota lama sekitar pasar dan kampung dok semakin tinggi dan terjadi lebih lama. Beda pasut sangat signifikan. Terdapat 4 jenis pasang surut, yaitu harian tunggal, harian ganda, gabungan mengarah tunggal dan mengarah ganda, tetapi jenis pasang harian tunggal memberi waktu

Buku ini tidak diperjualbelikan.

puncak lebih singkat namun dengan muka laut maksimum lebih tinggi dan minimum lebih rendah. Kebalikannya pasut harian ganda berlangsung dua kali sehingga lebih lama masa berlangsungnya namun muka laut maksimum lebih rendah. Pada pasut ganda, setelah terjadi ketinggian puncak, genangan cepat susut. Yang menjadi persoalan adalah bila tinggi maksimum puncak pasut harian terjadi bersamaan dengan cuaca ekstrem, berangin dan bergelombang kuat maka akan berakibat genangan lebih lama dengan hantaman kuat pada apa pun yang terdapat di pantai. Ancaman gelombang tinggi sebagai dampak dari kejadian ekstrem cuaca dan geologi menjadi unsur yang meningkatkan kerawanan terhadap ketersediaan air di pesisir. Hal ini juga menjadi pertimbangan dalam upaya adaptasi menghadapi ancaman bahaya tersebut.

Keadaan geologi dan morfologi pulau berpengaruh terhadap ketersediaan air. Hal ini karena kemampuannya yang terbatas untuk menahan dan menyimpan air hujan. Morfologi relatif datar, jenis batuan yang cukup padat, dan lempungan napalan menyebabkan resapan tidak cukup tersimpan untuk masa satu putaran musim terutama di kawasan pesisir dan pulau kecil.

Keadaan sosial kemasyarakatan juga menjadi pertimbangan dalam upaya perancangan skema adaptasi menghadapi kerawanan kerusakan lingkungan. Hal ini berdampak pada meningkatnya kerawanan ketersediaan air bersih. Perspektif pengembangan kawasan kepulauan ini pada skema tata ruang nasional, provinsi, maupun tingkat lokal menjadi rujukan bagi rancangan adaptasi keadaan ekstrem dan kerawanan neraca air.

Saat ini, keseimbangan antara neraca air dan keperluan masih terjaga. Namun, keadaan ini segera berubah bila permintaan air bersih meningkat akibat penambahan penduduk dan peningkatan permintaan air bersih untuk pengembangan pusat kegiatan. Oleh karena itu, adaptasi dan antisipasi harus segera dilakukan dengan rancangan yang tepat. Rancangan tepat dapat dilakukan bila keadaan semua unsur lingkungan dan dinamika alamnya diketahui. Keadaan di Kepulauan Aru secara singkat disampaikan sebagai latar belakang

untuk merancang peningkatan ketahanan guna adaptasi terhadap kejadian ekstrem.

Kegiatan manusia yang berdampak negatif dalam bentuk penambangan koral terumbu dan pasir pantai masih berlangsung di beberapa ruas pantai di seputar Pulau Wamar. Kegiatan penambangan pasir pantai memang biasa dilakukan warga untuk memperoleh bahan bangunan. Namun, kegiatan yang dilakukan di Pulau Wamar telah melampaui batas akibat permintaan besar-besaran untuk pembangunan di Kota Dobo. Pasir pantai yang dimaksud adalah endapan pasir karbonat yang terhampar di mintakat intertidal dan infratidal, yakni pantai yang tercapai oleh muka pasang dan yang berada di dasar perairan tepi pantai. Penambangan juga dilakukan pada pasir pantai yang berupa pematang pantai purba yang tersingkap pada mintakat supratidal, pada ketinggian > 2 meter dari muka laut, dan pasang maksimum berjarak hingga 100 meter dari garis pantai. Pematang berupa tinggian berderet beberapa baris sejajar pantai yang dahulu terbentuk oleh gelombang dan angin (Gambar 4.1 dan Gambar 4.2). Pematang ini sebagian besar merupakan endapan yang terbentuk sebagai sedimen pantai purba (Holosen).



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.1** Muara dan Endapan Pematang Pantai di Aru Selatan Timur



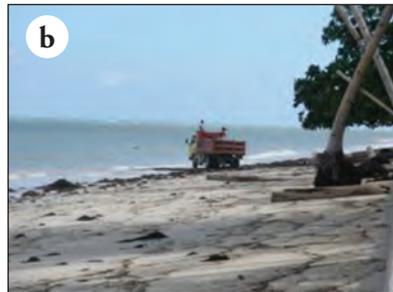
Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.2.** Permukiman di Pematang Pantai dan Lahan di Pesisir Barat Aru Selatan

Sebagai contoh, penguatan ketersediaan air untuk Desa Meror dapat memanfaatkan pematang pantai sebagai tempat dan pasirnya sekaligus sebagai bahan untuk akuifer buatan embung tertutup. Lahan tempat pematang pantai digali dan diberi lapisan kedap air sebelum pasir ditimbunkan kembali. Pembangunannya dapat dilakukan bertahap. Air hujan juga dapat disimpan dengan cara membendung sungai saat musim hujan dan mengalirkannya ke dalam embung, Pengisian hanya dilakukan saat musim hujan ketika air sungai berlimpah dan bersih. Embung tertutup lain dibangun di bagian utara dengan menurap sungai di dekat permukiman baru.

Penambangan pasir pematang pantai ini merusak neraca dan sistem hidrologi air tanah dangkal. Hal tersebut terjadi di Desa Durjela dan Wangel (Gambar 60a 60b, dan 63). Penambangan pasir mengubah morfologi pantai sehingga menggeser titik jatuh tenaga maksimum empasan gelombang di titik lemah dan mengakibatkan abrasi. Penambangan koral merusak tubir depan terumbu karang yang berperan sebagai pemecah gelombang dan sebagai ekosistem yang menghasilkan bahan sedimen. Ekosistem ini mendukung sedimentasi di pantai dari bagian yang secara teratur tergerus dan terangkut ke

tempat sisi lain pantai. Penambangan pasir menjadi masalah yang tidak mudah diselesaikan. Ekosistem mengalami kerusakan dan ada ancaman tergerusnya permukiman pantai akibat abrasi serta rusaknya neraca hidrologi air tanah dangkal akibat penambangan pematang pantai. Keperluan pasir dan batuan meningkat tajam menyusul pembangunan di Dobo. Pasir juga didatangkan dari Pulau Ujir dan Wasir di utara Pulau Womar (Gambar 61).



Sumber: Wahyoe S. Hantoro (2012)

**Gambar 4.3** (a) Penambangan Pasir Pematang Pantai di pesisir (30–150 meter dari garis pantai) di Pulau Womar. (b) Penambangan Pasir di Tepi Pantai di Desa Durjela di Pulau Womar



Sumber: Wahyoe S. Hantoro (2012)

**Gambar 4.4** (a) Penambangan Pasir di Pantai Pulau Wasir di Perairan Barat Laut Aru. (b) Penambangan pematang pasir menjadi usaha ekonomi yang melibatkan banyak pihak yang ditopang modal dan peralatan berat.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Nama pemilik foto (tahun)

**Gambar 4.5** (a) Abrasi Pantai Dampak Penambangan Pasir di Pantai (intertidal) di Pulau Womar. (b) Tanggul Pelindung Pantai di Kalar untuk Menahan Abrasi Akibat Gempuran Gelombang



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.6** Desa Wangel di Dobo, pesisir barat pulau. Tanggul pelindung dari abrasi telah beberapa kali diperbaiki. Pengambilan pasir di pantai dam koral dari ratahan terumbu di perairan.

Pematang pasir pantai dapat dikenali dengan mudah di lapangan maupun pada citra satelit. Pada citra satelit, pematang pasir pantai tergambar sebagai tinggian berderet beberapa baris sejajar pantai. Pematang ini dahulu terbentuk di pantai oleh gelombang dan angin (Gambar 4.1 dan Gambar 4.2). Pematang semakin bertambah luas dan berangsur maju ke arah laut. Pematang pantai yang berupa timbunan pasir umumnya menjadi dasar membangun permukiman karena bersih, kering, dan dari lapisan sedimennya diperoleh air bersih. Di atas lahan berpasir dapat ditanam tanaman keras, misalnya

kelapa dan tanaman lain yang dapat diambil kayunya atau sebagai peneduh atau pelindung angin kencang.

Pematang ini sebagian besar merupakan endapan yang terbentuk sebagai sedimen pantai purba (Holosen). Satuan batuan ini tergolong sedimen klastik dengan butiran yang belum mengalami perekatan semen, terpilah baik, berbutir membundar, dan memiliki ukuran halus hingga sedang. Sumber butiran pasir berasal dari hancuran terumbu karang dan sedimen dari darat yang terangkut hingga muara kemudian terbawa arus ke sisi pantai lainnya. Pengendapannya terbentuk karena angin, arus, dan gelombang. Satuan ini diandalkan sebagai kawasan resapan dan penyimpanan air tanah dangkal untuk permukiman pantai seperti yang banyak terdapat di sekeliling pulau utama. Ukuran ketebalan, luas sebaran, dan keadaan sedimen penyusunnya menjadi unsur penentu dalam penyimpanan air tawar di dalam satuan ini. Pembentukan endapannya tergantung pada ketinggian gelombang dan sumber sedimen berbahan pasir di dekat muara yang terbuka ke laut lepas. Mintakat pematang pantai ditemukan di pesisir barat dan tenggara pulau, seperti di sekitar Desa Meror di Aru Selatan Timur (Gambar 4.1 dan 4.2). Permukiman di atas pematang pantai ini umumnya hanya memiliki beberapa sumur air tawar (Gambar 4.7a dan Gambar 4.7b).



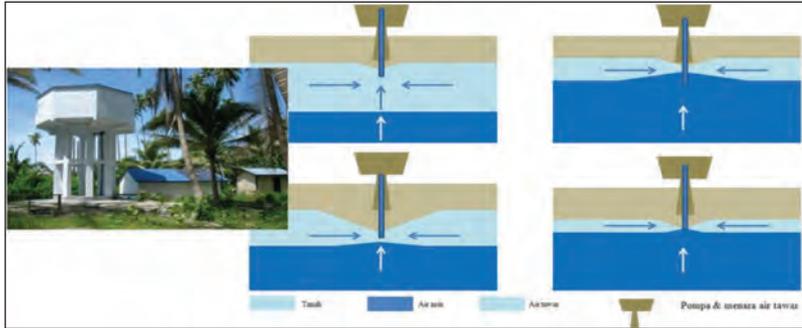
Foto: Wahyoe S. Hantoro (2008)

**Gambar 4.7** (a) Sumur umum di Kalar-kalar; dan (b) Sumur umum di desa Wokam. Kedua sumur tersebut dibuat di pematang pantai berpasir.

Sumur utama, atau sumur yang selalu terisi air tawar, dibuat dengan dinding berupa timbunan koral tanpa semen. Keadaan ini memungkinkan air tawar mengalir masuk dari sisi dinding berlubang tersebut. Bila diambil dengan cara ditimba, air tawar akan terjaga volumenya karena terus terisi dari samping. Pada sumur yang dindingnya tersemen hingga dasar, air tawar tidak dapat masuk dan sumur hanya terisi air asin yang berada di bagian bawah yang keluar dari dasar sumur tempat air asin mengisi kolom air sumur. Keadaan ini biasanya ditemukan di sumur yang baru dibuat karena masyarakat beranggapan dinding sumur yang tersemen akan menahan longsor dinding dan air akan bertambah banyak bila sumur bertambah dalam.

Jumlah sumur utama terbatas karena air tawar hanya terpisah dari air asin di dalam lapisan sedimen yang memenuhi syarat (mempunyai kesarangan, tetapi berbutir halus). Air tawar terpisah dengan baik bila meresap di dalam sedimen pasir halus atau sebagian telah menjadi solum. Solum terbentuk dari perakaran pohon. Sumur berisi air tawar sering ditemukan berdekatan dengan pohon sukun (*Artocarpus altilis*). Pohon ini perakarannya menghasilkan solum yang menjadi tempat paling sesuai untuk menahan air hujan yang meresap dan tetap tawar serta terpisah dari air asin di bawahnya. Tidak semua pematang pantai memenuhi syarat untuk menyimpan air hujan dalam jumlah yang cukup banyak. Bila air tawar diambil secara berlebihan, akan menyebabkan kekosongan-kekosongan di dalam sedimen (akuifer). Kekosongan ini akan diisi oleh air asin yang berada di bawah atau dari sekelilingnya (Gambar 4.8). Kondisi air yang semula tawar kemudian berangsur asin sering ditemukan saat pengambilan air dilakukan terus-menerus dan dalam jumlah besar dengan memakai pompa. Air di pompa dialirkan terlebih dahulu ke dalam menara air agar lebih mudah didistribusikan ke rumah penduduk (Gambar 4.6).

Terdapat kerawanan dalam pemakaian air tawar terpusat yang dilengkapi dengan jaringan distribusi untuk seluruh permukiman (Gambar 4.8) yang dilakukan di suatu pulau kecil datar. Pulau kecil ini memiliki permukaan berpasir dengan ketebalan antara 2–4 meter dari bahan pasir karbonat pecahan dari terumbu karang.

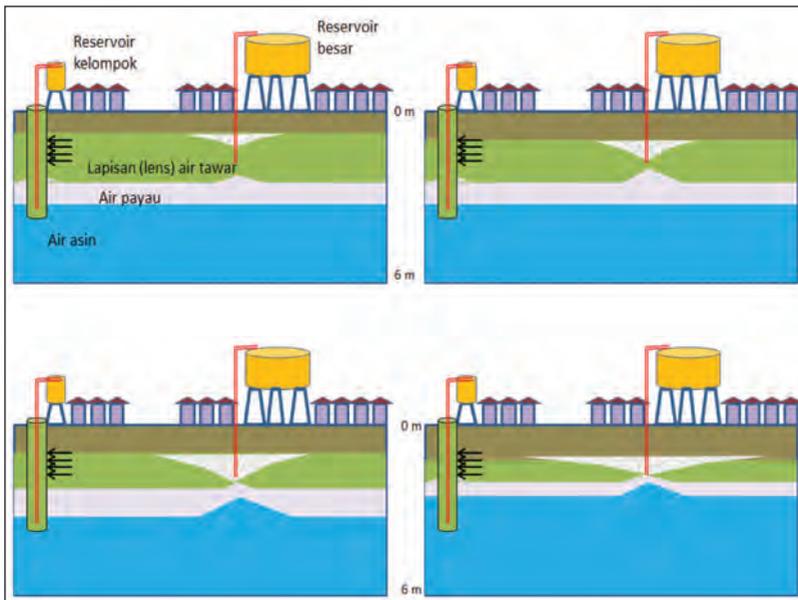


Sumber: Hantoro (2012)

**Gambar 4.8** Diagram Urutan Perubahan Lensa Air Tawar di Pulau Kecil Akibat Pengelolaan Berlebih dengan Cara Pengambilan Terpusat dalam Jumlah Besar di Suatu Sistem Air Tawar Tanah Dangkal Pesisir dan Pulau Kecil

Di titik dilakukan pemompaan, terjadi penipisan lensa (lapisan air tawar) secara cepat sehingga menjadi cekung, selanjutnya lapisan tersebut terjadi penipisan secara merata hingga pipa dari pompa terbuka langsung pada lapisan akuifer, dan menyedot air asin. Ketinggian air asin semakin naik seiring dengan penipisan lapisan air tawar yang ada di bagian atas. Bahaya selanjutnya dari cara ini adalah terjadinya intrusi air asin yang tidak dapat dihilangkan oleh resapan air tawar dari air hujan. Pemulihan melalui injeksi air meteorik pada akuifer yang mengalami pengosongan dapat dengan cepat dan mudah dilakukan. Tampungan air hujan dari beberapa rumah diinjeksikan ke dalam lapisan pasir penyimpan air tawar. Dengan cara tersebut, lapisan sedimen dangkal yang mengandung air tawar selalu penuh terisi air hujan dari tampungan di tiap atap rumah yang dilayani oleh sumur optimalisasi. Masalahnya, usaha seperti itu tidak dapat mengejar cepatnya pengosongan lapisan penyimpan air dangkal, terlebih bila lapisan kosong tersebut segera terisi air asin dari bagian bawah atau dari samping lapisan. Keadaan ini akan menjadi semakin parah bila musim kemarau berlangsung lebih lama sehingga terjadi keterlambatan pengisian air tawar melalui resapan air hujan pada lapisan akuifer dangkal.

Pulau kecil di Indonesia terbentuk dari timbunan pasir yang terkumpul di atas sisa rataan terumbu karang yang telah terhenti pertumbuhannya. Sisa terumbu karang ini masih menyimpan air asin. Ketinggian pulau umumnya hanya beberapa sentimeter di atas muka laut pasang tertinggi. Keadaan ini menyebabkan air asin di dalam lapisan tanah yang masih berhubungan dengan air laut juga naik mengikuti tingginya muka air laut pasang tinggi. Resapan dari arah laut ke darat ini bisa diatasi dengan penanaman mangrove di pantai yang perakarannya membentuk penapis yang dapat mencegah resapan air laut ke arah darat. Selain mangrove, tanaman kayu yang perakarannya mampu membentuk solum tebal juga dapat meningkatkan kualitas sedimen sebagai penyimpan air tawar resapan dari hujan. Tanaman jenis sukun (*Artocarpus altilis*) sering ditemukan



Sumber: Hantoro dkk (2014)

**Gambar 4.9** Kondisi air tawar pada teknologi modul sumur optimalisasi skala kecil rancangan LIPI dibanding dengan eksploitasi air sumur skala besar (kasus Pulau Derawan dan Maratua).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

membentuk solum tebal yang menyimpan air resapan hujan tetap terpisah dari air asin di bawahnya. Pemisahan antara air tawar dari resapan di permukaan dengan air asin yang telah ada di dasar sedimen yang berpori terjadi bila tekanan antarbutir cukup tinggi, yakni sebagai tarikan antara molekul air dan butir halus sedimen. Pada sedimen kasar, air tawar dan asin cepat tercampur. Dengan demikian, teknologi sumur optimalisasi tidak dapat diterapkan di pantai berongga sebagaimana pada batu gamping.

Berdasarkan beberapa data, daur hidrologi di Kepulauan Aru didukung oleh curah hujan tinggi yang menyumbang air meteorik (hujan) sebagai sumber utama air tawar. Rapatnya tumbuhan, walau hanya sebagai hutan sekunder, berperan membentuk solum dari batuan napalan dan karbonatan keras. Solum ini membantu meningkatkan resapan dan menahan air tidak menjadi aliran permukaan sehingga cukup waktu untuk tersimpan. Tebalnya solum menentukan volume air tawar dan lama waktu air tawar tersimpan serta terpisah dari air asin yang menempati rongga di batuan induk. Selain meresap di solum, air juga meresap pada lapisan batuan segar. Jenis batuan (segar) yang tersingkap adalah gamping cangkang dari Formasi Manumbai dan beberapa lapis sedimen pasir sisipan merupakan Anggota Jambulenga atau gamping kapusan Formasi Koba. Lapisan sedimen tersebut memiliki kelulusan yang mempermudah sebagian volume air meteorik meresap mengisi pori. Jenis-jenis batuan tersebut memiliki pori-pori relatif halus, karena tingginya tekanan pori, dapat menahan air tawar (hujan) terpisah dari air asin di bagian bawahnya. Bagian dari beberapa satuan tersebut, yang berupa napal dan batu gamping padat, menjadi penyekat yang menyimpan air di bawah permukaan.

Perlapisan datar, sementara morfologi landai di pesisir tetapi curam di pantai. Hal tersebut tidak mendukung tercapainya penyimpanan air tawar resapan di dalam akuifer. Genangan cenderung mengalir ke laut daripada meresap ke dalam batuan. Peresapan lebih sulit berlangsung pada satuan napal padat berlapis pada satuan Anggota Jambulenga Formasi Manumbai yang juga membentuk bentang alam landai. Tingginya keragaman litologi dengan kesarangan berbeda

yang cepat berubah secara mendatar maupun tegak mengurangi penyebaran dan penyimpanan air dalam tanah. Di pesisir landai dan pulau kecil yang datar dan rendah, air hujan tidak mudah meresap. Hal ini mendorong air formasi asin yang telah mengisi ruang karena berat jenis air asin lebih besar daripada berat jenis air tawar. Keadaan demikian menghasilkan perubahan kualitas air dari sumur yang dibuat di pesisir landai, sebagaimana teramati di Wangel, Durjela, dan permukiman-permukiman lain di gugus Kepulauan Aru.

Penggenangan air asin akibat rob atau gelombang tinggi menyebabkan pengisian air asin melalui permukaan, kemudian diikuti pencampuran dengan air tawar dalam akuifer. Pencampuran ini berlangsung lebih cepat pada sedimen dengan kesarangan dan kelulusan tinggi, yakni pada lapisan sedimen yang kasar butiran pasirnya. Akibat tekanan air asin dari atas ke lensa air tawar di bawahnya, terjadi pembebanan dan penipisan lensa air tawar sehingga mendorong air asin merembes ke samping, lalu keluar ke laut. Tingginya muka air laut dan tekanan gelombang memicu intrusi air asin dari arah laut menekan lensa air tawar pada akuifer. Bila pengambilan air tawar pada lensa dilakukan tidak seimbang dengan resapan air hujan, terjadi penipisan lensa dengan cepat akibat tekanan dari samping dan dari bawah oleh air asin (Gambar 4.8 dan Gambar 4.9).

Lintasan Dipole-dipole yang dibuat di beberapa tempat (Desa Wangel, Durjela, dan Jalan Ali Murtopo) ditandai oleh pantai landai dengan rataan intertidal luas berupa pasir campuran karbonat dan padang lamun. Garis pantai adalah berupa lereng landai punggung pasir pantai tempat rumah dan jalan dibangun. Ketinggian muka air tanah (MAT) dangkal berjarak antara 80–120 cm dari muka tanah dan ketinggiannya mencapai 100 cm dari muka air pasang paling tinggi. Pada keadaan demikian, pasang paling tinggi sebenarnya dapat melampaui tinggi muka air tanah. Bila lensa air tawar menumpang di atas air asin yang terhubung dengan massa air laut, massa lensa air tawar akan mengalami pengangkatan dengan muka air tanah menjadi lebih tinggi saat pasang, dan sebaliknya. Hasil pengukuran di beberapa sumur pantai (50–150 meter dari garis pasang tinggi) di Pulau Womar

memperlihatkan perubahan muka air tanah dangkal dalam sumur yang mengikuti pola pasang surut. Perubahan berkisar antara 30–60 cm dari permukaan paling tinggi. Bila dibandingkan pasut yang mencapai -225 cm saat surut paling rendah, sebagian air tawar dalam akuifer sempat lolos mengalir keluar ke laut sebelum lensa air tawar tertahan kembali ketika muka laut naik kembali. Curah hujan tinggi mengisi akuifer dari resapan di permukaan sehingga dapat menjaga ketebalan lensa selama musim hujan. Kelebihan resapan akan mempertebal lensa sehingga menaikkan muka air tanah (MAT). Kondisi relatif tinggi curah hujan, jenis batuan resapan, morfologi, tutupan lahan, dan konsumsi masyarakat menjadi faktor neraca air tawar yang berbeda antara satu dengan lain tempat di pesisir. Lintasan di Desa Wangel dan Durjela dibuat di luar permukiman sehingga penampang tahanan jenis hanya menggambarkan kondisi relatif alamiah yang tidak mengalami gangguan lensa air tawar akibat pemakaian oleh masyarakat. Namun, lensa air tawar terlihat relatif tipis. Resapan air hujan pada daerah sekitar penampang diduga tidak berlangsung maksimal, sementara aliran air tanah dari pedalaman tidak cukup mengisi akuifer. Kemungkinan lain adalah lolosnya air mengalir ke laut dari akuifer ketika surut terendah berlangsung lama. Hal ini sangat mungkin terjadi pada akuifer berupa batu gamping dengan kesarangan dan kelulusan tinggi serta rendahnya tekanan pori yang berakibat mempermudah air lolos. Pada akuifer sedimen berbutir pasir halus yang tekanan porinya tinggi, air tawar tertahan. Pada batas dengan air asin, tidak terjadi proses pencampuran, dan proses osmosis masih terjadi walau lambat. Pada keadaan ini, masa air tawar tetap mempertahankan bentuk lapisan seperti lensa di dalam akuifer. Di permukiman Desa Durjela, air hujan cenderung dipercepat mengalir keluar supaya tidak menjadi genangan. Namun, pada lintasan yang dibuat di luar permukiman, lensa air tawar mengisi akuifer pasiran yang tinggi kesarangannya. Di beberapa titik pada lintasan terdapat batuan sangat sarang yang diduga gamping cangkang. Lintasan kemudian melalui permukiman di sekitar Kantor Dinas Agama di Jalan Ali Murtopo di Dobo. Lensa tidak menerus, bahkan membaji. Hal ini diduga akibat pengambilan air yang jauh lebih banyak terjadi di

Buku ini tidak diperjualbelikan.

permukiman. Keadaan ini memperkuat dugaan bahwa pengambilan air tawar tanah dangkal secara berlebihan akan memicu kuatnya intrusi air asin. Resapan air hujan juga terhambat pada permukaan tanah di permukiman yang lebih padat karena air hujan cenderung dialirkan untuk menghindari genangan. Bagian permukaan tanah di tempat ini relatif lebih padat dibandingkan permukaan tanah yang diwakili oleh lintasan di Desa Durjela, terlebih di lintasan Desa Wangel. Pengukuran yang dilakukan pada Maret memperlihatkan gambaran relatif kecukupan air tanah di wilayah tersebut. Neraca air tawarnya pun tidak mengalami kekurangan, terutama di Desa Wangel dan Durjela. Jumlah penduduk kedua desa relatif tidak banyak berubah. Beberapa penduduk menyatakan bahwa pada musim kemarau yang relatif panjang, ketersediaan air tawar tidak terganggu. Berbeda dengan neraca air tawar di sekitar lintasan kota (Dobo) yang mengalami penurunan kualitas menjadi payau saat musim kemarau—diduga tercemar akibat intrusi air laut. Pencemaran akibat intrusi ini dipicu oleh turunnya tekanan pori yang ditinggalkan air tawar yang berlebih pemakaiannya. Nilai tahanan jenis sedimen pada lintasan ini cukup memberi bukti mengenai hipotesis tersebut. Permukiman di kampung dok yang terletak di bagian utara kota (200 meter dari estuari/rawa) sebagian besar merupakan hasil reklamasi penimbunan batu gamping koral dan pasir. Sumur penduduk memiliki MAT 40 cm dengan nilai DHL airnya berkisar antara 2.500–4.000  $\mu$ .ohm. Sebagian sumur bahkan nilai DHL airnya antara 6.000–10.000  $\mu$ .ohm. Karena relatif rendah letak permukiman ini, pada bulan tertentu saat pasang paling tinggi (astronomis maksimum), permukiman tergenang air laut hingga 20 cm.

Litoresistivitas pada beberapa lintasan di Pulau Wamar memberi gambaran bahwa kandungan air tawar pada akuifer dangkal maupun dalam sangat terbatas jumlahnya. Pengisian air tawar melalui resapan yang membentuk lensa massa air terjadi pada lapisan sedimen batu gamping dan pasir lanauan atau lanau pasiran napalan. Lensa tebal massa air tawar ditemukan berada di bagian tengah pulau (Gambar 3.38, 3.39, dan 3.40), dikelilingi oleh massa air asin yang mengisi

sekuen gamping cangkang berlapis mendatar yang berselingan dengan pasir lanauan napalan. Dengan keadaan landai dan rendahnya daratan, air hujan hanya dapat mengisi bagian atas lapisan karena tidak cukup tekanan hidrostatis air untuk mencapai kedalaman. Kehadiran air tawar di kedalaman lebih dari 20 meter dari muka tanah atau sama dengan 10 meter di bawah garis muka laut merupakan air formasi yang masih tersisa. Penampang dipole-dipole nilai tahanan jenis di semua tempat memperkuat hipotesis bahwa air tawar hanya menempati lapisan atas dengan ketebalan tidak lebih dari 6 meter. Pemboran contoh inti atau pemboran air tanah disarankan dilakukan guna memperoleh data untuk validasi interpretasi litoresistivitas jenis batuan serta mengukur potensi air tawar maupun mengetahui umur dan jenis air tawar; apakah air formasi atau resapan meteorik.

Berdasarkan kondisi pesisir landai dengan muka air tanah dangkal serta lensa massa air tawar tanah dangkal yang tipis, terbatas volume, dan rentan neracanya; perlu upaya pengelolaan hati-hati serta menjaga agar ketersediaannya tetap baik kualitas dan kuantitasnya. Selain upaya optimalisasi pemanfaatan air tawar, rekayasa pengelolaan terpadu yang dilakukan adalah upaya injeksi air meteorik atau hujan yang dilakukan ke dalam atau di bawah lensa massa air tawar untuk membantu memulihkan ketebalan lensa. Mengingat terbatasnya volume air tawar dangkal serta kecenderungan peningkatan jumlah penduduk pemakainya, perlu dicari alternatif sumber air tawar lain. Perlindungan yang harus dilakukan adalah menghindarkan air tawar dari berbagai bentuk pencemaran, misalnya pencemaran akibat berbagai kegiatan masyarakat dan pencemaran secara alamiah akibat air asin. Rekayasa perbaikan sanitasi juga diusulkan pada paket penguatan neraca air tawar ini.

Pemakaian air sumur relatif dalam pada akuifer di kedalaman lebih dari 20 meter juga harus dilakukan dengan hati-hati. Penampang litoresistivitas memperlihatkan bentuk lensa—yang menggambarkan nilai yang mewakili kandungan air tawar di dalam satuan sedimen—dengan kesarangan seperti pada batu gamping cangkang dan sedimen pasir lanauan dan napalan. Bentuk lensa air tawar mencapai

kedalaman 80 meter dan dikelilingi massa air asin pada sedimen yang sama. Batas antara air asin dan tawar bertahan akibat keseimbangan tekanan pori pada sedimen pasir. Air tawar diduga merupakan air formasi yang tersimpan dari resapan air hujan ketika permukaan laut pada masa lalu (zaman Pra-Holosen atau 15.000 tahun silam) jauh di bawah muka laut sekarang. Air hujan meresap tidak saja pada satuan yang memiliki kesarangan, tetapi juga melalui kekar atau retakan yang ada pada lapisan batuan hingga jauh masuk ke bawah permukaan. Sebagian air tawar ini masih terjebak dan tersimpan di lapisan sedimen dan membentuk kantong air. Seiring dengan kenaikan kembali muka air laut menyusul berakhirnya zaman es (14.000 tahun silam), massa air tawar terdesak air asin ke atas hingga letaknya seperti sekarang ini. Saat ini, pengisian air hujan hanya mencapai beberapa meter kedalamannya karena tingginya tekanan pori di akuifer tidak dapat diimbangi oleh tekanan hidrostatik pada proses resapan secara alamiah.

## **B. Kerentanan**

Kepulauan Aru merupakan gugusan pulau landai dan rendah dengan ketinggian tidak melebihi 50 meter. Gugusan ini terletak di paparan laut dangkal, tetapi dikelilingi oleh perairan terbuka dan luas yang memiliki kondisi cuaca yang cepat berubah dan ekstrem. Letaknya yang berada di perairan Laut Sahul (yang menjadi perairan lepas Benua Australia) membuat perairan ini sangat peka terhadap perubahan cuaca karena pengaruh daratan Australia.

Berdasarkan letak kepulauan terhadap kawasan geologi aktif Laut Banda, Kepulauan Aru juga menyandang kerentanan terhadap bahaya kejadian geologi yang memicu ancaman serius bagi kawasan pesisir dari limpasan gelombang tsunami (Hantoro 2012; Hantoro dkk., 2013). Pelepasan energi berupa gempa dari pertemuan kerak dan lempeng berpotensi menimbulkan gelombang tinggi tersebut.

Kerentanan pesisir merupakan awal mula kerentanan ketersediaan air yang disebabkan oleh rusaknya neraca air di pesisir akibat genangan atau intrusi air laut. Rusaknya neraca air menyebabkan terganggunya daur air sehingga tidak dapat mencukupi kebutuhan air untuk satu putaran musim. Kerusakan tersebut dapat disebabkan oleh gejala alamiah, mengingat air tawar tersebut berasal dari air hujan. Masyarakat pada awalnya cukup memakai air permukaan yang masih bersih; diambil dan diolah dari sungai, danau, dan sumur dangkal. Namun, air permukaan semakin merosot kualitas dan kuantitasnya karena kerusakan lingkungan. Selain itu, biaya pengolahan air permukaan pun semakin mahal. Masyarakat kemudian berusaha memperoleh air bersih dari sumber lain, misalnya dengan memompa air tanah dalam. Karena terjadi peningkatan permintaan air, lama-kelamaan air tanah menjadi tumpuan sumber air bersih. Bagi masyarakat di pulau kecil, persoalan air bersih jauh lebih berat karena air hanya diperoleh dari hujan. Hal ini berbeda dengan pulau yang memiliki daerah luas tangkapan hujan. Masalah sanitasi dan ketersediaan air sudah menjadi ancaman bagi masyarakat Kepulauan Aru, terutama Dobo yang berada di daratan pulau yang terbatas luasannya untuk menerima hujan sebagai sumber air bersih. Rancangan pengembangan kawasan Kepulauan Aru untuk beberapa tahun ke depan, khususnya kawasan pesisir, sangat memerlukan tata cara mengelola neraca dan siklus air.

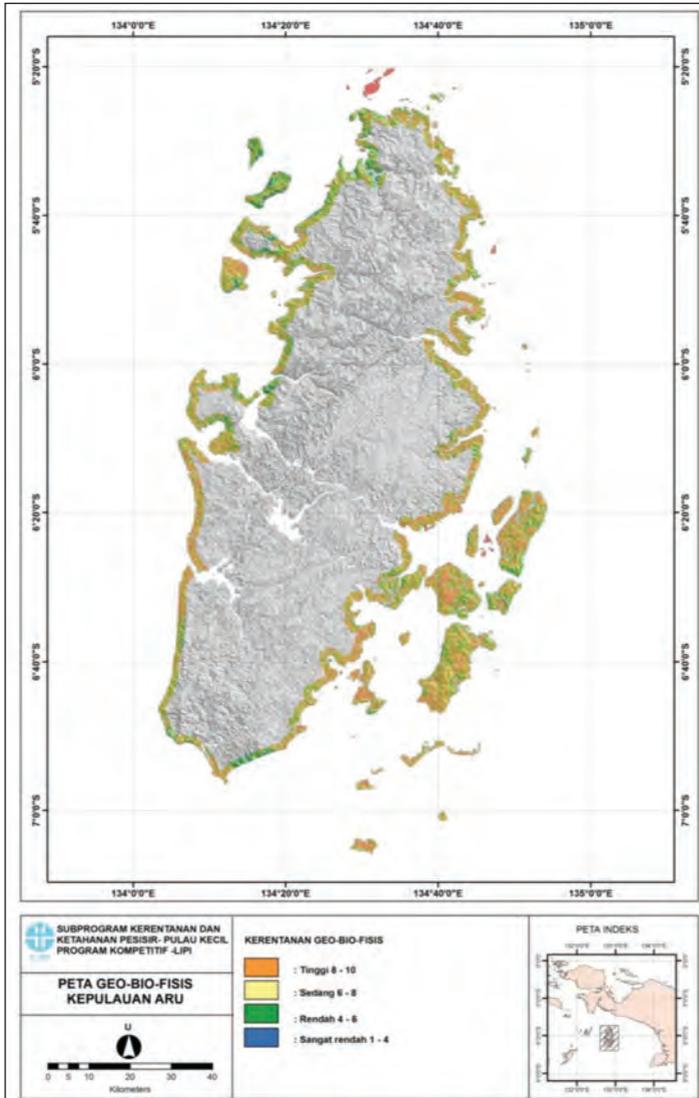
Pada bagian sebelumnya, telah disampaikan bahwa hampir semua jenis ancaman bahaya fisik berpeluang besar terjadi di Kepulauan Aru. Berdasarkan berbagai unsur yang terkait dengan kondisi geobiofisik dan laut di sekeliling Kepulauan Aru, dapat disimpulkan bahwa kepulauan ini menyandang bahaya, tetapi juga berpotensi meredam bahaya. Oleh karena itu, dilakukan analisis kerentanan pesisir kepulauan terhadap kejadian ekstrem tinggi muka laut dengan formulasi (Hantoro, 2012):

$$IV_{\text{vul.f}} = \frac{\pm k \sqrt{Af \cdot Bf \cdot Cf \cdot Df \cdot Ef \cdot Ff}}{7}$$

- A. (geo-morfologi): tektonik, penurunan, pantai tebing-undak teras, pantai berbukit, pantai landai, dataran berlumpur, pantai lurus/teluk, rawa pantai, delta/estuari, laguna, parit pantai, pulau pelindung, dan lain-lain.
- B. (laut/perairan): perairan landai-dalam, tinggi pasut, tinggi gelombang, arus, kenaikan muka laut estatik, pasut astronomis.
- C. (meteo-climatologi): badai, anomali (ENSO, Dipole Mode, MJO, dan lain-lain).
- D. (biota): terumbu karang, bakau, baringtonia, rumput laut, dan lain-lain.
- E. (prasarana): tanggul, pelabuhan, bangunan, pemecah gelombang, parit/kanal, gudang, jalan, jembatan, kolam-tambak, sanitasi, jaringan kabel listrik/komunikasi/BBM, air, dan lain-lain.
- F. Sumber daya alam: air permukaan (danau, sungai, dan lain-lain), air tanah dangkal, mineral, energi, industri, logam mulia, dan lain-lain.
- G. Situs konservasi (arkeologi, hayati, geologi, dan lain-lain).

Berdasarkan analisis spasial pada formulasi kerentanan, dihasilkan peta kerentanan yang digambarkan pada peta DEM resolusi 30 meter (Gambar 4.10). Analisis kerentanan didasarkan pada peta morfologi DEM resolusi 30 meter yang mencakup seluruh kepulauan. Unsur ketinggian dan kelandaian pesisir berbobot paling tinggi karena menyangkut kemungkinan tinggi dan jauhnya jangkauan air laut (dalam bentuk genangan atau terjangan, tergantung kejadian bendanya). Kerentanan suatu wilayah pesisir akan semakin tinggi bila kawasan tersebut semakin landai setiap terjadi penambahan tinggi kenaikan muka laut (Hantoro dkk., 2008a).

Analisis geobiofisik bagian selatan Kepulauan Aru merujuk pada peta rencana tata ruang yang telah diterbitkan. Kondisi bagian ini tidak terwakili oleh hasil analisis kondisi dari citra satelit. Analisis



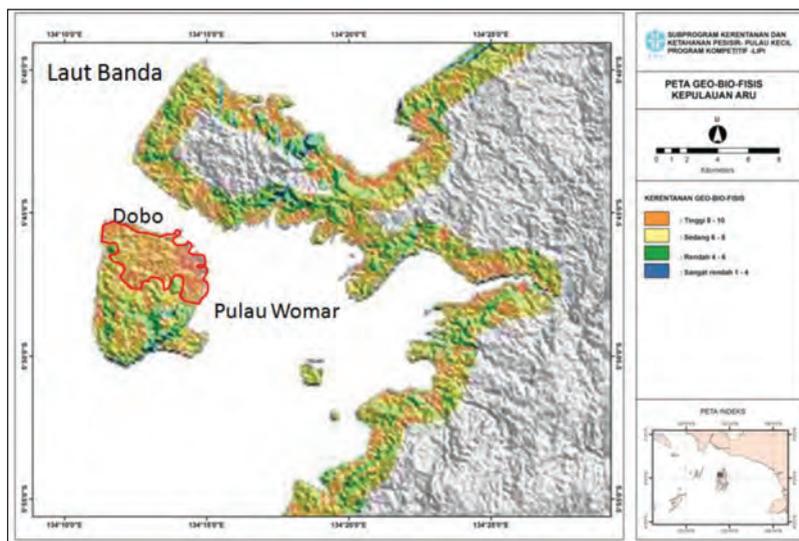
Sumber: NASA-SRTM dalam Hantoro dkk (2013); (2014)

**Gambar 4.10** Peta DEM dan Kerentanan Biogeofisik Pulau Kecil dan Pesisir Landai Kepulauan Aru

Buku ini tidak diperjualbelikan.

untuk Kepulauan Aru sebenarnya telah memperhitungkan hampir semua kondisi biogeofisik yang ada, tetapi belum memperhitungkan unsur yang berkaitan dengan situs konservasi lain, seperti arkeologi dan geologi. Kawasan bagian tengah (Kecamatan Aru Tengah) sudah diperhitungkan dan diusulkan sebagai kawasan konservasi dan taman nasional, sebagaimana tercantum pada dokumen Tata Ruang Kabupaten Kepulauan Aru. Peta yang dihasilkan memberi gambaran mengenai kerentanan yang berkaitan dengan tinggi dan jauhnya jangkauan genangan air laut di beberapa tempat, seperti di bagian utara dan timur Pulau Womar, di sekitar Benjina, dan pantai timur Aru (Gambar 4.11, Gambar 4.12, Gambar 4.13, dan Gambar 4.14).

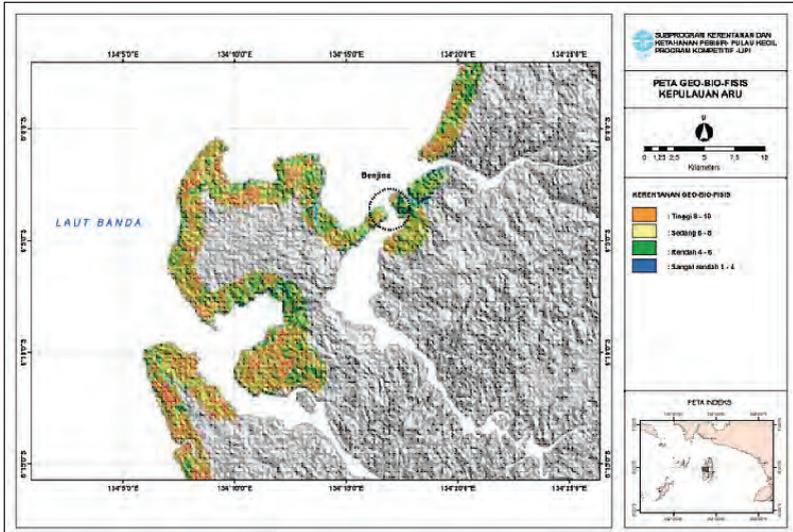
Kerentanan tinggi tersebar di kawasan pesisir dan pulau kecil landai di sekeliling pulau utama (Pulau Ujir, Wasir, Warilau, dan wilayah lainnya). Pesisir sekitar estuari memperlihatkan nilai kere-



Sumber: NASA-SRTM dalam Hantoro dkk. (2013); (2014)

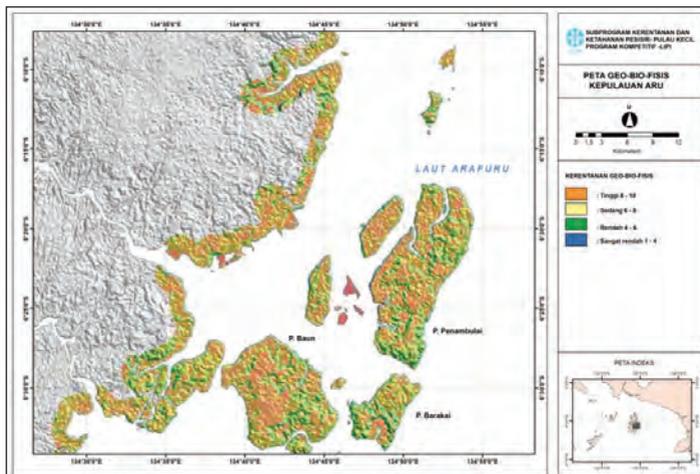
**Gambar 4.11** Peta DEM dan Kerentanan Biogeofisik Pulau Kecil dan Pesisir Landai Kepulauan Aru Bagian Barat Sekitar Pulau Womar

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: NASA-SRTM dalam Hantoro dkk. (2013); (2014)

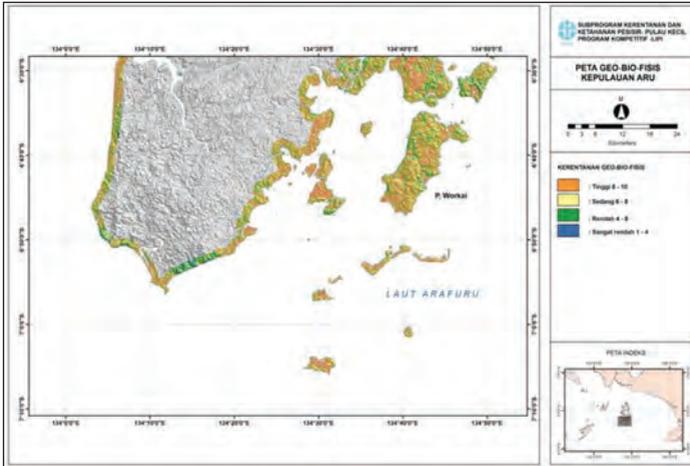
**Gambar 4.12** Peta DEM dan Kerentanan Biogeofisik Pulau Kecil dan Pesisir Landai Sekitar Benjina, Kecamatan Pulau-Pulau Aru, Kab. Kepulauan Aru



Sumber: NASA-SRTM dalam Hantoro dkk. (2013); (2014)

**Gambar 4.13** Peta DEM dan Kerentanan Biogeofisik Pulau Kecil dan Pesisir Landai Pesisir Timur (Pulau Penambulai), Kecamatan Aru Tengah Selatan, Kepulauan Aru

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: NASA-SRTM dalam Hantoro dkk. (2013); (2014)

**Gambar 4.14** Peta DEM dan Kerentanan Biogeofisik Pulau Kecil dan Pesisir Landai Sekitar Meror dan Batugoyang, Kecamatan Aru Selatan Timur, Kab. Kepulauan Aru

tanan tinggi karena landainya muara luas yang terbentuk oleh abrasi dan resuspensi endapan muara.

Kerentanan kawasan ini estuari ini relatif berkurang dibandingkan dengan pantai terbuka, setelah memperhitungkan unsur pengaman lain. Pada peta citra satelit, terlihat rata-rata luas mangrove yang berperan sebagai penyangga dan pelindung pesisir landai dari pengaruh langsung laut terbuka (Gambar 3.27).

Masuk ke arah hilir, tebing sungai relatif terjal dan tinggi sehingga tidak terjangkau oleh kenaikan muka laut kurang dari 1 meter. Pesisir landai, walau terbuka dan tebing pantainya tinggi, memiliki tingkat kerentanan relatif rendah. Bagian pantai sisi barat yang ber-tebing tinggi tergolong kawasan dengan kerentanan relatif rendah dari jangkauan muka laut kurang dari 1 meter. Berdasarkan ancaman bahaya muka laut tinggi, sisi barat menyandang kerentanan akibat gelombang kuat angin baratan dan gelombang tsunami. Limpasan air laut pun mengancam kualitas air tanah dangkal.

Pulau Womar bagian utara, yang merupakan bagian dari Dobo, memperlihatkan kerentanan tinggi, terutama oleh jangkauan genangan tinggi muka laut akibat pasang atau kenaikan muka laut estatik (global). Pulau Womar merupakan bagian dari Kepulauan Aru yang luasan kota dan permukimannya berkembang seiring dengan tingginya peningkatan jumlah penduduk. Pemekaran kecamatan yang sebelumnya bagian dari Kabupaten Maluku Tenggara menjadi Kabupaten Kepulauan Aru mendorong perkembangan pesat di Pulau Wamar. Dengan tingginya kepadatan penduduk, jenis dan sarana prasarana yang terbangun di Pulau Wamar meningkatkan nilai kerentanan kawasan ini menjadi yang tertinggi untuk seluruh kawasan Kepulauan Aru. Pada kenyataannya, kawasan ini selalu mengalami genangan (rob) yang kian meningkat hingga ketinggian  $>30$  cm saat pasang tunggang paling tinggi pada Februari atau Maret (Furqon, 2012 komunikasi pribadi). Awalnya, Pulau Wamar merupakan estuari dan teluk yang relatif terlindung oleh mangrove dengan pesisir landai. Namun, kawasan ini berkembang menjadi pelabuhan dan permukiman serta bandar niaga yang dibuat di atas lahan rawa yang dikeringkan. Penimbunan kawasan ini memakai bongkah koral terumbu karang (*Porites* sp, *Goniastrea* sp, *Faviidae* sp, dan sebagainya) yang kemudian ditimbun pasir. Reklamasi dengan menggunakan bahan seperti demikian membuat air asin tetap tersisa menjadi bagian dari air tanah dangkal, sedangkan air tawar dari hujan hanya bertahan sebentar di pasir tipis timbunan sebelum bercampur dengan air asin di rongga antarbatuan timbunan.

Pulau-pulau kecil di perairan timur kepulauan (Pulau Baun, Workai, dan Penambulai) memiliki kerentanan tinggi karena pada umumnya berupa pulau landai dan rendah permukaannya serta terbuka pada gempuran kuat gelombang angin tenggara. Terumbu karang yang luas di perairan menjadi pelindung pantai dari gempuran gelombang.

Dataran luas rawa pantai dan rataan mangrove sebenarnya menambah perlindungan pesisir dari jangkauan gelombang. Namun, kenaikan muka laut estatik perlahan dapat mengirim air laut hingga

jauh ke darat melalui ekosistem rawa dan alur-alur sungai (estuari). Hasil pembahasan kerentanan pesisir terhadap muka laut tinggi menjadi salah satu unsur dalam analisis kerentanan neraca air tawar pesisir (Hantoro, 2012; 2014).

Air tanah dangkal yang selama ini menjadi andalan sumber air tawar masyarakat, akan tercemar akibat tergenangnya pesisir oleh air laut. Ancaman genangan air pasang maksimum yang terjadi di kota lama Dobo, di bagian utara Pulau Wamar, berdampak negatif dalam banyak hal. Genangan air asin setinggi 20–40 cm selama beberapa waktu ( $> 3 \times 10$  jam) menjadi ancaman bagi air tanah dangkal yang dikonsumsi masyarakat dari sumur terbuka. Genangan ini juga mengancam kualitas bangunan karena air asin dapat menyebabkan korosi pada konstruksi.

Masalah genangan di Dobo hanya dapat ditanggulangi dengan menambah ketinggian permukaan tanah secara bertahap. Usaha ini dapat diawali dengan pembuatan saluran air dan peninggian jalan. Pembuatan tanggul pantai di bagian yang menerima terpaan kuat gelombang (barat) pun dapat dilakukan untuk melindungi daratan atau permukiman dari kerusakan dan jangkauan genangan air laut.

Genangan diduga sebagai dampak pemampatan sedimen lunak akibat pengambilan air tanah dalam dan beban konstruksi. Seberapa besar, sejak kapan pemakaian, dan dari kedalaman berapa air tanah dalam diperoleh dan dipompa di sekitar kota lama Dobo juga harus dicari tahu. Air tanah diduga diperoleh dari satuan sedimen Formasi Wasir serta anggota Jambulenga yang berupa seri endapan yang terdiri dari endapan lempung-lumpur gampingan, pasir, dan napal. Permukiman di luar Pulau Womar (di sekitar kawasan dengan pembangunan pesat, seperti di Desa Jambulenga Lamarang dan Workam) menghadapi keadaan yang sama bila dilakukan abstraksi air tanah berlebihan. Cara adaptasi dan penanggulangan keadaan ini akan disampaikan pada bagian selanjutnya.

Pada peta morfologi dan kerentanan genangan, terlihat bahwa bagian utara Pulau Wamar, atau kota lama Dobo, sangat rentan terhadap pencemaran air tanah dangkal. Sementara itu, bagian selatan pulau

ini relatif tinggi, memberi gambaran bahwa bagian utara mengalami penurunan dan ada pengungkitan di bagian selatan pulau. Kerentanan tinggi teramati pada pesisir Aru bagian timur di mana beberapa estuari besar terbentuk luas. Estuari landai dan luas ini dihasilkan dari kuatnya arus pasang surut dan seringnya estuari mengalami perubahan muka laut. Kerentanan tinggi juga disandang oleh gugusan pulau kecil di perairan timur Aru. Pulau-pulau tersebut merupakan pulau landai yang terbentuk oleh endapan laut dangkal dan terumbu karang. Gugusan pulau dan pantai timur memperlihatkan ciri kawasan yang mengalami proses penurunan akibat pelentingan Pulau Aru dengan sumbu berarah utara selatan. Tingginya kerentanan terhadap genangan muka laut pesisir timur dan pulau menambah tingginya kerentanan ketersediaan air tawar permukaan.

Data pasang surut perairan sekeliling Kepulauan Aru yang berkisar antara 1,5 hingga 2 meter juga menambah peluang pesisir mengalami genangan pasang maksimum astronomis tahunan. Tingginya pasang surut ini menghasilkan luasnya rata-rata mangrove di pantai yang landai, seperti pesisir timur pulau.

Kerusakan ekosistem pesisir diakibatkan oleh kecerobohan manusia dengan melakukan pengerukan pantai dan penambangan batu karang. Selain itu, perambahan mangrove menambah kerusakan ekosistem pantai. Kerusakan tersebut diikuti erosi dan abrasi yang menggerus pantai dengan adanya arus dan gelombang kuat selama kejadian ekstrem cuaca. Hal ini membuat sejumlah permukiman terancam gerusan pantai. Upaya paling cepat dalam menanggulangnya adalah dengan membangun dinding penahan gelombang yang bahannya diperoleh dengan pengerukan pantai dan pembongkaran batu karang. Namun, upaya mahal ini hanya menahan laju penggerusan untuk sementara. Tanggul hanya bertahan selama beberapa musim gelombang besar. Akibat dari ketiadaan asupan pasir, erosi kuat terjadi, terutama ketika gelombang kuat saat pasang tinggi. Erosi ini menggerus pantai dan mengancam beberapa permukiman di sekitarnya, misalnya di Desa Wangel dan Durjela di Pulau Wamar. Hal serupa juga terjadi di Kobror, Benjina, Katantar, Kalar, dan Ngaibor di pesisir

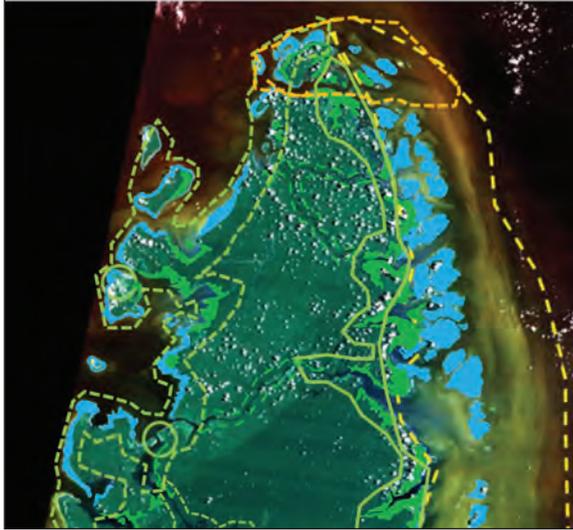
barat pulau utara; dan beberapa desa di pesisir timur, seperti Meror dan Kojabi. Erosi juga mengancam terbukanya akuifer yang diikuti oleh lolosnya air tawar dan terjadinya intrusi air asin.

Pengambilan bongkah koral juga terjadi di sebagian terumbu karang di pesisir timur Kepulauan Aru walau tidak separah dibanding di Pulau Wamar. Bongkah koral terumbu yang ditambang hanya digunakan sebagai dasar pancang rumah pantai yang terbuat dari kayu. Kepadatan rumah pantai di pesisir timur pulau utama jauh lebih rendah dibandingkan permukiman di Pulau Wamar. Pesisir timur hanya bisa dicapai dengan transportasi laut. Permukiman terutama berada di bagian terlindung di sekitar estuari yang masih rapat tutupan mangrove di sekitarnya. Pesisir timur relatif terlindung dari gelombang kuat karena memiliki beberapa gugus pulau kecil di depannya (Pulau Workai, Penambulai, dan pulau lainnya).

Berdasarkan keadaan alam pada saat proses geologi yang sedang berlangsung, kemunculan kejadian ekstrem cuaca dan laut serta kerusakan lingkungan akibat kegiatan manusia yang tidak terkendali dapat digambarkan peta kerentanan kawasan pesisir Kepulauan Aru (Gambar 4.15).

Muka laut tinggi yang disebabkan kejadian apa pun (baik cepat maupun lambat datangnya), yang berkaitan dengan gejala kelautan maupun geologi merupakan ancaman yang menjadikan kawasan pesisir rentan bencana. Keadaan tersebut mengakibatkan penggenangan pesisir oleh air laut sehingga merusak ketersediaan air tawar di dalam tanah.

Kejadian lain yang menjadi ancaman kawasan pesisir, khususnya pulau kecil, adalah kurangnya cadangan air tawar. Ancaman kekurangan ini disebabkan oleh rusaknya neraca hidrologi akibat rendahnya asupan air tawar yang hanya berasal dari hujan. Neraca menjadi tidak seimbang akibat berkurangnya hujan setelah terjadinya perubahan cuaca. Kekurangan ini juga dapat diakibatkan oleh kenaikan permintaan akan air tawar untuk keperluan manusia sebagai konsekuensi dari kenaikan jumlah penduduk dan kegiatannya. Kekurangan cadangan air akibat perubahan cuaca, kenaikan permintaan, atau



Sumber: Landsat (2007)

**Gambar 4.15** Citra Satelit dan Peta Kerentanan Pesisir Terhadap Kejadian Penurunan Daratan di Kepulauan Aru Bagian Utara

karena rusaknya air tawar di pantai adalah kerentanan yang menjadi ancaman bagi ketahanan kehidupan masyarakat. Keadaan ini selanjutnya disebut sebagai kerentanan neraca hidrologi.

Salah satu penyebab kerentanan neraca hidrologi adalah tingkat pemakaian air tanah dangkal oleh masyarakat. Permukiman di Aru umumnya terletak di pesisir. Penduduk terpadat terdapat di Dobo di Pulau Wamar yang menjadi bagian dari Kecamatan Kepulauan Aru. Air tawar konsumsi di Dobo diperoleh masyarakat dari sumur dangkal dan dalam serta dari PDAM yang mengambil air dari air permukaan tanah dalam. Produksi tahun 2009 dan 2010 adalah sebesar 298.478 dan 525.786 m<sup>3</sup> dengan pemakaian terbanyak oleh rumah tangga dan niaga kecil hampir 300.000 m<sup>3</sup>, sementara pelabuhan hanya 1.126 m<sup>3</sup> (BPS Kab. Kep. Aru, 2011). Pengambilan air tanah dalam tanpa diiringi pengisian melalui injeksi akan berakibat pada penurunan volume masa air tawar yang diikuti segera oleh intrusi air asin.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Data kerentanan penggenangan air asin akibat tinggi muka laut kejadian ekstrem ini dipadukan dengan data geologi (litologi), pasang surut, gelombang dan kepadatan permukiman, dapat digunakan sebagai bahan analisis dan penilaian. Penilaian ini akan memberi gambaran wilayah pesisir mana yang air tawar tanah dangkalnya mengalami ancaman pencemaran air asin. Unsur yang mengurangi ancaman penggenangan dan intrusi air asin adalah penapis mangrove dengan endapan lumpur. Selain itu, intrusi air asin akibat kuatnya tekanan dari gelombang air laut dapat diredam oleh terumbu karang yang memecah gelombang tersebut sebelum mencapai pantai. Unsur yang meningkatkan kerentanan adalah kesarangan batuan yang mengalami genangan serta pemakaian air tawar berlebih di permukiman padat atau kawasan industri.

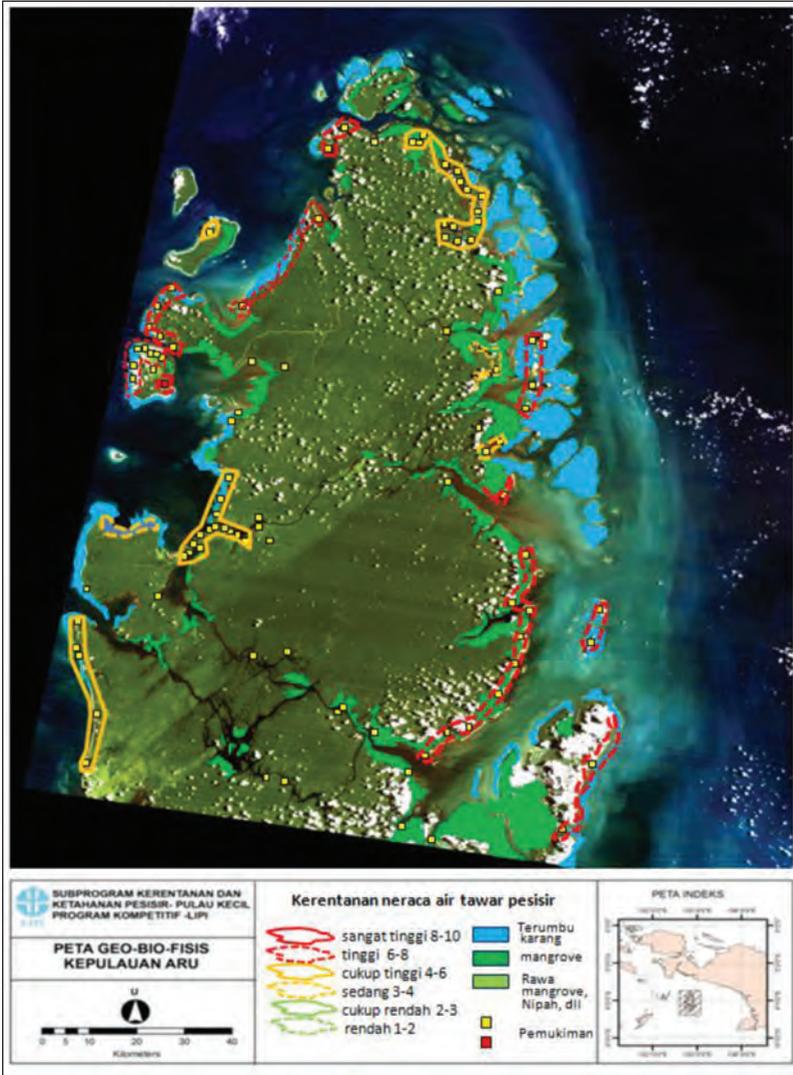
Berdasarkan beberapa data yang diperoleh dari penelitian, analisis kerentanan ketersediaan air tawar di daerah pesisir menghasilkan gambaran sebaran tingkat kerentanan di Kepulauan Aru (Gambar 3.44). Unsur yang diperhitungkan dalam penentuan kerentanan adalah jenis dan jurus kemiringan batuan, tutupan lahan, kerentanan terhadap ketinggian muka laut serta kepadatan permukiman pesisir. Kerentanan terhadap bahaya tinggi muka laut dihasilkan dari analisis yang memperhitungkan unsur jenis kejadian ekstrem, ekosistem perairan, pantai dan darat, serta morfologi. Unsur tektonik penurunan daratan juga diperhitungkan untuk menyusun peta kerentanan terhadap bahaya tinggi muka laut. Kerentanan tinggi terlihat di pesisir landai yang berupa estuari luas dengan rataaan mangrove di sekelilingnya. Walaupun ada rataaan terumbu karang di perairan dan mangrove di pesisir, bila kejadian ekstrem berlangsung relatif perlahan, jangkauan air laut dapat mencapai jauh ke darat melalui alur sungai atau lembah retakan pulau (Gambar 3.28 dan 3.29).

Kota Dobo di Pulau Wamar menyandang kerentanan paling tinggi karena landai dan rendahnya daratan, serta kepadatan penduduk dan tingkat kebutuhan air bersihnya yang tinggi. Kerentanan ini diperkuat oleh abstraksi berlebih air tanah dangkal maupun air tanah dalam yang menyebabkan air asin menerobos dari akuifer di sekitarnya (atas dan bawah maupun di sekelilingnya).

Ketahanan masyarakat pesisir juga didasarkan pada terlindungnya mereka dari ancaman gangguan kesehatan yang diakibatkan oleh sanitasi lingkungan yang buruk. Permukiman padat umumnya memiliki saluran pembuangan limbah terbuka yang dialirkan langsung ke laut atau ke permukaan tanah. Air kotor ini lalu meresap ke dalam tanah dan mencemari air tawar yang diambil masyarakat dari sumur umum atau keluarga. Masyarakat tidak dapat hanya mengandalkan pemerintah daerah dalam membangun dan menata sanitasi permukiman. Untuk mengurangi tekanan limbah ini, ditawarkan reaktor pengolah limbah bagi permukiman pantai bersamaan dengan teknologi sumur optimalisasi air tawar.

Terkait dengan rencana tata ruang dan kependudukan Kepulauan Aru, perspektif kerentanan kawasan ini juga dibahas, misalnya yang terkait dengan ketersediaan air dan penyebarannya secara adil. Penguatan ketersediaan air diarahkan ke kawasan permukiman, pemerintahan, pertahanan, dan kawasan ekonomi (industri, perikanan, pertanian-perkebunan, dan wisata). Neraca air juga rentan terhadap kerusakan lingkungan yang berfungsi sebagai pendukung, misalnya tutupan hutan. Data citra satelit memberi gambaran mengenai kerapatan hutan primer tropis di bagian tengah. Dari data itu, diketahui bahwa hutan primer tropis di bagian tengah mengalami perambahan menjadi kawasan pertanian dan perkebunan atau penebangan untuk kayu. Neraca air suatu kawasan juga tergantung pada keadaan geologi dan bentang alam. Di daerah berbukit, air yang jatuh di lereng yang kemudian tertahan (*interception*) oleh tumbuhan, memiliki waktu untuk meresap ke dalam tanah dan merembes turun ke bagian lebih rendah. Air resapan ini kemudian keluar sebagai mata air dan membentuk aliran sebagaimana sungai. Di Pulau Aru yang wilayahnya datar, air hujan yang jatuh dan tertahan di hutan tidak dapat membentuk aliran sebagaimana daerah lain yang memiliki morfologi berbukit. Sungai dan paritan kecil dan pendek dari bagian tengah tangkapan hujan yang mengarah ke lembah retakan utama menjadi alur air yang bergerak lambat karena tertahan akar pepohonan. Dalam keadaan demikian, mengumpulkan dan mengisi reservoir dalam

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Peta dasar Citra Landsat (2008)

**Gambar 4.16** Peta Kerentanan Neraca Air Tawar Pesisir Kepulauan Aru

Buku ini tidak diperjualbelikan.

bentuk apa pun (baik kolam maupun akuifer bawah tanah) tidaklah mudah. Geologi Pulau Aru memberi singkapan batuan karbonatan yang mudah larut dan meloloskan air permukaan sehingga air tidak mudah dikumpulkan dan disimpan.

Berdasarkan unsur kerentanan tersebut, analisis kesesuaian pembangunan embung harus memperhitungkan keadaan dan status tutupan lahan serta rencana pengelolaan ruang. Kesesuaian tersebut didasarkan pada syarat teknis, misalnya keadaan morfologi, geologi, serta pola aliran sungai dan badan air lainnya. Reservoir hendaknya tidak dibangun di daerah hutan karena dapat berdampak pada kerusakan tutupan lahan untuk penyediaan badan kolam dan jaringan distribusinya. Mengingat kawasan pesisir merupakan bagian yang paling tinggi kerentanannya, hasil kajian kesesuaian merekomendasikan pembangunan reservoir diprioritaskan di kawasan pesisir dan permukiman.

Kerentanan pesisir terhadap kurangnya ketersediaan air yang dibahas pada bagian sebelumnya adalah yang terkait dengan kenaikan genangan air laut hingga menggenangi pantai landai secara perlahan. Berdasarkan model pembangkitan dan penjalaran tsunami oleh gempa yang besar yang berpotensi terjadi di Laut Banda (Hantoro dkk, 2018), Kepulauan Aru berada pada ancaman bahaya terjangan gelombang tsunami. Kerentanan tinggi ada pada permukiman padat pesisir barat, seperti Dobo, terutama bagian kota lama permukiman pesisir di sekitar pelabuhan.

Kerentanan kawasan ini terkait dengan kejadian ekstrem muka laut tinggi, terutama tsunami tektonik dan vulkanik, telah dibahas dalam buku lain (Hantoro dkk, 2018). Secara keseluruhan, permukiman pesisir Aru bagian barat yang menghadap ke perairan Laut Banda menyandang kerentanan tinggi. Letak permukiman di pesisir yang rendah, datar, dan dekat permukaan laut menjadi kendala dalam menyiapkan mitigasi dan adaptasi terhadap ancaman bahaya tsunami (jangkauan limpasan gelombang dapat mencapai ketinggian 10 meter untuk tsunami tektonik dengan besaran 8 R). Oleh karena itu, dalam sarana evakuasi harus ada jalur yang jauh hingga ke dalam—hingga

Buku ini tidak diperjualbelikan.

menemukan tinggian cukup agar terhindar dari sapuan air. Sementara itu, sarana perlindungan haruslah berupa bangunan dengan ketinggian > 15 meter yang kokoh terhadap terjangan gelombang. Pesisir timur Aru yang terbuka ke arah Samudra Pasifik juga berpotensi terjangkau tsunami yang terpicu gempa tektonik di samudra ini. Guna memperoleh gambaran kejadian tsunami yang dapat menjangkau Aru, beberapa model tsunami dapat dibangun berdasarkan data sebaran pusat gempa yang ada. Penelitian tsunami purba diarahkan di pesisir barat di pantai atau estuari yang diperkirakan masih menyimpan relik sedimen tsunami masa lalu.

Peningkatan sarana ketersediaan air yang dapat bertahan dari ancaman bahaya tsunami harus dijadikan prioritas untuk desa-desa di pesisir barat Aru. Air bersih adalah keperluan mendesak saat tanggap darurat bencana. Sarana penyimpanan air terbuka (reservoir terbuka) tidak bisa diandalkan untuk menjamin ketersediaan air pascabencana. Hal ini karena limpasan air laut akan merusak reservoir dan isinya. Bila tersimpan di dalam reservoir tertutup, air tawar masih dapat diselamatkan kualitas dan jumlahnya.

Penyimpanan air tawar di dalam akuifer lapisan sedimen bawah tanah juga menjadi pilihan untuk melindungi air tawar dari kerusakan akibat limpasan tsunami. Dalam kejadian tsunami, air laut yang menerjang masuk ke darat juga mengangkut sedimen—dari lumpur hingga batuan yang menimbun pesisir—sehingga merusak badan air yang ada. Solusinya, sumur bor air tanah dalam yang terlindung dengan baik diaktifkan kembali saat tahap tanggap darurat.

Sumur optimalisasi yang konstruksinya tertutup rata dengan permukaan tanah juga mempunyai ketahanan terhadap terjangan air dan sedimen laut. Bila terjadi tsunami, menara penyangga tangki penyimpanan air yang akan didistribusikan bisa rusak. Namun, air tawar bersih tidak terganggu oleh air asin; hanya sebagian kecil meresap ke dalam tanah, sementara air asin segera surut kembali ke laut.

## C. Adaptasi dan Penguatan Lingkungan

Berdasarkan data, informasi dan analisis kerentanan (Hantoro dkk., 2018), kawasan Kepulauan Aru menghadapi kerentanan terhadap ancaman bahaya kejadian ekstrem alamiah maupun dampak negatif pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan. Kawasan pesisir dan pulau berada pada kerawanan lebih tinggi terhadap dampak negatif dua unsur pemicu tersebut, sedangkan daratan bagian hulu memiliki ketahanan lebih baik, kecuali terhadap ancaman perambahan dan eksploitasi kawasan hutan secara berlebihan.

Guna mengurangi risiko bahaya dari kejadian ekstrem alamiah, khususnya yang berdampak pada kekurangan ketersediaan air bersih, langkah-langkah mitigasi berupa adaptasi harus dilakukan. Selain ancaman kejadian ekstrem alamiah, dampak negatif pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan secara serampangan juga dapat memicu kerawanan dan menurunkan ketahanan masyarakat. Salah satu upaya mitigasi yang perlu segera dilakukan adalah menjaga dan memulihkan lingkungan alamiah yang menjadi bagian dari unsur alam dalam ketahanan neraca air.

Ada beberapa upaya adaptasi terhadap pemicu kerawanan dan unsur yang meningkatkan kerentanan. Adaptasi dan mitigasi pengurangan risiko bencana diusulkan untuk lebih mengandalkan kemampuan lingkungan alam dalam menapis dampak kejadian ekstrem alamiah. Pendekatan ini juga dipilih ketika menghadapi ancaman kerusakan dari dampak negatif kegiatan pengelolaan alam yang di luar batas. Permukiman dengan jumlah penduduk yang terbatas dan tersebar di sekeliling pulau tergolong sebagai keadaan yang berimbang antara daya dukung alam dan keperluan kehidupan manusia. Dengan kata lain, telah tercapai keharmonisan antarmanusia dengan alam, dan hal ini masih bertahan di Aru. Namun, keadaan ini akan berubah dengan cepat ketika pembangunan fisik dilakukan. Kerawanan terhadap kejadian ekstrem akan meningkat, sementara lingkungan akan semakin rentan terhadap dampak negatif akibat eksploitasi yang melampaui batas daya dukung alam.

Pendekatan adaptasi yang diusulkan untuk Aru diarahkan pada kemampuan pemulihan mandiri oleh alam. Bila keadaan alam masih baik, diperlukan perlindungan dan penguatan. Bila lingkungan sudah mengalami perubahan, diperlukan pemulihan dan penguatan agar dapat kembali menjalankan perannya sebagai pengendali neraca air secara alamiah.

Pembahasan mengenai tiap jenis program/kegiatan dan sarana/luarannya hanya disampaikan secara garis besarnya. Namun, ada bidang eko sains teknopark yang perlu pembahasan lebih jauh guna sebelum dikembangkan.

## **D. Pemulihan dan Penguatan**

Yang dimaksud dengan pemulihan lingkungan untuk Kepulauan Aru adalah mengembalikan fungsi alamiah beberapa ekosistem yang telah rusak. Ekosistem tersebut perannya sangat penting bagi ketahanan lingkungan terhadap kejadian ekstrem dan upaya menjaga kelestarian neraca air. Sebagai contoh, semak belukar di sepanjang tepi kanal yang membelah pulau, terutama di sekitar kawasan usulan konservasi (cagar alam), harus dipulihkan kembali menjadi hutan primer tropis dataran rendah. Pemulihan lahan kritis di pedalaman dan pesisir di bagian selatan pulau menghadapi kendala karena hilangnya solum yang telah cepat terkupas setelah mengalami perambahan. Batuan napal karbonat di kawasan ini pun mengalami erosi dengan cepat dan lahan menjadi terbuka oleh perambahan hutan untuk perladangan.

Pemulihan juga dilakukan terhadap beberapa tempat yang semula memiliki tutupan mangrove sebagai pelindung pesisir, tetapi kemudian mengalami perambahan untuk berbagai alasan, seperti kebutuhan lahan permukiman, pembangunan sarana umum, dan kebutuhan kayu bahan bakar serta bangunan. Keperluan bahan bangunan meningkat seiring peningkatan jumlah penduduk dan peningkatan kebutuhan tempat tinggal di beberapa permukiman pesisir di pantai timur. Sulit dan mahalnya bahan bangunan merupakan penyebab masyarakat memilih kayu sebagai bahan bangunan.

Perkembangan pesat Kota Dobo memerlukan bahan bangunan dalam jumlah besar, tetapi tidak dapat dipenuhi ketersediaannya di Pulau Womar. Penambangan pasir sudah mengeruk habis punggungan pematang pantai di pesisir barat Wamar dari Wangel-Durjela hingga ke bagian selatan pulau. Pengerukan juga dilakukan pada pantai ketika sedang surut. Penambangan pun dilakukan di pantai Pulau Wasir di utara Pulau Womar. Dampak dari penambangan pasir ini adalah tergerusnya pantai sehingga gelombang naik menjangkau perumahan di Wangel dan Durjela.

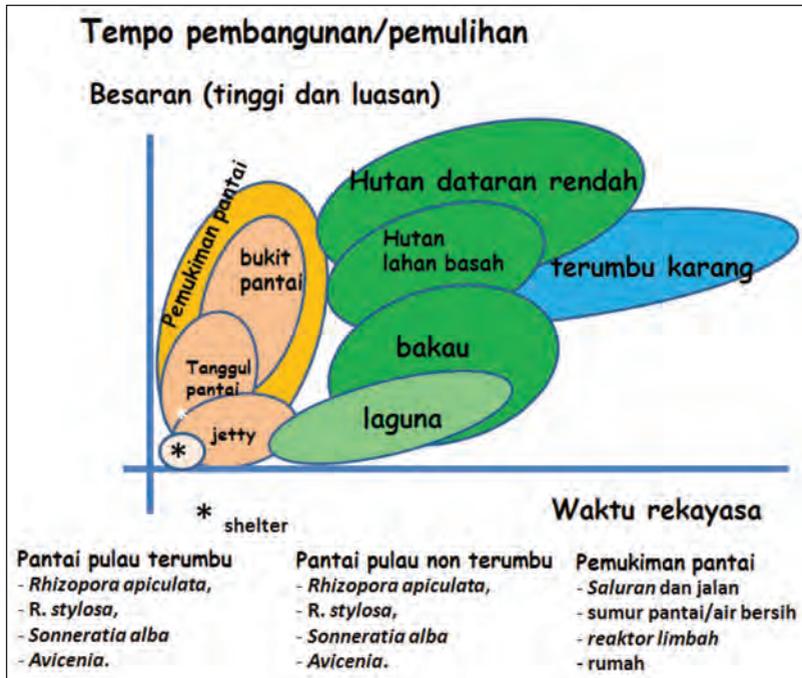
Selain pasir, penambangan juga dilakukan terhadap koral di rataan terumbu karang. Koral, baik yang telah mati maupun yang masih hidup, dicungkil dan dibongkar, kemudian diangkut dengan sampan untuk dijadikan fondasi bangunan rumah atau jalan. Hancurnya rataan terumbu ini menghilangkan ekosistem alamiah pemecah-penahan gelombang yang selama ini melindungi pantai. Jangkauan gelombang saat pasang tinggi dapat mencapai permukiman dan menghancurkan tanggul dan jalan raya. Akibat lain adalah hilangnya sumber bahan pembentuk pasir yang berupa pecahan koral di terumbu. Hilangnya sumber pasir dan penambangan pasir di pantai mempercepat pendalaman dasar perairan yang tidak lagi menahan laju gelombang ke pantai. Semula gelombang pecah di tubir terumbu dan masa air yang mengalir ke pantai diredam kecepatannya oleh pantai yang dangkal (Gambar 4.5a, Gambar 4.5b, dan Gambar 4.6).

Pemulihan juga harus dilakukan terhadap lingkungan permukiman yang semula merupakan hunian bersih di rataan pematang pasir, tetapi karena tidak teraturnya pembangunan, aspek sanitasinya tidak diperhatikan. Saluran air buangan tergenang penuh sampah padat dan menyebabkan air limbah meluap menggenangi jalan setapak antar-rumah. Pembangunan reaktor limbah yang diusulkan dalam tulisan ini menjadi salah satu jalan keluarnya. Kandungan air di dalam lapisan pasiran Formasi Tanah Merah selama ini memberi cukup air tawar bersih pada sumur dangkal masyarakat. Hampir semua sumur telah menjadi payau airnya dan tidak lagi dapat dikonsumsi. Pemulihannya dapat dilakukan dengan menyuntikkan air hujan yang terkumpul

melalui talang ke dalam drum penampung yang tersambung dengan pipa yang langsung ditanam masuk ke dalam lapisan berair asin.

Pemulihan dan penguatan dapat dilakukan dengan membangun ulang suatu lingkungan yang rusak akibat bencana dengan mereplikasi unsur semula yang ada. Pemulihan dapat dilakukan dengan mengganti beberapa unsur agar proses berjalan lebih efisien. Semua usaha tersebut harus melalui kajian yang cermat guna menghindarkan terjadinya bencana lingkungan yang lain. Pemikiran dan pekerjaan ini dapat diterapkan sebagai usaha pengembangan lingkungan yang baru sama sekali untuk memperkuat lingkungan yang telah ada. Berdasarkan pengamatan di lapangan terhadap beberapa kawasan atau tempat yang mengalami kerusakan, usaha pemulihan lingkungan dengan berbagai unsur berbeda memerlukan waktu dan biaya yang berbeda pula (Gambar 4.17). Pemulihan suatu lingkungan secara alami memerlukan waktu dan biaya lebih tinggi. Biaya ini untuk penyediaan bibit, pemeliharaan dan perlindungan hingga unsur penyusunnya dapat bertahan. Pada pemulihan lingkungan darat, diperlukan pemeliharaan dan perlindungan lebih teliti dan lama, begitu pula lingkungan lahan basah dan laut. Lingkungan ini lebih aman dari jangkauan perusak dibanding lingkungan darat yang mudah dicapai oleh pengganggu. Ekosistem terumbu karang memerlukan pemulihan lebih lama dibanding hutan di darat karena ekosistemnya tersusun dari unsur yang sangat lama pertumbuhan dan perbiakannya. Unsur penyusun terumbu karang juga peka terhadap perubahan lingkungannya karena media air menjadi habitat hidup yang dengan cepat meneruskan bahan-bahan yang berpengaruh pada kehidupan biotanya. Pembangunan atau pemulihan buatan dapat dengan cepat dilakukan bila tersedia bahan dan peralatan dan ditunjang oleh teknologi yang tepat.

Akuifer air tanah dalam yang menjadi sumber air bersih juga mengalami kerusakan ketika pemompaan menerus menguras hingga kosong rongga antarbutirnya. Kekosongan segera diisi oleh air asin dari lapisan di sekelilingnya. Air yang menetes dari lapisan *aquitard* (kedap air) di atasnya menyebabkan pengeringan yang diikuti pemampatan.



Sumber: Hantoro (2012)

**Gambar 4.17** Diagram Perbandingan Pembangunan Unsur-Unsur Lingkungan Secara Alamiah Maupun Rekayasa

Bila pengeringan terjadi pada *akuitard* tebal hingga beberapa puluh meter, dapat menyebabkan penurunan permukaan tanah cukup, bahkan dalam hingga 1 meter. Keperluan air bersih untuk kota sudah memakai air tanah dalam. Oleh karena itu, keutuhan akuifer harus dijaga dengan cara melakukan penyuntikan air tawar hujan; cara yang sama dengan yang diterapkan pada sumur optimalisasi di pantai (Gambar 4.28).

## E. Perlindungan Lingkungan

Konsep perlindungan lingkungan secara umum adalah menghalangi upaya mengubah suatu lingkungan dengan cara apa pun untuk kepen-

tingan apa pun yang berakibat pada cideranya lingkungan. Lazimnya, suatu kawasan perlindungan luasannya dibatasi oleh suatu mintakat penyangga yang menapis terjangkaunya kawasan dari pengaruh kawasan di luarnya secara langsung.

Lingkungan yang dianggap masih belum terusik di Aru terdapat di bagian tengah pulau yang dirancang sebagai kawasan lindung atau cagar alam. Sesuai dengan konsepnya, kawasan ini harus dilindungi kelangsungan kehidupan isinya (satwa, tumbuhan, dan ekosistemnya) dari upaya mengubahnya untuk alasan apa pun. Manfaat utama kawasan hutan lindung adalah sebagai pengendali daur dan neraca sumber daya alam. Selain itu, kawasan ini juga bermanfaat untuk penelitian, pengembangan, iptek dan pendidikan. Lingkungan di kawasan lindung di pedalaman Aru mewakili ekosistem hutan tropis primer pulau kecil datar (pulau yang berada di tengah perairan luas). Pulau Aru ketika zaman puncak susut laut menjadi bagian dari daratan luas Paparan Sahul. Flora dan fauna yang terkurung sekarang merupakan perpaduan dari belahan tropis dan Australia bagian utara. Sisa biota yang masih utuh di gugusan pulau yang terisolir ini harus mendapat perlindungan khusus mengingat kawasan lindungnya termasuk jalur alternatif pelayaran yang memotong pulau dari Aru bagian barat ke pesisir timur. Beberapa permukiman berada jauh di dalam estuari kanal atau di hulu bagian tengah nyaris di dalam kawasan lindung, seperti Kobamar, Irloy, dan Selibatata, yang memiliki akses langsung ke dalam hutan. Akses yang menjangkau kawasan tersebut paling tidak melalui kanal dan alur sungai; masuk dari permukiman pesisir melalui muara. Bagian tengah pedalaman ini tidak banyak perannya dalam neraca air pulau karena terbatasnya daerah tangkapan hujan yang datar dan terbatasnya kerapatan dan jangkauan aliran sungai. Walaupun demikian, kawasan ini merupakan kawasan hutan tropis yang berperan menjaga serapan energi matahari dan menjaga intensitas albedo, kelembapan, penguapan, dan suhu pulau secara keseluruhan.

Sebagian lingkungan alam di Kepulauan Aru lainnya masih ditemukan dalam keadaan terjaga, terutama di bagian pedalaman

dan pulau kecil yang belum terjangkau akses transportasi. Pulau Baun ditetapkan sebagai kawasan suaka margasatwa yang seharusnya juga menjadi hutan lindung bagi floranya. Gugusan pulau kecil lain di perairan barat Aru perlu dipertimbangkan sebagai kawasan lindung atau taman nasional. Kepentingannya bagi daur hidrologi adalah peran hutan pulau kecil adalah perannya sebagai pengatur albedo.

Kanal atau selat di bagian utara Aru juga menjadi alur transportasi bagi permukiman yang berada di pesisir. Kanal tersebut dan alur sungainya juga menjadi akses ke dalam hutan untuk memperoleh lahan dan kayu serta hasil hutan lain. Terbatasnya batuan dan pasir serta mahalnya harga semen menyebabkan masyarakat mengandalkan kayu dan koral untuk membangun rumah serta fasilitas umum lain seperti jalan. Keadaan tersebut harus segera dicari jalan keluarnya, yakni dengan menemukan alternatif bagi penyediaan bahan bangunan dan menghentikan perambahan hutan. Menipisnya hutan menyebabkan terganggunya neraca air di sekitarnya. Perlindungan hutan tidak cukup dengan penentuan kawasan konservasi tanpa menghentikan penyebab perambahan. Terjaganya hutan melalui perlindungan ini juga sangat diperlukan mengingat dampak rusaknya hutan akan diikuti erosi kuat pada singkapan sedimen napal dan lempungan. Peningkatan muatan sedimen membebani aliran permukaan yang tidak memiliki kekuatan membawa sedimen ke perairan lepas. Muatan sedimen mengendap ketika aliran melambat, menumpuk, dan menyebabkan pendangkalan kanal. Pendangkalan ini menjadi malapetaka bagi alur pelayaran kanal. Biaya pemulihan kanal sangat mahal karena tidak dapat mengandalkan aliran di kanal dan harus melalui pengerukan.

Perlindungan lingkungan pesisir juga berarti menjaga lingkungan dari pencemaran limbah. Di permukiman pantai yang masyarakatnya tinggal di rumah panggung, limbah keluarga (dapur dan jamban) umumnya dilepas langsung ke laut. Bagi yang tinggal di darat, limbah umumnya dibuang langsung ke atas permukaan tanah dan dibiarkan melimpah dan meresap ke dalam tanah. Resapan ini menjadi pencemar pada lapisan sedimen yang menyimpan air tawar dari mana sumur penduduk terisi. Cara melindungi lapisan penyimpan air ini

Buku ini tidak diperjualbelikan.

adalah dengan mengolah limbah sebelum dilepas ke lapisan lebih dalam yang mengandung air asin (Gambar 4.29 dan 4.30). Satu paket reaktor limbah dan sumur optimalisasi dibangun untuk 4–5 rumah yang berada di pantai berpasir.

Perlindungan daerah tangkapan hujan dan resapan air juga harus segera dilakukan di beberapa tempat di Pulau Womar, terutama di Dobo. Perkembangan kota yang dengan cepat diikuti perambahan hutan menjadi lahan kebun, dan segera berubah menjadi permukiman. Reservoir terbuka di sebelah utara landasan bandara Kota Dobo hanya memiliki daerah tangkapan hujan berupa semak yang sangat terbatas dan berada pada keadaan terancam perambahan menjadi kawasan permukiman.

Perlindungan pantai dapat dilakukan dengan pemulihan atau membangun hutan mangrove dan tumbuhan di darat di pulau kecil. Rataan mangrove secara fisik dapat diandalkan sebagai pelindung terhadap muka air laut tinggi berupa empasan gelombang maupun terhadap resapan air asin masuk ke darat yang dapat merusak air tawar pantai di permukiman. Perlindungan alamiah ini memberi manfaat lebih sebagai habitat biota yang memberi nilai ekonomi. Perlindungan pantai berikut permukimannya juga dapat mengandalkan terumbu karang yang berperan sebagai pemecah gelombang dan pemasok rombarkannya sebagai sedimen penyusun endapan pantai.

## **F. Pengembangan Daya Dukung Sumber Daya Air**

Selain perlindungan terhadap ekosistem, pengembangan sistem yang memperkuat neraca air juga penting dalam peningkatan ketahanan pulau kecil dan pesisir (Hantoro dkk., 2017). Neraca dan siklus air tergantung pada hujan dan bagaimana air ditangkap, ditahan, dilepas lagi sebagai mata air begitu mencapai bumi, lalu mengalir ke laut. Hutan, bentang alam, dan batuan berperan dalam siklus air, terutama ketika air berada di bumi. Manusia dengan segala kemampuannya

kemudian membuat rekayasa pengelolaan air untuk keperluannya sehingga berdampak pada turunnya kualitas dan jumlah air. Agar penyimpanan dan pemakaian seimbang, perlu penguatan unsur yang dapat direkayasa, yaitu hutan dan batuan, yang berperan sebagai penangkap, penahan, dan penyimpan air. Kebutuhan akan lahan dan bahan (kayu) telah mengorbankan kualitas dan luasan hutan. Namun, kompensasi untuk itu sejauh ini tidak pernah ada. Bagi ekosistem pulau kecil, perubahan lingkungan karena pengurangan luasan hutan dan dampak pencemaran berakibat sangat jauh pada daur dan neraca airnya dibanding dengan pulau besar yang daur airnya lebih panjang.

Berdasarkan alasan tersebut, harus ada perimbangan antara *melakukan perubahan lingkungan demi pembangunan dengan menjaga daya dukung lingkungan guna mempertahankan daur dan neraca hidrologi*. Daya dukung dapat dipertahankan bila melakukan kompensasi dengan membangun ekosistem yang daya dukungnya dapat menggantikan lingkungan (hutan) yang berubah. Namun, ekosistem yang baru ini haruslah memiliki kemampuan mempertahankan kualitas daur dan neraca air dan pengelolaannya memberi manfaat bagi masyarakat luas.

## **G. Hutan Lindung, Cagar Biosfer dan Suaka Margasatwa**

Lingkungan ini diusulkan di dalam rencana pengembangan kawasan Aru dengan alokasi tempat di Pulau Baun dan beberapa gugusan pulau kecil lainnya di perairan tenggara Aru. Hal ini dilatarbelakangi oleh flora dan fauna endemik yang semakin terancam kelestariannya seiring dengan semakin rusaknya hutan di pedalaman. Oleh karena itu, diperlukan suatu kawasan yang dilindungi dan tidak ada kegiatan komersial di sana; kegiatan yang diperbolehkan hanyalah untuk kepentingan penelitian dan pendidikan. Kawasan yang dipertentukkan sebagai hutan perlindungan flora dan fauna meliputi seluruh ekosistem yang menjadi habitat fauna dan mewakili semua ekosistem alami. Ada beberapa wilayah yang direncanakan sebagai tempat konservasi, yaitu di bagian tengah Pulau Baun dan beberapa

lokasi di teluk dan muara kanal di dekat Fatlabata, Muray, Kerbola (Aru Selatan Timur), Warloy-Dosinamalau (Aru Tengah Timur), Kabalsiang-Gomsey (PP Aru), dan Qahayum-Kotana (Aru Utara). Sementara itu, pulau-pulau kecil di timur laut Aru, seperti Benjuring, Aduar, Kumul, Tabar, Jursian, Karaiwera, dan Balatan sebaiknya dirancang sebagai tempat perlindungan biota laut maupun sebagai taman nasional darat dan lautnya.

## H. Taman Nasional

Selain hutan lindung cagar biosfer suaka margasatwa, bentuk kawasan perlindungan lainnya adalah taman nasional. Kawasan yang dapat diusulkan menjadi taman nasional adalah kawasan yang memiliki keindahan lingkungan dan keutuhan flora fauna, misalnya pulau-pulau kecil yang terletak di pedalaman, di dalam kanal, maupun yang terletak di perairan timur Aru. Kawasan tersebut dapat dikembangkan sebagai tujuan wisata alam, terutama pulau kecil yang memiliki dua ekosistem sekaligus, yaitu darat dan perairan. Beberapa pulau kecil yang telah tercatat sebagai hutan lindung margasatwa pun masih dapat dipertimbangkan untuk dijadikan kawasan taman nasional. Pengelolaan kawasan ini dapat dilakukan oleh pemerintah pusat (BKSDA) bekerja sama dengan badan yang berada di lingkungan pemerintah daerah.

Sebagai kawasan perlindungan, taman nasional masih memungkinkan masyarakat untuk memiliki akses masuk ke dalam kawasan tersebut, tetapi tanpa kewenangan melakukan usaha yang bersifat komersial. Pada kenyataannya, beberapa taman nasional mengalami perambahan sehingga mengancam keutuhan ekosistemnya. Hal tersebut diakibatkan oleh lemahnya pengawasan dan pengamanan. Selain itu, ketika sebuah taman nasional ditetapkan batas wilayahnya, beberapa hunian telah lebih dulu ada di dalamnya. Pengembangan taman nasional di Aru pun akan menghadapi masalah yang sama sehingga harus dicari pola pengelolaan yang dapat menerima kehadiran permukiman penduduk. Pengelolaan yang diusulkan didasarkan pada konsep pengembangan eko sains teknopark.

## I. Kebun Raya

Kawasan lain yang berperan sebagai bagian penguatan neraca dan daur air adalah kebun raya. Bentuk pengelolaan kebun raya ini wajib disediakan di setiap wilayah administrasi setingkat kabupaten. Untuk Kabupaten Kepulauan Aru, kebun raya hendaknya memenuhi beberapa tuntutan sebagai berikut.

1. Dapat menerima dan mendukung kehidupan semua jenis flora dari sekitar kepulauan Aru;
2. Memenuhi syarat teknis sebagai penguat daur dan neraca air;
3. Dikelola dan memberi manfaat sebagai kebun koleksi, pembiakan, dan inkubasi yang memberi nilai tambah iptek penelitian dan pendidikan;
4. Dibangun di beberapa tempat yang dapat dijangkau tanpa kesulitan transportasi untuk berbagai keperluan (pendidikan, riset, dan sebagainya).
5. Dikelola dengan aman terlindung dari kerusakan akibat gangguan cuaca, hama, maupun perambahan manusia.
6. Kawasan kebun raya harus bebas dari permukiman sehingga diperlukan pagar pembatas.

Beberapa lokasi yang diusulkan untuk kawasan ini antara lain estuari di pulau utama di sekitar Desa Jambulenga, Benjina, Meror, Kobror. Kolamar, Koijabi, dan Bemun di Pulau Workai (Gambar 4.27 dan 4.38). Selain diusulkan sebagai kebun raya, tempat tersebut pun direncanakan sebagai titik pusat pengembangan kawasan strategis.

Pembangunan dan pengembangan kawasan kebun raya di berbagai tempat di Indonesia dilakukan dengan kerja sama dan pendampingan dari LIPI. Pembangunan, pengembangan, dan pengelolaan tersebut merujuk pada konsep pengembangan eko sains teknopark. Konsep ini pendekatannya lebih terencana dengan pelibatan masyarakat dan pe-mangku kepentingan sehingga kelestarian dan keamanan kebun dapat

terjaga dan berdaya hasil sebesar mungkin. Pembahasan teknopark dalam buku ini ruang lingkungannya adalah pengelolaan suatu kebun raya.

## J. Eko Sains Teknopark

Latar belakang *eco science tecnopark* adalah kemunculan konsep kelembagaan dalam pengelolaan sumber daya alam-lingkungan yang rentang keragamannya luas dan ada benang merahnya sehingga bila dapat dipadukan akan tercapai beberapa keuntungan, antara lain efisiensi dan efektivitas. Bila konsep ini diterapkan di berbagai tempat, eko teknopark dapat menggambarkan miniatur keterpaduan sektor di tingkat daerah (provinsi atau kabupaten/kota).

Konsep eko sains teknopark diusulkan untuk dikembangkan—dalam bentuk apa pun yang dibangun—guna memulihkan dan meningkatkan ekosistem yang berperan penting dalam proses daur dan neraca air di Aru. Hal ini karena proses daur dan neraca air berperan dalam pemulihan lingkungan sekaligus dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Pengembangan eko sains teknopark di Aru bertujuan membangun suatu sistem yang dapat menghimpun dan mengoptimalkan iptek dan potensi sumber daya alam-lingkungan agar tercapai keterpaduan antara penelitian dan pengembangan dengan masyarakat pemangku kepentingan. Selain itu, diharapkan juga muncul luaran akademis maupun rekayasa yang dapat langsung diterapkan. Konsep eko sains teknopark dalam penerapannya haruslah disesuaikan dengan kondisi setempat. Untuk Kepulauan Aru, konsep ini hendaknya saling terkait dan saling dukung dengan pengembangan dan pembangunan kawasan perlindungan (suaka margasatwa, kebun raya, dan sebagainya) serta kawasan strategis. Deliniasi ruang didasarkan pada kekuatan dan peluang pengembangan serta kemampuannya mendorong keterpaduan unsur penyusun eko tecnopark. Dampak dari kegiatan ini adalah kesadaran, pemahaman, dan pemikiran yang lebih lanjut dalam upaya mitigasi dan adaptasi terhadap kejadian ekstrem.

Untuk penerapan konsep eko sains teknopark, diperlukan kelompok pakar yang memiliki keterkaitan dengan konsep ini. Data dan informasi yang telah ada dapat menjadi dasar dalam menyusun rancangan kegiatan penelitian hingga penyusunan naskah akademis dan DED-nya. Sistem atau sarana yang diusulkan ini memiliki fungsi dan kegiatan yang lebih menjangkau masyarakat luas dengan sasaran yang lebih terarah.

Pengembangan eko sains teknopark mengedepankan semangat pelestarian, ramah lingkungan, dan melibatkan masyarakat. Pengembangan dan kegiatannya juga mengedepankan pendampingan dan bimbingan dalam penelitian, pelatihan, dan pendidikan. Kegiatannya dapat dikemas semenarik mungkin—disisipi unsur hiburan agar tidak membosankan—sehingga mudah untuk diikuti.

Eko sains teknopark juga menggerakkan roda ekonomi karena bisa mengembangkan usaha masyarakat dalam bidang yang sesuai dengan lingkungan taman ini. Kegiatannya dikemas dan dikelola bersama pilar-pilar masyarakat sehingga memberi dampak positif bagi lingkungan dan masyarakat sekitarnya. Dengan kemasan kegiatan seperti demikian, sasaran dan tujuan pembangunan institusi ini diharapkan dapat tercapai. Tujuan dan sasarannya adalah mengupayakan pemulihan dan penguatan sumber daya alam-lingkungan, meningkatkan kepedulian dan tanggung jawab dan kreativitas masyarakat melalui sosialisasi serta diseminasi informasi. Dengan upaya tersebut, diharapkan tercapai kesejahteraan dan daya saing masyarakat yang didukung ketahanan dan kelestarian sumber daya alam-lingkungannya.

Persiapan dan pengelolaan institusi eko sains teknopark memerlukan pakar tata ruang, sosial, ekonomi kependudukan, biologi, kebumihutan dan instrumentasi dibantu para teknisi dan tenaga lokal. Kegiatannya dilakukan melalui koordinasi pemerintah daerah dengan anggaran dari pusat yang diajukan kepada kementerian terkait, yakni PUPR dan Pembangunan Desa. Aspek penelitian diperoleh dari LIPI hingga tahap peralihan menuju pengelolaan. Dalam proses ini, pakar terkait aspek pengembangan iptek dapat dihadirkan sesuai keperluan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Sementara itu, peralatan dan bahan penelitian standar disediakan oleh institusi pendamping.

Pengembangan eko sains teknopark melibatkan swasta skala nasional yang mempunyai investasi di kawasan ini, antara lain yang bergerak di sektor perikanan dan pertanian. Namun, tidak tertutup kemungkinan untuk pengembangan sektor lainnya, seperti pendidikan, pariwisata, dan industri. Sementara itu, kegiatan yang dilakukan umumnya terkait dengan konservasi bentang alam, seperti kebun raya, geopark, dan lain-lain. Pemulihan ekosistem diawali dengan memilih jenis ekosistem yang memerlukan pemulihan segera. Di sekitar Pulau Wamar, di pesisir barat daya yang masih memiliki tutupan hutan dan mangrove, ekosistem pesisirnya telah mengalami perambahan menjadi kebun. Wilayah yang dipulihkan dapat diperluas ke arah perairan di barat Wamar dengan upaya pemulihan terumbu karang yang selama ini menjadi sasaran penambangan koral untuk bahan bangunan. Di sekitar kawasan ini, terutama di bagian selatan pulau yang memiliki pantai berpasir yang tenang perairannya, dapat dikembangkan lingkungan wisata pantai yang menjadi satu dengan sisi barat daya pulau.

Pengembangan usaha ekonomi kecil hingga menengah berbasis budi daya darat dan laut memberi alternatif usaha terhadap kegiatan ekstraktif masyarakat terhadap hutan dan lingkungan pesisir lainnya. Selain itu, pemanfaatan lingkungan sebagai tujuan wisata dapat pula diarahkan untuk mendukung ekosistem. Jadi, berbagai jenis usaha ekonomi kecil dan menengah serta usaha dalam sektor pariwisata yang bisa dilakukan adalah:

1. Budi daya: rumput laut, kolam ikan, kebun obat-sayur-buah-anggrek, tanaman produksi hutan, (kayu putih, cendana, gaharu), lebah madu, unggas, hewan (domestikasi);
2. Akomodasi: taman bermain anak, trekking (jalan-lari-sepeda,) arboretum, taman kupu-burung, sentra produk tradisional;
3. Hobi dan olah raga: perairan, pantai;

4. Pelatihan: tematik di tiap objek (TTG) budi daya, pengolahan produk laut-kebun, anggrek, madu;
5. Penelitian: tematik tiap objek;
6. Pelatihan: paket tematik pelatihan (TTG, ternak lebah-ulat kupu, unggas dan lain-lain), industri tradisional;

Eko sains teknopark—sebagai lembaga atau institusi—secara konsep memiliki jangkauan keterpaduan. Namun, institusi ini memerlukan kelengkapan untuk menjamin terselenggaranya tugas pokok fungsi tiap sektor serta mendukung keterpaduan antarsektor terkait. Kelengkapan yang diperlukan:

1. Simpul diseminasi iptek pengelolaan sumber air dan mineral;
2. Museum dan perpustakaan lingkungan dan budaya;
3. Model lapangan pemulihan dan pengelolaan berkelanjutan lahan kritis;
4. Model lapangan pemulihan dan pengelolaan terpadu lestari potensi sumber daya lahan basah dan biota perairan;
5. Pemulihan dan peningkatan ketersediaan air di pulau kecil melalui penerapan teknologi penyimpanan-pengolahan air dan sanitasi lingkungan;
6. Pemulihan dan pengelolaan lestari sumber daya alam-lingkungan khusus pulau kecil pendukung wisata;
7. Pelestarian dan penguatan budaya/adat lokal berikut situs permukiman/bangunan sebagai cagar budaya lokal;
8. Pengembangan konservasi flora fauna endemik terpadu pulau kecil (darat dan perairan) dari suatu bentuk taman nasional;
9. Inkubator usaha terkait potensi dan daya dukung sumber daya alam lokal berkelanjutan;
10. Stasiun pemantauan lingkungan daring (telemetry);
11. Kebun raya pulau kecil (darat, pantai, dan perairan).

Persyaratan wilayah untuk dapat dijadikan sebagai eko sains teknopark adalah:

1. Mewakili ekosistem yang harus dilindungi, dipulihkan dan diperkuat guna membangun lingkungan yang tahan terhadap kejadian ekstrem alamiah dan menjadi bagian yang meningkatkan neraca hidrologi;
2. Memenuhi syarat kesesuaian berdasarkan evaluasi beberapa unsur seperti yang disampaikan pada bagian sebelumnya;
3. Merupakan bagian dari kawasan strategis pengembangan di Kepulauan Aru;
4. Dapat diandalkan menjadi agen penggerak masyarakat dalam membangun kemandirian ekonomi berdasarkan kemampuan pengelolaan sumber daya alam lestari;
5. Memiliki berbagai sarana transportasi dari dan ke daerah lain yang mudah di akses;
6. Menggalang koordinasi program dan kegiatan antarsektor dengan skema pembiayaan daerah dan pusat;
7. Menjadi titik tolak pertumbuhan kawasan perbatasan;
8. Menjadi model andalan skema pengelolaan terpadu;
9. Menjadi sumber data informasi terkait pemberdayaan masyarakat (perpustakaan dan sebagainya).

Beberapa tempat di Kepulauan Aru layak diusulkan menjadi eko sains teknopark dan jenis kegiatannya menghasilkan penguatan lingkungan bagi kelestarian neraca dan daur hidrologi. Beberapa tempat tersebut adalah sebagai berikut:

### **1. Dobo Womar Timur**

Pemukiman-pemukiman di sana, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 28 (Gambar 4.27). Diperlukan minimal 25 hektare lahan untuk program inkubasi teknologi dan usaha ekonomi berbasis

teknologi tepat guna bidang pertanian-perkebunan (skala kecil), pengolahan hasil laut, teknologi peningkatan ketersediaan air, konservasi lahan basah dan mangrove serta taman nasional biosfer lahan basah (flora dan fauna). Selain bidang-bidang tersebut, dilakukan pula penguatan ketersediaan air sebagai kegiatan percontohan dan pelatihan. Teknologi yang dipilih adalah pemakaian air dan injeksi akuifer dalam serta embung tertutup (Gambar 4.31 dan 4.33).

Taman nasional dan kebun raya skala kecil dengan ekosistem mangrove sebagai inti kawasan dapat segera dibangun. Kemudahan akses akan membantu pengembangan dan pengelolannya, terutama penguatan kelembagaannya dengan program-program yang lebih tertata dan fokus sasaran.

## **2. Jabulenga, Lamerang, dan Wokam**

Permukiman-permukiman di sana, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 20 (Gambar 4.27). Diperlukan lahan minimal 25 hektare untuk program inkubasi teknologi dan usaha ekonomi berbasis industri rumah tangga hasil sumber daya laut (perikanan tangkap) dan darat (pertanian-perkebunan dan hasil hutan). Teknologi tepat guna dipilih agar mempercepat dan memperlancar penerapan eko sains teknopark, di samping biaya yang murah karena memanfaatkan hasil dari masyarakat setempat.

Bidang yang bisa digarap di wilayah ini adalah pertanian-perkebunan (skala kecil), pengolahan hasil laut, teknologi peningkatan ketersediaan air, konservasi lahan basah, mangrove dan terumbu karang serta pengembangan-pemuliaan tanaman lokal yang tahan terhadap gangguan iklim maupun hama. Pembangunan sarana ketersediaan air menjadi awal pengembangan kawasan eko sains teknopark. Letak taman di ibu kota kabupaten menjadikannya sebagai etalase pengelolaan yang mewakili seluruh taman lain di berbagai tempat di Kepulauan Aru.

### 3. Wahayum-Warilau

Permukiman-permukiman di wilayah tersebut, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 11–13 (Gambar 4.27). Diperlukan lahan minimal masing-masing 20 hektare di darat dan laut untuk program inkubasi teknologi dan usaha ekonomi untuk bidang pertanian-perkebunan (skala kecil), penangkapan-budi daya (pemijahan dan pembesaran) dan pengolahan hasil laut, teknologi peningkatan ketersediaan air, konservasi lahan basah dan mangrove serta taman nasional biosfer pulau kecil dan terumbu karang (flora dan fauna). Sementara itu, pemulihan, pengembangan, dan pengelolaan terumbu karang dilakukan untuk penelitian dan konservasi serta bisa diimbangi dengan pemanfaatan bagi budi daya dan pariwisata. Pembangunan sarana ketersediaan air menjadi program awal dari pengembangan taman ini.

### 4. Kolamar-Kepulauan Kulur

Berdasarkan analisis kesesuaian, permukiman-permukiman di wilayah tersebut memiliki nilai 13–15 (Gambar 4.27). Diperlukan lahan minimal 15 hektare di darat dan di laut untuk program inkubasi teknologi dan usaha ekonomi berbasis industri rumah tangga pengolahan hasil sumber daya darat dan laut, mangrove dan hutan lahan basah melalui penerapan tepat guna dalam bidang pertanian-perkebunan (skala kecil), penangkapan-budi daya (pemijahan dan pembesaran), dan pengolahan hasil laut. Beberapa teknologi tepat guna dalam peningkatan ketersediaan air diusulkan menjadi program inti konservasi lahan basah dan mangrove, taman nasional biosfer pulau kecil, dan terumbu karang (flora dan fauna). Taman nasional dikembangkan juga sebagai alternatif tujuan wisata edukasi pengelolaan lingkungan. Pembangunan embung tertutup sebagai sarana ketersediaan air menjadi salah satu program awal. Kawasan ini perlu dilengkapi dengan alat pemantau lingkungan yang terhubung dengan pusat data nasional sehingga dapat dipantau secara daring. Sarana perhubungan laut pun perlu segera ditingkatkan kapasitas angkutnya

dengan pelayaran teratur yang menghubungkan Kolamar-Kepulauan Kulur dengan Dobo dan daerah lain di pesisir timur hingga Meror.

## 5. Selmona-Mohongsel

Permukiman-permukiman di sana, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 13 (Gambar 4.27). Untuk melayani kegiatan eko teknopark di kawasan tersebut, harus disediakan lahan 20 ha yang mencakup perairan di sekitar permukiman. Pemulihan hutan tropis daerah semi karst dilakukan bersamaan dengan pengembangan kebun tumpangsari tanaman produksi, seperti jati (*Tectona grandis*) unggul. Usaha ini dilakukan untuk meningkatkan ketahanan ketersediaan bahan bangunan kayu. Tersedianya bahan ini akan mengalihkan masyarakat dari penebangan hutan. Sementara itu, usaha penangkapan dan pengolahan sumber daya laut menjadi fokus dalam usaha peningkatan kemampuan masyarakat pantai.

## 6. Kobamar

Berdasarkan analisis kesesuaian, permukiman-permukiman di Kobamar, memiliki nilai 11 (Gambar 4.27). Selain diarahkan sebagai daerah konservasi, masyarakat di sekitar Kobamar harus diberi kesempatan mengelola lingkungannya untuk memperoleh nilai tambah bagi peningkatan kesejahteraannya. Pengembangan eko sains teknopark di daerah ini diarahkan pada kemampuan mengelola lingkungan hutan tropis dataran rendah di perairan kanal. Pemahaman lingkungan limnik dijadikan sebagai acuan pengembangan program pengelolaan lestari. Sebagai kawasan perlindungan, penyediaan lahan seluas 5 hektare untuk program pengembangan taman dapat menjadi awal kegiatan koleksi flora endemik. Pengetahuan tentang pengelolaan sumber daya hutan non-kayu yang dimiliki masyarakat lokal dapat menjadi dasar untuk memperoleh peluang lebih baik dalam meningkatkan hasil hutan tanpa menimbulkan kerusakan. Koleksi dan budi daya biota perairan tawar endemik menjadi acuan dalam menemukan nilai tambah sebagai dasar pengembangan potensinya. Kobamar juga dapat menjadi inkubator bagi satwa endemik yang

Buku ini tidak diperjualbelikan.

akan dilepas kembali ke hutan. Berdasarkan pengetahuan masyarakat dalam meramu hasil hutan non-kayu, seperti madu, inkubator usaha pengelolaan hasil hutan dikembangkan dengan tatacara produksi yang menjaga kelestarian sumber daya dan meningkatkan kualitas hasil sehingga dapat bersaing sebagai produk hutan asli. Pembangunan taman nasional dan eko sains teknopark di Kobamar yang dilaksanakan berdasarkan keterpaduan program antarsektor dapat mendorong pembangunan sarana umum di sana, misalnya perhubungan (transportasi dan komunikasi), pendidikan, kesehatan, dan perdagangan ke daerah tengah Pulau Aru.

## 7. Juring

Pemukiman-pemukiman tersebut, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 7 (Gambar 4.27). Juring dapat menjadi pusat perlindungan lingkungan limnik yang mewakili ekosistem hutan rawa dataran rendah tropis di tengah pulau kecil. Temuan biota endemik masih mungkin dari ekosistem terisolasi ini. Koleksi biota kawasan ini memerlukan perlindungan karena kawasan ini merupakan model gugus pulau kecil dan perairan pedalaman yang terbentuk dari proses tektonik. Kelembagaan yang lebih tepat adalah taman nasional yang di dalamnya terdapat kebun koleksi flora dan fauna endemik perairan tawar. Sementara itu, eko sains teknopark dapat dikembangkan secara bertahap.

Kawasan yang harus dilindungi berikut kawasan intinya dapat mencapai 10 km<sup>2</sup>. Titik ini juga dapat menjadi penapis penerobosan dari pesisir barat maupun timur yang mengangkut hasil penjarahan hutan kayu maupun non-kayu. Peramuhan hasil hutan non-kayu diarahkan dan dikendalikan agar sumber daya aslinya dapat terjaga kelestariannya.

## 8. Kojjabi-Warjukur-Warloi

Permukiman-permukiman tersebut, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 16–17 (Gambar 4.27). Kawasan yang diusulkan sebagai taman nasional dengan muatan kegiatan eko sains teknopark

ini mewakili ekosistem muara dari alur sungai non-kanal. Kawasan ini lebih memerlukan pemulihan lahan dan perlindungan sebagai ekosistem estuari yang rawan mengalami sedimentasi ketika bagian hulu mengalami kerusakan. Pemulihan dilakukan dengan penanaman pohon hutan produksi, seperti jati, yang sesuai dengan batuan dasar, yaitu napalan dan kalkarenit. Kawasan yang menjadi daerah pengelolaan dapat mencakup sekeliling estuari. Perlindungan flora dan fauna estuari menjadi dasar pengelolaan kawasan ini, sementara beberapa program peningkatan ketahanan ekonomi masyarakat di arahkan pada pemanfaatan ekosistem sebagai kawasan pengolahan hasil laut.

## **9. Jorang dan Karey**

Permukiman-permukiman tersebut, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 16 (Gambar 4.27). Dua permukiman ini mewakili pesisir timur yang dibangun di atas satuan batuan gamping kalkarenit dan napal yang membentuk pantai landai dan bertebing. Ekosistem hutan pesisir yang telah mengalami perambahan menjadi kebun dan semak perlu dilindungi dari kerusakan lebih lanjut dengan penanaman pohon kayu produksi, seperti jati. Pengelolaan hutan produksi ini diselaraskan dengan kebun palawija. Untuk itu, diperlukan kegiatan yang mengarah pada pertanian dan perkebunan intensif. Selain daratan, ekosistem perairan juga menjadi sasaran kegiatan pemulihan dan perlindungan. Terumbu karang yang berkembang di paparan litoralnya menjadi lingkungan penyangga dan perlindungan bagi biota laut untuk memijah dan membesarkan diri.

## **10. Boman-Longgar**

Permukiman-permukiman tersebut, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 18 (Gambar 4.27). Desa ini dipilih untuk mewakili permukiman pulau kecil. Longgar terletak di pulau Workai, salah satu gugusan pulau yang terserak di tenggara Aru. Wilayah ini berperan sebagai pusat kegiatan pengelolaan lingkungan gugusan pulau dengan pendekatan konservasi, taman nasional, kebun raya,

dan eko sains teknopark dengan kemanfaatan ekowisata. Ekosistem pulau kecil landai batuan sedimen pasir kuarsa dan batu gamping napalan menjadi alas hutan tropis dataran rendah bersisian dengan hutan mangrove yang mengalami evolusi perubahan menjadi hutan kering. Perlindungan dan pengelolaan ekosistem darat diselaraskan dengan ekosistem lautnya yang memiliki rata-rata luas terumbu karang.

## **11. Meror**

Berdasarkan analisis kesesuaian, permukiman-permukiman tersebut memiliki nilai 16 (Gambar 4.27). Meror berada di pantai tenggara Aru dan dapat menjadi titik pangkal kegiatan di gugusan kepulauan di Tenggara Aru (Pulau Jeudih, Mer, Jeh, dan pulau lainnya) yang dicadangkan untuk kawasan wisata perairan. Pengelolaan kawasan ini hendaknya dilakukan seperti mengelola taman nasional berikut kawasan penyangganya. Pengelolaan laut menjangkau semua pulau, tetapi harus dipilih salah satu pulau yang memiliki unsur lingkungan paling lengkap untuk mewakili perairan terbuka Laut Arafura.

Basis darat dari taman memerlukan lahan 20 ha yang mencakup tempat yang terbentuk sebagai pematang pantai purba. Sebagai tempat pengembangan model teknologi pemulihan dan pemuliaan lahan kritis, program pertanian dan perkebunan terkait lahan kritis menjadi pilihan paket untuk taman ini. Perlu dipertimbangkan untuk melengkapi dengan kebun raya flora endemik. Museum kelautan koleksi fauna dan flora laut paling tepat dibangun di tempat ini dengan koleksi yang berasal dari gugusan kepulauan terumbu karang.

## **12. Fatural dan Kalar-kalar**

Permukiman-permukiman di sana, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 19 hingga 24 (Gambar 4.27). Fatural dipilih untuk mewakili pesisir barat Aru bagian selatan yang menghadap laut lepas dengan latar belakang kawasan lahan kritis. Diperlukan lahan luas yang mencakup ekosistem perairan dangkal yang di dalamnya terdapat terumbu karang, daratan dan lahan kritis yang terbentuk dari singkapan batu pasir kuarsa, lempung, dan lanau karbonat. Singkapan ini hanya memberi tutupan solum tipis tempat tumbuhan

hutan lahan kering (*deciduous forest*) sebelumnya berada. Perambahan tutupan hutannya segera membuka dan menyapu habis solum dan meninggalkan singkapan sehingga tumbuhan pionir dapat tumbuh. Pemilihan jenis tanaman untuk hutan produksi perlu pertimbangan apakah tanaman tersebut dari jenis endemik atau tanaman lain, seperti jati, dengan pengawasan dan perlindungan khusus. Seiring pemulihan hutan, pembuatan reservoir tertutup dimulai untuk meningkatkan kelembapan lahan dengan menampung dan menyimpan air hujan yang terbatas curah dan intensitasnya dalam satu tahun.

### **13. Tiberfane**

Permukiman-permukiman tersebut berdasarkan analisis kesesuaian memiliki nilai 13. (Gambar 4.27). Pengembangan suatu eko sains teknopark di kawasan delta memerlukan lahan yang dapat menampung semua ekosistem dengan lengkap. Diperlukan lahan lebih dari 2 x 2 km untuk pengembangan kawasan kegiatan eko sains teknopark. Kegiatan utamanya adalah pemulihan dan pengelolaan lahan, penyediaan air bersih, pengelolaan dan pengolahan biota laut serta pariwisata. Pembangunan taman nasional dengan konsep kebun raya dan eko sains teknopark akan mendorong pembangunan sarana umum lain dari berbagai sektor yang terkait. Sebagai contoh, peningkatan pelayanan transportasi laut dengan membangun pelabuhan lebih besar dan aman di dalam teluk; pembangunan jalan raya dari Tiberfane ke permukiman Aru Selatan melalui pesisir. Kawasan pesisir ini memiliki potensi sebagai kawasan wisata pantai.

### **14. Enjina**

Permukiman-permukiman tersebut berdasarkan analisis kesesuaian memiliki nilai 13 (Gambar 4.27). Benjina dapat menjadi fokus pembangunan dan pengembangan eko sains teknopark yang memiliki spektrum paling luas ruang kegiatannya dan diharapkan mampu meningkatkan daya saing sumber daya alam dan masyarakat Aru. Dengan lingkungan dan sumber daya yang ada di tempat ini dan jangkauan jelajah masyarakat ke perairan sekelilingnya, Benjina diharapkan menjadi titik pangkal penjalaran peningkatan teknologi ke seluruh Aru. Estuari kanal besar yang membelah Aru aman untuk

pangkalan kegiatan yang menjangkau perairan Laut Arafura dan Laut Banda. Untuk kawasan sekitar Benjina, diperlukan lahan seluas 2x10 km untuk menampung kegiatan ekopark yang daerah garapannya termasuk kawasan konservasi di pedalaman. Ekopark Benjina akan lebih maksimal bila kegiatannya, selain sebagai pangkalan kegiatan laut lepas, juga diselaraskan dengan ekopark di Irloy yang terletak di tepi kawasan konservasi. Lingkungan perairan air tawar lahan basah di pedalaman Aru ini mewakili daerah kawasan semi karst dan hutan primer.

Program unggulan untuk Benjina fokus pada pengelolaan sumber daya hasil laut yang terbarukan. Oleh karena itu, kegiatan program ini terkait dengan perikanan tangkap dan pengolahannya, pengembangan sarana perikanan tangkap, teknologi perikanan tangkap dengan pemanfaatan IT, dan pengelolaan ekonomi perikanan tangkap. Sarana pendidikan yang terkait dengan kegiatan ini sebaiknya disediakan di Benjina.

Peningkatan sarana transportasi yang telah ada menjadi nilai tambah bagi kelembagaan eko sains teknopark. Transportasi udara dan laut masih dapat dikembangkan dengan pembangunan pelabuhan dan peningkatan kapasitas bandar udara. Peningkatan kegiatan di kawasan ini perlu dukungan data lingkungan yang lebih baik dengan pembangunan teknologi pencatat parameter lingkungan yang dapat diperoleh secara daring dalam repositori nasional BMKG.

Penguatan ketersediaan air melalui penerapan teknologi, sebagaimana diusulkan, dapat menjadi awal untuk memulai pembangunan kelembagaan eko sains teknopark. Dalam hal ini, teknologi pemakaian dan injeksi akuifer serta beberapa embung tertutup merupakan pilihan utama. Selain menangani masalah perlindungan (cagar) biosfer, pengelolaan taman nasional dapat menawarkan program wisata lingkungan, terutama ekosistem kanal sekitar Benjina. Sebagai pulau yang terletak di antara daratan Australia dan gugusan kepulauan Indonesia di bagian timur, pulau ini berpotensi sebagai batu loncatan (jembatan penghubung) antara dua daratan besar tersebut oleh biosfer dan manusia purba di masa lalu. Gua-gua dan alur lembah badan air

yang terbentuk pada batu gamping menjadi sarana bagi migrasi dan hunian manusia purba.

### **15. Jirlei-Gulili**

Permukiman-permukiman tersebut memiliki nilai 19 hingga 24 dalam analisis kesesuaian (Gambar 4.27). Guna mendukung pembangunan taman nasional yang mencakup fungsi dan status kebun raya dan eko sains teknopark, dibutuhkan setidaknya 12x7 km lahan konservasi dan 10 ha lahan untuk teknopark. Selain itu, pemulihan kawasan yang sebagian telah berubah menjadi semak ini dilakukan dengan pohon tanaman produksi.

## **K. Penanganan yang Diusulkan**

Adaptasi dan penguatan ketahanan lingkungan dan sumber daya alam yang terkait dengan ketersediaan air dilakukan berdasarkan keadaan alam setempat. Dengan mengetahui keadaan alam dengan baik, akan ditemukan peluang memanfaatkan potensi sumber daya alam yang ada secara bijaksana tanpa menimbulkan kerusakan, tetapi tetap mendapat dampak positif sebanyak mungkin. Terkait dengan hal ini, penerapan teknologi yang diusulkan juga memperhitungkan ketersediaan dan kerumitan teknologi, besaran (luas, biaya, efisiensi, kemampuan pelayanan, dan lain-lain), bahan yang diperlukan serta kapasitas pengelolaan operasionalnya. Bahan untuk keperluan konstruksi di kepulauan ini terbatas jumlah dan kualitasnya, sementara mendatangkan bahan dari luar juga mahal biayanya. Teknologi yang diusulkan hendaknya dipilih melalui berbagai pertimbangan, seperti bagaimana masyarakat setempat melakukan replikasi dari contoh yang telah dibangun.

Data dan informasi tersedia secara terbatas untuk sekadar mengenali alam lingkungan dan kemasyarakatan Kepulauan Aru. Sebagian data dapat diperoleh dari kantor Bappeda dan dinas terkait di kantor Kabupaten Kepulauan Aru. Data juga dapat diperoleh dari sumber pemerintah provinsi dan sumber data nasional maupun internasional

(Kementerian ESDM, BIG, BMKG, IGOSS NMC, Nullschool, dan sebagainya).

Pada bagian ini dibahas bagaimana melakukan analisis dan memilih lokasi yang disesuaikan dengan jenis teknologi. Beberapa tempat dipilih dan dievaluasi, terutama tempat yang terdapat permukiman, daerah yang diusulkan sebagai daerah pengembangan kawasan strategis serta daerah yang memiliki potensi dan daya dukung pemulihan neraca dan daur hidrologi. Dari beberapa tempat tersebut, pulau yang di dalamnya terletak ibu kota kabupaten, yakni Pulau Wamar, dibahas lebih mendalam.

Tiap daerah ditinjau berdasarkan hasil analisis kesesuaian dengan pertimbangan beberapa unsur, antara lain morfologi, geologi, tutupan hutan tata guna lahan, dan kepadatan penduduk. Selain itu, ditinjau pula kerentanan kawasan tersebut terhadap ancaman bahaya gelombang tinggi sebagai dampak kejadian ekstrem yang dapat merusak ketahanan sumber daya air. Dalam usaha meningkatkan ketahanan neraca air di daerah tersebut, dibahas juga upaya pemulihan dan peningkatan ketahanan lingkungan yang diusulkan. Upaya tersebut juga dikaitkan dengan pelibatan masyarakat agar sejak awal telah memiliki kesadaran, kepedulian, dan kemampuan terlibat dalam usaha membangun ketahanan lingkungan dan sumber daya alam. Untuk itu, beberapa bentuk kelembagaan atau kegiatan yang dapat mengharmonisasi kegiatan teknis dan kegiatan kemasyarakatan diusulkan menjadi bagian dari program penguatan neraca air. Terkait dengan teknologi penguatan dan penyimpanan air yang sesuai dan dipilih, tulisan ini hanya membahas teknologi yang pemanfaatannya nanti lebih mengandalkan kemampuan alam dan terkait dengan jumlah atau volume air. Teknologi pengolahan untuk meningkatkan kualitas medis dan industri tidak dibahas karena sudah diulas dalam tulisan lain yang membahas teknologi dan alatnya.

## **L. Pendekatan Penanganan**

Pendekatan penanganan masalah dilakukan berdasarkan data keadaan alam kepulauan ini. Keadaan cuaca dan iklim kawasan di-

wakili data yang terukur dengan instrumen di kompleks bandara yang dilakukan oleh BMKG. Data lain diperoleh dari sumber pusat data internasional yang memberi gambaran terus-menerus maupun sesaat melalui pemantauan satelit. Sementara itu, data geologi, morfologi, dan tutupan lahan diperoleh dari citra satelit. Berdasarkan data tersebut, diperoleh kesesuaian antara tempat dan penerapan teknologi yang diusulkan. Berdasarkan informasi awal, diusulkan tiga teknologi yang layak dikembangkan pada skala kecil dan menengah. Teknologi tersebut dapat dibangun di satu tempat untuk selanjutnya disebar dan dikembangkan sesuai dengan keadaan tempat dan keperluan. Penentuan tempat dilakukan dengan analisis kesesuaian yang didasarkan pada keadaan alam, misalnya geologi, morfologi, serta pola aliran sungai dan lahan. Kesesuaian dengan keadaan sosial ekonomi kemasyarakatan (tingkat kebutuhan jangka menengah dan panjang, ketersediaan lahan serta efisiensi pembangunannya) juga diperlukan. Penentuan lokasi dan prioritas pembangunan juga didasarkan pada kemungkinan tekanan dari kejadian ekstrem yang menyebabkan ketersediaan air mengalami gangguan atau kerusakan. Pertimbangan berikutnya terkait dengan skema pembiayaan dan pelaksanaan. Karena volume bangunan tidak besar dan sederhana, pembiayaan dapat dialokasikan dari anggaran pembangunan daerah. Upaya ini hendaknya telah melibatkan masyarakat sejak awal hingga pengelolaannya (Hantoro dkk., 2018).

Teknologi yang diusulkan untuk memperoleh dan menyimpan air adalah sumur optimalisasi, penyimpanan-pemakaian serta injeksi sumur air tanah dalam dan dangkal maupun reservoir tertutup. Tiap teknologi memiliki syarat kesesuaian dengan bentang alam dan jenis batuan; hal ini dijelaskan pada pembahasan masing-masing teknologi. Syarat lain adalah tempat pembuatannya tidak terpapar kejadian yang dapat menurunkan kinerja atau bahkan merusaknya, misalnya kejadian ekstrem. Sedimentasi, abrasi, longsor hingga penggenangan air laut tergolong kejadian yang mengancam kinerja tersebut. Ancaman tersebut dapat menguat jika muncul kejadian ekstrem alamiah dan dampak negatif dari kegiatan manusia yang tidak terukur.

Berdasarkan keadaan alam geologi dan stratigrafi serta curah hujan yang relatif tinggi dengan intensitas relatif sedang, terdapat peluang untuk meningkatkan ketersediaan air di Kepulauan Aru. Peluang ini tidak merata, tetapi tergantung keadaan yang telah disampaikan sebelumnya. Curah hujan antara bagian utara dan selatan kepulauan diduga tidak merata. Upaya peningkatan ketersediaan air tawar dapat dilakukan dengan mengelola neraca hidrologi dan memanfaatkan kelebihan alam melalui rekayasa peningkatan pemakaian dan kapasitas penyimpanan air tawar dari air hujan. Ada beberapa alasan untuk mengelola air hujan dengan menyimpannya, yaitu:

- 1) Pulau kecil yang semakin terbuka tutupan hutannya mengurangi resapan air hujan yang berubah menjadi air (tawar) larian permukaan yang dengan cepat mengalir menuju laut.
- 2) Air hujan tidak cukup mengandung mineral atau unsur kimia tertentu yang dibutuhkan oleh manusia. Penyimpanan dan pemakaian air hujan secara langsung tidak disarankan. Cara penyimpanan langsung air hujan yang aman adalah di dalam akuifer buatan embung tertutup atau di dalam akuifer tanah dalam yang terjaga dari penguapan dan pencemaran.
- 3) Penyimpanan tersebut mengurangi dan menghemat pemakaian lahan pulau kecil yang sudah terbatas.

Rekayasa penyimpanan ini, terutama terkait dengan penyimpanan ke dalam akuifer dalam, menuntut terjaganya air hujan dari pencemaran. Oleh karena itu, air hujan yang terkumpul langsung dari atap bangunan tanpa menyentuh permukaan tanah atau masuk saluran, dikumpulkan dalam tangki penampung dan diinjeksikan ke dalam akuifer tanah dalam atau dialirkan ke dalam resapan akuifer dangkal buatan. Rekayasa penyimpanan di dalam embung tertutup mensyaratkan air yang terkumpul dari air permukaan yang terkumpul di luasan tadah hujan yang dialirkan melalui saluran yang terbebas dari pencemaran.

Pulau dengan daratan datar yang terkerat menjadi beberapa bagian tidak memiliki keterbatasan daerah tangkapan hujan dan aliran sungainya yang cukup untuk mengumpulkan air permukaan.

Terkait dengan keadaan alam pulau landai di suatu perairan luas dengan peluang kejadian ekstrem, perlu perencanaan yang baik, terutama dalam penentuan lokasi dan besaran instalasi berdasarkan peruntukan serta kelangsungan operasional. Penentuan prioritas pengembangan teknologi rekayasa air juga perlu memperhitungkan keadaan sosial masyarakat pulau dengan sumber penghasilan dari laut dan darat yang sangat tergantung pada keadaan cuaca dan alam. Beberapa alasan terkait penentuan lokasi ini adalah:

1. Dalam lingkungan masyarakat agraris sederhana dan nelayan, permukiman umumnya terdapat di pesisir dan mengandalkan transportasi laut.
2. Rencana pengembangan lahan pertanian dan pembangunan jalan lintas yang menjangkau pedalaman.
3. Flora fauna endemik yang rentan dari suatu biota pulau datar dari lahan yang rendah fertilitasnya perlu pengamanan dan perlindungan dari perambahan.
4. Pesisir landai rentan jangkauan penggenangan muka laut tinggi.
5. Kesenjangan sosial ekonomi antara bagian utara-barat dan selatan-timur akibat kendala transportasi.
6. Ketersediaan bahan bangunan dan kendala transportasi pengangkutan bahan bangunan.
7. Ketersediaan lahan untuk membangun reservoir maupun sumur injeksi serta lahan pengumpul air hujan yang terbebas dari pencemaran.

Berdasarkan alasan tersebut, dilakukan analisis kesesuaian pembangunan teknologi pengelolaan air ramah lingkungan untuk Kepulauan Aru. Teknologi yang diusulkan adalah yang berskala kecil

hingga menengah yang disesuaikan dengan keperluan dan ketersediaan tempat dan bahannya.

Berdasarkan keadaan geologi Kepulauan Aru, khususnya data dari Pulau Wamar sebagai pulau yang mewakili pulau kecil, diusulkan model rancangan terpadu peningkatan ketahanan lingkungan dan sumber daya air. Sebagai permulaan, dilakukan pemetaan masalah terkait ancaman alamiah maupun antroposen terhadap kerusakan lingkungan yang berpotensi menjadi kendala dalam upaya peningkatan ketahanan tersebut.

Beberapa keadaan dan kejadian dapat berdampak negatif pada lingkungan; hal ini pada gilirannya akan menurunkan kualitas lingkungan, terutama dalam hal ketersediaan air. Beberapa hal yang terkait dengan kerentanan terhadap kejadian ekstrem maupun dampak negatif perambahan yang menjadi ancaman kerusakan lingkungan adalah:

1. Sebagian pesisir landai di sekeliling pulau mengalami penurunan. Hal ini membuat wilayah tersebut rentan terhadap kejadian ekstrem gelombang tinggi tsunami yang dibangkitkan oleh gejala geologi di Laut Banda maupun badai tropis perairan Laut Arafura.
2. Kejadian ekstrem cuaca dan iklim yang dapat menurunkan dan menggagalkan kinerja instalasi karena likuifaksi, banjir, dan dislokasi.
3. Keterbatasan bahan mendorong penambangan pasir dan batuan yang merusak ketahanan ekosistem darat, pantai, maupun perairan.
4. Kekurangan bahan kayu sebagai bahan bangunan dan bahan bakar mendorong perambahan. Hal ini dengan cepat menghancurkan hutan tropis dataran rendah.
5. ketidackermatan perencanaan pembangunan terpadu akan mengurangi kinerja atau mempersulit pemilihan lokasi pembangunan instalasi.

Upaya peningkatan ketahanan dan adaptasi lingkungan-sumber daya alam serta masyarakat terhadap ancaman kejadian ekstrem di Kepulauan Aru dilakukan melalui pendekatan dan perencanaan sebagai berikut.

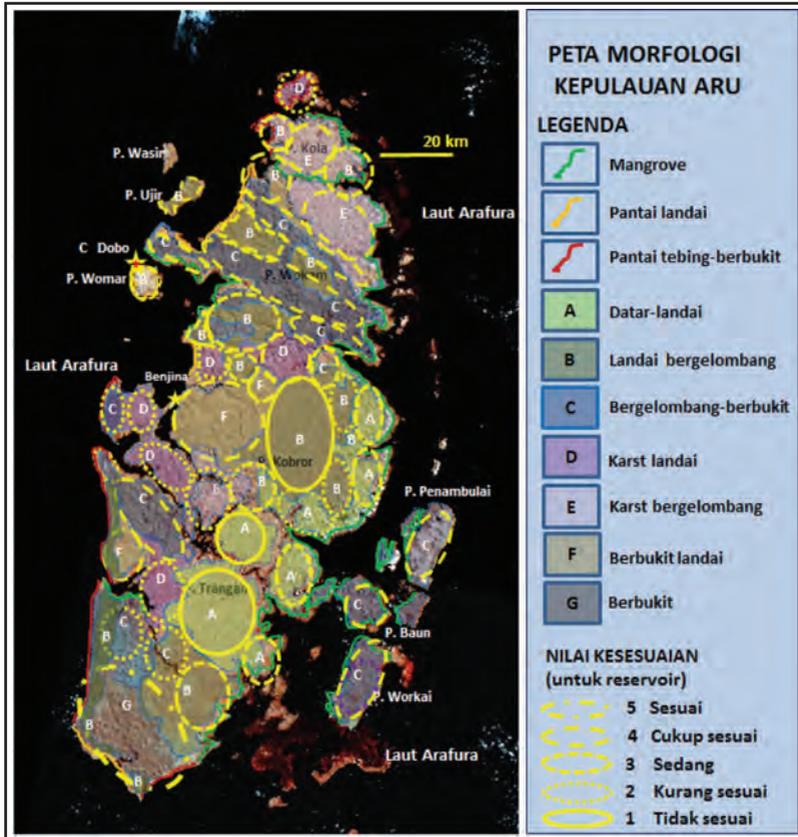
1. Memetakan potensi lingkungan dan sumber daya alam serta mengetahui sosial ekonomi masyarakat setempat;
2. Mengetahui rencana pembangunan serta rencana tata ruang jangka pendek hingga jangka panjang;
3. Mengetahui dinamika alam terkait siklus dan neraca hidrologi setempat;
4. Mengetahui potensi bencana yang dapat merusak sistem rekayasa yang dibangun;
5. Menyiapkan rancangan teknologi adaptasi dan penguatan sumber daya alam-lingkungan yang akan diusulkan;
6. Analisis kesesuaian berdasarkan keadaan dan potensi sumber daya alam-lingkungan dan masyarakat;
7. Membuat dan menyampaikan bahan sosialisasi kepada masyarakat;
8. Pendampingan pada tahap perancangan dan perencanaan serta pelaksanaan;

Beberapa analisis dilakukan terhadap unsur dinamika alam dan keadaan lingkungan, yaitu keadaan cuaca iklim, laut, bentang alam, geologi, dan tutupan lahan. Data cuaca dan iklim tropis dataran rendah kawasan kepulauan diperoleh dari stasiun pencatat meteorologi di Dobo. Data ini untuk sementara dianggap dapat mewakili keadaan daerah lain, terutama kawasan selatan kepulauan. Informasi lain diperoleh dari sumber data internasional yang memberi gambaran rentannya kawasan ini terhadap pengaruh keadaan cuaca global atau regional, seperti gejala ENSO.

Analisis kesesuaian morfologi untuk teknologi peningkatan ketahanan air dilakukan dengan data citra satelit DEM. Analisis dilakukan mengingat bentang alam kepulauan tidak memiliki morfologi tinggian, seperti gunung atau pegunungan, tetapi didominasi daerah landai hingga berbukit. Penempatan teknologi reservoir diarahkan ke bagian yang memungkinkan untuk memperoleh air dari aliran permukaan dan mengandalkan gravitasi dalam distribusinya. Tempat-tempat tersebut dipetakan dengan batasan yang menggambarkan kelasnya (Gambar 4.18). Keadaan morfologi dipilih sebagai dasar penentuan awal lokasi dan luasan karena besar pengaruhnya terhadap penempatan bangunan teknologi yang diusulkan. Kesesuaian dalam hal bentang alam ini digunakan sebagai acuan awal untuk mengetahui terpenuhinya syarat teknis mengenai daerah tangkapan dan syarat teknis mengenai pengelolaan dan distribusi air. Acuan berikutnya adalah keadaan geologi terkait dengan jenis batuan dan struktur geologi yang berpengaruh terhadap kualitas dan keamanan reservoir. Acuan iklim dan cuaca juga diperhitungkan terkait dengan daya dukung pengisian reservoir yang hanya mengandalkan air hujan.

Pertimbangan bentang alam dan geologi dikaitkan dengan syarat terkait teknologi yang dipilih. Sebagai contoh, teknologi sumur optimalisasi hanya dapat dan sesuai diterapkan di kawasan pemukiman pantai yang memiliki bentang pesisir landai dan berpasir yang memiliki ketebalan lebih dari 2 m dan berada kurang lebih 2–3 m di atas muka laut rata-rata.

Berdasarkan bentang alam atau morfologi dan syarat kesesuaian pembuatan reservoir, Kepulauan Aru dapat dibagi dalam 5 kelompok nilai kesesuaian, yaitu sesuai (5), cukup sesuai (4), sedang (3), kurang sesuai (2), dan tidak sesuai (1) (Gambar 4.18). Nilai paling tinggi diwakili oleh morfologi berbukit (G). Di bagian ini, reservoir ukuran sedang (50–100 ha) dan kecil (1–5 ha) dapat dibangun di bagian cukup tinggi pada bagian lembah atau lereng. Nilai cukup tinggi (4) diwakili oleh morfologi berbukit landai (F) dan sebagian bergelombang-berbukit (C). Pada morfologi ini, lereng-lereng bukit landai menjadi tempat yang baik untuk membangun reservoir tertu-



Sumber: Soeprapto (2017)

**Gambar 4.18** Peta Deliniasi Nilai Kesesuaian Morfologi untuk Konstruksi Bangunan Reservoir Air di Kepulauan Aru

tup yang airnya dengan mudah dapat dialirkan ke lembah di bagian bawahnya. Nilai sedang (3) diwakili oleh morfologi bergelombang berbukit (C) dan landai-bergelombang (B). Di bagian ini yang tidak banyak memiliki beda ketinggian ini, air yang disimpan pada reservoir tertutup memerlukan pemompaan untuk pengaliran air ke sekeliling reservoir. Nilai cukup rendah (2) tidak hanya diwakili oleh morfologi karst dan karst bergelombang (D dan E), tetapi juga oleh morfologi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

bergelombang berbukit (C) dan landai bergelombang (B). Nilai paling rendah (1) diwakili oleh bentang alam datar dan landai (A). Semakin datar dan rendah suatu daerah, semakin kecil daya dukung teknis daerah tersebut bagi penempatan reservoir. Namun, daerah tersebut masih memiliki potensi jika dikaitkan dengan kesesuaian teknologi penyimpanan air bawah tanah di dalam lapisan akuifer tertentu.

Kesesuaian geologi diperlukan untuk memperoleh tempat yang tepat guna membangun reservoir di permukaan dan di dalam lapisan akuifer. Sebagai teknologi akuifer terbuka, reservoir yang dibangun memerlukan bahan urugan atau isian sedimen untuk membangun akuifer tiruan. Sedimen yang diperlukan harus memenuhi beberapa syarat, yaitu sedimen lepas berbutir kasar, membundar dan bahan bukan dari gampingan yang mudah larut serta merusak kualitas air simpanan. Bahan sedimen ini hanya tersedia dalam formasi batuan tertentu, antara lain satuan batuan pasir gampingan yang terbentuk pada awalnya sebagai pematang pasir pantai seperti yang ditemukan pada singkapan Formasi Tanah Merah. Keamanan konstruksi juga harus memperhitungkan apakah tempatnya bebas dari patahan dan retakan-retakan. Di beberapa bagian, terutama di bagian tengah dan barat pulau yang didominasi oleh formasi Manumbai, terdapat mintakat struktur yang ditandai oleh beberapa kelurusan sesar yang berarah utara-timur laut. Formasi ini juga dibangun oleh litologi gamping kokuina kurang kompak yang sangat lulus air. Sebagai penampung, litologi ini akan meloloskan air tampungan, kecuali reservoir dialasi pelapis kedap air (*geotextile*). Sebelum ditutup pelapis, dasar reservoir juga dipadatkan dengan lempung yang bisa diperoleh dari Formasi Jambulenga atau satuan lempung napalan Kuartar.

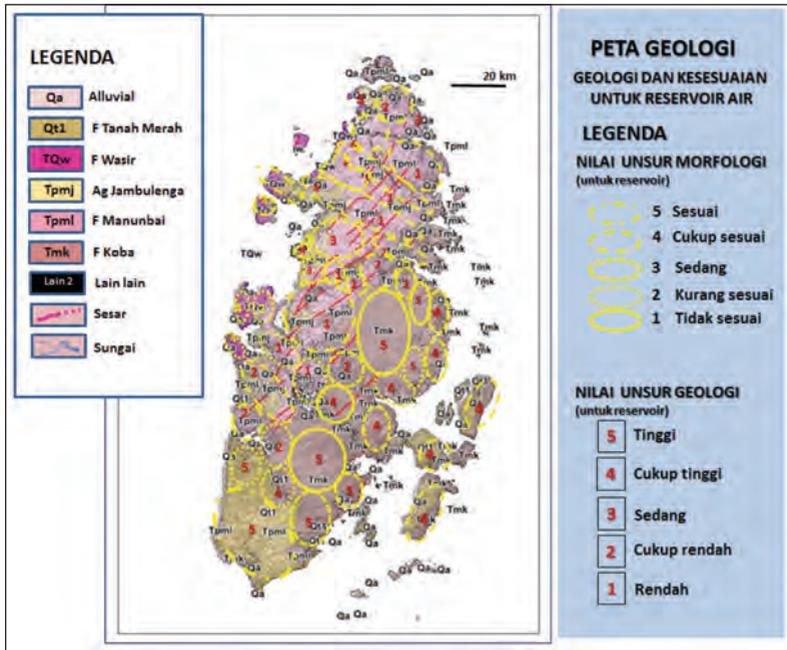
Teknologi penyimpanan ke dalam akuifer melalui injeksi ke lapisan bawah permukaan atau dalam perlu memperhitungkan keadaan sebagai berikut:

1. Litologi yang memenuhi syarat sebagai akuifer penyimpan adalah yang memiliki kesarangan dan kelulusan, tetapi sebagai lapisan yang kompak yang tidak mengalami peluruhan ikatan butir (likuifaksi).

2. Litologi akuifer terbangun dari bahan yang tidak larut dan tidak mengandung bahan berbahaya yang mencemari air yang disimpan.
3. Memiliki penyebaran mendatar atau landai dan mempunyai batas tertutup tidak meneruskan air yang tersimpan mengalir keluar. Pada akuifer yang mengalami perlipatan (antiklin), pengisian maksimal dilakukan pada puncak antklin.
3. Perlapisan akuifer tidak terpotong sesar atau mengalami kekar (retak) yang menyebabkan kebocoran.
4. Akifer yang terbaik adalah yang terapat oleh lapisan kedap (tidak lolos air) atau akuitard sehingga air dalam lapisan akuifer tidak bocor maupun terlindung dari rembesan limbah.
5. Akuifer tidak sedang dalam keadaan terisi oleh air asin atau cairan yang dapat mencemari air yang tersimpan.

Guna memperoleh keadaan terbaik dari beberapa penyebab masalah tersebut, jenis dan penyebaran litologi serta struktur geologi maupun hubungan perlapisannya dengan satuan batuan lain pun perlu diperhitungkan. Peta geologi rinci dan morfologi pulau digunakan sebagai dasar analisis kesesuaian beberapa jenis teknologi peningkatan ketahanan ketersediaan air. Kesesuaian ini menyangkut pembuatan reservoir tertutup atau akuifer permukaan buatan serta injeksi air hujan ke dalam akuifer dalam dan sumur optimalisasi. Kesesuaian ini juga untuk menganalisis kemungkinan pembangunan pintu air atau cek dam di alur-alur aliran air di beberapa daerah tangkapan hujan terbatas.

Pada dasarnya, unsur geologi yang berpengaruh terhadap tingkat kesesuaian terkait dengan struktur patahan, kekar, lipatan, dan jenis batuan atau litologi. Terdapat patahan mengancam kekuatan bangunan tanggul atau pintu air serta saluran pada teknologi bendungan. Ukuran reservoir yang tidak terlalu besar menjadi cara untuk menghindarkan bencana bila struktur bendungan mengalami kegagalan. Bangunan yang berukuran kecil berpeluang lebih baik



Sumber: Soeprpto (2017)

**Gambar 4.19** Peta Geologi dan Deliniasi Nilai Kesesuaian Geologi untuk Konstruksi Bangunan Reservoir Air di Kepulauan Aru

untuk memperoleh ruang dalam memilih tempat kolam reservoir. Sesar atau patahan juga menjadi kendala dalam teknologi injeksi air ke akuifer dalam. Air yang seharusnya tersimpan kemungkinan besar dapat lolos karena retakan atau celah yang terbentuk di sekitar sesar. Kehadiran cairan juga dapat memicu pengenceran (likuifaksi) sedimen yang kemudian memicu aktifnya kembali sesar.

Litologi menjadi unsur yang berpengaruh terkait dengan kualitas batuan (kestabilan, kesarangan, kelulusan, dan mutu bahan penyusun akuifer). Jenis batuan juga menjadi pertimbangan dalam pemilihan akuifer tempat air diinjeksikan untuk disimpan. Kesesuaian yang bernilai tinggi diwakili oleh lahan yang berupa singkapan formasi Tanah Merah berumur Kuarter yang berada di ujung selatan pulau. Satuan ini tidak terganggu lipatan dan sesar. Selain itu, satuan ini

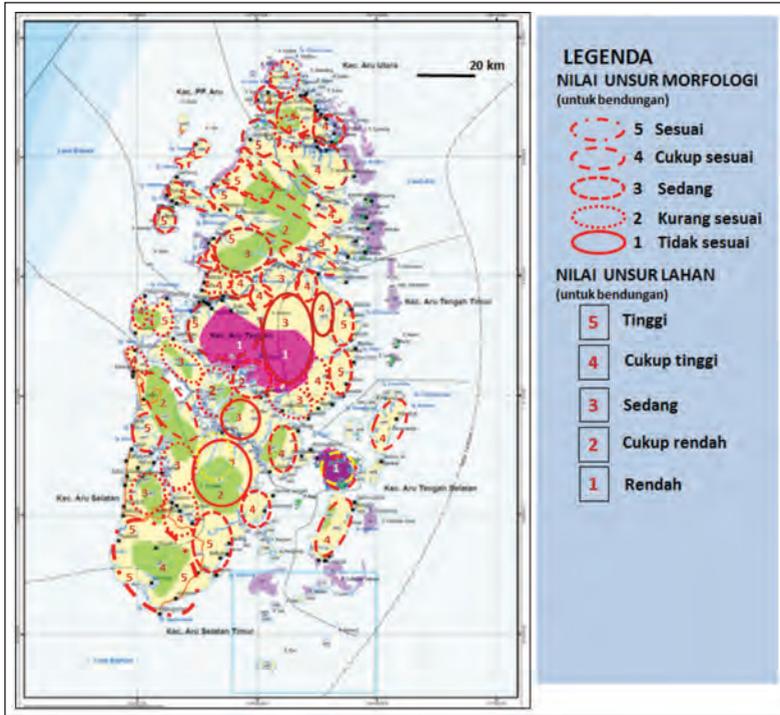
umumnya tersingkap dan menempati bagian atas stratigrafi sehingga kecil peluangnya menjadi reservoir akuifer tempat air disimpan.

Formasi Menumbai dan Koba juga memiliki nilai tinggi sejauh tidak terganggu struktur seperti sesar dan perlipatan serta tertutup lapisan sedimen yang lebih muda, yaitu Formasi Tanah Merah berumur Kuartar atau Formasi Wasir dan Jambulenga dari umur Miosen Atas. Litologi satuan-satuan Tersier tersebut lebih bersifat sebagai sedimen berbutir halus, seperti batu lumpur (lanau dan lempung), napal, dan gampingan yang tidak berpeluang memiliki kesarangan dan kelulusan sebagai syarat suatu akuifer.

Lahan bernilai tinggi ditemukan pada morfologi berbukit yang sesuai untuk membangun reservoir tertutup. Lahan berbukit memberikan lereng ketinggian yang cukup agar air nantinya dapat dialirkan dengan mudah. Kesesuaian lahan dan ruang pengembangan diperlukan ketika memilih tempat yang tepat untuk beberapa alasan:

1. Memakai lahan yang seharusnya dipertahankan sebagai kawasan hutan tropis hutan lindung atau suaka margasatwa;
2. Efisiensi lahan atau memanfaatkan lahan tidur dan menghindari pemakaian lahan produktif;
3. Efisiensi peruntukan dan operasional reservoir (industri, pemukiman, jasa, pertanian, dan sebagainya);
4. Perspektif pengembangan dan perubahan tata ruang serta rencana pembangunan jangka menengah hingga panjang;
5. Memperhitungkan situs yang harus dilindungi, seperti biota endemik, tinggalan arkeologi, situs geologi (karst), dan situs sosial budaya;
6. Tersedia cukup daerah tangkapan hujan dan alur untuk menerima air dan mengalirkannya ke dalam reservoir.

Upaya memperoleh kesesuaian penerapan teknologi ketersediaan air juga dilakukan melalui analisis tutupan lahan yang didasarkan pada peta rencana tata ruang Kabupaten Kepulauan Aru. Keadaan

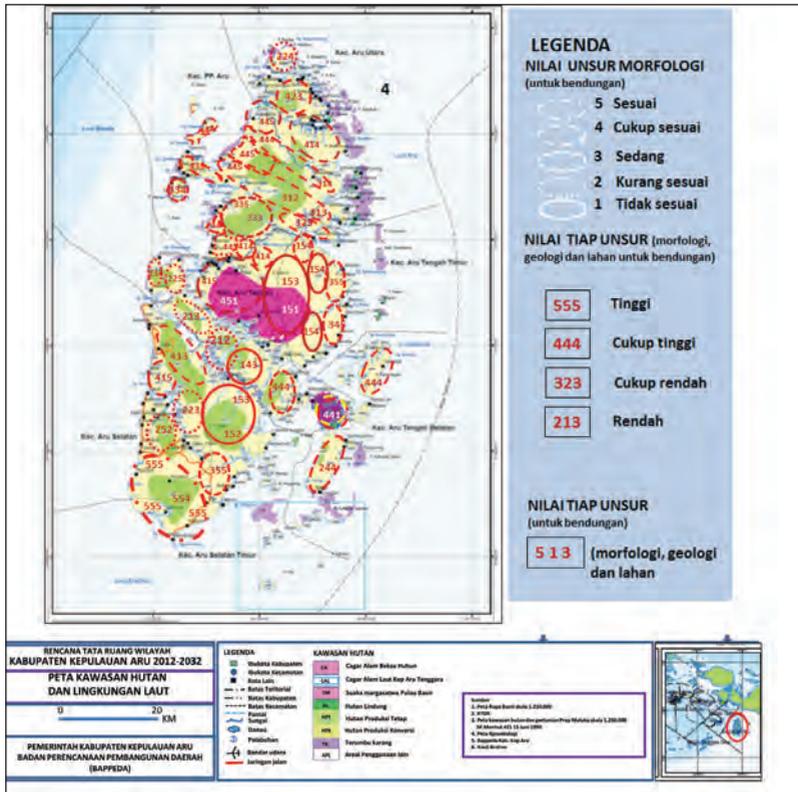


Sumber: Soeprapto (2017)

**Gambar 4.20** Peta Tutupan Lahan dan Deliniasi Nilai Kesesuaian Lahan serta Tata Ruang untuk Konstruksi Bangunan Reservoir Air di Kepulauan Aru

tutupan lahan juga menjadi pertimbangan dalam penentuan nilai kesesuaian. Lahan konservasi tidak disarankan untuk penempatan teknologi yang memerlukan ruang atau teknologi yang penerapannya harus membuka tutupan lahan. Sebaliknya, lahan kritis yang memerlukan pemulihan diprioritaskan untuk pengembangan teknologi peningkatan ketersediaan air dan pembangunan ekosistemnya.

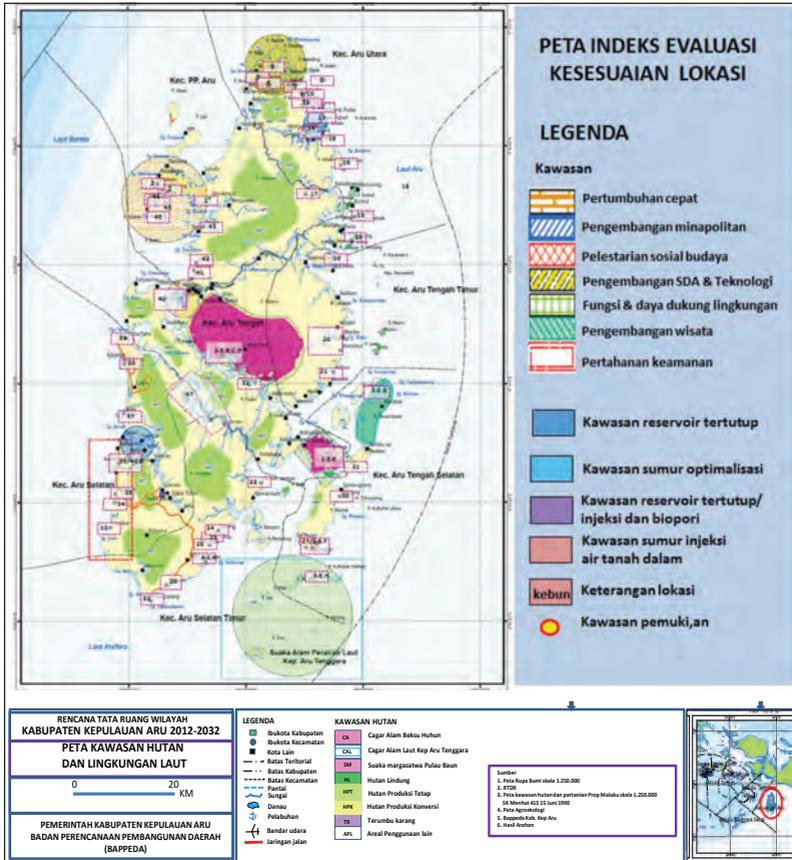
Lahan yang dihindari sebagai tempat membangun sarana ini adalah yang berstatus sebagai cagar alam, hutan lindung, dan taman margasatwa atau lahan konservasi. Lahan-lahan tersebut memiliki nilai rendah. Hutan produksi memiliki nilai lebih tinggi karena bukan



Sumber: Soeprpto (2017)

**Gambar 4.21** Peta Tutupan Lahan dan Deliniasi Gabungan Nilai Kesesuaian Lahan serta Tata Ruang untuk Konstruksi Bangunan Reservoir Air di Kepulauan Aru

lahan tertutup dan memerlukan ketersediaan air lebih banyak untuk kebutuhan kegiatannya. Lahan yang juga memiliki nilai tinggi adalah lahan produksi konversi yang masih berpeluang mengalami perubahan peruntukan dan tidak mengganggu kepentingan yang telah ada. Tempat yang memiliki nilai tinggi adalah yang berdekatan dengan kawasan yang memerlukan peningkatan dan jaminan ketahanan ketersediaan air, misalnya kawasan yang dekat dengan kota berikut pusat kegiatannya (niaga, jasa, dan lain-lain), permukiman, pelabuhan dan bandara, industri, wisata, dan pertanian.



Sumber: Soeprapto (2017)

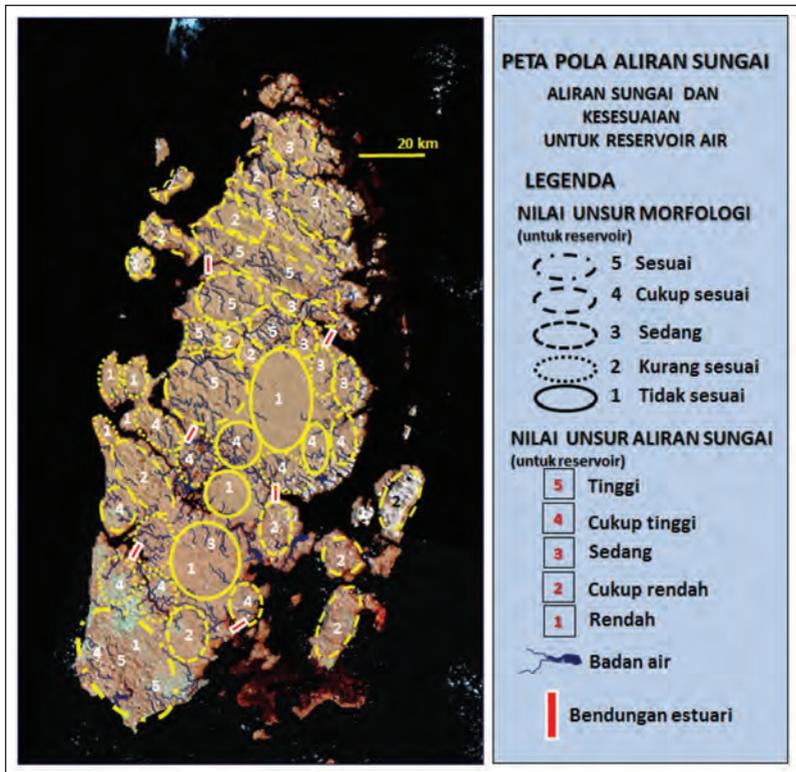
**Gambar 4.22** Peta Tutupan Lahan dan Nilai Akhir Kesesuaian Lahan serta Tata Ruang untuk Konstruksi Bangunan Reservoir Air di Kepulauan Aru

Bila dikaitkan dengan prioritas, pembangunan sarana peningkatan ketahanan ketersediaan air ini diarahkan pada kawasan dekat kota dengan pemukiman padat yang juga memiliki sarana pelabuhan dan bandara. Pusat kegiatan ekonomi dan jasa lain juga menjadi pertimbangan prioritas pembangunan sarana tersebut.

Proses penilaian kesesuaian selanjutnya adalah menggabungkan nilai dari beberapa unsur untuk suatu luasan tempat yang telah diberi

batas dan dikelompokkan berdasarkan keadaan morfologinya. Nilai dari setiap unsur lingkungan kemudian digabung. Nilai gabungan dapat diperoleh dengan menjumlahkan nilai dari tiap tempat yang telah dipetakan.

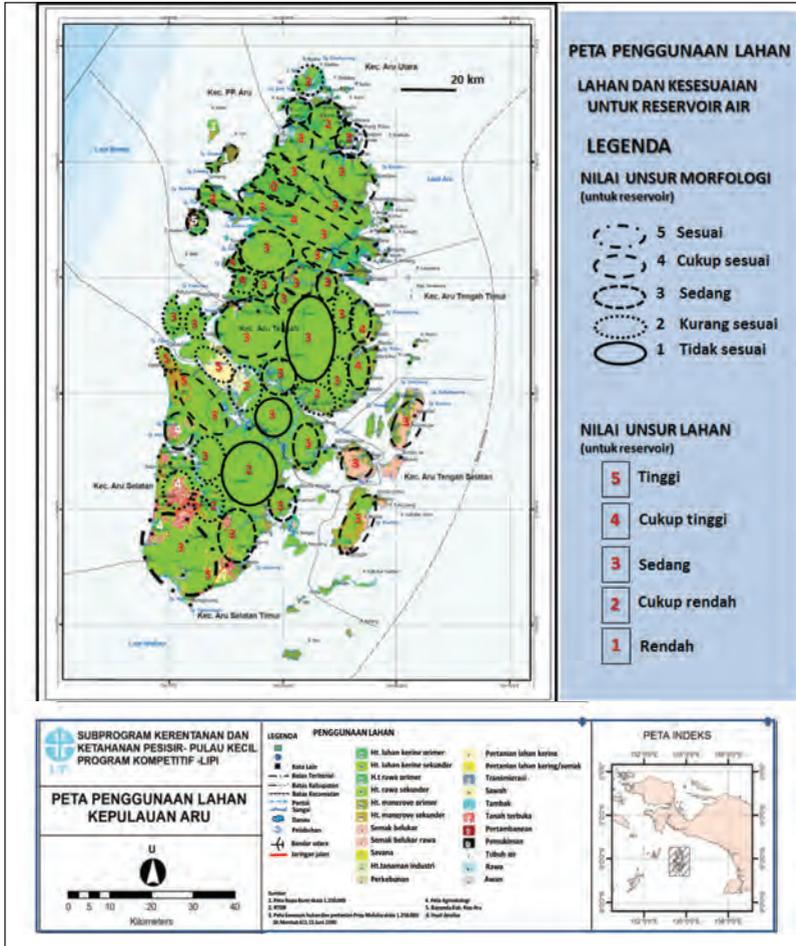
Selain memperhitungkan bentang alam, jenis batuan maupun struktur geologi dan tata guna lahan, pembangunan sarana penyimpanan air juga harus memperhitungkan luasan daerah tadah hujan dan alur aliran airnya (kerapatan, panjang, dan kedalaman). Oleh karena itu, dilakukan peninjauan dan penilaian terhadap unsur tersebut berdasar peta aliran sungai dan bentang alam pulau (Gambar 4.23).



Sumber: Bappeda Kab. Kep. Aru (2010)

**Gambar 4.23** Peta Nilai Unsur Pola Aliran Sungai dan Badan Air untuk Reservoir di Kepulauan Aru

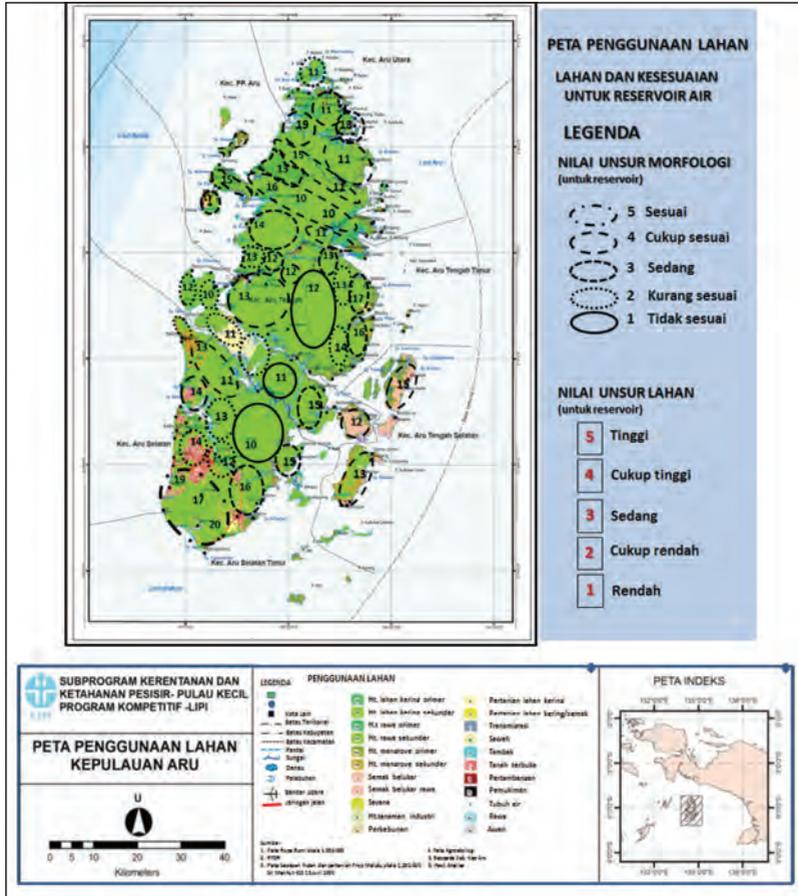
Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Bappeda Kab. Kep. Aru (2010)

**Gambar 4.24** Peta Penggunaan Lahan di Kepulauan Aru dan Kesesuaiannya bagi Pembangunan Teknologi Ketersediaan Air

Berdasarkan nilai kesesuaiannya, kawasan hutan konversi dengan geologi batuan pasir dan selingan napal morfologi berbukit memiliki nilai tertinggi (15 dan 14). Walaupun bukan sebagai kawasan dekat kota besar, kawasan ini dekat dengan permukiman pantai

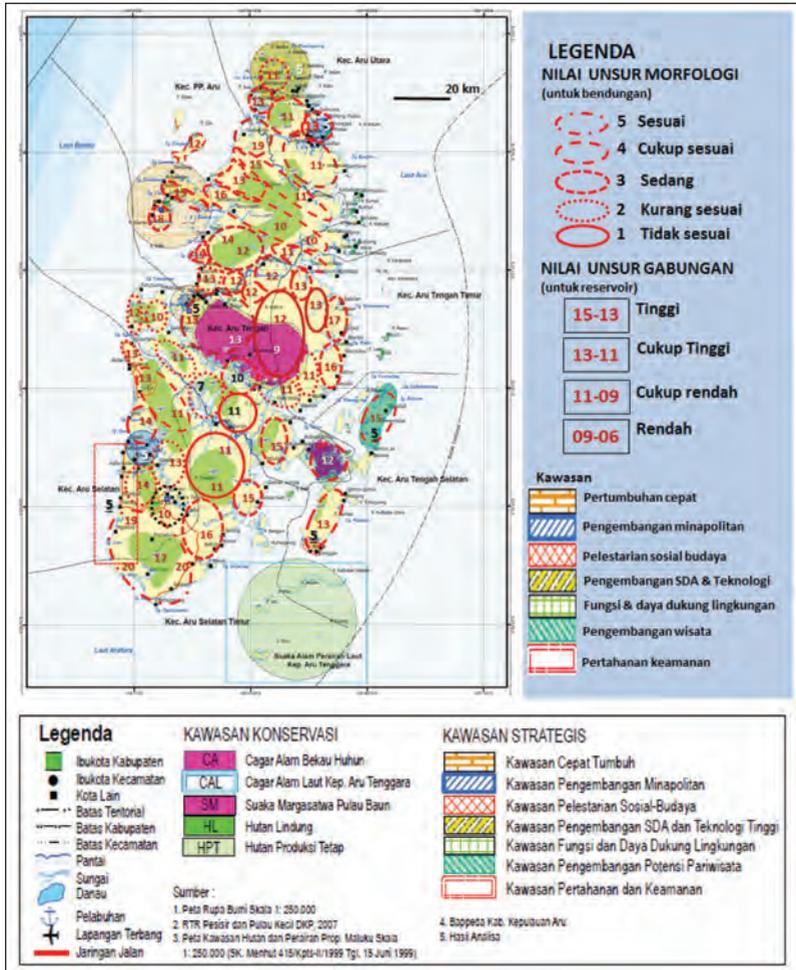


Sumber: Bappeda Kab. Kepulauan Aru (2011)

**Gambar 4.25** Peta Kesesuaian Pembangunan Teknologi Ketersediaan Air Berdasarkan Gabungan Hasil Analisis Kesesuaian terhadap Morfologi, Geologi, Tutupan Lahan, dan Penggunaan Lahan di Kepulauan Aru.

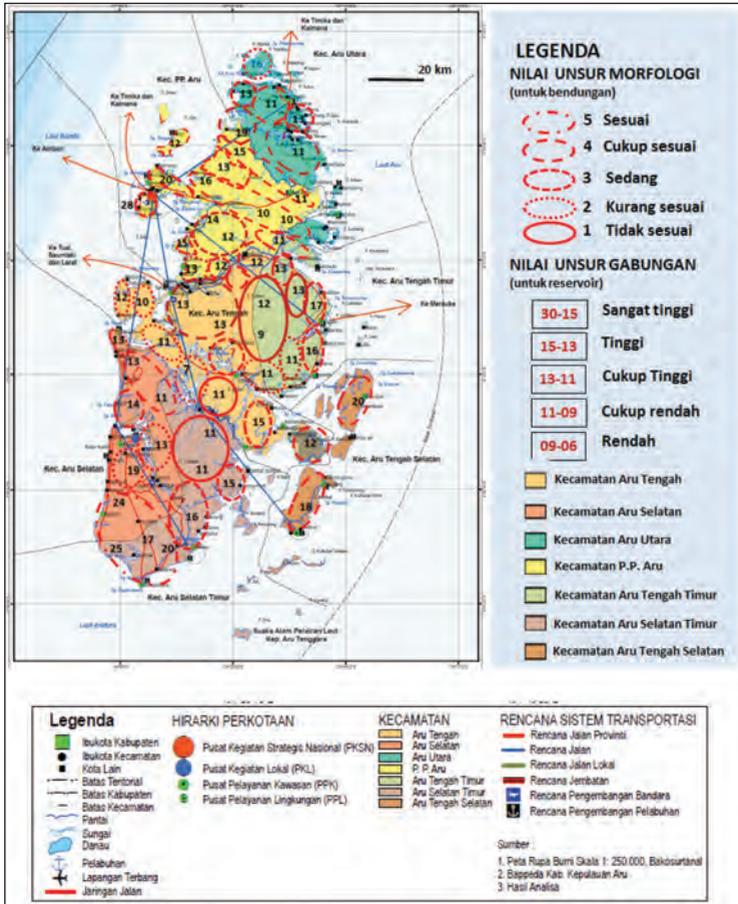
dan menjadi andalan pengembangan kawasan pertanian. Pulau Womar yang menjadi pusat pemerintahan kabupaten sekaligus kawasan kota permukiman padat memiliki nilai tinggi (13), tetapi bukan maksimum. Hal tersebut disebabkan oleh keadaan geologi dan morfologinya serta ketersediaan lahan yang kurang mendukung

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Bappeda Kab. Kepulauan Aru (2011)

**Gambar 4.26** Peta Kesesuaian Tingkat Kepentingan dan Prioritas Pembangunan Teknologi Peningkatan Ketersediaan Air terhadap Rencana Pengembangan Kawasan Strategis di Kabupaten Kepulauan Aru.



Sumber: Bappeda Kab. Kepulauan Aru (2011)

**Gambar 4.27** Peta Kesesuaian dan Tingkat Kepentingan serta Prioritas Pembangunan Teknologi Peningkatan Ketersediaan Air terhadap Rencana Pengembangan Kawasan Strategis di Kabupaten Kepulauan Aru untuk Tiap Wilayah Kecamatan.

pembangunan reservoir. Cagar alam di bagian tengah pulau memiliki nilai kesesuaian rendah (6) karena keadaannya sebagai *lahan kering*. Namun, bagian barat kawasan ini memiliki nilai 10 karena didukung oleh keadaan morfologi dan geologi.

Wilayah dengan nilai kesesuaian tinggi artinya wilayah itu menjadi prioritas dalam pembangunan dan pengembangan teknologi mitigasi kerentanan sumber daya air. Tanggung jawab pembangunannya ada pada pemerintah pusat dalam hal ini Kementerian PUPR.

Analisis kesesuaian juga dikaitkan dengan penggunaan lahan, yaitu hutan lahan kering primer dan sekunder, hutan lahan basah primer dan sekunder, hutan mangrove primer dan sekunder, semak belukar dan semak belukar rawa, savana, tanaman industri, perkebunan, pertanian lahan kering dan semak belukar, transmigrasi, sawah, tambak, tanah terbuka, pemukiman serta danau atau badan air. Nilai kesesuaian adalah tinggi, cukup tinggi, sedang, cukup rendah, dan rendah. Nilai paling rendah adalah untuk mangrove dan rawa atau lahan basah.

Pertimbangan khusus diberikan pada lahan kering berupa lahan terbuka dan semak di Kecamatan Aru Selatan dan Aru Selatan Timur. Kawasan ini memiliki curah hujan rendah dan tergolong kawasan dengan kelembapan lahan yang rendah, yakni berupa hutan tropis kering atau *decidious wood*.

Lahan ini telah mengalami kerusakan tutupan hutannya akibat perambahan sehingga menjadi lahan terbuka dan kerusakannya berlanjut karena tidak dapat memulihkan diri secara alamiah. Beberapa alasan kerusakan daerah ini disampaikan pada bagian lain dalam buku ini.

## **M. Teknologi dan Penerapan**

Kegiatan peningkatan ketahanan dan adaptasi lingkungan dan sumber daya alam dilakukan dengan membangun setidaknya dua teknologi utama pengelolaan air tawar, yaitu dengan penyimpanan atau menabung air hujan dengan aman serta pengambilan air tawar yang telah dipisahkan. Penyimpanan air dapat berupa injeksi air hujan ke dalam akuifer dan pengumpulan air permukaan di embung atau bendungan. Penyimpanan air (sekaligus pemakaiannya) dapat dilakukan di tempat yang sama di berbagai lingkungan, misalnya di pantai atau di pedalaman, dengan mengandalkan air hujan. Konsep tersebut juga dapat

dibangun di pulau kecil (Hantoro & Yoganingrum, 2017; Hantoro dkk, *in press*).

Konsep menabung air diperkenalkan untuk menjaga keseimbangan neraca air permukaan maupun air tanah dalam. Konsep ini telah diterapkan di beberapa tempat. Untuk Kepulauan Aru, selain tiga teknologi yang ditawarkan tersebut, terbuka kemungkinan membangun bendungan secara terkendali.

Selain konsep menabung, ada pula konsep memulihkan neraca dan daur hidrologi dengan memulihkan kemampuan lingkungan sebagai pengendalinya. Lingkungan yang dimaksud adalah terkait semua aspek, mulai dari intersepsi pepohonan dalam menangkap hujan dan mengatur percepatan resapan, kemampuan pepohonan meningkatkan resapan karena terdapatnya timbunan serasah, dan kemampuan pepohonan menghasilkan dan mengikatnya sebagai ruang untuk air tertahan di dalamnya sebelum merembes ke tempat lain dan keluar sebagai mata air.

Selain mengandalkan proses alam sebagai unsur utama peningkatan ketahanan ketersediaan air, tidak tertutup untuk Aru menerapkan teknologi pengolah air. Hal ini bertujuan menghasilkan air yang memenuhi syarat sebagai air baku rumah tangga dan untuk keperluan lainnya.

### **1. Teknologi peningkatan ketersediaan air: Sumur optimalisasi dan sanitasi**

Teknologi pertama yang disarankan adalah pemakaian air tawar dan sanitasi reaktor limbah keluarga di permukiman pantai landai berpasir. Teknologi yang diterapkan terdiri dari sumur pemisah antara air tawar dan asin, sumur injeksi air tawar, dan reaktor limbah rumah tangga. Seluruh teknologi tersebut berskala kecil dan hanya dapat melayani 3–4 rumah dengan anggota keluarga berjumlah 4–5 orang. Konsep sumur optimalisasi adalah dengan cara menjaga terpisahnya antara air tawar dan asin di dalam lapisan akuifer dangkal terbuka. Latar belakang umum dan teknis penerapan teknologi ini adalah (Hantoro dkk. *in press*).

1. Terjadi peningkatan jumlah penduduk di permukiman pantai, termasuk di pulau kecil, seiring dengan perkembangan usaha hasil laut. Permukiman padat tidak hanya menuntut peningkatan ketersediaan air baku dan bersih untuk konsumsi, tetapi juga air untuk keperluan industri dan sanitasi.
2. Sebagian besar masyarakat tinggal di pantai berpasir. Banyaknya simpanan air tergantung dari ketebalan dan butiran sedimen. Penduduk memperoleh air tawar yang keluar ke dalam sumur dangkal yang digali di pantai. Air tersedia terbatas hanya dapat memenuhi keperluan rumah tangga untuk beberapa bulan dalam satu tahun.
3. Air sumur berubah kualitasnya menjadi payau dan asin ketika air tawar berkurang banyak. Keadaan ini terjadi akibat intrusi air asin dari sekeliling atau dari bagian bawah dari lapisan sedimen yang mengandung air asin.
4. Air tawar di pesisir, khususnya di pulau kecil, hanya berasal dan diperbarui dari air hujan. Akibatnya, ketersediaan air sangat tergantung dari keadaan cuaca, terutama curah hujan dan siklus hidrologi setempat.
5. Limbah keluarga di permukiman pantai dibuang langsung ke laut atau ke darat. Limbah yang dibuang ke laut merusak lingkungan perairan, sementara yang dibuang ke darat mencemari air tawar di dalam lapisan berpasir di pantai.
6. Air tawar hanya terisi resapan air hujan yang terbatas oleh lama hari hujan dan luas resapan permukaan yang semakin berkurang karena tertutup bangunan.

Teknis cara ini disampaikan pada Gambar 4.18. Sumur dirancang sedemikian rupa yang sehingga berbeda dengan sumur biasa. Pada sumur ini, bejana penampung air ditanam hingga kedalaman yang sama dengan letak lapisan pasir berisi air tawar. Bejana ini hanya

meloloskan air tawar masuk tertampung untuk kemudian digunakan sebagai sumur biasa. Teknologi ini memanfaatkan kemampuan simpan dari suatu geologi daerah pesisir yang mampu menyimpan sejumlah air tawar dari resapan vertikal air hujan ke dalam lapisan sedimen yang sarang dan lulus air. Besaran simpanan air (jumlah dan kualitas) tergantung pada keadaan lapisan pasir pasir (ketebalan lapisan, litologi, besar butir, pemilahan kebundaran, masa dasar semen). Keadaan butir tersebut menyebabkan air hujan yang meresap tertahan dan terpisah oleh perbedaan tekanan pori sedimen dari air asin—yang karena beda berat massanya—berada di bagian bawah. Air tawar menempati bagian atas lapisan sedimen sebagai akuifer tipis menumpang di atas bagian yang terisi air asin. Bila air tawar diambil berlebihan, air asin di bawahnya akan naik mengisi pori yang ditinggalkan air tawar. Ketika hujan turun, air yang meresap tidak cukup tekanan resapannya untuk mengusir air asin yang sebelumnya sudah mengisi pori yang ditinggalkan air tawar. Bila sumur gali dibuat terlalu dalam sehingga menjangkau (memotong) lapisan sedimen dengan dua lapis kandungan air tawar dan asin, air asin dan tawar mengalir dari akuifer masuk mengisi kolom sumur. Air teraduk ketika ditimba menyebabkan tercampur menjadi air payau (Hantoro dkk., 2018).

Sumur optimalisasi juga dapat ditingkatkan kapasitas simpan air tawarnya di dalam sedimen di sekitar permukiman. Teknologi ini merekayasa lapisan tanah dengan sifat sama sebagai akuifer buatan. Akuifer dangkal dibangun dengan membuat kolam yang dialasi bahan kedap air, kemudian diisi bahan pasir dan kerikil. Lalu, ruang antarbutirnya menjadi media penyimpanan yang dapat menerima air hujan sesuai kemampuannya. Air asin tidak dapat meresap mengisi akuifer karena tertahan lapisan bahan kedap air. Sementara itu, air hujan tersimpan dan mengalami pengayaan mineral menjadi air yang lebih baik dikonsumsi dan akan menjaga kesehatan manusia. Simpanan air tawar dapat ditingkatkan dengan pengisian air hujan yang ditampung dari atap bangunan, kemudian dialirkan ke dalam kolam akuifer (Gambar 4.33). Air tampungan juga dapat diinjeksikan langsung dari tangki pengumpul dan penampung di ketinggian

ke dalam sedimen. Tekanan kuat oleh air tawar terinjeksi mampu mengusir air asin dalam pori lapisan sedimen. Air tawar ini, karena massa jenisnya lebih kecil daripada air asin, akan menempati bagian atas lapisan sedimen (Hantoro & Yoganingrum 2016; Hantoro dkk., in press). Penyuntikan air hujan langsung yang terkumpul dari atap dapat melindungi akuifer dari kontaminasi limbah di permukaan tanah atau resapan buangan limbah keluarga.

Selain pembuatan sumur optimalisasi air tawar, dibuat pula perangkat untuk menampung air hujan dalam tangki yang dipasang pada ketinggian yang sama dengan atap pengumpul. Semakin tinggi letak tangki penampung, semakin besar tekanan hidrostatik yang diperoleh. Selanjutnya, air hujan yang terkumpul disuntikkan dengan tekanan hidrostatik yang ada ke dalam lapisan terisi air tawar atau lapisan tempat air tawar berasal dan mengisi bejana atau drum penampung pada sistem sumur optimalisasi (Gambar 4.18).

Hanya air hujan yang disarankan untuk dipergunakan karena air yang disimpan adalah air hujan dan bukan air permukaan dan tidak disimpan dalam keadaan terbuka di danau atau bendung buatan. Rekayasa ini dilakukan melalui pengumpulan dan penampungan air hujan langsung dari atap rumah ke drum atau tangki penyimpanan air yang dihubungkan atau dijatuhkan dengan pipa dari dasar drum ke dalam lapisan akuifer yang telah diperiksa kualitasnya. Injeksi dilakukan ke dalam lapisan sedimen berkualitas sebagai akuifer dangkal maupun dalam. Injeksi dapat dilakukan di tempat mana pun dengan cara sederhana tanpa perlu energi listrik. Di pesisir maupun bagian tengah pulau yang wilayahnya relatif kecil, rekayasa ini dapat dilakukan. Namun, tidak disarankan untuk melakukannya pada akuifer air tanah dalam di pulau kecil. Hal ini karena, bila terjadi ketimpangan neraca antara injeksi dan pengambilan, akan menimbulkan dampak negatif berupa perubahan volume pori yang akan diikuti perubahan ketebalan akuitard (lapisan di atas dan di bawah akuifer). Perubahan ketebalan akan berlanjut pada gejala penurunan permukaan daratan pulau.

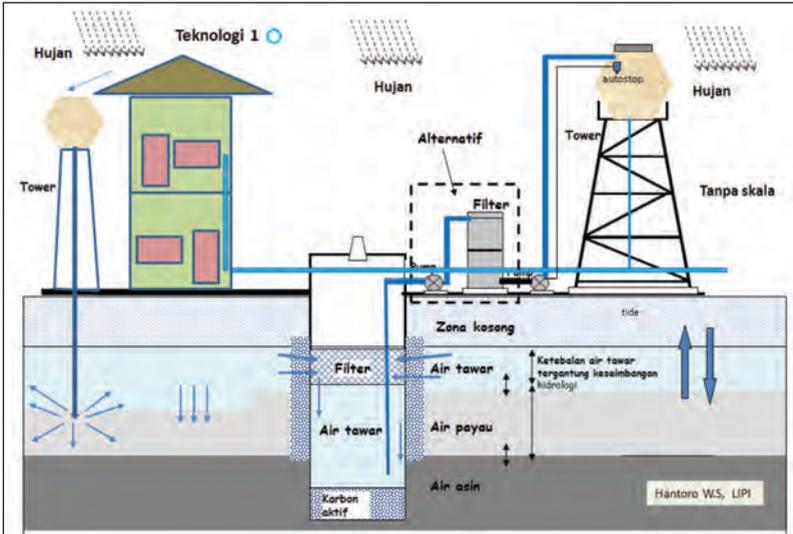
Berdasarkan pertimbangan keadaan beberapa lokasi terukur dan kondisi permukimannya, instalasi sumur optimalisasi dan injeksi air meteorik ditempatkan di desa Dok di kota Dobo, yang berada di bagian sisi pelabuhan nelayan. Namun, karena titik ini masih terjangkau oleh genangan (rob) saat pasang maksimum, efisiensi sistem tidak tercapai. Instalasi lalu dipindah ke tempat lain di desa yang sama, tetapi yang tidak terjangkau oleh genangan pasang naik, yakni di pemukiman pantai seberang lapangan utama di Dobo.

Teknologi optimalisasi air tawar tanah dangkal dirancang dengan syarat lingkungan dan ketersediaan bahan supaya memberi efisiensi paling baik. Syaratnya adalah bahan yang diperlukan mudah diperoleh di ibu kota kabupaten. Oleh karena itu, diperlukan gambaran awal kedalaman akuifer dan ketebalan lensa masa air tawarnya, perubahan MAT (muka air tanah) terhadap pasang surut, jenis batuan, dan kualitas air tawar. Informasi tersebut dapat diperoleh dari pengamatan sederhana terhadap pola pasang surut, ketinggian muka air sumur, dan jenis sedimen pada galian saat pembuatan sumur baru. Injeksi air hujan hanya dapat berlangsung bila tekanan hidrostatik dari air yang akan diinjeksikan cukup. Nilai ini tergantung pada ketinggian letak dan pengisian bak penampung air injeksi. Lokasi sumur dihindarkan dari kemungkinan kuatnya intrusi atau penggenangan air laut. Teknologi ini ditawarkan sebagai alternatif pemakaian air tawar dengan pemompaan terpusat pada lensa air tawar yang sesungguhnya terbatas ketahanannya berkaitan dengan pemulihan tekanan pori yang ditinggalkan air tawar (Hantoro dkk., 2008b).

Teknologi ini juga dianggap memiliki daya tahan terhadap gelombang tinggi akibat cuaca maupun tsunami. Tsunami menyeret bahan dari dasar laut, seperti pasir dan lumpur, kemudian terendap di pantai menutup semua bangunan dan lahan. Sumur terbuka akan mengalami kerusakan jika terisi endapan lumpur, tetapi tidak hal tersebut terjadi pada sumur optimalisasi yang tertutup.

Teknologi optimalisasi yang dibangun dengan sistem tertutup dapat terhindar dari pengendapan lumpur. Air tawar tetap dapat

mengalir masuk ke dalam drum penampung, Air asin segera mengalir kembali ke laut, sebagian meresap, tetapi tidak merusak ketebalan air tawar di dalam tanah.



**Keterangan:**

**Filter 1:**  
Lubang perforasi pada drum yang dilapis filter pada level air tawar

**Filter 2:**  
Instalasi penyangkapan air (alternatif)

**Karbon aktif (tempung):**  
di dasar sumbu dan disekeliling sumbu di luar drum pada kedalaman dari air payau hingga air tawar  
Fungsi mengurangi aroma air

**Kerikil (kapur)**  
Penawar air sadah

**MAT berubah fungsi pasut**

**Tebal air tawar/payau**  
fungsi musim dan pemaknaan

**Difusi air tawar-payau-asin**

**Cuci/sani karbon aktif di dasar**

Sumber: Hantoro dkk. (2009)

**Gambar 4.28** Diagram sumur optimalisasi pengelolaan air tawar di pantai terdiri dari unit injeksi air hujan dan sumur kolektor air tanah tawar.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Terdapat masalah pada pemompaan di satu titik yang modelnya disampaikan pada Gambar 4.28. Pemompaan di satu titik sumur dalam jumlah sangat besar dan terus-menerus menyebabkan terkurasnya air tawar di dalam akuifer dangkal yang keterdapatannya sangat terbatas. Contoh keliru pemompaan air tanah dangkal ini ditemukan di beberapa tempat di pulau kecil yang sarananya disediakan pemerintah. Air dipompa terus-menerus dan ditampung dalam bak menara air berkapasitas hingga 10 ton. Pemompaan tersebut dengan cepat mengosongkan akuifer, tempat kosong kemudian segera diisi air asin yang berada di bawah lapisan sedimen yang berisi air tawar. Air tawar dari kedalaman sama di samping titik yang terpompa tidak segera mengisi kekosongan tersebut. Akuifer dangkal terbuka yang telah terisi air asin yang lebih besar berat jenisnya, tidak mudah menerima resapan air hujan tawar dari permukaan. Untuk itu, diperlukan tambahan tekanan hidrostatik dengan cara penyuntikan air hujan yang telah ditampung sebelumnya. Kapasitas tampung bejana sumur hingga 200 liter dan kecepatan pengisian 1–2 jam dapat melayani setidaknya 4 sampai 5 keluarga yang terdiri dari 5 anggota keluarga inti.

Masyarakat harus dibekali cara menghitung ketersediaan dan keperluan air tawar agar keseimbangannya selalu terjaga. Permintaan yang melebihi kemampuan pengisian dari air hujan akan berdampak terjadinya intrusi air asin. Tata cara pemakaian air dengan hemat dan sehat juga perlu disampaikan dalam kemasan informasi mudah dicerna, menarik, dan mudah diingat. Penyebaran informasi ini dapat dilakukan melalui simpul komunikasi, seperti perpustakaan desa atau perpustakaan keliling.

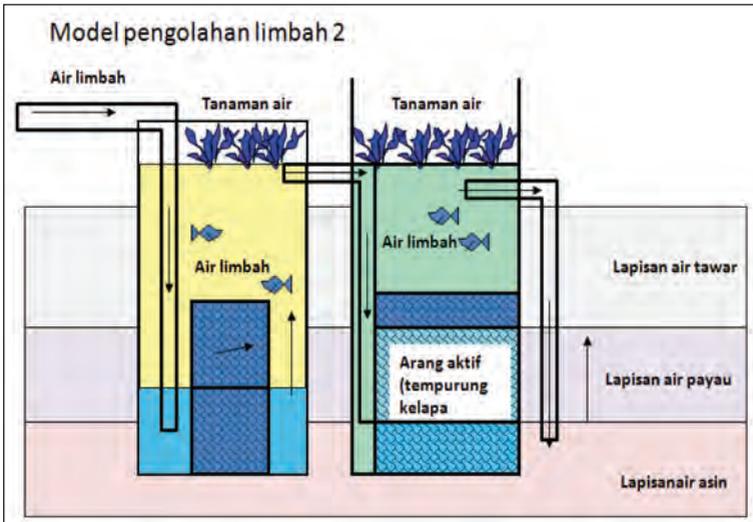
Di satu sisi, bentuk, kualitas, dan sebaran akuifer merupakan faktor penentu neraca hidrologi air tawar secara alamiah. Di sisi lain, curah hujan dan proses resapan menjadi faktor yang menjamin ketersediaan air tawar. Karena keterbatasan tersebut, terlihat bahwa kestabilan dan kelestarian kualitas air tawar daerah pantai tergantung pada kuantitas massa air dalam bentuk lensa.

Unsur penentu lain dalam hal ketersediaan air tawar di pulau kecil adalah pengaruh dari perilaku manusia. Pemakaian berlebih yang

mengakibatkan tidak seimbangnya antara air yang masuk (yang hanya dari air hujan) dengan air yang digunakan merupakan unsur penekan dalam hal kuantitas. Neraca air tawar menjadi semakin rusak ketika resapan air hujan tidak cukup tersimpan karena sebagian besarnya terbuang ke laut akibat semakin hilangnya lahan resapan. Hal ini diperparah dengan limbah yang langsung masuk ke tanah tanpa dibersihkan. Keadaan ini membuat upaya menyimpan/menabung air hujan dengan cara injeksi ke dalam akuifer tertentu harus dilakukan segera dan dengan skala luas. Pulau kecil yang berada pada keadaan ini antara lain gugusan gili di Lombok Utara yang kelebihan beban akibat ledakan hunian wisata.

Dari sisi kualitas air tanah tawar dangkal, ancaman datang dari limbah permukiman padat dan kawasan perniagaan di Dobo yang meresap mencemari akuifer dangkal. Selain ancaman intrusi (lateral) dan resapan (vertikal) air laut, kualitas air dalam lensa juga mengalami ancaman dari pencemaran dari limbah antropogen lain, yakni limbah perumahan, yang umumnya dibuang langsung ke permukaan tanah dan dibiarkan mengalir ke laut. Limbah keluarga merupakan sumber pencemaran utama bagi air tanah dangkal di pulau kecil. Limbah dapat berupa buangan bahan cair dan rembesan air septik tank dari permukiman. Teknologi ini sangat diperlukan sebagai kelengkapan teknologi pengelolaan air tawar dan sanitasi pemukiman pantai, guna mengatasi masalah limbah dari pemukiman. Teknologi yang ditawarkan diagramnya pada Gambar 4.29 dan 4.30. Teknologi ini telah diterapkan di beberapa permukiman dan hotel restoran di Pulau Derawan (Hantoro dkk, 2012). Pemukiman di sekitar pantai di Dobo sangat membutuhkan teknologi ini karena kekurangan air bersih dan sanitasi buruk di sana harus segera diatasi.

Perkakas pengolah limbah terdiri dari dua alat, yaitu pengolah limbah cair dapur atau limbah cair lainnya dan pengolah limbah jamban keluarga. Satu paket teknologi tersebut dapat melayani 4–5 rumah di permukiman kota atau desa pantai (Hantoro dkk, 2008b). Tujuan pembuatan instalasi ini adalah menampung dan mengolah limbah sebelum dibuang sehingga limbah dalam keadaan bebas



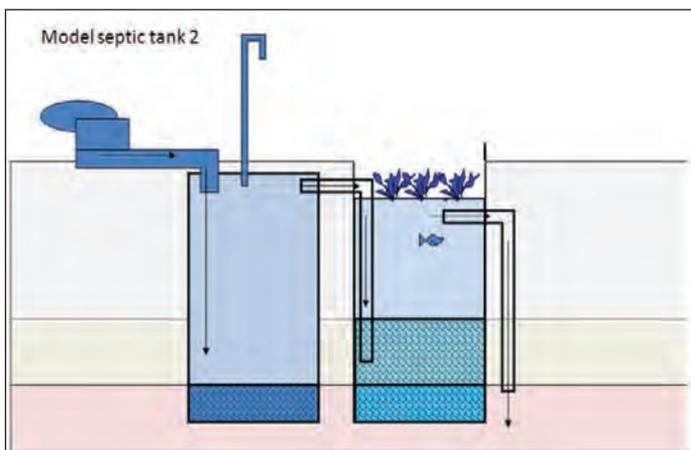
Sumber: Hantoro dkk. (2009)

**Gambar 4.29** Model Teknis Reaktor Pengolahan Limbah Cair Keluarga (skala kecil), debit < 5 l/menit, dan kapasitas hingga 200 L

kandungan bakteri maupun zat berbahaya, seperti logam berat. Prinsip kedua instalasi ini adalah pemisahan secara gravitasi dengan memberi waktu pengendapan di ruang terisolasi, dalam hal ini dipakai drum. Kedua instalasi tersebut terbuat dari rangkaian 2 hingga 4 drum kapasitas 150 hingga 200 liter yang dihubungkan oleh pipa pemasok yang terpasang di bagian atas dan yang berujung di dasar drum (Gambar 4.29 dan 4.30).

Air dari drum rangkaian paling akhir dibuang ke tanah dan langsung masuk ke lapisan air asin. Air asin mematkan bakteri yang terkandung dalam air buangan, lalu mengalirkan limbah secara berurutan. Drum penampung pertama diisi sebagian dengan arang aktif (tempurung kelapa) dan diberi tumbuhan air penyerap limbah. Bila debit limbah tinggi, dipasang drum kedua yang sama ukuran dan isinya dengan drum pertama, ditambahkan pada sistem, agar lebih menyerap dan mengolah limbah. Rangkaian kedua drum ini dapat menampung dan mengolah limbah hingga 100 liter/hari. Jumlah

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Hantoro dkk. (2008b)

**Gambar 4.30** Septik tank untuk Pulau Kecil Landai dan Datar

drum dapat ditambah bila debit limbah meningkat. Rangkaian lebih panjang dapat memberi waktu lebih banyak agar limbah terpisah dan partikelnya terendapkan. Salah satu drum pengendapan dapat diberi tanaman penyerap logam berat, sementara aroma limbah dapat diatasi dengan drum yang diisi arang aktif dari bahan batok kelapa. Untuk komunitas lebih besar (lebih dari 10 rumah), drum dapat diganti dengan kolam. Drum paling akhir mengalirkan air yang telah tersaring melalui pipa masuk langsung ke bagian lapisan yang terisi air asin. Air asin akan mematikan bakteri. Dengan cara ini, air tawar tidak tercemar bakteri dan tidak terbuang ke laut, tetapi kembali mengisi akuifer. Prinsip yang sama digunakan pada reaktor septik tank. Kondisi kualitas air tanah dangkal yang telah tercemar, dapat diperbaiki, dan dijaga dengan kombinasi injeksi air hujan dan rekayasa pengolahan limbah tersebut. Kandungan limbah dalam air payau di dasar lensa air tawar dapat ikut terusir oleh tekanan air tawar terinjeksi. Namun, upaya paling baik adalah mencegah segera tercemarnya air tanah tawar dangkal dari limbah.

Rekayasa penguatan kuantitas dan kualitas air tawar sekaligus pencegahan pencemaran akuifer merupakan satu paket yang sebaiknya

dibangun lengkap di suatu tempat. Beberapa cara tersebut dilakukan dengan pengolahan limbah (pemukiman dan pusat niaga), sumur optimalisasi, dan injeksi air hujan. Teknologi tersebut merupakan satu paket teknologi murah dan tepat guna yang ditawarkan bagi permukiman padat di pantai landai yang rentan genangan air laut. Teknologi ini mudah diterapkan dan berbiaya murah karena bahannya (drum plastik) mudah diperoleh. Namun, diperlukan biaya tambahan jika dilakukan pemasangan pompa untuk menaikkan air dari sumur optimalisasi ke tangki distribusi. Sementara itu, sumur injeksi tidak memerlukan biaya untuk energi pompa karena air hujan di atap dapat dikumpulkan melalui talang air dan dimasukkan ke dalam drum plastik (150–250 liter) yang selanjutnya dihubungkan dengan pipa untuk diinjeksikan ke dalam akuifer terpilih. Diperlukan penelitian lebih lanjut guna menentukan akuifer mana yang memenuhi syarat sebagai penyimpan air tawar. Perimbangannya adalah kapasitas dan kualitas akuifer yang tergantung dari bahan sedimen penyusun. Jenis akuifer yang harus dihindari adalah akuifer dari batuan karbonat yang mudah mengalami pelarutan. Pelarutan batuan karbonat membentuk ruang yang dapat meloloskan air serta mengurangi kualitas air tawar dengan tingginya larutan kalsium.

Paket pengelolaan air baku dan sanitasi ini diusulkan dibangun di beberapa permukiman di pantai landai berpasir di pulau-pulau kecil, seperti Penambulai, Baun, Workai, Wasir, Ujir, dan Kola. Paket juga diusulkan di beberapa permukiman nelayan (Wokam dan Saman) di utara Dobo, permukiman pantai (Dobo, Wangel, Durjela), permukiman pantai barat Aru (Nafar, Benjina, Hokmar, Rebi, Kalar, Ngaiguli, Fatural, Ngaibor), selatan dan tenggara Aru (Batugoyang, Salarem, Meror, dan Karay) serta beberapa permukiman di pesisir timur Aru di pantai landai berpasir terbuka yang tidak tertutup mangrove. Desa-desanya tersebut menempati pantai landai dengan pesisir luas atau sempit.

Likhit dari limbah padat juga mengancam kualitas ketika rembesannya menjangkau kandungan air dalam lensa air tanah (Hehanussa & Haryani, 2001) dangkal. Saat ini, limbah padat dari Dobo ditimbun di tepi jalan pinggir kota yang berjarak kurang lebih 2 km dari pantai.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dengan memperhatikan geologi di sekitarnya, limbah padat yang dionggokkan di atas endapan pasir pantai akan meresapkan likhitnya ke endapan tersebut, kemudian mengisi Formasi Tanah Merah di bawahnya. Endapan pasir pantai dan sekuen klastik formasi Tanah Merah selama ini menyimpan air tanah dangkal. Likhit tertahan di formasi ini di sekitar bidang ketidakselarasan di atas Formasi Wasir yang tersusun dari lapisan lempung tidak lulus air (lempung abu-abu dan napal). Pembuatan tempat pembuangan akhir dan pengolahan sampah di Dobo diusulkan dengan cara membuat galian yang mengupas endapan pasir pantai dan Formasi Tanah Merah serta sedikit bagian atas Formasi Wasir. Galian kemudian dilapis dengan bahan kedap (*geo textile*) untuk menahan resapan likhit. Pengolahan limbah padat dengan cara pengomposan lebih disarankan daripada pembakaran. Timbunan (*dumping*) limbah padat yang tercampur bahan plastik di suatu lereng menjadi labil ketika jenuh air (musim hujan) dan mudah longsor.

Teknologi modul sumur pengelolaan air tawar dan reaktor limbah memiliki keunggulan untuk diterapkan di pemukiman di bagian pantai berpasir. Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, pasir menjadi andalan bila air tawar berasal dari resapan air hujan. Syarat terjadinya pemisahan air tawar dengan asin adalah bila air berada pada ruang antarbutir yang memiliki tekanan pori besar. Keadaan ini tercapai bila ruang antarbutirnya halus sehingga molekul air tertarik kuat dengan butir (*adhesiv*) dan tinggi pula kohesinya. Karena lebih kecil masa jenisnya, air tawar mengambang di atas lapisan yang terisi air asin yang berada di bagian bawah.

Teknologi peningkatan ketahanan ketersediaan air tawar ini dapat dikembangkan di permukiman pesisir di wilayah Kecamatan Aru Selatan Timur (Jorang, Karey, Beltubur dan Meros), Kecamatan Aru Tengah Timur (Koijabu, Warloy, Warjukur, Kobros, Basada, Kalwabar), Kecamatan Aru Selatan (Ngaibor, Fatursl, Kalar kalar, Lutur, Hokmar, Katantar), di Kecamatan Aru Tengah (Maekor, Fatujuring), Kecamatan PP Aru di Nafar, Lau Lau, Tunggu dan Wokam) serta Kecamatan Aru Utara (Kolaha, Kolamar dan Wahayum).

## **2. Teknologi peningkatan ketersediaan air: Reservoir (embung) tertutup**

Upaya lain yang dapat diusulkan untuk dibangun di kawasan Kepulauan Aru dalam usaha meningkatkan ketersediaan air adalah memilih sasaran baru tempat dan teknologi menyimpan air meteorik (hujan). Di beberapa tempat yang memiliki neraca pemakaian air permukaan sangat besar dan melampaui daya dukungnya, air tanah dalam dapat digunakan. Pilihan ini diambil ketika tidak terpenuhinya syarat membuat embung terbuka dan terbatasnya lahan. Namun, sebelum sampai pada pilihan tersebut, ditawarkan teknologi embung tertutup. Teknologi ini sebenarnya merupakan akuifer buatan di dalam galian dan berupa cekungan yang diberi alas bahan kedap air yang diisi sedimen kasar pasir dan kerikil sebagai akuifer.

Morfologi bergelombang dan berbukit landai memiliki keterbatasan pada pembuatan reservoir terbuka sehingga daya tampungnya terbatas pula karena unsur luasan dan kedalamannya. Kelemahan pada reservoir terbuka adalah sulitnya melindungi badan air ini dari ancaman pencemaran, namun juga susutnya air dengan cepat oleh penguapan (Hantoro & Yoganingrum, 2016). Reservoir terbuka yang dibangun tanpa pelindung resapan akan meloloskan air ke dalam lapisan, kemudian tidak dapat dikendalikan, dan tidak diketahui lagi air tersebut mengalir ke arah mana.

Teknologi penguatan ketersediaan melalui penyimpanan air dilakukan dengan membangun reservoir dengan pelapisan dasar untuk mencegah resapan serta pengisian bahan pasir dan kerikil sebagai akuifer buatan. Teknologi ini disampaikan rinciannya pada gambar 4.31. Keunggulan cara ini adalah air yang tersimpan dalam pori sedimen tidak akan lolos melalui penguapan, sementara lapisan penutup dasar dari geotextile menjamin air tidak lolos meresap dan mengalir ke tempat lain.

Cara tersebut dapat meningkatkan ketahanan air dengan penyimpanan air hujan berlebih sekaligus melindunginya di dalam embung atau situ pada beberapa tempat di gugusan Kepulauan Aru dengan morfologi dan jenis batuan yang sesuai. Teknologi yang dirancang

dengan cara penyimpanan berbeda dengan bendungan atau embung yang dikenal selama ini. Teknologi ini sesuai untuk daerah dengan keterbatasan lahan, daerah tangkapan hujan, hujan tipe musonial dengan bulan hujan kurang dari 4 bulan, evaporasi tinggi, peruntukan terbatas skala kecil, dan lokasi tersebar. Beberapa model diusulkan dan telah dibuat khusus untuk pulau kecil, misalnya di Kepulauan Natuna (Hantoro dkk, 2017).

Untuk membangun dan mengembangkannya ke seluruh kepulauan, beberapa syarat diperlukan agar tercapai kinerja maksimal. Beberapa keadaan yang perlu diperhitungkan adalah:

1. Curah hujan tahunan dan distribusinya berdasar tempat dan waktu cukup untuk mengisi reservoir;
2. Air yang dialirkan masuk dan meresap terkumpul datang dari air hujan yang tertampung di permukaan dan mengalir di saluran yang bebas limbah;
3. Litologi batuan yang memungkinkan membuat galian kolam atau embung dalam ukuran yang dikehendaki (40x70, 70x100 m, dan seterusnya) dan memperoleh sedimen penimbun untuk akuifer buatan;
4. Morfologi yang memungkinkan air mengalir ke konsumen secara gravitasi;
5. Jarak tidak jauh dari konsumen maupun tempat memperoleh sedimen penguruk;
6. Pengelolaan mudah dan murah terjaga dari gangguan kegiatan yang menyebabkan reservoir tercemar;
7. Menghindari pemakaian lahan produktif memanfaatkan lahan terbengkalai dan bersisian dengan lahan yang akan dimulihkan kembali. Sebelum memilih tempat, dilakukan analisis kesesuaian berdasarkan data geologi, morfologi, tata guna lahan, data kependudukan dan data tata ruang, serta rencana pem-

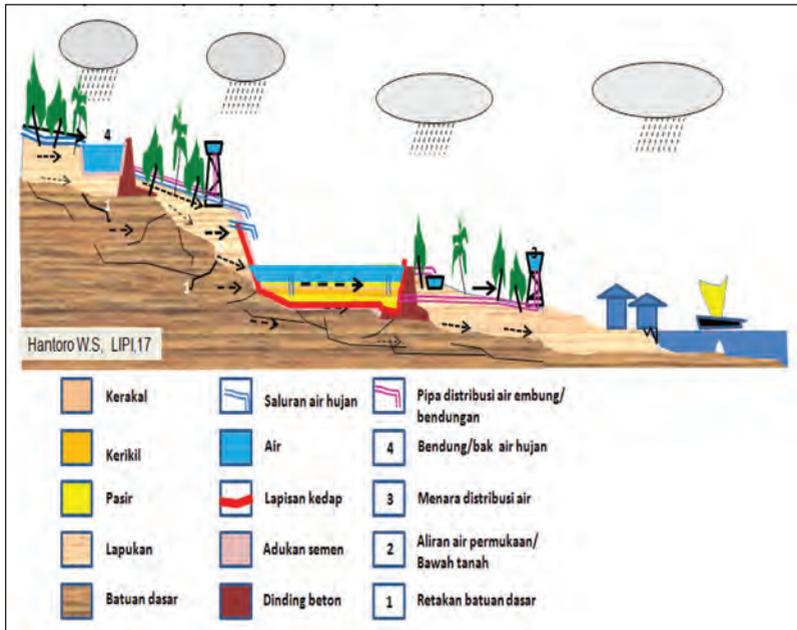
bangunan daerah. Hasil dari analisis kesesuaian tempat untuk pembangunan reservoir disampaikan pada bagian sebelumnya.

Morfologi bergelombang serta lapisan sedimen halus memberi peluang mengurangi peresapan air lolos dari tampungan. Penguapan berlebih yang berlangsung saat musim kering dan berangin kencang dapat dihindari dengan membangun reservoir tersebut seperti akuifer dangkal. Teknisnya dilakukan dengan mengisi galian kolam reservoir yang telah disiapkan dengan pasir dan bahan kasar, seperti kerikil, diletakkan di atas lapisan penahan (geotextile) (Hantoro & Yoganingrum, 2016).

Bahan kerikil dan pasir dapat diperoleh dari lapisan sedimen Formasi Tanah Merah dan sebagian bahan lain secara terkendali diambil dari pasir di pantai. Pertimbangan memakai pasir pantai adalah karena pasir ini terbentuk dari hancuran terumbu karang yang secara alamiah diendapkan dan terus bertambah setiap saat. Asupan pasir remah karbonat selalu tercukupi bila sumbernya, terumbu karang, sehat dan terus tumbuh menjadi bagian dari siklus pembentukan endapan pantai.

Pori dan kelulusan endapan isian pada kolam masih dapat menyimpan air hingga 15% volume kolam. Kolam maya dan tertutup ini selayaknya lapisan tanah biasa. Hanya saja, air terkurung dalam kolam yang kedap air bagian bawahnya serta terbebas dari penguapan berlebih. Sumur dangkal juga dapat dibuat di atas embung tertutup ini sebagaimana sumur penduduk. Rekayasa teknik ini dapat dibuat dengan berbagai bentuk dan disesuaikan dengan keadaan lahan. Morfologi bergelombang dan berbukit landai mendukung pembuatan kolam dengan dinding depan penahan selayaknya bendungan; pintu keluar air dibuat dan mengalirkan air dengan pengaturan tertentu serta disebar ke bagian yang lebih rendah (Gambar 4.31) (Hantoro & Yoganingrum, 2016).

Kelebihan teknologi ini adalah terjaganya air dalam lapisan sedimen sehingga tidak langsung terbuka dan menguap. Evapotranspirasi dihindarkan dengan tidak menanam tanaman besar, tetapi masih



Sumber: Hantoro & Yoganingrum (2016)

**Gambar 4.31** Penampang Sintetik Akuifer Buat Embung Tertutup/Semi Tertutup Sebagai Penyimpanan Air yang Dipakai Ketika Musim Kering

dapat difungsikan sebagian menjadi kebun sayur (tanaman air atau palawija) bersamaan dengan kolam ikan (Hantoro & Yoganingrum, 2016). lahan yang tersedia di pulau kecil umumnya terbatas untuk permukiman maupun ladang. Teknologi reservoir yang ditawarkan tidak memerlukan lahan luas. Permukaan reservoir berupa rata-rata tanah penutup dapat difungsikan sebagai lahan produktif (ladang sayur atau palawija) dan reservoir ini bahkan dapat dibangun di wilayah yang permukaannya digunakan sebagai sarana umum, seperti taman atau lapangan.

Kekurangan dari teknik ini adalah penempatan konstruksi yang harus dekat dengan sungai kecil yang airnya menjadi pengisi embung. Sungai ini hendaknya mengalir dari bagian tangkapan hujan yang masih berupa hutan (Gambar 4.32) atau lahan yang terbebas dari



Sumber: Hantoro dkk. (2017)

**Gambar 4.32** Model Penempatan Embung Tertutup dan Cekungan Kolektor Air Hujan di Lahan yang Masih Baik Tutupan Lahannya (Hutan atau Kebun Tanaman Rapat)

sumber bahan pencemaran, seperti pestisida atau pupuk, bila di sekeliling tangkapan hujan dan aliran airnya merupakan kebun. Reservoir tidak boleh dibangun di bagian hilir suatu daerah tangkapan hujan yang berupa permukiman di mana sumber airnya telah tercemar. Hal ini karena dari tempat tersebut umumnya limbah domestik dan lain-lainnya berasal, terkumpul, kemudian masuk ke saluran pengisi embung. Kekurangan ini dapat ditutup dengan mengalirkan air hujan tampungan dari pemukiman ke dalam akuifer buatan melalui saluran pipa pengumpul yang diteruskan dengan saluran pipa utama.

Kelebihan lain dari pembangunan kolam virtual atau akuifer dangkal buatan adalah pembuatannya tidak rumit, mudah dilakukan oleh masyarakat desa, biayanya murah (dapat diajukan melalui skema dana pembangunan desa). Lahan yang diperlukan juga tidak menghabiskan lahan pemukiman karena ukurannya bisa kurang dari 1 hektare dengan kedalaman 3–6 meter. Sebagian kolam yang berupa genangan dangkal dan lahan biasa dapat difungsikan sebagai kebun

Buku ini tidak diperjualbelikan.

tanaman sayur, palawija, atau kolam budi daya. Pohon tidak memiliki sifat penyerap dan penguap air yang berlebihan. Selain memanfaatkan lahan kosong atau lahan kritis, kolam ini juga meningkatkan kualitas lahan karena memperluas lahan produktif dan meningkatkan kelembapan lahan untuk memulai penanaman pohon pionir. Namun, penanaman pohon yang akarnya dapat merusak pelapis dasar kolam harus dihindari

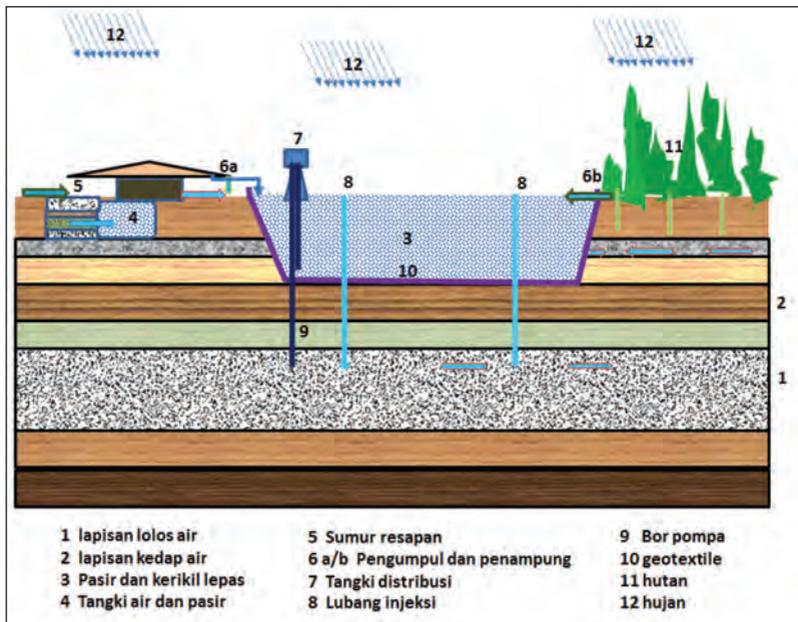
Penempatan konstruksi ini juga harus memperhitungkan lereng dan singkapan batuan atau solumnya. Pemilihan tempat harus memperhitungkan kestabilan terhadap ancaman bahaya gerakan tanah (longsor, nendatan, dan sebagainya).

Hal yang harus diperhatikan pada teknologi ini adalah kemungkinan terganggunya kestabilan bangunan akibat berlebihnya beban oleh kejenuhan tanah atau sedimen yang memicu nendatan atau longoran pada bendung penahan. Keadaan ini terjadi bila bendungan dibangun di suatu lereng yang curam. Nendatan dan rayapan (*landslide, creeping*) akibat terlampauinya kejenuhan masa air dalam lapisan tanah dapat diatasi dengan bangunan embung bertingkat yang mengurangi kejenuhan air ke dalam lapisan tanah dengan cara pembuatan alur penyaluran air ke sungai pengisian embung. Sistem penyimpanan ini juga dibangun tidak langsung di atas lahan pemukiman untuk menjaga kemungkinan kejadian ekstrem longsor atau nendatan yang dipicu hujan berintensitas tinggi dan gempa bumi. Karena sistem ini mensyaratkan lingkungan dengan tutupan hutan yang harus terjaga, pengembangan sistem ini juga dapat mengendalikan laju perambahan daerah perbukitan, terutama di daerah sekitar puncak perbukitan. Air yang jatuh di sekitar puncak diharapkan mengalir melalui saluran pada alur lembah atau sungai menuju saluran utama. Saluran dapat dibuat sebagai alur yang tidak banyak melepaskan air resapan, tetapi tetap memberi peluang air meresap menjadi bagian dari air bawah permukaan. Air dijaga agar tidak tercemar dalam pengumpulan dan pengalirannya menuju reservoir.

Terkait dengan upaya peningkatan ketersediaan air pulau kecil di Kepulauan Aru, sistem yang diusulkan ini dapat diterapkan di Dobo

yang menjadi kota pusat administrasi kabupaten. Cara ini juga dapat diterapkan di beberapa kawasan pulau utama dan gugus pulau kecil lain dengan konsep utama menabung air hujan yang berlebih di satu waktu, tetapi jauh dari cukup saat musim kering. Dengan teknologi ini, air tersimpan dengan aman dan terhindar dari kelolosan oleh aliran bawah permukaan atau penguapan.

Teknologi akuifer buatan reservoir/embung tertutup yang diusulkan akan berdaya guna maksimum bila dibangun di suatu tinggian karena distribusi airnya bisa dilakukan dengan bantuan gaya gravitasi. Untuk daerah datar, kemudahan ini tidak bisa diperoleh sehingga harus mengangkat air ke atas bak penampung di atas menara (Gambar 4.33). Teknologi ini mirip dengan sumur optimalisasi, hanya saja akuifernya tertutup di bagian bawahnya agar air tidak lolos ke arah



Sumber: Hantoro dkk. (2017)

**Gambar 4.33** Model Penempatan Akuifer Buatan Embung Tertutup dan Kolektor Air Hujan di Lahan yang Masih Baik Tutupan Lahannya (Hutan atau Kebun Tanaman) dan dari Atap Rumah

Buku ini tidak diperjualbelikan.

lain. Air yang berlebihan dapat tertampung pada sistem ini diinjeksikan ke dalam lapisan akuifer tanah dalam dengan membuat lubang bor hingga mencapai lapisan sedimen yang dikehendaki. Teknologi ini dapat dibuat bersamaan dengan biopori yang mengisi lapisan batuan yang lolos air di bagian atas (dangkal). Pengisian embung oleh air larian dari hutan dilakukan saat musim hujan karena airnya berlimpah dan relatif bersih. Selama musim hujan, air konsumsi diperoleh dari sumur biasa.

Semua hal yang terkait dengan ketersediaan air untuk kawasan Dobo dan sekitarnya memerlukan penanganan terpadu. Pembuatan sarana teknis untuk peningkatan ketersediaan air tidak serta merta menyelesaikan masalah. Diperlukan perencanaan dan pengelolaan ruang karena jika terjadi ketimpangan antara unsur permintaan dan daya dukung akan berakibat negatif di bagian lain. Sebagai contoh, penambangan bahan bangunan yang diambil dari pantai berupa batuan, pasir, dan bahan kayu dari hutan mangrove. Ketika berbicara mengenai dampak pemekaran wilayah dan tata ruangnya, perhitungan daya dukung (bahan bangunan dan air) tidak menjadi pertimbangan utama dalam penentuan pusat pemerintahan dan pertumbuhan kawasan. Untuk Kepulauan Aru, penentuan Dobo boleh jadi lebih disebabkan latar belakang sejarahnya sebagai basis perjuangan pembebasan Papua pada awal tahun 1960-an. Ibu kota kabupaten dipilih dari kota yang terletak di pulau utama sebenarnya dapat menjadi wacana tersendiri. Beberapa alasan antara lain mudahnya jangkauan dengan seluruh wilayah kepulauan melalui berbagai moda transportasi yang dapat dikembangkan kemudian. Mengapa? Banyak pertimbangan yang sebenarnya bisa memberi jalan keluar dari permasalahan ketersediaan air bersih, tetapi hal ini harus pula didukung kelayakan potensi, rentang kendali pembangunan, dan pengelolaan.

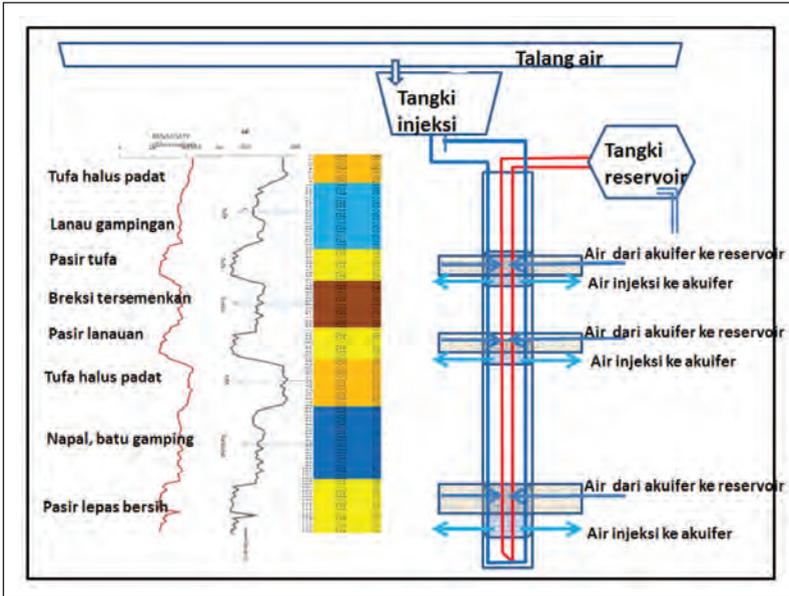
Sebagai kelengkapan data pengelolaan sumber daya air Kepulauan Aru, perlu dipasang sistem pemantau yang memberi data meteorologi terkait dengan keadaan cuaca dan curah hujan. Selain stasiun pengukuran di bandara oleh BMKG, setidaknya tiga stasiun

perlu dipasang di pulau utama di bagian utara dan selatan pulau serta di pulau-pulau di tenggara Aru.

### **3. Teknologi peningkatan ketersediaan air: injeksi air hujan ke dalam akuifer (dangkal maupun dalam)**

Teknologi lain yang diusulkan adalah menyimpan air dari pengumpulan air hujan langsung ke dalam lapisan akuifer yang telah diperiksa dan ditentukan melalui penelitian geologi dan geofisika. Lapisan akuifer ini dapat dikenali dan diperiksa kesesuaiannya sebagai lapisan penyimpan air pada kedalaman yang dapat dipilih. Proses pengelolaan simpanan air dilakukan mulai dari pengumpulan air, memasukkannya ke dalam akuifer terpilih, memantau keadaan air dan akuifer, hingga pemakaian dan distribusinya. Air hujan yang jatuh di atap bangunan dialirkan melalui talang ditampung dan dikumpulkan ke dalam tangki. Tidak disarankan untuk mengumpulkan air yang telah jatuh di tanah karena sudah mengalami pencemaran, apalagi air yang telah tergenang. Dari tangki penampung, air dilepaskan masuk ke dalam pipa dan jatuh ke dalam lapisan akuifer yang telah ditentukan. Letak tangki pada ketinggian tertentu menambah tekanan hidrostatik yang, dan tekanan tersebut dapat mengisi pori menerobos melalui celah sebagai kelulusan akuifer. Bila pori telah terisi air asin oleh sesuatu sebab, tekanan hidrostatik ini membantu menekan keluar air asin tersebut karena berat jenisnya lebih besar. Pada keadaan tanpa tekanan, air tawar tidak dapat mendorong air asin mengalir melalui celah antar butir dalam akuifer.

Berdasarkan keadaan geologi dan morfologi Kepulauan Aru dan Pulau Womar, masih ada cara lain untuk penyimpanan air tawar (air hujan). Pertama, penyimpanan air melalui injeksi air hujan ke dalam akuifer tanah dalam (Gambar 4.34). Teknologi ini telah dikembangkan di kompleks pembangunan perumahan di Tangerang Banten dan terus dipantau kinerjanya. Akuifer yang dituju untuk injeksi pada pelayanan peningkatan ketersediaan perumahan terdapat pada kedalaman hingga 40 meter.



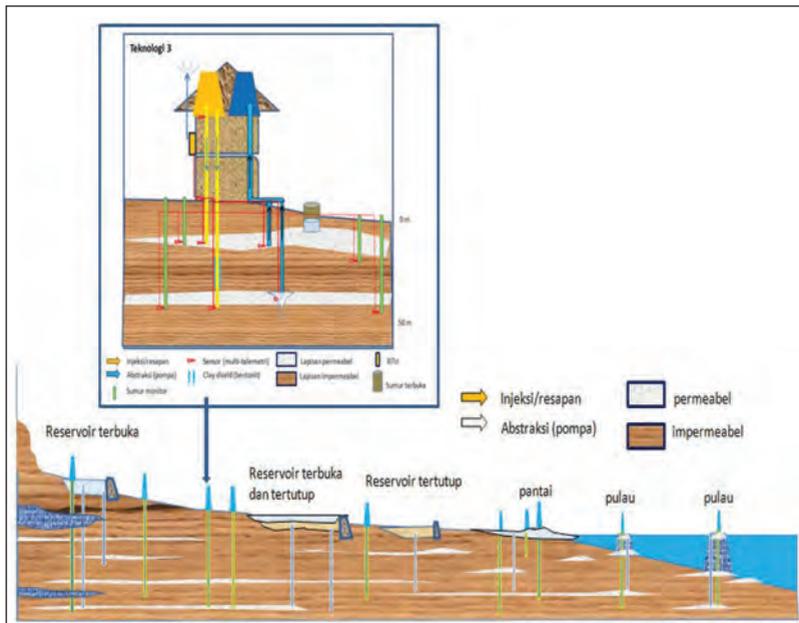
Sumber: Hantoro dan Yoganingrum (2016)

**Gambar 4.34** Contoh Penampang Geologi Daerah Bekasi dari Hasil Pemeruman Geofisika Terhadap Lapisan Sedimen untuk Penentuan Akuifer Sasaran Injeksi Air Tawar.

Penelitian awal dilakukan untuk mengetahui peralihan sedimen di kedalaman, terkait dengan lapisan penyimpan air (akuifer) dan lapisan pengapit (akuitard). Setelah dilakukan pemeruman tahanan jenis, dapat dihasilkan gambaran peralihan sedimennya. Pemboran uji dilakukan untuk mengetahui lebih jauh mengenai lapisan sedimennya yang diperoleh dari contoh inti. Sifat fisis sedimen dapat diperiksa langsung terkait mineralogi dan sedimentografinya. Pemeruman log tahanan jenis dan potensial diri, adakalanya dilengkapi dengan sinar gamma, dilakukan untuk memperoleh gambaran sifat fisis peralihan. Data ini diperlukan untuk menentukan sasaran lapisan mana yang baik untuk menyimpan air (Gambar 4.34).

Cara ini peluangnya sangat terbatas karena lapisan sedimen yang ada (Formasi Wasir, Manumbai dan Koba) umumnya berupa per-

lapisan sedimen tipis gampingan atau kalkarenitan sebagai endapan laut dangkal. Seri sedimen ini rendah kelulusannya, walaupun masih memiliki pori cukup baik untuk menyimpan air. Sedimen klastik kasar hanya ada di bagian atas, yakni Formasi Tanah Merah. Formasi ini—oleh pengikisan—telah tersingkap di beberapa tempat sehingga air dalam akuifer ini merembes keluar di bagian batas dengan Formasi Wasir di sepanjang bidang ketidakselarasan sebagai mata air pada tebing. Gedung bangunan di Dobo sebagian berada di atas lapisan sedimen formasi ini. Penyuntikan air hujan masih dapat dilakukan untuk mengisi lapisan sedimen klastik Formasi Tanah Merah. Sebagian bangunan berada di atas singkapan Formasi Wasir dan Menumbai tersusun dari lapisan sedimen klastik halus. Injeksi air



Sumber: Hantoro & Yoganingrum (2016).

**Gambar 4.35** Penampang sintetik injeksi air hujan ke dalam lapisan akuifer dalam. Geologi Kepulauan Aru memiliki perlapisan sedimen nyaris sejajar namun terdiri dari batuan sedimen halus dan endapan karbonat yang tidak sesuai untuk penyimpanan air.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

hujan dari pengumpulan atap bangunan ke dalam lapisan akuifer menjadi semakin terbatas.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam teknologi ini:

1. Keadaan cuaca yang dapat memenuhi keperluan air agar cukup mengisi akuifer dan dapat dipakai saat diperlukan (curah dan intensitas hujan);
2. Tersedia cukup luasan atap pemukiman untuk menampung dan mengalirkan air hujan untuk diinjeksikan;
3. Terdapat lapisan yang memenuhi syarat sebagai akuifer, yaitu kesarangan, jenis dan kandungan mineral dalam batuan, ketidalamannya, hingga penyebaran terkait ke arah mana air akan mengalir;
4. Kondisi geologi peralasan sedimen terkait struktur geologi yang berpotensi pada kebocoran atau penjenjutan di sekitar bidang sesar yang dapat memicu aktifnya kembali gerakan tanah;
5. Pengelolaan sistem yang tersimpan terkait distribusi air, kelayakan ekonomi, dan kemandirian pengelolaan;
6. Nilai tambah dan dampak teknologi ini terhadap pemulihan lingkungan di sekitarnya.
7. Kepedulian, kepahaman, dan kemampuan masyarakat mengelola teknologi yang pelaksanaannya melibatkan masyarakat luas;
8. Masyarakat harus paham bahwa teknologi ini merupakan salah satu jalan meningkatkan ketersediaan air tanah dalam yang tidak dapat dinikmati langsung oleh seluruh masyarakat. Air simpanan boleh jadi tidak dinikmati langsung di titik diinjeksikan, tetapi dapat dinikmati di tempat air terkumpul. Oleh karena itu, penerapan teknologi pengelolaan air tanah ini sebaiknya dilakukan dalam kelompok yang diatur dalam skema badan usaha atau koperasi;

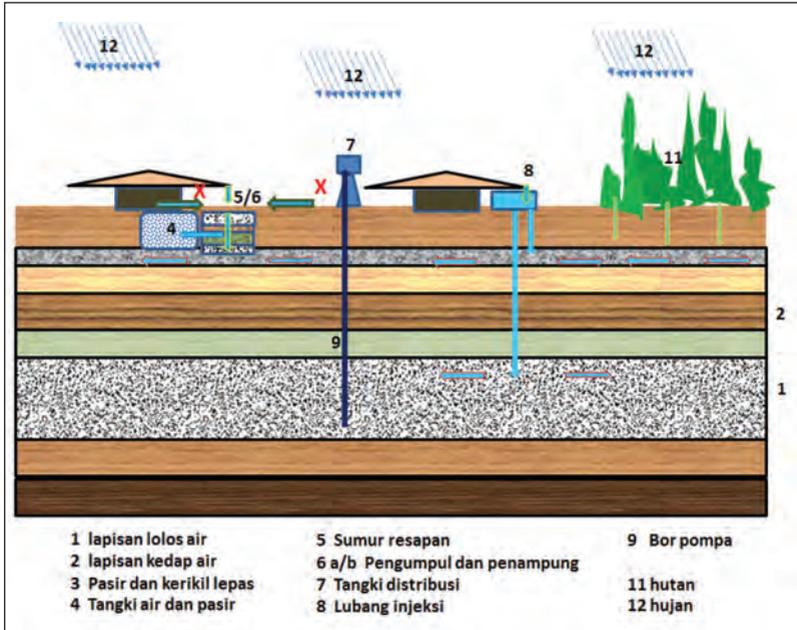
9. Skema pelaksanaan programnya memerlukan koordinasi dan sumber pendanaan.

#### **4. Teknologi peningkatan ketersediaan air: biopori**

Salah satu rekayasa peningkatan ketersediaan air adalah menahan air larian permukaan dari hujan lebat agar tidak mengalir ke laut dengan mempercepat dan memperbanyak resapannya masuk ke dalam tanah. Untuk lahan yang tidak lagi memiliki pepohonan yang mencari interceptor hujan, caranya bisa dengan menangkap air ke dalam sumur resapan atau biopori. Sebelum mengalir ke dalam selokan atau saluran, air permukaan dialirkan menuju sumuran yang dibuat dengan ukuran 70x70x150 cm. Sumur atau kolam gali diberi urugan kerikil dan pasir serta ijuk untuk menahan dan menyaring kotoran yang terbawa air. Cara terbaik adalah mengumpulkan air hujan dari atap, namun dapat dilakukan di lapangan terbuka (Gambar 4.36), di mana sumur resapan dibuat di bagian yang dapat mengumpulkan aliran air permukaan yang terbebas dari pencemaran.

Pada resapan biopori, air tidak dapat menembus lapisan kedap air di bawah sedimen atau solum yang berada di dekat permukaan yang masih memiliki kesarangan. Pada perlapisan datar, aliran air ke samping dan berbagai arah tidak dapat cepat mengisi ruang kosong dari lapisan yang sama. Pada sistem injeksi yang diarahkan pada berbagai lapisan penyimpan air (sedimen pasir), air terdorong oleh tekanan hidrostatik mengalir mendatar mengisi ruang dari lapisan sedimen yang sama. Kemampuan dorongan tergantung pada tekanan hidrostatik dan kelulusan lapisan sedimen. Rekayasa ini dapat dilakukan pada lapisan gamping cangkang Formasi Menumbai atau pada satuan pasir kuarsa Formasi Tanah Merah.

Resapan air permukaan ini umumnya hanya mengisi lapisan sedimen bagian dekat permukaan di bawah solum singkapan batuan segar. Perlapisan sedimen di Aru umumnya datar sehingga air resapan tidak mengalir terlalu jauh dari titik resapan. Lapisan kedap, seperti lempung gampingan dan napal, tidak meneruskan resapan jauh ke



Sumber: Hantoro dan Yoganingrum (2016)

**Gambar 4.36** Penampang Perbandingan Teknologi Resapan Air Biopori dan Injeksi.

dalam tanah. Keadaan ini menjadi kendala air hujan menjadi tidak banyak dapat tersimpan di dalam lapisan yang lebih dalam.

Biopori resapan air hujan merupakan lubang-lubang berukuran antara 10–20 cm dengan kedalaman tergantung kemampuan alat pemborannya dan ketebalan solum atau sedimen berpori. Lubang diisi dengan bahan pasir dan kerikil serta arang kelapa. Bor untuk melubangi tanah dapat dibuat dan dioperasikan dengan mudah. Air pengisi lubang ini dipastikan tidak tercemar oleh limbah. Biopori ini memberi manfaat bila dibuat di lapisan dengan solum atau lapukan tebal dan pada lapisan sedimen yang memiliki kesarangan ke dalam tempat air hujan tersimpan. Lubang-lubang ini tidak banyak memberi manfaat penyimpanan ketika dibuat di lapisan batuan seperti napal atau batuan keras karena air tidak meresap. Namun, setidaknya lubang-

lubang yang terisi air ini membantu pelapukan pada batuan kedap tersebut membentuk solum. Untuk Kepulauan Aru, pembangunan biopori diperbanyak di permukiman yang dibangun di singkapan satuan sedimen, seperti batu pasir kuarsa dan satuan batu gamping cangkang Formasi Manumbai yang ditemukan di Aru bagian selatan dan bagian timur. Upaya mempercepat pelapukan singkapan napal dan satuan lain yang kedap dilakukan dengan pembuatan lubang galian yang lebih luas permukaannya, kemudian diisi sampah organik yang dicampur dengan kotoran hewan. Pada galian ditanam pohon yang cepat tumbuh dan memiliki perakaran lebat serta kuat untuk membongkar lapisan sedimen napalan tersebut.

Teknologi biopori tidak banyak memberi hasil untuk permukiman yang dibangun di atas urugan atau reklamasi pantai, seperti di perkampungan nelayan di Dobo. Masyarakat dapat membuat penyimpanan air hujan di suatu halaman yang cukup luas di permukiman padat. Penyimpanan dalam bentuk kolam yang difungsikan seperti embung tertutup (Gambar 4.33). Air di kolam tertutup ini dapat diambil melalui sumuran layaknya sumur biasa atau pompa di tempat lain.

## **5. Teknologi peningkatan ketersediaan air: *Reverse Osmosis* (RO)**

Bila menghadapi kerentanan bahaya kekurangan air pada keadaan ekstrem dan mendesak, sedangkan semua teknologi dalam keadaan tidak dapat diandalkan, pilihan terakhir adalah penerapan pengolahan air asin menjadi tawar dengan teknologi *reverse osmosis* atau disingkat dengan RO. Keadaan mendesak terjadi pada masa pemulihan pascabencana. Saat semua fasilitas tidak berfungsi, unit RO yang dapat dibawa dan ditempatkan dengan cepat dan mudah ini dapat difungsikan. Ketika teknologi penyimpanan air yang tidak rusak dapat dibersihkan dan dipakai kembali, unit RO dapat dipindahkan ke tempat lain yang memerlukan. Teknologi RO dapat diterapkan di lingkungan yang airnya jernih sehingga hanya melakukan proses pengolahan dari asin menjadi tawar dan bukannya menyaring air asin

Buku ini tidak diperjualbelikan.

kotor serta mengubahnya menjadi air tawar bersih. Pada keadaan ini, membran cepat rusak bila air tinggi kekeruhannya atau pekat kandungan kimianya.

Secara garis besar, teknologi RO mempergunakan membran semipermeable untuk menangkap ion, molekul, dan bahan yang lebih besar dari air (laut) untuk menghasilkan air minum. Teknologi ini juga digunakan sebagai dasar cara pengolahan air payau atau air rawa, tetapi pemakaian membrannya berbeda karena kandungan air yang diolah pun berbeda. Dalam semua proses tersebut, diperlukan tekanan guna memperoleh keadaan tekanan osmotis pada larutan ketika berada pada sisi membran penyaring. Proses ini menyebabkan zat terlarut atau yang terkandung terendapkan dan meloloskan larutan murni ke lapisan berikutnya. Membran berukuran tertentu akan menangkap butiran halus atau zat tertentu dan meloloskan lainnya.

Proses reverse osmosis berlangsung hingga tercapai keseimbangan konsentrasi di kedua sisi membran. Proses ini digunakan pada pengolahan air tawar dari air laut, yakni mengalirkan dengan tekanan melalui membrane saring. Membran yang digunakan untuk reverse osmosis memiliki lapisan padat dalam matriks polimer atau lapisan interfasial dipolemerisasi dalam membran tipis di mana pemisahan terjadi. Membran dirancang memungkinkan air melewati lapisan padat dan mencegah zat terlarut, seperti garam, melewatinya. Tekanan tinggi diberikan pada sisi konsentrasi tinggi; hal ini tergantung pada besar konsentrasi (kandungan) terlarut (garam)-nya.

Teknologi ini dapat mengolah air untuk keperluan tertentu tergantung syarat kualitas yang diperlukan. Ongkos operasional teknologi ini akan semakin mahal bila membran harus bekerja pada keadaan di mana air yang diproses mengandung banyak zat yang harus disaring atau diolah. Pada pengolahan air asin menjadi air tawar, bila air asin tercemar berbagai limbah dan mengandung zat koagulan atau suspensi sedimen (organik maupun non-organik), membran harus sering diganti. Pada keadaan demikian, pemakaian teknologi mahal ini lazimnya diperlukan saat tanggap darurat dan untuk memenuhi keperluan operasional medis dengan cepat.

Beberapa permukiman yang dirancang sebagai kawasan strategis pengembangan memerlukan teknologi ini ketika harus menyediakan air untuk keperluan medis. Teknologi ini diterapkan dalam satu paket dengan reservoir penyimpanan air. Air tawar yang telah tersedia (diperoleh dari reservoir penyimpanan) belum memenuhi syarat sebagai air baku untuk keperluan medis, tetapi sebenarnya sudah bersih dan dapat diolah lagi dengan teknologi reverse osmosis.

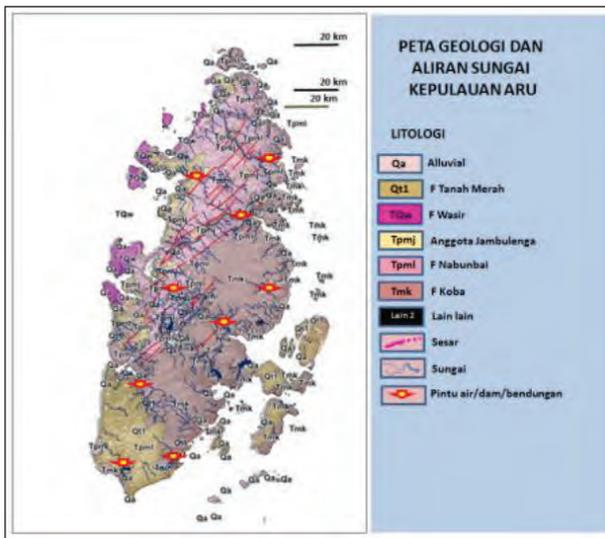
## **6. Teknologi peningkatan ketersediaan air: Pengolah air rawa**

Sebagian permukiman di pesisir landai di sisi barat maupun timur terletak di dekat rawa atau lahan basah. Pada saat musim kemarau, air permukaan maupun air tanah di dekat lingkungan rawa atau lahan basah tersebut sering kali buruk kualitasnya karena tercemar asam humus beraroma tidak sedap dan keruh. Air juga tidak layak konsumsi dan harus diproses agar layak diminum. Namun, teknologi pengolah air rawa ini hanyalah kelengkapan dalam upaya peningkatan ketersediaan air, terutama perbaikan kualitas air. Teknologi ini baru dimanfaatkan apabila reservoir penyimpan air bersih tidak dapat dibangun.

Perbaikan kualitas air sebenarnya dapat tercapai dengan penerapan teknologi yang ditawarkan—telah dijelaskan dalam bab ini. Proses penyimpanan air dalam akuifer juga termasuk proses penyaringan alamiah terhadap air aliran permukaan. Hal ini karena air yang disimpan adalah air hujan dan bukan air aliran permukaan yang telah tercemar. Air permukaan kawasan lingkungan rawa menjadi andalan masyarakat sekitar muara atau estuari, seperti di Jambulenga atau Kojabi. Penjelasan mengenai teknologi pengolahan air ini tidak disampaikan dalam tulisan ini, tetapi hanya disertakan sumber informasinya agar pembaca dapat mencari penjelasan lebih lanjut secara mandiri.

## 7. Teknologi peningkatan ketersediaan air: Teknologi dam pintu air

Penyimpanan air terbuka di permukaan dapat dilakukan dengan membangun bendungan. Prinsip sederhana bendungan adalah mengatur aliran air dari sungai ke dalam suatu bentuk cekungan yang lazimnya berupa lembah sungai yang bagian hilirnya dibendung. bendungan yang baik adalah bila air yang terkumpul berada pada ketinggian yang selanjutnya dapat dialirkan ke hilir (dataran lebih rendah) melalui saluran. Air yang tertahan dalam cekungan diusahakan tidak lolos meresap ke dalam lapisan dasar atau dinding cekungan yang lolos air. Konsep ini memperoleh manfaat paling besar bila dibuat di daerah lembah dan daerah tangkapan yang berupa cekungan di tempat cukup tinggi dibanding daerah yang memakai airnya.



**Gambar 4.37** Peta Geologi dan Pola Aliran Sungai Acuan Penempatan Pintu Air/ Bendungan di Beberapa Tempat Sebagai Salah Satu Unsur untuk Mengatur Daur Air di Pulau Aru

Selain digunakan sebagai pemasok reservoir saat musim hujan, air dapat dipakai untuk penggerak turbin pembangkit listrik atau irigasi. Manfaat lain adalah untuk budi daya ikan tawar, wisata, dan sebagai air pembilas sungai di bagian hilir atau muara dari limbah atau sedimen yang tertimbun. Pembilasan dilakukan saat aliran air sungai masih deras.

Teknologi dam pintu air untuk pulau seperti Aru tidak memberi manfaat besar karena perbedaan ketinggian antara pedalaman dengan bagian hilir yang memerlukan air sangat kecil sehingga tidak cukup untuk mengalirkan air melalui saluran. Oleh karena itu, diperlukan pompa untuk mendorong air ke tempat tujuan. Daerah tangkapan hujan dan jaringan sungai tidak memadai untuk menyediakan lahan cekungan dan mengumpulkan air hujan. Kanal-kanal yang memotong pulau terlalu lebar dan beda ketinggian antara hulu dan hilir tidak signifikan. Selain itu, kanal lebih difungsikan sebagai alur pelayaran sungai, akses ke hulu, atau melintas tengah pulau daripada memutar melalui perairan laut bebas.

Sebagai alternatif dalam pemanfaatan aliran sungai, pintu-pintu air secara berjenjang dapat dibangun untuk menahan aliran yang membuang air ke laut. Selain itu, sungai-sungai kecil yang bermuara di pesisir barat maupun timur dapat direkayasa untuk jenis pengaturan aliran air ini.

Beberapa muara atau estuari di Aru dapat dibangun menjadi reservoir air tawar dengan teknologi bendungan muara atau *estuary dam*. Prinsip teknologi ini adalah pemisahan gravitasi antara air tawar dan air asin. Air sungai (air tawar) dari hulu ditangkap di muara, kemudian berangsur-angsur mengisi bagian atas kolom air. Air asin yang menempati kolom bagian bawah dilepas perlahan melalui pintu yang berada di bagian bawah bendungan. Air tawar semakin bertambah volumenya, sementara air tawar berangsur berkurang. Air tawar yang berada di kolom bagian atas dapat dialirkan ke tempat konsumen. Teknologi ini mengandalkan keadaan bagian hulu masih bersih bebas pencemaran.

## H. Perbandingan di antara teknologi yang ditawarkan

Beberapa teknologi yang diusulkan dalam upaya peningkatan ketersediaan air di Aru adalah pengembangan hasil penelitian di daerah lain, yaitu di Natuna, kota-kota pantai utara Jawa, serta beberapa pulau kecil lain (Hantoro dkk, 2017). Berdasarkan evaluasi terhadap kinerjanya serta kesesuaiannya untuk tempat tertentu, terdapat kelebihan dari teknologi-teknologi yang diusulkan, yaitu pemeratakan sebaran teknologi dalam skala kecil yang tidak memerlukan lahan luas, rendah biaya pembangunan dan pengelolaan, dan terjaga dari ancaman kerusakan akibat pencemaran limbah dan sedimentasi. Beberapa butir perbandingan di antara teknologi maupun dengan teknologi yang telah ada sebagaimana disampaikan pada bagian berikut ini.

**Tabel 4.1** Perbandingan Antara Teknologi Modul Sumur Optimalisasi dengan Sumur Bor Abstraksi Terpusat di Satu Titik

	Modul sumur optimalisasi 3-4 rumah	Sumur terpusat konsumen besar	Catatan sistim modul
1	Lahan optimal, tidak perlu luas	Perlu lahan luas kolam penampung	Sesuai dikembangkan di pantai berpasir
2	Terlindung dari limbah Tidak tergantung air resapan	Terpapar dari limbah permukaan Tergantung resapan permukaan	Kombinasi dengan reaktor limbah
3	Suntikan air hujan bersih	Resapan permukaan terpapar limbah	Perlu tangki injeksi air hujan
4	Pengembangan modul, murah teknologi sederhana	Instalasi besar, mahal, menara reservoir, jaringan distribusi	Pembiayaan mandiri, mudah dibuat, pelatihan singkat
5	Langsung dari sedimen tidak ada penguapan	Penguapan maksimal dari kolam	Fungsi aerasi pada model kombinasi
6	Volume air tergantung kualitas & tebal sedimen dan injeksi	Volume air maksimal di kolam penampung	Endapan pematang pantai berbutir halus
7	Konflik sosial rendah	Konflik sosial ketimpangan distribusi	Konflik lahan dan pemanfaatan
8	Kestabilan air terjaga	Air terkuras cepat, intrusi air asin	Dukungan data meteorologi
9	Keterlibatan luas, masyarakat dukungan perda	Keterlibatan terbatas masyarakat Inisiasi Pemda,	Kepedulian masyarakat tinggi, bimbingan cepat
10	Pompa kecil atau timba air tanpa jaringan rumit distribusi	Perlu menara reservoir dan pompa besar serta jaringan distribusi	Konsumsi terkendali biaya pengelolaan rendah
11	Perolehan maksimal air tawar	Air asin terkontaminasi air tawar	Pemisahan air tawar dan asin terjaga
12	Biaya pembuatan dan pengelolaan rendah terbagi	Biaya pembuatan dan pengelolaan tinggi	Biaya pemeliharaan rendah
13	Kemandirian biaya dan tanggung jawab kelompok masyarakat	Perlu pengelolaan terpusat dan rumit Tanggung jawab pengelola, biaya langganan pelayanan	Kepedulian dan tanggung jawab tinggi masyarakat

Sumber: Wahyoe S. Hantoro dkk. (2017)

Tabel tersebut memperlihatkan bahwa pengelolaan terpusat air tanah permukaan/dangkal di pulau kecil menyebabkan rusaknya keseimbangan dan keberadaan air tawar. Lapisan sedimen yang semula terisi air tawar segera berganti berisi air asin yang mengisi kekosongan akibat pemompaan cepat air tawarnya. Resapan air hujan berikutnya tidak dapat mengusir air asin yang sudah berada dalam pori sedimen. Cara pengambilan air tawar diusulkan dengan sistem paket skala kecil kapasitas untuk 4–5 rumah. Cara ini tidak sama dengan pengambilan cepat dan berlebih air tawar. Teknologi optimalisasi ini tidak meninggalkan kekosongan air tawar di titik pengumpulan karena air tawar mengisi drum penampung secara perlahan. Ketebalan lapisan air tawar di sekitar sumur pengumpul tidak berubah, atau dengan kata lain, ketinggian muka airnya tidak berubah. Ketebalan air tawar yang terjaga ini berarti tetap terisinya pori oleh air tawar yang mengalir dari sekeliling sumur. Keadaan ini menghindarkan terjadinya pengisian pori-pori kosong oleh air asin dari samping maupun dari bawah. Teknologi sumur optimalisasi ini dikemas sebagai sumur tertutup yang hanya mengalirkan air dari dinding berlubang di mana air tawar mengisi masuk. Keadaan ini menjadikan konstruksi sumur tidak akan rusak ketika tsunami menerjang dengan air asin berikut lumpur dan sedimen ke darat. Hal sama juga berlaku pada instalasi reaktor limbah keluarga.

Nilai lebih pengisian akuifer dengan injeksi air hujan tampungan adalah adanya kepastian bahwa akuifer yang selama ini hanya diambil airnya, terisi kembali dengan air bersih yang masih belum tercemar. Air segera mengalir ke arah lapisan akuifer yang rendah tekanannya, sehingga air juga dipakai oleh konsumen yang berada di sekitar titik injeksi. Pada resapan permukaan air hujan, air hanya mampu mencapai lapisan bagian dekat permukaan yang masih jauh dari lapisan akuifer. Pengisian alamiah akuifer terjadi jauh di hulu sehingga memerlukan waktu lama untuk mencapai titik di mana air dikonsumsi. Air hujan yang rendah kandungan mineralnya memperoleh tambahan mineral dari butiran sedimen lapisan akuifer. Cara penyimpanan di dalam akuifer melalui injeksi ini tidak memerlukan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

**Tabel 4.2** Perbandingan Antara Teknologi Injeksi Akuifer Air Tanah Dalam dengan Pengisian Melalui Resapan Permukaan.

	Injeksi akuifer dalam	Resapan permukaan	Catatan pada sistem injeksi
1	Lahan optimal, tidak perlu luas	Perlu lahan luas	Dapat dilakukan disemua lahan
2	Terlindung dari limbah, isian dari banyak titik injeksi	Terbuka dari limbah, isian dari sungai dan hujan	Dapat dilakukan di pulau, pengisian sebanding pemakaian
3	Tekanan hidrostatik	Resapan	Perlu tangki injeksi air hujan
4	Injeksi air tampungan hujan, bersih volume tergantung tangki pengumpul	Air permukaan-larian tercemar	Volume tergantung luasan penadah dan tampungan hujan
5	Tanpa penguapan	Penguapan maksimal, lolos resapan	Lolos aliran bawah tanah
6	Volume besar tergantung akuifer	Volume reservoir terbatas	Endapan vulkanik, kipas fluvial, pematang pantai, dll
7	Konflik sosial rendah	Konflik sosial tinggi	Konflik lahan dan pemanfaatan
8	Data geologi bawah permukaan	Data permukaan	Dukungan data meteorologi
9	Keterlibatan-cakupan luas, Dukungan perda	keterlibatan-cakupan terbatas Dukungan perda	Semua lapisan, perda IMB-industri,
10	Mengurangi air larian	Air larian tinggi	Kelebihan reservoir terbuang
11	Tanpa siltasi-sedimentasi	Siltasi-sedimentasi tinggi	Sedimentasi kurangi kapasitas
12	Pemeliharaan penadah dan penampung hujan	Pemeliharaan kebersihan lahan dan saluran air	Penguapan tinggi saat musim kering
13	Hanya untuk penyimpanan		Kelengkapan taman-lingkungan
14	Penelitian stratigrafi bawah permukaan dan pemboran	Penelitian evapotranspirasi, kendali sanitasi	Data dari setiap pemboran (coring dan logging)

Sumber: Wahyoe S. Hantoro dkk. (2017b)

lahan yang biasanya harus tersedia luas untuk membangun bendungan. Teknologi injeksi ini menjamin tepat sasaran ke arah mana air disimpan melalui pemilihan yang didasarkan atas kesesuaian lapisan mana yang memenuhi syarat sebagai akuifer. Injeksi terarah air hujan memerlukan kajian matang untuk mencapai efisiensi dan keamanan maksimal ketersediaan air tawar.

Teknologi akuifer buatan embung atau reservoir tertutup tidak memerlukan lahan luas sehingga sesuai untuk pulau kecil yang terbatas lahannya. Kelebihan lain, embung tertutup ini akuifer buatanya berupa timbunan sedimen yang sebagiannya masih dapat disisakan sebagai kolam dangkal, sementara sisanya dapat ditanami palawija yang tidak menyerap banyak air. Terbatasnya volume yang tersimpan dapat diimbangi dengan pembuatan banyak modul reservoir. Pem-

**Tabel 4.3** Perbandingan Antara Teknologi Reservoir Tertutup (Akuifer Permukaan Buatan) dengan Reservoir Terbuka

	Reservoir Tertutup akuifer dangkal buatan	Reservoir Terbuka	Catatan
1	Lahan optimal, keperluan lain terfasilitasi, urban dan rural	Perlu lahan luas, mengurangi kapasitas lahan, rural	Dapat dilakukan disemua lahan landai maupun lereng
2	Terlindung dari limbah	Terbuka dari limbah	limbah kuat di perkotaan
3	Air hujan dan larian terkendali	Air larian terkendali	Termineralisasi di akuifer
4	Penguapan minimal Geotekstil penahan lolos air	Penguapan maksimal, lolos air resapan	Fungsi aerasi penjaga kelembaban
5	Volume simpan terbatas, tergantung volume reservoir (tebal-luas-kualitas sedimen)	Volume reservoir terbatas ketersediaan lahan	Endapan vulkanik, kipas fluviatil, pematang pantai, dll
6	Konflik sosial rendah	Konflik sosial tinggi	Konflik lahan dan pemanfaatan
7	Tanpa Siltasi-sedimentasi	Siltasi-sedimentasi tinggi	Sedimentasi kurangi kapasitas
8	Data geologi, permukaan, tutupan lahan	Data geologi, permukaan, tutupan lahan, tata ruang	Dukungan data meteorologi
9	Skala kecil, langsung masyarakat, Perda	Skala luas, skala proyek besar, Dukungan pusat	Semua lapisan, Perda IMB-industri,
10	Hindari tanaman besar kurangi evapotranspirasi	Tanaman besar dipinggir kolam	Semua lapisan, Perda IMB-industri,
11	Volume simpanan tergantung cekungan dan sedimen	Volume simpanan tergantung reservoir dan evapotranspirasi	Terbuka, penguapan tinggi saat musim kering
12	Penyimpanan dan mineralisasi	Budidaya, wisata, cekungan limbah	Kelengkapan taman-lingkungan

buatan embung tertutup ini juga harus memperhitungkan kestabilan lahan dari longsor, terutama di lereng yang curam.

Teknologi reservoir tertutup memiliki keunggulan karena terjaganya air tersimpan dari limbah di dalam ruang antarbutir akuifer buatan. Teknologi ini juga mampu melindungi persediaan air dari kerusakan ketika tercapai oleh gelombang tsunami. Pada reservoir terbuka yang tidak terlindung, air asin dan bahkan sedimen yang terbawa tsunami dapat mengisi, menimbun, dan merusak reservoir.

Teknologi reservoir tertutup dapat dibuat pada ukuran kecil (50 x 75 x 8 m) dalam bentuk modul yang saling terhubung. Kapasitas simpan tergantung dari kelulusan dan kesarangan timbunan sedimen pembentuk akuifer dari sebatas pada 15–20% volume reservoir. Bila keperluan meningkat, dapat dibangun modul baru. Permukaan reservoir tertutup dapat dimanfaatkan sebagai lahan budi daya tanaman palawija atau tumpangsari dengan kolam ikan. Air yang diisikan ke

**Tabel 4.4** Perbandingan Antara Teknologi Reservoir Tertutup (Akuifer Permukaan Buatan) dengan Reservoir Terbuka Resapan Permukaan.

	Reservoir Tertutup Injeksi akuifer	Reservoir Terbuka Resapan	Catatan reservoir tertutup dan injeksi
1	Lahan optimal, tidak perlu luas	Perlu lahan luas	Hemat lahan
2	Terlindung dari limbah	Terbuka dari limbah	Aman di pesisir/ pulau kecil
3	Tekanan hidrostatik	Resapan, gravitasi	Perlu tangki injeksi air hujan
4	Air hujan bersih	Air larian tercemar	Termineralisasi di akuifer
5	Penguapan minimal	Penguapan maksimal	Fungsi aerasi pada model kombinasi
6	Volume tergantung akuifer	Volume besar Resapan semakin terbatas	Endapan vulkanik, kipas fluvial, pematang pantai, dll
7	Konflik sosial rendah	Konflik sosial tinggi	Konflik lahan dan pemanfaatan
8	Data geologi bawah permukaan	Data permukaan	Dukungan data meteorologi
9	Keterlibatan-cakupan luas, Dukungan perda	keterlibatan-cakupan terbatas Dukungan perda	Semua lapisan, perda IMB- industri,
10	Mengurangi air larian	Air larian tinggi	Kelebihan reservoir terbuang
11	Tanpa siltasi-sedimentasi	Siltasi-sedimentasi tinggi	Sedimentasi kurangi kapasitas
12	Volume simpanan tergantung injeksi dan kesarangan akuifer	Volume simpanan tergantung reservoir dan evapotranspirasi	Akuifer buatan dengan sedimen kasar
13	Hanya untuk penyimpanan	Budidaya, wisata, cekungan limbah	Lahan bebas permukaan reservoir
14	Penelitian stratigrafi bawah permukaan dan pemoran	Penelitian evapotranspirasi, kendali sanitasi	Data dari setiap pemoran (coring dan logging)

Sumber: Wahyoe S. Hantoro dkk. (2017)

dalam reservoir sebaiknya air yang rendah suspensinya agar tidak mengotori pori-pori.

Bila tersedia lahan bergelombang, bangunan dibuat di bagian relatif tinggi dari letak konsumen memakai air. Pengaliran air dengan gaya berat mengurangi biaya pengelolaan teknologi berikut jaringan distribusi air. Biaya pembangunan teknologi ini dapat diajukan melalui skema dana pembangunan desa.

Semua teknologi penyimpanan air pada skala apa pun, pembangunannya memerlukan persiapan melalui kajian guna menjamin pencapaian manfaat semaksimal mungkin serta keamanan bangunannya. Secara umum, teknologi yang diusulkan merupakan terobosan

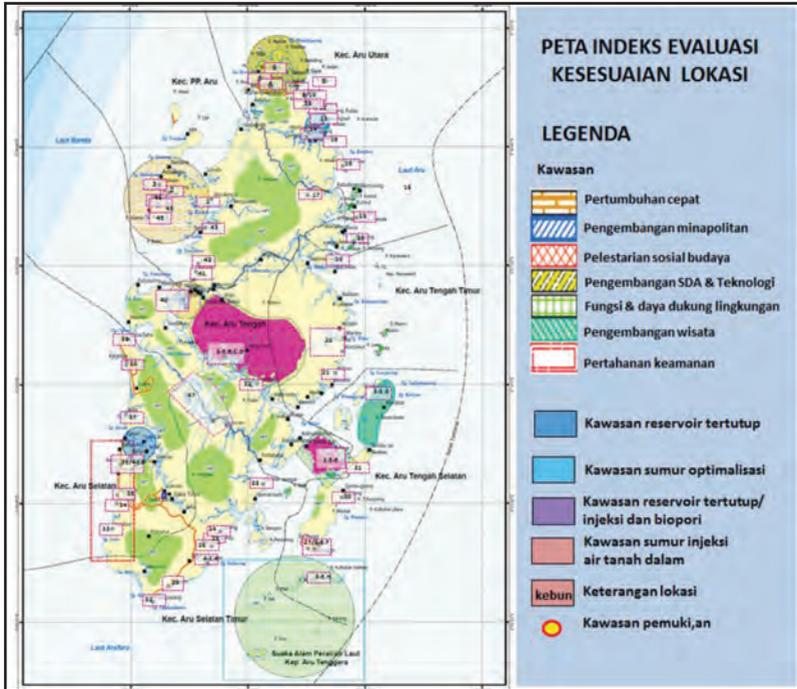
untuk mengatasi beberapa hal yang menjadi kelemahan atau kendala pembangunannya. Teknologi reservoir tertutup dan penyimpanan melalui injeksi ke dalam akuifer dirancang tanpa memerlukan lahan luas. Teknologi tersebut dibangun berdasarkan modul keperluan yang dapat disesuaikan dengan permintaan dan kapasitas simpannya.

Namun, biaya mahal pembuatan sarana tersebut ada pada pembuatan sumur bor dan penyediaan pelapis kedap air (*geotextile*). Ketahanan teknologi ini, sebagaimana telah disinggung pada bagian sebelumnya, adalah terlindungnya badan air dari terjangan air asin dan muatan sedimennya ketika tsunami melanda daratan. Reservoir tertutup dapat diaktifkan layaknya menggali sumur terbuka. Sumur bor air tanah dalam dapat diaktifkan kembali untuk memompa air dari akuifer yang tidak tercemar air limpasan tsunami.

Mengingat kerentanan tinggi Aru terhadap tsunami, teknologi yang ditawarkan menjadi jalan keluar mitigasi dan adaptasi menghadapi ancaman bahaya dari segala kejadian yang merusak ketersediaan air tawar. Teknologi juga menjaga dengan aman simpanan air tawar ketika terjadi bencana; apakah rusaknya pesisir oleh genangan air asin atau oleh kekeringan atau banjir dampak cuaca ekstrem.

### **I. Lokasi kesesuaian penerapan teknologi yang ditawarkan**

Berdasarkan kajian terhadap beberapa hal (keadaan, daya dukung, tingkat keperluan sekarang, dan perspektif pengembangan kawasan), dilakukan evaluasi terhadap beberapa tempat yang dipilih. Tempat-tempat tersebut dianggap mewakili alasan penerapan teknologi peningkatan ketersediaan dan penguatan ketahanan lingkungan melalui pendekatan adaptasi dan mitigasi terhadap kejadian ekstrem alamiah maupun antroposen (kegiatan manusia). Evaluasi dan pembahasan disampaikan dengan acuan peta citra satelit dan hasil analisis kesesuaian. Pemerian singkapan batuan tiap tempat diperlukan untuk menentukan bentang alam maupun jenis batuan yang sesuai dalam membangun embung maupun keperluan penyimpanan ke dalam akuifer melalui injeksi.



sumber: Bappeda Kab. Kepulauan Aru (2011)

**Gambar 4.38** Peta Indeks Pembahasan Lokasi Terpilih untuk Percontohan Pengembangan Teknologi

Beberapa tempat tersebut terletak di pesisir maupun di pedalaman serta di pulau-pulau kecil yang dirancang sebagai daerah pengembangan kawasan strategis (Gambar 4.38). Analisis singkat dilakukan untuk mengenali jenis dan sebaran lahan, misalnya, hutan, kebun, semak, mangrove, dan terumbu karang di beberapa tempat yang memiliki permukiman (desa). Bila skala dan resolusi citranya memungkinkan, dipisahkan antara hutan primer dan sekunder atau antara rawa dan mangrove pasang surut.

Perspektif pengelolaan kawasan juga disampaikan, yakni sebagai lingkungan yang memiliki kemampuan meningkatkan ketahanan neraca dan daur hidrologi. Hal ini didasarkan pada tersedianya kualitas

lahan yang sehat yang tutupan lahannya berperan sebagai interseptor hujan maupun penghasil solum atau lapukan tanah.

Beberapa lokasi dibahas hanya pada luasan tertentu dan pada skala yang sesuai dengan keperluan analisis agar dapat menampilkan unsur atau parameter yang diamati. Morfologi dan kelurusan struktur dapat diamati dengan jelas sehingga rona lahan yang memiliki alur lembah atau perbukitan landai dapat dikenali dan kemudian dikelompokkan berdasarkan kriteria morfologinya.

Sebagian besar lokasi yang dikemukakan sebagai model berada di pantai karena kawasan ini pada umumnya menghadapi masalah ketersediaan air. Beberapa lokasi ditampilkan dengan luasan yang meliputi daratan dan sebagian perairan mengingat lokasi tersebut berpotensi menjadi taman nasional terpadu darat dan perairan. Beberapa lokasi lainnya merupakan contoh kawasan pedalaman yang memerlukan persediaan air lebih banyak dan teratur jika dikelola sebagai taman nasional atau eko sains teknopark.

Masing-masing lokasi dapat diketahui nilai kesesuaiannya dari hasil analisis yang telah dilakukan dari nilai yang tinggi (seperti di bagian selatan Aru serta beberapa lokasi kawasan strategis pengembangan) hingga yang nilainya rendah (seperti bagian utara Aru yang kesesuaiannya rendah untuk pengembangan injeksi air ke dalam akuifer dalam dan pembuatan reservoir).

Dobo dan Pulau Womar perkembangan dan pembangunan kotanya pesat karena tingginya pertumbuhan kepadatan penduduknya. Daerah ini mengundang perhatian khusus terkait dengan kerentanan masalah keamanan dan kesehatan lingkungan. Tinjauan terkait penanganan masalah tersebut dilakukan dengan pendekatan pemulihan dan perlindungan lingkungan.

## **J. Tinjauan terhadap beberapa tempat**

Penjelasan lebih rinci dilakukan terhadap beberapa lokasi mengenai kondisi kesesuaiannya untuk penerapan teknologi penguatan ketersediaan air berikut upaya pemulihan lingkungan agar ketersediaan air secara alamiah menjadi lebih baik.

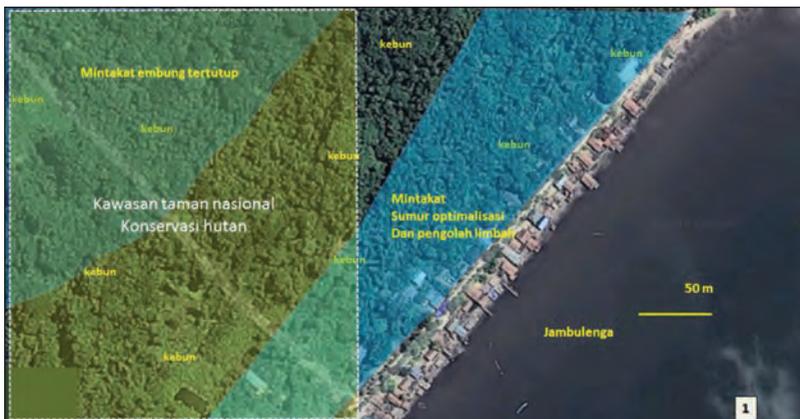
## 1. Desa Jambulenga, Kecamatan PP Aru

Desa ini terdiri kumpulan rumah panggung dan rumah di atas tanah yang dibuat di pantai pesisir barat Aru.

Tempat ini dibangun di atas pantai yang permukaannya berupa endapan dari sedimen muara berbutir halus. Sedimen pasir halus berselingan dengan lempung membentuk lapisan yang tidak cukup menerima dan menyimpan resapan air tawar. Air tanah dangkal masih dapat diperoleh, tetapi tidak akan dapat memenuhi keperluan air tawar keluarga. Peningkatan ketersediaan air tawar dapat dilakukan dengan membuat sumur air tanah dalam dengan pemakaian terbatas dan dengan membuat reservoir tertutup di hulu.

Limbah keluarga dari permukiman ini yang dilepas ke laut akan menyebar diangkut arus pasang surut ke arah teluk maupun perairan lepas. Perairan depan permukiman juga menerima limbah yang terbawa arus dari Dobo.

Adaptasi dan mitigasi terhadap gelombang tsunami dilakukan dengan menyediakan jalur evakuasi jauh masuk ke pedalaman serta membangun bangunan penyelamatan dengan ketinggian > 15 meter. Tsunami dapat membawa material lumpur dan pasir dari perairan



Sumber: Google (2018)

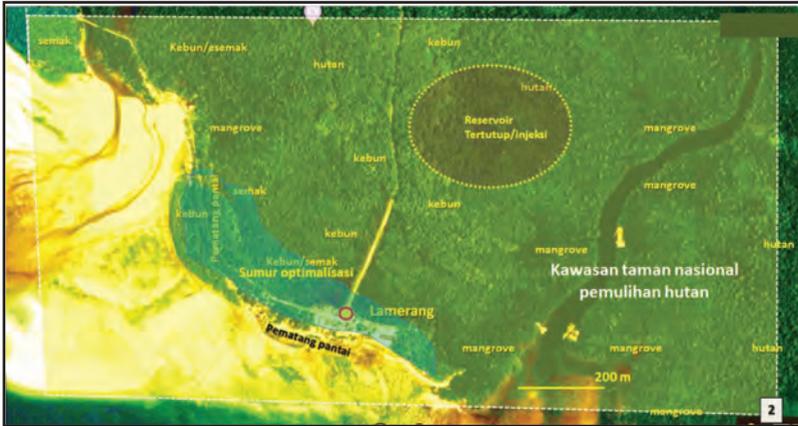
**Gambar 4.39** Citra satelit Desa Jambulenga di Kecamatan PP Aru

dangkal sekitar Jambulenga. Lumpur dan muatan tsunami, selain menghancurkan bangunan, dapat juga merusak sumur terbuka. Teknologi yang ditawarkan menjadi jalan keluar perlindungan terhadap ketersediaan air. Jambulenga dan Lamerang diusulkan memiliki kebun raya dan Eko Sains Teknopark. Permukiman-permukiman tersebut, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 16 hingga 20 (Gambar 4.27).

## **2. Lamerang, Kecamatan PP Aru**

Desa Lamerang terletak di pantai pesisir Aru bagian barat dan menghadap ke arah selatan, berseberangan dengan Kota Dobo. Permukiman di sana berjajar di pinggir pantai di atas endapan pematang pasir pantai. Air tawar dapat diperoleh dari sumur optimalisasi pantai. Penyimpanan air dilakukan dengan membangun reservoir atau embung tertutup. Sanitasi diperbaiki dengan pembangunan reaktor limbah. Limbah domestik maupun industri yang dilepas ke laut terangkut menyebar ke Selat Wamar dan perairan sekitar Dobo. Pemakaian air tanah dalam merupakan pilihan paling akhir dengan sumur bor di lapisan pasir cangkang gampingan Formasi Manumbai.

Pesisir ini sangat rentan terhadap ancaman tsunami dari Laut Banda. Jalur evakuasi harus tersedia serta bangunan pengungsian dengan ketinggian > 15 meter. Tsunami dari arah Laut Banda ketika mencapai permukiman ini akan mengangkut sedimen pasir sebagai bahan yang teraduk dan menjadi masa yang menimbun reservoir air terbuka yang ada, tetapi reservoir tertutup dari teknologi yang ditawarkan tetap terjaga air tawarnya. Lamerang bersama dengan Jambulenga diusulkan memiliki taman nasional kebun raya yang diisi dengan program eko sains teknopark. Berdasarkan analisis kesesuaian, permukiman Lamerang dan sekitarnya memiliki nilai 20 (Gambar 4.27).



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.40** Citra Satelit Desa Lamerang di Kecamatan PP Aru

### 3. Wokam, Kecamatan PP Aru

Permukiman di sana dibangun di atas endapan pematang pantai dari sedimen pasir gampingan berbutir sedang hingga kasar. Air tawar dapat diperoleh dari sumur pantai yang harus dibangun dengan teknologi optimalisasi. Sumur yang telah ada dikurangi beban pemakaiannya dengan membangun sumur optimalisasi di titik yang memiliki endapan pasir atau solum tebal dan berbutir halus.

Penguatan ketersediaan air dapat dilakukan dengan membangun beberapa embung tertutup di luar desa dengan ukuran 40 x 50 meter. Air dapat dikumpulkan dari atap rumah-rumah penduduk. Pengambilan dan penyebaran air harus dilakukan dengan pompa yang digerakkan tenaga listrik tenaga matahari.

Pemakaian air tanah dalam masih dapat dilakukan secara terkendali dengan selalu menyimpan ulang air dari air hujan yang dikumpulkan dengan cara yang sama pada penyimpanan pada embung tertutup.

Terumbu karang di laut depan permukiman ini harus dipulihkan dan dilindungi karena diperlukan untuk melindungi pantai. Abrasi yang terjadi disebabkan oleh gelombang yang tidak lagi tertahan oleh



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.41** Citra Satelit Desa Wokam di Kecamatan PP Aru

terumbu yang rusak, sementara pantai tidak lagi mendapat asupan sedimen dari pecahan terumbu yang telah mati.

Desa ini sangat rentan terhadap tsunami dari Laut Banda. Oleh karena itu, harus segera disediakan sarana jalur evakuasi dan bangunan pengungsian yang tingginya > 15 meter. Sebagai pesisir landai, jalur evakuasi perlu lebar dan panjang hingga ke tengah daratan di tempat yang masih memerlukan pembuatan bangunan perlindungan. Embung tertutup dapat menjadi pelindung persediaan air tawar yang sangat diperlukan pada masa tanggap darurat dan pemulihan. Permukiman Wokam dan sekitarnya, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 20 (Gambar 4.27).

#### **4. Wahayum, Kecamatan Aru Utara**

Permukimannya dibangun di atas hamparan pasir tipis pematang pantai yang terbentuk di atas singkapan batuan gamping kalkarenit dan cangkang dari Formasi Manumbai. Kelulusan dan kesarangan batuan formasi ini memungkinkan menemukan air tawar melalui pembuatan sumur dangkal.

Pemakaian air tanah dalam masih mungkin dilakukan, tetapi memerlukan biaya lebih besar untuk membuat sumur dan instalasi

pompa yang hanya mengandalkan listrik kapasitas besar. Sebagai kawasan strategis pengembangan dan usulan untuk eko sains teknopark, pengembangan dan penerapan teknologi penyimpanan air menjadi kegiatan awal bagi Desa Wahayum. Penguatan ketersediaan air dapat dilakukan dengan membangun beberapa embung tertutup yang mengandalkan pengisian dari alur kecil sungai yang dari hutan di sekitar desa. Alur pengisian harus terbebas dari aliran yang tercemar limbah. Permukiman ini masih dapat terjangkau tsunami yang masuk ke selat dan kemungkinan gelombangnya menjadi semakin menguat. Daerah ini sangat memerlukan jalur evakuasi dan banyak bangunan penyelamat dengan ketinggian > 10 meter karena daerahnya datar. Gelombang dapat melaju tanpa hambatan karena hutan telah menipis. Gelombang juga tidak tertahan lagi oleh terumbu karang yang telah rusak. Pemulihan dan perlindungan terumbu karang mendesak untuk dilakukan. Fungsi sebagai pemasok sedimen dan pelindung pantai sangat diperlukan di samping bernilai sebagai unsur keindahan perairan bagi wisata. Permukiman di Wahayum dan sekitarnya, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 13 (Gambar 4.27).



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.42** Citra Satelit Desa Wahayum di Kecamatan Aru Utara

## 5. Warilau, Kecamatan Aru Utara

Permukiman di Desa Warilau dibangun di atas satuan batu gamping cangkang berongga yang memiliki kelulusan dan kesarangan cukup tinggi. Air laut mengisi ruang antarbutir sehingga tidak dapat menerima lagi pengisian air tawar dari resapan air hujan. Sumur gali harus dibuat di titik yang agak jauh dari pantai.

Terbatasnya penyebaran dan tipisnya sedimen pantai menjadi kendala untuk membangun sumur optimalisasi di desa ini. Oleh karena itu, penyimpanan air dapat dilakukan dengan membangun embung tertutup di bagian singkapan batuan gamping yang membentuk permukaan cekung. Air dapat diperoleh dari aliran permukaan yang berasal dari hutan, kemudian dialirkan melalui pipa karena paritan yang ada sangat lolos air.

Pemakaian sumur tanah dalam masih dapat diupayakan, tetapi tenaga listrik yang diperlukan sulit dipenuhi di permukiman ini. Listrik tenaga surya diutamakan untuk penerangan dan pompa air skala kecil.

Karena terletak di selat, perairan di sekitar desa ini terlindung dari gelombang besar, tetapi terjaga bersih oleh arus pasang surut. Keadaan ini menguntungkan bagi terjaganya terumbu karang yang



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.43** Citra Satelit Desa Warilau di Kecamatan Aru Utara.

berpotensi sebagai pendukung kekayaan biota laut yang memberi nilai ekonomi. Berdasarkan analisis kesesuaian, permukiman di Desa Wariatau dan sekitarnya memiliki nilai 16 (Gambar 4.27).

## 6. Wahangulangula, Kecamatan Aru Utara

Permukiman pantai dibangun di atas satuan batu gamping coccuina (cangkang), berongga, berkelulusan, dan butir antarpori yang memungkinkan air asin meresap ke dalam hingga jarak lebih dari 50 meter. Pembuatan sumur optimalisasi tidak mencapai manfaat maksimum karena air tawar tidak terpisah dengan baik pada satuan berkesarangan tinggi ini.

Karena terletak di suatu daratan sempit, peluang kawasan ini untuk membangun reservoir juga terhambat oleh terbatasnya daerah tangkapan hujan untuk menampung dan mengisi air hujan. Reservoir dapat dibangun asalkan dibuat alur pengisian air dari tangkapan hujan dari daerah tangkapan hujan di selatan permukiman ini.

Reaktor pengolah limbah harus dibuat dengan tangki yang kedap agar cairan tidak lolos ke batuan yang memiliki kelulusan tinggi. Air buangan diteruskan dengan pipa hingga masuk ke lapisan air asin untuk mematikan bakteri. Sebagai permukiman di dalam teluk,



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.44** Citra satelit Desa Wahangulangula di Kecamatan Aru Utara.

pengelolaan limbah kawasan ini harus dilakukan dengan cermat untuk menghindari terperangkapnya limbah padat di dalam teluk. Hasil analisis kesesuaian untuk permukiman di Wahangulangula dan sekitarnya menunjukkan nilai 11 (Gambar 4.27).

## **7. Kaibolafin, Kecamatan Aru Utara**

Desa Kaibolafin terletak Kecamatan Aru Utara atau bagian paling ujung utara Pulau Aru. Permukiman di sana dibangun di atas singkapan batuan gamping cangkang di tepi alur kanal yang sebenarnya selat pemisah dua daratan.

Masyarakat permukiman desa tepi kanal atau estuari ini dapat memperoleh air dengan menggali sumur yang agak jauh dari tepi kanal karena air payau masih dapat menerobos pori batuan gamping cangkang. Injeksi air hujan tampungan dari atap dapat dilakukan di sekitar sumur sebagai cara meningkatkan persediaan air di dalam tanah permukaan. Reaktor limbah keluarga dibuat dengan tangki yang tidak lolos air karena rongga antarbutiran sedimen meloloskan air limbah yang dapat mencemari air tawar.

Embung tertutup merupakan alternatif pilihan untuk menyimpan air agar dapat memenuhi keperluan air bila terjadi kekeringan panjang. Tempat pembuatan reservoir dipilih di bagian yang memiliki lereng dari suatu lembah untuk memudahkan membangun tanggul depan reservoir. Pengisian air ke dalam cekungan dilakukan melalui alur lembah paritan yang masih memiliki tutupan semak atau hutan. Morfologi semi karst memberi peluang menemukan bagian seperti cekungan yang dapat dikembangkan sebagai reservoir tertutup. Teknologi penyimpanan ke dalam akuifer menjadi alternatif membangun ketersediaan air, tetapi masih memerlukan penelitian lapisan sedimen akuifernya.

Pengelolaan limbah cair maupun padat harus dilakukan dengan cermat untuk menghindari limbah terperangkap dan tertimbunnya limbah di dalam selat atau teluk yang berakibat hancurnya ekosistem perairan. Permukiman Kaibolafin ini dan sekitarnya, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 11 (Gambar 4.27).



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.45** Citra Satelit Desa Kaibolafin di Kecamatan Aru Utara.

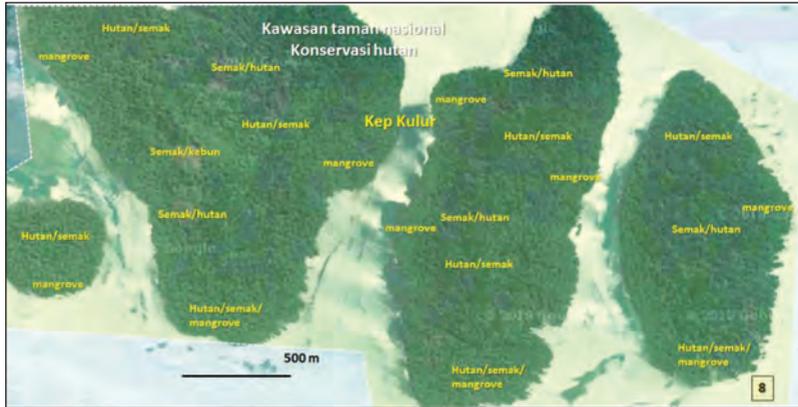
## 8. Kepulauan Kulur, Kecamatan Aru Utara

Gugusan Kepulauan Kulur sebagian besar masih memiliki tutupan hutan yang tumbuh di singkapan batuan gamping cangkang. Kersarangan pada satuan batuan ini memungkinkan serapan air hujan tersimpan sehingga dapat diperoleh kembali dengan pembuatan sumur dangkal.

Gugus pulau ini dapat mewakili ekosistem pulau kecil di perairan timur bagian utara Kepulauan Aru. Tumbuhan yang membentuk hutan di pulau ini mewakili flora ekosistem tropis semi karst dataran rendah dari singkapan batuan gampingan Formasi Manumbai.

Kerapatan hutan bila masih dapat dipertahankan dan layak menjadi cagar biosfer tumbuhan tropis kawasan sekitar Laut Arafura. Beberapa gugus pulau lain di sekeliling Aru status tutupan lahannya masih memiliki hutan yang seharusnya ditetapkan sebagai cagar biosfer.

Gugus kepulauan ini diusulkan sebagai kawasan perlindungan biosfer yang mencakup daratan dan perairan. Disediakan beberapa bagian di pulau paling besar di sisi paling dekat dengan pulau utama sebagai taman nasional dengan kelengkapan suatu eko sains teknopark



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.46** Citra Satelit Kepulauan Kulur di Kecamatan Aru Utara

yang memberi manfaat langsung bagi masyarakat di sekitarnya. Berdasarkan analisis kesesuaian, gugusan Kepulauan Kulur memiliki nilai 13 (Gambar 4.27).

## 9. Kolamar Utara, Kecamatan Aru Utara

Permukiman di Kolamar Utara berstatus pusat pelayanan kawasan utara Aru dan terletak di suatu teluk terlindung dari agitasi gelombang. Permukimannya dibangun di atas batu gamping formasi Manumbai yang memiliki pori yang sebagian di antaranya terbentuk dari pelarutan. Air tawar masih dapat diperoleh dari sumur yang dibuat di batuan ini, tetapi harus berjarak cukup jauh dari pantai agar terhindar intrusi air laut.

Sebagaimana permukiman pantai lain, sumur air tawar menjadi andalan sumber air bersih di Kolamar Utara. Sumur hanya ada pada titik tertentu di mana terdapat alur air tawar bawah tanah melalui rongga yang menjadi kelulusan mengalirnya air tawar dari bagian tengah pulau yang menerima resapan air hujan. Embung tertutup atau akuifer permukaan buatan merupakan pilihan yang dapat dibangun dengan memanfaatkan alur atau cekungan yang lazim ditemukan di bentang alam semi karst. Pemulihan lahan kembali menjadi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

tutupan hutan akan mempercepat pembentukan solum yang akan menjadi penyerap air permukaan yang akan dilepas pada mata air di sekitar lereng perbukitan landai. Tanaman jenis lamtoro (*Leucaena leucocephala*) diperbanyak untuk pakan ternak, dan kotoran ternak dimanfaatkan sebagai pupuk organik pada pemulihan semak menjadi kebun palawija.

Bentang ini dapat jelas tergambar pada citra di sebelah timur dari Kolamar berupa tutupan hutan di daerah karst dan hutan lahan basah atau mangrove yang memberi rona yang gambaran beda tutupan hutan basah dan hutan tropis kering. Keadaan hutan yang masih terjaga tersebut dapat menjadi pertimbangan untuk kawasan ini diusulkan menjadi kebun raya hutan tropis dan basah pulau kecil.

Permukiman Kolamar bagian utara dan sekitarnya memiliki nilai 11 hingga 13 berdasarkan analisis kesesuaian (Gambar 4.27). Rendahnya nilai tersebut terjadi karena pengaruh keadaan lingkungannya dan urutan prioritas serta pertimbangan pemilihan teknologi injeksi yang kurang sesuai (teknologi penyimpanan air ke dalam akuifer dangkal buatan dalam embung tertutup lebih didahulukan).



Sumber: Google (2018)

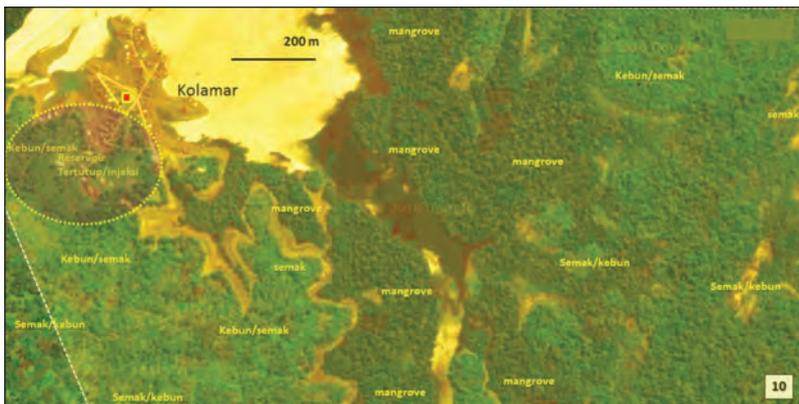
**Gambar 4.47** Citra Satelit Lingkungan (Utara) di Sekitar Kolamar, Kecamatan Aru Utara

Buku ini tidak diperjualbelikan.

## 10. Kolamar Selatan, Kecamatan Aru Utara

Citra lingkungan Kolamar bagian selatan memberi kelengkapan gambaran suatu kawasan semi karst dengan tutupan tumbuhan yang sebagian masih memperlihatkan keutuhan suatu ekosistem hutan kawasan karst dan mangrove. Bentang alam dengan ceruk tersebut dapat menjadi pilihan membangun reservoir tertutup. Namun, teknologi ini masih memerlukan kelengkapan alur dari mana air akan mengisi reservoir. Alur pengisian sebaiknya memakai pipa dan bukan paritan terbuka. Selain sulit menggali paritan, di batuan ini sering terdapat cerukan rongga yang meloloskan aliran air ke arah yang tidak dapat dikumpulkan kembali.

Bentang alam yang terbentuk di satuan batu gamping cangkang ini membentuk cerukan pelarutan yang dapat menghasilkan aliran bawah tanah. Bila alur ini terhubung dengan laut, alur sungai bawah tanah terisi air asin atau payau. Pada keadaan demikian, sedikit peluang untuk membuat sumur dalam di daerah ini bila masih mencapai lapisan Formasi Manumbai ini. Sumur dapat dibuat bila menemukan batuan Formasi Koba yang memiliki lapisan gamping berongga dan sisan pasir. Perlu pengukuran tahanan jenis dan pemboran uji



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.48** Citra Satelit Lingkungan (Selatan) di Sekitar Kolamar, Kecamatan Aru Utara

Buku ini tidak diperjualbelikan.

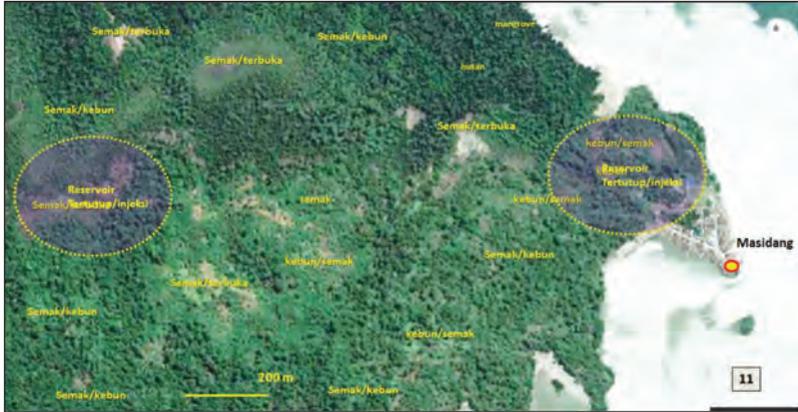
guna mempelajari lebih jauh stratigrafi Kepulauan Aru. Data yang diperoleh sangat diperlukan sebagai data dasar guna merencanakan kegiatan berikutnya.

Pengelolaan limbah domestik dan kota harus dilakukan dengan cermat. Letak permukiman di dalam teluk menjadikan arus pasang surut dapat menahan limbah menumpuk dan mengendap di dasar laut sehingga mematikan biota dan merusak ekosistem. Permukiman Kolamar bagian selatan dan sekitarnya memiliki nilai 13 analisis kesesuaian (Gambar 4.27).

### **11. Masidang, Kecamatan Aru Utara**

Permukiman pantai di Masidang menghadap perairan lepas yang rawan terhadap gelombang kuat perairan Laut Arafura. Masidang menempati bentang alam bergelombang semi karst dari batuan karbonat gamping cangkang. Rongga batuan menyebabkan sumur pantai terintrusi air laut. Resapan air hujan tidak dapat membentuk lapisan air tawar. Cara terbaik adalah membuat reservoir tertutup di bagian berupa cekungan di sekitar dan di bagian belakang dari permukiman.

Permukiman juga memerlukan reaktor pengolah limbah cair keluarga, sementara limbah padat harus dikelola agar tidak lepas di perairan. Terlepasnya limbah cair ke dalam tanah akan mencemari hingga dalam batuan—mungkin di beberapa tempat yang jauh dari pantai yang masih terisi air tawar. Tutupan lahan yang rusak menjadi semak dan lahan terbuka harus segera dipulihkan dengan hutan tanaman industri, seperti jati, yang sesuai untuk daerah berbatuan karbonat. Tanaman lamtoro (*Leucaena leucocephala*) dapat diperbanyak untuk pakan ternak dan menambah unsur nitrogen pada lahan. Kerapatan tumbuhan membantu intersepsi air hujan sehingga meningkatkan resapan air ke dalam tanah atau terkumpul di dalam akuifer buatan embung tertutup. Permukiman Masidang dan sekitarnya, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 13 (Gambar 4.27).



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.49** Citra Satelit Lingkungan Semi Karst di Sekitar Desa Masidang, Kecamatan Aru Utara

## 12. Selmona, Kecamatan Aru Utara

Permukiman pantai di sana menghadap perairan lepas sehingga memandang kerentanan tinggi terhadap ancaman gelombang saat cuaca ekstrem. Permukiman juga menempati singkapan batuan Formasi Manumbai dari gamping cangkang yang memiliki kesarangan untuk menerima resapan air hujan namun meloloskannya ke laut. Sebaliknya, air laut saat pasang tinggi masuk mengisi rongga dalam batuan yang terbuka di dekat pantai. Keadaan demikian tidak memungkinkan sumur dibuat di dekat pantai. Sumur harus berjarak cukup jauh dari pantai. Pengambilan air tidak dapat dilakukan terus-menerus karena akan menyebabkan kekosongan rongga yang akan diisi air laut yang menerobos saat muka laut tinggi.

Peningkatan ketersediaan air tawar dapat dilakukan dengan membuat akuifer buatan berupa embung tertutup di cekungan di antara bukit rendah dari bentang alam semi karst. Tutupan lahan rusak sebagai semak harus dipulihkan dengan tanaman hutan produksi, seperti jati, yang sesuai dengan batuan karbonatan. Tumpangsari dapat dilakukan dengan tanaman palawija untuk sumber bahan pangan. Air sungai di belakang permukiman tersedia saat musim hujan, tetapi

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.50** Citra Satelit Lingkungan Semi Karst di Sekitar Selmona, Kecamatan Aru Utara

kering saat musim kemarau. Air akan tetap tersedia di alur ini bila bagian hulu masih terjaga hutannya. Pintu air dapat dibuat untuk memperoleh air pengisi embung tertutup.

Usulan pembangunan kebun raya dan eko sains teknopark serta status permukiman ini sebagai bagian dari kawasan strategis pengembangan wilayah, membuat kawasan ini perlu penguatan dalam hal ketersediaan air. Sarana umum, terutama transportasi laut, pun memerlukan pembangunan pelabuhan di bagian terlindung di dekat muara.

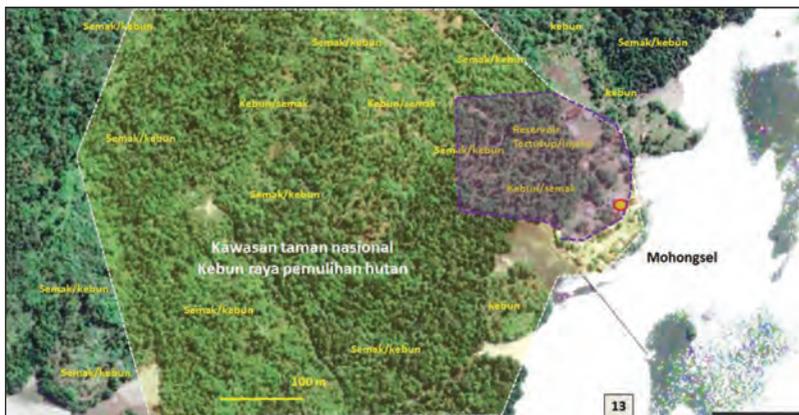
Permukiman harus dilengkapi dengan reaktor pengolah limbah cair keluarga sebelum di lepas ke dalam lapisan berisi air asin untuk membunuh bakteri. Limbah padat harus dikelola dengan baik agar tidak terlepas ke perairan. Permukiman Selmona bagian utara dan sekitarnya memiliki nilai 13 dalam analisis kesesuaian (Gambar 4.27).

### 13. Mohongsel, Kecamatan Aru Utara

Permukiman di desa ini juga dibangun di atas batuan Formasi Manumbai batu gamping cangkang yang memiliki kesarangan dan kelulusan pada rongga kibat pelarutan. Bentang alam di bagian ini

tidak memberi peluang terbentuknya aliran permukaan. Batuan tidak menghasilkan solum cukup tebal untuk menyimpan air permukaan. Bagian belakang permukiman merupakan lahan semi karst dengan tumbuhan sisa hutan tropis yang telah menjadi semak. Paritan yang terbentuk akibat sesar dan pelarutan dapat menjadi ruang untuk membangun akuifer buatan embung tertutup. Sumur terbuka masih mungkin dibuat di bagian yang batuanya menahan dan menyimpan air resapan, tetapi harus jauh dari tepi pantai agar terhindar dari terobosan air laut.

Teknologi lain yang dapat diterapkan di kawasan ini adalah pembuatan biopori berukuran kecil dalam jumlah banyak sepanjang tersedia air larian yang belum tercemar limbah saat musim hujan. Resapan terbuka juga dapat diusulkan dan sekaligus menjadi galian persiapan tanaman pohon besar, seperti pohon sukun (*Artocarpus altilis*), yang nantinya memberi perakaran rapat dan meluas. Perakaran seperti ini akan membantu percepatan pembentukan solum, tetapi juga meningkatkan intersepsi air hujan. Lapisan sedimen batu gamping cangkang yang memiliki kesarangan ini dapat meneruskan air resapan ke segala air. Lolosnya air ke laut dapat ditahan dengan perakaran tanaman tepi laut.



Sumber: Google (2018).

**Gambar 4.51** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Mahongsel, Kecamatan Aru Utara

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Pembuatan sarana penyimpanan air untuk meningkatkan ketersediaan air menjadi program penting seiring status permukiman ini sebagai kawasan strategis pengembangan wilayah dan diusulkan sebagai tempat dibangunnya kebun raya dan eko sains teknopark. Mahongsel dan sekitarnya memiliki nilai 13 berdasarkan analisis kesesuaian (Gambar 4.27).

#### **14. Leiting, Kecamatan Aru Utara**

Permukiman ini dibangun di atas singkapan batu gamping cangkang yang mengalami pelarutan hingga membentuk rongga. Akibatnya, batuan ini di tepi pantai tidak dapat menyimpan air tawar sebagaimana batuan ini di sedimen pasir dapat memisahkan antara resapan air hujan dan air laut. Oleh karena itu, sumur dapat dibuat di titik yang jauh dari jangkauan terobosan air laut, yakni di titik dalam batuan tempat terkumpulnya air resapan hujan.

Pembuatan biopori atau galian pengumpul dan peresapan air permukaan dapat diperbanyak di sekitar permukiman maupun di lahan terbuka atau semak. Galian ini juga sebagai persiapan penanaman pohon yang perakarannya membantu percepatan pembentukan solum. Tanaman jenis ini di tepi pantai membantu menahan lolosnya air di dalam lapisan satuan gamping cangkang lolos keluar ke laut atau tercemar air asin saat muka air laut pasang tinggi.

Akuifer buatan embung tertutup dapat dibangun di bagian cekungan dari bentang alam bergelombang semi karst batuan gampingan. Pasir dapat diperoleh dari perairan. Limbah cair keluarga harus diolah sebelum dilepas ke dalam batuan hingga mencapai bagian yang terisi air asin.

Lahan rusak berupa semak perlu pemulihan menambah kerapatan tumbuhan dengan tanaman hutan produksi agar menambah intersepsi air hujan yang akan cukup waktu meresap. Hujan tidak menghasilkan aliran permukaan karena kesarangan batuan ini segera meresapkan air masuk ke dalam rongga batuan. Keadaan ini dapat diatasi dengan membangun akuifer buatan embung tertutup yang diisi pasir laut gampingan sebagai pembentuk akuifer. Pembentukan solum lambat,



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.52** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Leiting, Kecamatan Aru Utara

kecuali di bagian yang rapat tumbuhannya. Percepatan pembentukan solum dilakukan dengan tanaman sukun sebagai tanaman pengganti dalam pemulihan semak belukar.

Permukiman Leiting utara dan sekitarnya, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 13 (Gambar 4.27).

## 15. Gomsey, Kecamatan Aru Utara

Permukiman ini terletak di suatu pulau yang dialasi daratan dari singkapan batuan gamping cangkang Formasi Manumbai. Penampilan bentang alam semi karst masih terlihat dengan adanya cerukan

dan lembah sempit alur sungai kering. Lembah dan cerukan ini dapat dimanfaatkan, setelah dialasi geotextile, untuk reservoir yang mengandalkan isian dari air hujan yang dikumpulkan dari atap dan dialirkan ke dalam akuifer buatan. Cara penyimpanan ini memberi waktu untuk air hujan menerima larutan mineral dari sedimen. Pasir dan kerikil untuk membuat akuifer dapat diperoleh dari pantai.

Tutupan hutan masih tersisa dari sebagian lahan yang sudah dibuka untuk kebun di sekitar permukiman. Lahan semak dipulihkan dengan tanaman kebun yang memberi manfaat dan membantu membentuk solum agar dapat menampung resapan air. Beberapa jenis pohon tertentu, seperti sukun (*Artocarpus altilis*), ditandai sebagai pohon yang perakarannya menghasilkan solum tebal. Penduduk memakai pohon ini sebagai tanda terdapatnya air tawar di sekitarnya. Namun, pohon ini rentan terhadap air asin. Ketika air asin menerobos lapisan solum dan mencapai akar akarnya, pohon akan mati. Lahan dengan batuan napal yang sulit menghasilkan solum dapat diatasi secara perlahan dengan penanaman pohon jenis ini. Tanaman jenis leguminosa (*Leucaena glauca* (L.) Benth) diperbanyak di lahan kebun guna memperoleh daun lebih banyak untuk penambah unsur hara lipukan tanah yang telah ada serta untuk pakan ternak yang kotoran-



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.53** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Gomsey, Kecamatan Aru Utara

nya menambah persediaan pupuk alam. Tanaman ini juga menjadi sumber pakan ternak. Peningkatan populasi hewan ternak membantu menghasilkan bahan pupuk kandang.

## 16. Komfane, Kecamatan Aru Utara

Permukiman dibangun di satuan gamping cangkang yang lolos air dan selingan napal yang padat. Keadaan ini memungkinkan air terjebak di dalam rongga batu gamping dan dapat diperoleh dengan menggali sumur yang tepat pada bagian yang jenuh air, tetapi jauh dari pantai untuk menjaga agar tidak tercemar terobosan air asin. Pengumpulan air saat musim hujan dan penyimpanannya dapat dilakukan dengan membangun akuifer buatan berupa kantong pasir dalam embung tertutup. Bahan pasir dapat diperoleh dari pantai. Sempitnya daerah tadah hujan menjadi kendala pada pengisian embung. Pemulihan lahan semak dengan tanaman hutan produksi dapat dilakukan untuk meningkatkan intersepsi hujan. Sekeliling permukiman ditebar tanaman lamtoro untuk menambah unsur nitrogen pada tanah serta substitusi pakan ternak (kambing).

Sumur optimalisasi air tawar di pantai dapat dibuat bila terdapat lahan berpasir yang terisi air resapan dari hujan.



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.54** Citra satelit lingkungan di sekitar Komfane, Kecamatan Aru Utara .

Limbah cair domestik diolah sebelum dilepas ke dalam tanah hingga mencapai lapisan berisi air asin. Limbah padat diolah menjadi pupuk atau di tanam di tempat yang tidak mengalirkan likhitanya ke akuifer air tawar.

Berdasarkan analisis kesesuaian, permukiman di Komfane dan sekitarnya memiliki nilai 11 (Gambar 4.27). Kawasan ini memerlukan teknologi peningkatan ketersediaan air dengan pendekatan peningkatan luas dan ketebalan solum dari lapisan batu gamping cangkang yang selama ini memang menerima resapan air hujan, tetapi kemudian meloloskannya ke laut.

### **17. Kobamar, Kecamatan PP Aru**

Permukiman ini berada di tepi kanal besar yang memotong daratan Aru. Permukiman juga dibangun di atas batuan gamping cangkang. Air tawar dapat diperoleh dengan mudah dari sumur yang digali pada batuan yang memiliki kelulusan dan kesarangan untuk menampung resapan air hujan. Lembah lembah torehan yang menjadi bagian dari alur sungai terbentuk pada batuan gamping memiliki arah seragam N340°E, diduga sebagai bentukan struktur kekar yang berkembang di Formasi Manumbai.

Air tawar di kawasan ini dapat diperoleh sepanjang tahun dari sumber mata air yang masih terjaga oleh utuhnya hutan primer tropis. Curah hujan di kawasan ini diduga tidak setinggi bagian utara pulau. Air tawar berkurang ketersediaannya ketika musim kemarau berkepanjangan saat terjadi cuaca ekstrem, seperti El Nino. Selain jumlah, kualitas air juga menurun karena tingginya asam humus dari gambut di bawah hutan. Selain membentuk lembah, rongga pelarutan juga membentuk rongga bawah tanah yang mengalirkan air yang kemudian masuk ke dalam kanal. Alur ini bila dapat dipetakan dan diketahui arahnya, dapat menjadi tempat penyimpanan air tawar. Namun, air hanya dapat diperoleh dengan pemompaan. Pengumpulan dan penyimpanan air dapat dilakukan dengan rekayasa akuifer buatan pada embung tertutup yang dibangun pada lembah-lembah yang ada di sekitar permukiman. Bahan pasir dan kerikil tidak mudah



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.55** Citra satelit lingkungan di sekitar Kobamar, Kecamatan PP Aru.

ditemukan di sekitar Kobamar. Air limbah domestik harus diolah sebelum dilepas ke aliran kanal.

Permukiman Kobamar dan sekitarnya, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 11 (Gambar 4.27). Kawasan yang berada di singkapan batuan napalan lebih memerlukan pemulihan lahan untuk menghasilkan solum tebal di mana air hujan tertahan lebih lama.

## 18. Pulau Watulei, Kecamatan Aru Utara

Pulau ini dialasi oleh Formasi Manumbai yang ditutupi secara tidak selaras endapan alluvial dan pecahan gamping. Di atas satuan ini, dibangun Desa Batulei, sebuah permukiman nelayan yang mengandalkan perairan laut terbuka sebagai ladang pendapatannya. Air tawar terbatas ketersediaannya dari sumur pantai yang umumnya menjadi payau saat musim kemarau. Perlu dibangun akuifer buatan pada embung tertutup dengan pengisian air saat musim hujan. Pasir untuk embung diperoleh dari pantai.

Pemulihan lahan semak dilakukan menggunakan tanaman hutan produksi yang sesuai untuk pulau berbatuan karbonat. Pohon sukun dan sejenisnya ditanam untuk membantu membentuk solum tebal yang diharapkan menambah volume penyimpanan resapan air

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.56** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Watulei, Kecamatan Aru Utara

hujan. Limbah cair harus diolah di reaktor limbah sebelum dilepas ke dalam tanah ke lapisan yang berisi air asin. Permukiman Watulei dan sekitarnya memiliki nilai 11 hingga 12 dalam analisis kesesuaian (Gambar 84). Kawasan yang berada di singkapan batuan napalan dan alluvial lebih memerlukan pemulihan lahan untuk menghasilkan solum tebal di mana air hujan tertahan lebih lama. Oleh karena itu, diperlukan tanaman yang menghasilkan perakaran lebat dan meluas guna menghancurkan batuan. Tanaman pakan ternak diperbanyak di sekitar permukiman guna meningkatkan ternak yang kotorannya bermanfaat sebagai pupuk alam.

## 19. Dositamalau, Kecamatan Aru Tengah Timur

Permukiman di Dositamalau dibangun di tepi pantai beralas endapan alluvial yang menumpang di atas batuan batu gamping kapuran dan napal yang kurang kelulusan dan kesarangannya sehingga tidak memberi cukup rongga untuk menyimpan air resapan. Solum di atas lapisan ini—yang terbentuk dari lapukan batuan ini dan endapan alluvialnya cukup tebal—akan cukup menyimpan air tawar selama musim hujan. Sumur galian pada solum dan alluvial dapat mengum-



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.57** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Dosinamalau, Kecamatan Aru Tengah Timur

pulkan air tawar, tetapi biasanya tidak akan tersisa lagi ketika musim kering berlangsung lama.

Penyimpanan air dilakukan dengan cara membangun akuifer buatan sebagai embung tertutup di bagian cerukan lahan bergelombang di sekeliling permukiman. Pasir tersedia melimpah di pantai. Guna menjamin lancarnya pengisian, lahan di sekeliling permukiman, terutama di bagian hulu, dipulihkan dengan tanaman yang perakarannya dapat membentuk solum halus yang tebal. Sumur optimalisasi masih mungkin dibuat di permukiman di bagian yang tebal solumnya sehingga dapat ditemukan lapisan tebal (lensa) yang terisi air tawar. Permukiman Dosinamalau dan sekitarnya tersebut berdasar analisis kesesuaian memiliki nilai 11 hingga 12 (Gambar 4.27). Kawasan ini berada di singkapan batuan napalan sehingga lebih memerlukan pemulihan lahan untuk menghasilkan solum tebal di mana air hujan tertahan lebih lama.

## 20. Koijabi, Kecamatan Aru Tengah Timur

Koijabi berkembang sebagai permukiman, pangkalan nelayan, dan penyedia jasa perikanan dan pengumpulan hasil hutan. Permukiman

Buku ini tidak diperjualbelikan.

dibangun di tepi estuari lebar sungai non-kanal di atas lapisan alluvial endapan sungai berupa lanau dan lempung. Sumur penduduk tidak cukup memberi air tawar sepanjang tahun, dan ketika musim kering, air berubah menjadi payau.

Sumur optimalisasi masih mungkin dibuat dengan dukungan analisis kandungan lapisan tanah pantai; apakah memiliki air tawar, bagaimana, dan berapa banyak dapat terisi air tawar dari air hujan bila dilakukan injeksi terhadapnya. Air injeksi berasal dari hujan yang tertampung di atap bangunan.

Cara penyimpanan yang lebih aman dan dalam jumlah lebih besar adalah dengan membangun akuifer buatan dalam bentuk embung tertutup di bagian yang tidak terjangkau pasang muka laut tinggi atau banjir. Distribusi air dilakukan dengan menempatkan air ke menara, kemudian dipompa dari embung atau reservoir. Penguatan terhadap sistem yang telah ada (pemakaian air tawar melalui PDAM) dapat dilakukan dengan mencari sumber baru. Namun, sumber baru akan semakin jauh tempatnya karena sumber dari mata air semakin terbatas akibat rusaknya hutan. Pembuatan reservoir dilakukan secara bertahap dalam paket modul sehingga tidak membebani anggaran



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.58** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Kojabi, Kecamatan Aru Tengah Timur

biaya pembangunan. Permukiman Kojabi dan sekitarnya tersebut berdasar analisis kesesuaian memiliki nilai 17 (Gambar 4.27).

## 21. Kobrur, Kecamatan Aru Tengah Timur

Permukiman ini dibangun di atas rata-ran endapan muara dan pematang pantai berupa pasir dan lempung yang masih labil. Air tawar diperoleh dari sumur pantai, tetapi sangat terbatas ketersediaannya. Terobosan air asin terjadi saat resapan air tawar tidak dapat mengimbangi pemakaian air sumur. Sumur optimalisasi dapat dibuat di bagian daratan berpasir.

Air sungai mengandung asam humus sehingga tidak layak dikonsumsi serta tercemar air asin sehingga payau saat musim kemarau. Pengurangan asam humus ini dapat dilakukan dengan mengalirkan air ini melalui media berpasir sebagai penyaring suspensi dan menetralkan asam dengan media gamping kapuran.

Penyimpanan air dapat dilakukan dengan pembuatan akuifer buatan embung tertutup dengan pengisian dari hulu sungai yang diturap dengan pintu air di anak sungainya. Karena tersimpan dalam sedimen, air mengalami mineralisasi dan pencucian dari asam humus



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.59** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Kobrur, Kecamatan Aru Tengah Timur

dan larutan karbon luruhan dari gambut. Pengolahan air untuk memperbaiki kualitas dari air gambut dilakukan dengan paket teknologi terpisah. Teknologi ini juga dikembangkan oleh peneliti LIPI dan telah diterapkan di beberapa permukiman sekitar rawa di Sumatra dan Kalimantan. Permukiman Kobror dan sekitarnya mendapatkan nilai 16 dalam analisis kesesuaian (Gambar 4.27).

## **22. Lorang, Kecamatan Aru Tengah**

Permukiman berupa desa pinggir kanal dibangun di atas batuan napal pasiran kedap air. Air hujan tidak mudah meresap ke dalam batuan, tetapi karena lebatnya hutan dan tebalnya humus, air tertahan dalam waktu lama dan keluar melalui mata air mengisi alur. Pada keadaan sekarang, ketersediaan air di kawasan ini dapat mencukupi satu putaran musim.

Masalah utama air di permukiman ini adalah dalam hal kualitas. Saat musim kering, air dalam sumur berkurang dan mengandung asam humus serta keruh. Guna mengatasi hal ini, dibangun akuifer buatan berupa embung tertutup tempat air yang relatif bersih saat musim hujan ditampung dan disimpan. Di permukaan embung tertutup ini bisa dibuat sumur yang airnya dapat dipakai saat musim kemarau. Penyimpanan air yang mengandung asam humus di media akuifer yang dibangun dengan pasir karbonat dapat mengurangi kandungan asam air sungai tersebut. Pasir karbonat tersedia di pantai yang terkumpul dari hancuran terumbu karang. Pasir dapat diangkut bertahap dari tempat pengumpulan di pantai ke embung tertutup yang dibangun di sekitar permukiman. Penyimpanan air sebenarnya dapat dibangun dengan mempertebal solum atau tanah lapuk di sekitar permukiman dengan penanaman pohon yang perakarannya membantu mempercepat pembentukan lapukan sedimen napalan ini. Lapukan dijaga agar tidak larut atau tererosi aliran permukaan. Guna menghindari derasnya aliran permukaan, sisi-sisi paritan diberi tanaman perdu penahan erosi.

Air yang tersimpan dalam akuifer terbebas dari pencemaran asam humus. Yang menjadi kendala adalah apakah cukup tersedia pasir atau kerikil saat membangun untuk pengisi embung tersebut.

Untuk meningkatkan kualitas air minum yang tercemar asam humus, terdapat teknologi lain yang juga menjadi kelengkapan yang diusulkan sebagai paket peningkatan ketersediaan air bersih. Sebagai contoh, alat pengolah air gambut hasil rekayasa LIPI yang telah digunakan di beberapa tempat di Sumatra dan Kalimantan.

Pemulihan dan perlindungan hutan tropis dilakukan dengan penanaman kembali lahan yang telah menjadi semak dengan tumbuhan asli atau tanaman produksi penunjang budi daya pohon murbei (*Morus alba*) seperti ulat sutra atau lebah madu. Budi daya lebah memakai lebah alam asli dari lingkungan hutan Aru.

Erosi pada lahan rusak adalah akibat perambahan hutan, sedimen terangkut ke dalam kanal mengancam pendangkalan yang menyebabkan terganggunya alur transportasi air terutama saat musim kemarau. Air sungai mengandung asam humus sehingga tidak layak dikonsumsi serta tercemar air asin sehingga payau saat musim kemarau. Pengurangan asam humus ini dapat dilakukan dengan mengalirkan air ini melalui media berpasir sebagai penyaring suspensi dan menetralkan asam dengan media gamping kapuran. Permukiman Lorang dan sekitarnya tersebut berdasar analisis kesesuaian memiliki nilai 11 (Gambar 4.27). Permukiman ini memerlukan penyimpanan air dalam bentuk embung tertutup yang diisi dengan solum. Solum dihasilkan dari penanaman semak jenis leguminosa atau lamtoro (*Leucaena leucocephala*) yang bermanfaat untuk pakan ternak, dan kotoran ternak akan menambah persediaan pupuk alam. Selain dengan akuifer buatan, penyimpanan air permukaan dapat ditingkatkan dengan menambah ketebalan dan luas penyebaran solum tanah lapuk yang percepatan pembentukannya dapat dibantu dengan pembuatan biopori sebanyak mungkin atau dengan galian yang diisi serasah organik yang diperkaya pupuk kandang. Galian ini kemudian dipakai sebagai tempat penanaman pohon keras yang mempercepat pelapukan batuan segar napal dan batugamping.



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.60** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Lorang, Kecamatan Aru Tengah

### 23. Gomar Sungai, Kecamatan Aru Selatan Timur

Lingkungan permukiman ini merupakan singkapan batuan napal dan gamping kapuran. Alur paritan di sekitar permukiman merupakan bentukan sesar dan kekar yang berarah barat laut utara-tenggara selatan. Retakan ini dapat menjadi ruangan untuk penyimpanan air. Permukiman tepi pantai ini dibangun di atas pasir pantai yang menumpang di atas satuan napal pasiran. Pasir karbonat berasal dari rombakan terumbu karang yang saat ini tumbuh subur di perairan timur dari daerah ini.

Di tanah berpasir ini dapat dibangun sumur optimalisasi yang pengisiannya dilakukan dari resapan dan injeksi air dari tampungan atap rumah. Pengisian ini dilakukan untuk mengimbangi agar akuifer tidak sempat kosong ketika terjadi pemakaian berlebih. Kekosongan rongga dalam akuifer dapat memicu terobosan air asin, terutama saat pasang tinggi laut. Penyimpanan air dapat dilakukan dengan membuat akuifer buatan dalam embung tertutup dengan memanfaatkan alur lembah. Pasir dapat diperoleh dari pantai. Pemulihan lahan semak kembali menjadi hutan, tetapi dengan tanaman produksi yang sesuai untuk lahan batuan napalan. Pohon jati (*tectona grandis*) unggul produk Puslit Bioteknologi dapat dijadikan pilihan peningkatan



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.61** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Gomar Sungai Kecamatan Aru Selatan Timur

produk kayu hutan. Permukiman Gomar dan sekitarnya tersebut memiliki nilai 15 dalam analisis kesesuaian (Gambar 4.27).

## 24. Jorang, Kecamatan Aru Selatan Timur

Permukiman kecil ini berada di pantai timur menghadap selat dari gugusan pulau yang berada di timur pulau Aru. Permukiman di sana dibangun di atas satuan batuan napal batu gamping kapuran; lahan tidak memiliki solum tebal karena sisa hutan yang telah dirambah menjadi kebun dan semak belukar. Air bersih tidak mudah diperoleh dari sumur dangkal yang digali di permukiman. Oleh karena itu, air diperoleh dari sumur yang dibuat pada lahan yang memiliki solum tebal.

Sumur optimalisasi dapat dibuat di sekitar permukiman yang memiliki solum tebal. Air tampungan hujan dari atap rumah disarankan untuk dimasukkan ke dalam akuifer buatan dari embung-embung kecil yang dibuat di sekitar permukiman. Pasir dapat diperoleh dari pantai. Biopori atau sumur resapan tidak banyak membantu menambah air simpanan karena satuan napal ini tidak memiliki rongga pori untuk menerima air.

Kawasan ini menghadapi masalah kerusakan lahan yang sulit dipulihkan karena jenis batuan yang sulit menghasilkan solum. Semak dan lahan terbuka harus segera dipulihkan menjadi hutan produksi atau kebun yang memulihkan ketebalan solum dan kerapatan pohon yang meningkatkan intersepsi hujan agar meningkatkan resapan air.

Karena terletak di pantai timur, permukiman ini menyandang kerentanan terhadap bahaya muka laut tinggi kejadian ekstrem cuaca buruk. Selain itu, gelombang tinggi yang dipicu tsunami dari Papua Nugini masih mungkin menjangkau perairan ini. Oleh karena itu, perlu disiapkan jalur evakuasi dan bangunan perlindungan. Permukiman Jorong dan sekitarnya, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 15 (Gambar 4.27).



Sumber: Google (2018).

**Gambar 4.62** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Jorong, Kecamatan Aru Selatan Timur

## 25. Karey, Kecamatan Aru Selatan Timur

Karey mewakili permukiman yang berada pada satuan napal dan kalkarenit kapuran Formasi Koba yang masih berpeluang menerima air di lapisan gamping kapuran. Permukiman Karey dan sekitarnya tersebut, berdasarkan analisis kesesuaian, mendapatkan nilai 16 (Gambar 4.27).

Lahan di sekitar permukiman telah rusak menjadi lahan kritis terbuka atau semak belukar yang kering saat musim kemarau. Tanpa tutupan lahan, air hujan menjadi air larian yang terbang ke laut. Sumur resapan dan biopori dibuat sebanyak mungkin untuk menangkap air hujan. Selain biopori berukuran kecil, resapan dibuat dalam bentuk galian yang diisi dengan serasah dan diperkaya dengan pupuk kandang untuk meningkatkan kesuburan sebagai persiapan penanaman pohon kayu di galian ini.

Jumlah ternak kambing ditingkatkan di permukiman dengan dukungan tanaman pakan ternak yang pananamannya mengurangi lahan kritis dan memulihkan semak dengan tanaman yang lebih bermanfaat. Pohon dari jenis sukun, selain menghasilkan bahan pangan tambahan, perakarannya juga memperbanyak solum di sekitarnya sebagai penyimpan air. Pembangunan akuifer buatan pada embung



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.63** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Karey, Kecamatan Aru Selatan Timur

terbuka dapat meningkatkan ketersediaan air. Pasir dapat diperoleh dari pantai di mana rombakan satuan Kuarter Formasi Tanah Merah dari pesisir bagian selatan Aru berupa pasir kuarsa yang diendapkan pantai tercampur dengan butiran pasir pecahan dari terumbu karang yang berlimpah di perairan sekitar Karey. Sumur optimalisasi dibuat di sekitar permukiman yang memiliki solum tebal. Air tampungan hujan dari atap rumah disarankan untuk dimasukkan ke dalam akuifer buatan dari embung-embung kecil yang dibuat di sekitar permukiman. Pasir dapat diperoleh dari pantai. Biopori atau sumur resapan tidak banyak membantu menambah air simpanan karena satuan napal ini tidak memiliki rongga pori untuk menerima air.

## 26. Baltubur, Kecamatan Aru Selatan Timur

Permukiman pantai di Baltubue dibangun di atas satuan batuan gamping kapuran dan napal yang memberi solum tipis sehingga tidak berpeluang menyimpan resapan air hujan. Sebagian dari wilayah desa ini merupakan singkapan Formasi Tanah merah dari batuan pasir kuarsa halus. Sedimen ini menjadi bahan untuk pengisi embung tertutup, tetapi harus dicampur dengan kerikil batu gamping Formasi Koba.



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.64** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Baltubur, Kecamatan Aru Selatan Timur

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Penyimpanan dalam embung tertutup lebih terkendali dan aman dari lolosnya air ke tempat lain. Pemulihan lahan dengan tanaman keras diharapkan memulihkan solum yang menjadi andalan menyimpan resapan air hujan. Akuifer buatan dibuat di luar permukiman dengan pengisian mengandalkan tampungan air hujan yang dialirkan ke dalam embung tertutup tersebut.

Sumur optimalisasi masih dapat dibuat bila menemukan solum tebal atau lapisan pasir halus di pantai di mana air tawar tertahan tidak merembes ke laut. Satuan napal dan gamping Formasi Koba sulit memberi solum, walaupun dengan tanaman pohon kayu hutan pesisir (*baringtonia*). Tanaman keras dari jenis sukun dan tanaman kayu lain yang ditanam di sepanjang pantai akan membentuk solum dengan perakarannya yang dapat menapis resapan air asin atau menahan air resapan hujan mengalir atau merembes ke laut. Mangrove dipulihkan di pantai untuk menapis gelombang. Perakaran dan lumpur yang ditahannya dapat menahan intrusi air asin masuk ke dalam lapisan batu pasir yang menyimpan air tawar. Setelah mengalami pengisian dari biopori atau sumur resapan, akuifer dalam dapat diperiksa apakah sudah dapat dimanfaatkan airnya. Sumur bor dangkal yang dibuat mungkin dapat menemukan air di lapisan batu gamping kapuran di bawah batu pasir. Air yang diresapkan dan mengisi ke dalam lapisan batuan tidak diketahui akan mengalir lepas ke arah mana karena tidak diketahui ke arah mana perlapisan batuan kapuran ini menerus. Permukiman Beltubur dan sekitarnya, dalam analisis kesesuaian, menghasilkan nilai 16 (Gambar 4.27).

## **27. Longgar, Pulau Workai, Kecamatan Aru Selatan Timur**

Permukiman ini terletak di Pulau Workai di lepas perairan tenggara Aru. Pulau ini merupakan bagian tinggian yang dipisahkan selat dangkal. Permukiman dibangun di atas lahan singkapan batuan Formasi Tanah merah berupa batu pasir kuarsa dan lempung. Sekeliling permukiman mengalami perambahan meninggalkan semak dan lahan terbuka. Pemulihan dengan penanaman kembali tidak mudah dilakukan di lahan kering rawan kebakaran.

Air tawar diperoleh dari sumur dangkal yang dibuat dengan mengharapkan menemukan kandungan air di satuan batu pasir halus yang tersisa dari resapan air hujan. Rusaknya lahan menghilangkan solum menyebabkan air tidak tertahan lagi oleh solum dan perakaran pohon sehingga mengalir lepas ke laut.

Sumur optimalisasi masih mungkin dibuat di permukiman yang memiliki lapisan pasir atau solum di mana air tawar tertahan mengisi bagian atas akuifer. Embung tertutup perlu diperbanyak di sekeliling permukiman di lahan yang dipulihkan tutupannya menjadi hutan produksi atau kebun. Pemulihan lahan sulit dilakukan pada lahan dari singkapan batu pasir. Lahan kritis di pulau ini rentan mengalami kebakaran saat musim kemarau karena keringnya semak. Penghutan kembali memerlukan usaha keras dan waktu karena terbatasnya air dan tipisnya solum. Peningkatan kerapatan pohon akan meningkatkan intersepsi hujan sehingga menambah resapan air hujan ke dalam solum. Permukiman Longgar dan sekitarnya di Pulau Workai, berdasarkan analisis kesesuaian, memperoleh nilai 18 (Gambar 4.27). Selain karena secara teknis lahannya memberi peluang pengembangan hampir semua jenis teknologi yang ditawarkan, nilai tinggi disebabkan oleh status pulau kecil yang sangat memerlukan



Sumber: Google (2018).

**Gambar 4.65** Citra satelit lingkungan di sekitar Belmun, Pulau Workai, Kecamatan Aru Tengah Selatan

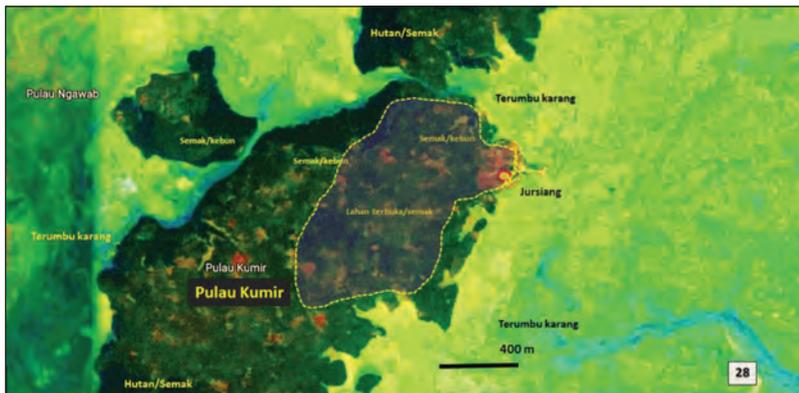
teknologi peningkatan ketahanan air serta perbaikan lingkungan untuk memperbaiki neraca dan daur hidrologi.

## 28. Pulau Kumir, Kecamatan Aru Utara

Permukiman di pulau ini berada di lahan alluvial yang diendapkan tidak selaras di atas Formasi Manumbai dan anggota Jambulenga. Permukiman ini harus diperhatikan karena tidak mempunyai daya dukung untuk penyediaan air bersih. Sebagai pulau kecil, Pulau Kumir memiliki keterbatasan untuk memperoleh pasokan air dari hujan.

Bila solum alluvial cukup tebal, air yang meresap di lapisan ini akan tertahan oleh batuan napalan yang kedap. Air meresap jauh ke dalam bila alluvial dialasi oleh gamping berongga. Sumur resapan dan biopori dibuat di beberapa tempat untuk menampung air hujan. Air resapan ini akan mengalir ke tempat yang tidak diketahui arahnya. Penyimpanan terbaik adalah pada akuifer buatan di embung tertutup karena air tidak lolos mengalir ke berbagai arah.

Lahan di pulau ini tersisa sebagai semak, kebun, dan beberapa kelompok tegakan sisa hutan. Hutan rusak oleh perambahan untuk



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.66** Citra Satelit Lingkungan Permukiman Jursian di Pulau Kumir, Kecamatan Aru Selatan Timur

Buku ini tidak diperjualbelikan.

memperoleh bahan membangun rumah panggung. Permukiman Jursiang di Pulau Kumir dan sekitarnya tersebut memiliki nilai 14 dalam analisis kesesuaian (Gambar 4.27).

## 29. Salarem, Kecamatan Aru Selatan Timur

Permukiman ini mewakili permasalahan ketersediaan air di lahan yang berupa singkapan batupasir kuarsa yang menutup bagian selatan Pulau Aru. Sama seperti Meror, kawasan ini pun dikelilingi lahan kritis berupa semak belukar dan lahan terbuka. Bentang alam datar, tetapi terdapat beberapa cerukan sebagai kolam di sekitar permukiman. Cerukan cerukan lain dapat dikembangkan sebagai embung tertutup.

Sumur optimalisasi dapat dibangun di permukiman bila dapat ditemukan endapan pasir lepas yang terisi air resapan hujan. Pembuatan sumur ini harus dilengkapi dengan pembuatan reaktor limbah untuk mencegah limbah cair keluarga langsung terbuang dan mencemari air tanah dangkal.

Air dapat diperoleh dengan pembuatan sumur bor dalam yang dapat mencapai satuan batuan kalkarenit kapuran. Usaha ini sebaik-



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.67** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Salarem, Kecamatan Aru Selatan Timur

nya didahului dengan pengukuran tahanan jenis apakah dari satuan tersebut yang menyimpan air. Pengisian dan penyimpanan di akuifer tanah dalam dilakukan melalui lubang bor yang sama dengan air yang terkumpul di danau atau embung tertutup yang masih belum tercemar.

Penanganan yang sama dilakukan untuk peningkatan ketersediaan air bagi wilayah Meror dan sekitarnya. Meror memiliki endapan pematang pantai tebal yang diharapkan menjadi tempat resapan air tersimpan atau menjadi sumber bahan pasir untuk pembangunan akuifer buatan embung tertutup. Sebaran endapan pematang pantai ini dapat dibangun menjadi penyimpanan air berupa akuifer buatan dengan pengisian dari sungai yang diturap. Permukiman Salarem di ujung selatan Pulau Aru dan sekitarnya berdasarkan analisis kesesuaian memiliki nilai 17 hingga 25 (Gambar 4.27).

### **30. Gomo-gomo dan Mersiang, Kecamatan Aru Tengah Selatan**

Permukiman di bagian selatan Pulau Workai ini terbagi dalam dua tempat yang terletak masing-masing di sisi dari estuari sungai. Permukiman dibangun di atas singkapan endapan sedimen estuari yang menumpang di atas satuan napal yang kedap air. Air tawar masih dapat diperoleh dari sumur yang dibuat pada solum atau sedimen yang dapat menyimpan resapan air hujan, tetapi sangat terbatas volumenya. Sumur optimalisasi dapat dibangun di permukiman pantai yang memiliki sedimen atau solum tebal. Penyimpanan air dibangun dalam bentuk akuifer buatan embung tertutup di lapisan napal dan mengandalkan isian dari hulu yang diharapkan masih memiliki sumber air di hutan yang tersisa. Air juga dapat diturap dari sungai di hulu di pintu air dan dialirkan ke embung. Air dari atap permukiman ditampung dan disimpan dalam reservoir tertutup tersebut sebagai air yang belum tercemar tetapi rendah kandungan mineralnya. Mineralisasi air terjadi saat tersimpan di dalam reservoir tertutup.



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.68** Citra satelit lingkungan di sekitar Gomo-gomo, Kecamatan Aru Selatan Timur berupa sisa hutan tropis sekunder dataran rendah, semak belukar, dan lahan terbuka serta rawa danau.

Lahan kritis semak dan kebun telantar dipulihkan dengan penanaman pohon hutan industri atau buah dan pohon untuk produk kayu bahan bangunan (*Tectona grandis*) serta pohon pengganti kayu lain sebagai bahan bakar (pengolah hasil laut). Permukiman Gomo-gomo dan Mersiang di Pulau Workai dan sekitarnya mendapatkan nilai 18 dalam analisis kesesuaian (Gambar 4.27).

### 31. Pulau Barakan, Kecamatan Aru Tengah Selatan

Bagian selatan pulau ini mewakili lingkungan pesisir dengan muara yang telah mengalami perambahan, tetapi masih menyisakan ekosistem pulau kecil yang dapat diusulkan sebagai kawasan perlindungan biosfer. Ekosistem darat lahan basah dan kering, estuari, mangrove, dan terumbu karang membentuk lingkungan yang menjadi perlindungan bagi flora dan fauna pulau kecil. Luasan kawasan lindung sebaiknya mencakup seluruh selatan bagian pulau. Permukiman yang terletak di utara pulau (Jambu Air) dikembangkan sebagai suatu tempat penyangga yang mengawasi kegiatan di pulau agar hutan



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.69** Citra Satelit Lingkungan di Bagian Selatan Pulau Barakan, Kecamatan Aru Selatan Timur

yang tersisa di bagian selatan tidak dirambah untuk perluasan kebun yang telah meluas di bagian utara dan timur di pesisir pulau.

Air dapat diperoleh dari sumber atau sumur dangkal yang tersimpan di solum tipis satuan napal pasiran. Penyimpanan air dibuat dengan membangun embung tertutup. Berdasarkan analisis kesesuaian, Pulau Barakan memiliki nilai 18 hingga 20, sama dengan Pulau Workai (Gambar 4.27). Pembangunan akuifer buatan embung tertutup dapat dilakukan di pulau ini untuk permukiman dengan isian air dari hutan di sekitar permukiman.

### 32. Batugoyang, Kecamatan Aru Selatan Timur

Batugoyang berada di ujung selatan Pulau Aru dan dibangun di pantai menghadap ke arah timur ke Laut Arafura. Wilayah yang berada di ujung selatan Pulau Aru tersebut berdasarkan analisis kesesuaian memiliki nilai 25 (Gambar 4.27).

Permukiman di sana berada di atas pematang pasir pantai yang sedimennya tersusun dari kuarsa dan karbonat hancuran terumbu karang. Air tawar terbatas diperoleh dari sumur yang mengandalkan air tawar yang tersimpan dari resapan hujan pada pematang pantai.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Perairan sekitar tanjung merupakan perairan terbuka dengan gelombang tinggi yang membangun pantai bertebing dan pantai dengan pematang pasir tebal. Perairan juga cukup dalam sehingga terumbu karang tidak cukup peluang berkembang luas, kecuali di sisi timur dari Batugoyang ke arah Meror yang perairan jernih dan arus.

Tempat ini dapat menjadi tujuan wisata pantai kelas dunia mengingat perairan lepas di sekitarnya menawarkan wisata laut, seperti *surfing*, *diving*, dan pemancingan laut bebas. Oleh karena itu, diperlukan penguatan ketersediaan air tawar dengan membuat kolam atau reservoir tertutup dengan mengandalkan air hujan sebagai pengisinya.

Batugoyang bersama Nagibor, Dosimar, dan Meror dapat membentuk suatu kawasan pengelolaan terpadu dengan mengembangkan kelembagaan yang kegiatannya serupa dengan eko sain teknopark di masing-masing daerahnya, tetapi mempunyai keterkaitan dan keterpaduan programnya. Pemulihan lahan kritis dan pengembangan



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.70** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Batu Goyang, Kecamatan Aru Selatan Timur

teknologi ketersediaan air menjadi inkubator kegiatan usaha ekonomi berbasis lingkungan dan sumber daya alam darat maupun perairan. Hutan di sekitar Dosimar dapat menjadi inti dari kebun raya yang mewakili ekosistem Aru Selatan.

Tempat ini memerlukan kelengkapan instrumen pemantau cuaca dan lingkungan yang datanya dapat diperoleh secara *online* dan terus-menerus yang repositorinya berada dan tergabung dengan BMKG. Stasiun ini mewakili titik di ujung selatan Pulau Aru dan kawasan perbatasan dengan laut lepas.

### **33. Ngaibor, Kecamatan Aru Selatan**

Pembahasan mengenai permukiman yang terletak di kawasan pesisir barat Aru diwakili oleh beberapa desa nelayan dan petani kebun. Singkapan batuan pasir kuarsa yang terbuka lahannya memberi rona terang dan menyebabkan suhu dirasakan lebih panas (albedi tinggi). Kelembapan rendah lahan kritis ini mempersulit pemulihan lahan menjadi hutan atau lahan budi daya tanaman pangan. Penguatan ketersediaan air dilakukan dengan membangun akuifer buatan. Pengisian untuk awalnya memakai air hujan tampungan dari rumah penduduk. Untuk memperoleh air, sumur bor air tanah dalam dapat dicoba, tetapi perlu pengukuran sifat fisis untuk mengetahui apakah terdapat kelembapan di lapisan di bawah Formasi Tanah Merah dan kelayakan pemakaiannya.

Sumur optimalisasi masih dapat dibuat pada lahan berpasir di permukiman pantai. Reaktor limbah mutlak diperlukan untuk mengolah limbah keluarga sebelum dilepas ke lapisan yang mengandung air asin. Permukiman Ngaibor di bagian selatan Pulau Aru, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 24 (Gambar 4.27). Morfologi dan geologi daerah ini memberi nilai tinggi bagi kesesuaian. Hal ini juga didukung kebutuhan penyediaan air bagi kawasan strategis pengembangan yang salah satu program pionirnya adalah peningkatan pembangunan sarana penyimpanan dan penyediaan air.

Permukiman ini berada di pantai barat yang menghadap perairan Laut Banda. Permukiman ini menyandang kerentanan terhadap



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.71** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Ngaibor, Kecamatan Aru Selatan

bahaya muka laut tinggi kejadian ekstrem dari gejala alam cuaca buruk serta gelombang tinggi yang dipicu tsunami dari kawasan aktif tektonik di seputar Laut Banda. Untuk penyelamatan dari ancaman gelombang tsunami, perlu dibangun jalur evakuasi hingga jauh ke pedalaman dengan kelengkapan bangunan perlindungan.

### 34. Fatural Kecamatan Aru Selatan

Permukiman ini ditempati masyarakat nelayan dan petani ladang/kebun. Seiring ladang dan kebun meluas, sebagian besarnya tidak terkelola sepanjang tahun sehingga menjadi lahan terbuka dan semak belukar. Permukiman dibangun di singkapan batupasir kuarsa dan batu lempung Formasi Tanah Merah. Lapisan di bawah satuan ini adalah batuan napal dari Formasi Koba yang kedap air. Pemulihan lahan disarankan dengan meningkatkan kelembapan lahan secara bertahap melalui pembangunan embung tertutup serta pemboran air dalam sehingga diharapkan airnya dapat diperoleh dari lapisan napal pasiran di bawah satuan batupasir kwarsa. Tanaman pionir diseling pohon lokal yang disiapkan sebelumnya melalui pembibitan. Langkah berikutnya adalah penanaman pohon kayu industri. Di sekitar permukiman, kelembapan ditingkatkan dengan penanaman

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.72** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Fatural, Kecamatan Aru Selatan Timur

pohon sukun (*Artocarpus altilis*) untuk memperoleh solum tebal agar menyimpan air resapan hujan lebih banyak. Sumur optimalisasi dapat dibuat di permukiman pantai yang berada di lahan berpasir halus. Pengisian akuifer dilakukan dengan air hujan dari tampungan di atap permukiman.

Permukiman pesisir ini berada di pantai barat yang landai dan menghadap perairan Laut Banda. Permukiman ini menyandang kerentanan terhadap bahaya muka laut tinggi dari berbagai kejadian ekstrem gejala alam, seperti cuaca buruk serta gelombang tinggi yang dipicu tsunami dari kawasan aktif tektonik di seputar Laut Banda. Oleh karena itu, perlu dibangun jalur evakuasi jauh ke pedalaman dan bangunan perlindungan. Fatural yang terletak di bagian selatan Pulau Aru tersebut memiliki nilai 24 berdasarkan analisis kesesuaian (Gambar 4.27).

### 35. Ngaiguli, Kecamatan Aru Selatan

Permukiman di sana dibangun di pantai di atas endapan pematang pantai dan singkapan satuan batupasir Formasi Tanah Merah.



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.73** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Ngaiguli, Kecamatan Aru Selatan

Berdasarkan analisis kesesuaian, permukiman di Ngaiguli di bagian selatan Pulau Aru memiliki nilai antara 19 hingga 24 (Gambar 4.27).

Sebagai permukiman masyarakat nelayan dan petani ladang, tempat ini tidak memiliki ketahanan sumber daya air untuk mencukupi keperluan rumah tangga dan usaha nelayannya. Air tawar masih dapat diperoleh dari sumur optimalisasi, tetapi tidak mencukupi selama musim kemarau. Upaya peningkatan ketersediaan hanya tergantung pada curah hujan dan bagaimana air hujan dapat disimpan dengan berbagai cara yang masih mungkin dilakukan untuk daerah ini. Akui-fer buatan embung tertutup merupakan salah satu cara mengatasi penyimpanan air. Teknologi ini dibangun dalam ukuran kecil (30 x 50 meter) di banyak tempat yang berdekatan dengan tempat yang memungkinkan pengumpulan air hujan. Embung ini diharapkan dapat meningkatkan kelembapan tanah di kawasan ini secara bertahap sambil memulihkan lahan kritis dengan tanaman pangan. Pemulihan lahan juga dilakukan secara bertahap sambil meningkatkan ketersediaan air dan kelembapan daerah ini. Pemulihan lahan melalui pemilihan tanaman yang sesuai dan tahan sebagai hutan produksi kayu maupun non-kayu.

Pembuatan sumur bor untuk memperoleh air tanah dalam dapat diawali dengan pengukuran sifat fisis batuan; apakah lapisan batuan dapat bertindak sebagai akuifer untuk air tanah dalam atau tidak. Bila di bawah lapisan satuan batupasir kuarsa ini terdapat lapisan kedap, air masih dapat tertahan di bagian bawah satuan batupasir. Bila terdapat satuan kalkarenit kapuran di bawah satuan batupasir kuarsa, air masih mungkin tersimpan di dalam satuan kalkarenit kapuran.

Upaya menabung air ditingkatkan dengan mencoba menampung semua air hujan masuk ke dalam lapisan tanah hingga mencapai satuan kalkarenit kapuran. Untuk itu, cara paling tepat adalah membuat sebanyak mungkin akuifer buatan untuk menampung air hujan, kemudian disuntikkan ke dalam satuan kalkarenit kapuran. Bila tersedia cukup air dari akuifer tanah dalam, maka beberapa budidaya tanaman, seperti tebu, dapat dipertimbangkan untuk dikembangkan, walaupun mahal investasinya. Lahan datar yang dialasi satuan napal gampingan dapat disiapkan untuk lahan tebu dari jenis yang hanya memerlukan sedikit kelembapan.

### **36. Kalar kalar, Kecamatan Aru Selatan**

Permukiman ini mewakili permukiman lain dengan keadaan geologi dan ketersediaan air yang terkendala rendahnya curah hujan serta lahan kritis dari singkapan batuan yang sulit untuk pemulihan tutupan hutan. Hutan primer lahan kering yang telah rusak di kawasan ini meninggalkan lahan terbuka dan semak belukar. Solum telah habis terkupas meninggalkan singkapan batuan keras. Permukiman Kalar-kalar di bagian selatan Pulau Aru tersebut berdasar analisis kesesuaian memiliki nilai 19 (Gambar 4.27). Nilai yang cukup tinggi ini didukung oleh mendesaknya ketersediaan air bagi kawasan pesisir barat Aru. Secara teknis, geologi dan morfologi masih dapat mendukung untuk pengembangan sumur optimalisasi, tetapi memerlukan biaya besar untuk pengembangan teknologi akuifer dangkal embung tertutup, terutama untuk pengisian dan distribusi pemakaian airnya.

Pemulihan menjadi lahan yang memiliki tutupan pelindung masih dapat dilakukan, tetapi memerlukan persiapan penyediaan air.

Pembuatan embung tertutup menjadi salah satu usaha yang secara bertahap dapat mengembalikan tutupan pepohonan di lahan kritis ini. Pemakaian air tanah dalam ( $> 70$  meter) dapat dicoba dengan mengetahui apakah terdapat akuifer dan bagaimana pengisiannya selama ini. Pembangunan akuifer buatan pada embung tertutup juga menjadi pilihan untuk menyediakan air bagi pertanian lahan kering dan pemanfaatan semak belukar di sekitar permukiman. Instalasi pemantau lingkungan dan cuaca perlu dibangun untuk memperoleh data cuaca yang mewakili pesisir barat Aru.

Kalar-kalar bersama Kabalukin dan Jerol menjadi satu kawasan strategis pengembangan minapolitan. Kalar-kalar berada di tepi perairan terbuka sehingga terbatas kapasitasnya sebagai pelabuhan pendaratan nelayan. Kabalukin dan Jerol berada di dalam estuari yang terlindung dari gelombang sehingga dapat ditingkatkan perannya sebagai pelabuhan nelayan.

Kalar-kalar dibangun sebagai permukiman nelayan di pantai barat yang menghadap perairan Laut Banda. Permukiman ini menghadapi kerentanan ancaman bahaya muka laut tinggi kejadian ekstrem dari gejala alam cuaca buruk serta gelombang tinggi yang dipicu tsunami dari kawasan aktif tektonik di seputar Laut Banda. Oleh karena



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.74** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Kalar-kalar, Kecamatan Aru Selatan

itu, jalur evakuasi dibuat hingga jauh ke pedalaman hingga cukup aman dari jangkauan tsunami setinggi 15 m dan beberapa bangunan perlindungan dapat dibangun di sekitar permukiman.

### 37. Rebi, Kecamatan Aru Selatan

Permukiman dibangun di tepi muara sungai di atas endapan pantai tidak selaras di atas satuan napal yang kedap air. Permukiman Rebi di bagian pesisir barat Pulau Aru tersebut, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 14 (Gambar 4.27). Air tawar dapat diperoleh dari lapisan sedimen dengan sumur dangkal, tetapi air ini rentan menjadi payau saat musim kemarau karena terobosan air asin terutama saat gelombang kuat dan pasang maksimum. Sumur optimalisasi dapat dibuat di sekitar permukiman dengan menjaga volume air dalam akuifer tetap cukup dengan cara melakukan pengisian melalui injeksi air hujan. Teknologi ini dapat ditingkatkan efisiensinya dengan membangun akuifer buatan sebagai tempat air hujan disimpan sehingga dapat dikendalikan penyimpanannya. Pengisian embung untuk kawasan ini akan tetap menjadi masalah bila mengandalkan air hujan yang tidak banyak tertampung di atap permukiman. Oleh karena itu, harus dicari cara bagaimana mengumpulkan air hujan



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.75** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Rebi, Kecamatan Aru Selatan

Buku ini tidak diperjualbelikan.

tersebut; apakah dengan membangun permukaan tangkapan hujan yang langsung dapat diisikan ke dalam reservoir atau dengan cara lain.

Embung tertutup, selain dibangun di sekitar permukiman untuk memperoleh pengisian air hujan dari tampungan atap, dapat juga dibangun di kebun atau semak di luar permukiman. Air untuk mengisi embung berasal dari hulu sungai di bagian yang ditangkap dengan pintu air dan dialirkan melalui pipa. Air sungai saat musim hujan lebih bersih. Penyimpanan dalam akuifer buatan mempertahankan air tetap bersih. Hal ini berbeda dengan air ditempatkan di kolam terbuka.

### **38. Hokmar, Kecamatan Aru Selatan**

Hokmar dibangun sebagai permukiman pantai pesisir timur Aru di estuari sungai yang mengalir melalui beberapa singkapan batuan terutama napal dan batu gamping serta batu lumpur. Sungai ini dapat menjadi sumber air yang diturap dari hulu ketika air masih bersih dan permukaan air masih pada ketinggian cukup untuk mengalirkan melalui jaringan pipa. Untuk keperluan rumah tangga, air masih dapat diperoleh dari sumur dangkal, tetapi harus dibuat dengan teknologi sumur optimalisasi. Penyimpanan air tawar dengan cara pembuatan akuifer dangkal embung tertutup juga dapat dilakukan di beberapa tempat dengan mengandalkan isian dari air hujan. Embung dibuat dengan mengupas dan menggali lapisan solum hingga kedalaman 7–8 meter dan mencapai lapisan napalan. Setelah ditutup pelapis kedap air, pasir dikembalikan dan siap diisi air tawar dari sungai di pintu air di hulu. Sejauh ini, sebagai daerah datar, upaya peningkatan ketersediaan air dapat dilakukan hingga pada penyimpanannya. Namun, daerah datar menghadapi masalah penyaluran air tersebut kepada konsumen. Bila cara penyimpanan air seperti ini (menyimpan air saat hujan besar ketika kualitas air masih bersih dan berlimpah) dapat dilakukan di banyak tempat di Aru, simpanan air dalam embung tertutup terjaga tetap bersih. Air dipanen saat diperlukan sebagai air sumur dangkal biasa, tetapi tetap tersedia di tempatnya dalam keadaan bersih.



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.76** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Hokmar, Kecamatan Aru Selatan

Lahan di sekitar permukiman telah berubah menjadi kebun dan semak. Peningkatan manfaat lahan dari semak dapat dilakukan seiring peningkatan kelembapan lahannya melalui pembuatan akuifer embung tertutup di berbagai tempat. Pohon tanaman kayu industri dapat menjadi pilihan untuk pemulihan jangka waktu lama. Berdasarkan analisis kesesuaian, permukiman Hokmar di bagian pesisir barat Pulau Aru memiliki nilai 13 (Gambar 4.27). Nilai rendah disebabkan oleh jenis batuan napalan dan lahan datar yang kurang mendukung untuk dibangunnya kolam buatan yang memerlukan lahan berlereng dan bercekungan untuk membangun kolam bendungan.

### 39. Taberfane, Kecamatan Aru Selatan

Permukiman di sana terletak di tepi muara kanal retakan tektonik yang membelah Aru. Taberfane dapat menjadi pijakan sebelum pelayaran masuk ke pedalaman. Tempat ini dibangun di atas singkapan satuan napal batu lumpur gampingan yang menumpang di atas satuan gamping cangkang. Air tawar dapat diperoleh dengan pembuatan sumur optimalisasi pada lahan yang berpasir halus sedimen lepas yang terbawa dan diendapkan di sekitar estuari. Di tengah tanjung terdapat retakan di dataran berupa tanjung yang terisi oleh air (hujan) karena

Buku ini tidak diperjualbelikan.

satuan napal merupakan sedimen kedap air. Air hujan yang tertahan lama kemudian mengisi lembah retakan. Badan air ini dapat menjadi sumber air bagi Taberfane bila kualitas air memenuhi syarat sebagai air baku. Selain retakan yang terisi air, akuifer buatan embung tertutup sebaiknya dibangun untuk menjamin penyimpanan air yang aman dari pencemaran. Embung ini juga dapat menjadi pengisi ke lapisan yang terletak di bawahnya, yakni lapisan batu gamping cangkang yang memiliki kesarangan dan kelulusan. Air diinjeksikan melalui lubang bor yang dibuat di embung tersebut. Dengan cara penyimpanan ini, air terhindar dari penguapan berlebih atau tercemar limbah.

Kerapatan pepohonan dari hutan tropis yang tersisa di tanjung ini menjadi contoh bagaimana hutan di pesisir dijaga tetap lestari guna melengkapi ekosistem hutan tropis dataran rendah. Kawasan ini dapat diusulkan sebagai kebun raya khusus untuk biosfer pesisir barat Aru.

Sebagai daerah terbuka, Taberfane menyanggah kerentanan bahaya gelombang kuat dari perairan barat Aru yang menghadap Laut Banda. Permukiman ini harus dilengkapi sistem peringatan dini dan selalu terjaga kesiapannya untuk penyelamatan cepat. Bila di



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.77** Gambar 5.60 Citra satelit lingkungan di sekitar Taberfane, Kecamatan Aru Selatan. Desa tepi pantai berpasir kuarsa dan karbonat di atas batuan napal batu gamping Formasi Jambulenga dan gamping cangkang Formasi Manumbai.

darat jalur evakuasi melalui jalan, untuk kawasan estuari, evakuasi dilakukan dengan perahu cepat ke arah hulu. Berdasarkan analisis kesesuaian, permukiman Taberfane di bagian pesisir barat Pulau Aru memiliki nilai 13 (Gambar 4.27).

#### **40. Benjina Kecamatan Aru Tengah**

Permukiman di Benjina dibangun menempati dua sisi muara kanal besar yang awalnya adalah lembah dari struktur yang memotong pulau berarah barat laut tenggara. Di bagian ini, lereng kanal memotong dan memberi tebing dari singkapan batuan gamping cangkang dan napal Formasi Manumbai. Masyarakat yang tinggal di pantai mencoba menggali sumur untuk memperoleh air tawar yang merembes mengisi sumur atau keluar sebagai mata air. Air berasal dari bagian atas (hulu) berasal dari resapan hujan yang mengisi rongga dari batuan gamping cangkang.

Sebagai kawasan strategis pengembangan, Benjina memerlukan banyak air untuk memenuhi keperluan semua kegiatannya. Pelabuhan armada kapal tangkap yang berada di sisi kiri kanal telah dilengkapi dengan kolam penampung air. Keperluan air bagi permukiman di sisi timur kanal masih mengandalkan air sumur dan air sumber yang dikelola oleh pemerintah daerah setempat. Akuifer buatan di dalam embung tertutup dapat dibangun di beberapa tempat menggantikan kolam terbuka yang rawan pencemaran. Untuk pengisian, air dapat diperoleh dari bagian hulu melalui sambungan pipa dari mata air di hutan yang masih memiliki sumber air.

Sebagai permukiman pesisir luas dan landai, walaupun sebagian pantai memiliki tebing tinggi, kawasan ini masih dapat dijangkau gelombang tinggi tsunami yang berasal dari perairan Laut Banda. Gelombang dapat masuk ke dalam estuari menuju kanal sempit menyebabkan limpasannya semakin tinggi. Jalur evakuasi dibangun hingga jauh ke pedalaman.

Bangunan perlindungan disediakan di beberapa tempat, terutama di dataran sisi barat kanal. Evakuasi dari tempat ini memerlukan jalur panjang dan jauh melingkar menuju pedalaman. Pantai di dataran



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.78** Citra satelit lingkungan di sekitar Taberfane, Kecamatan Aru Selatan. Desa tepi pantai berpasir kuarsa dan karbonat di atas batuan napal batu gamping batu lumpur Formasi Wasir dan gamping cangkang Formasi Manumbai.

sisi kiri kanal disarankan dijaga dan ditingkatkan kerapatan dengan tanaman pohon yang lebih tinggi guna menapis gelombang. Evakuasi juga bisa dilakukan dengan menghindari ke arah pedalaman menggunakan perahu cepat. Semua sarana ini harus selalu diperiksa agar tetap berfungsi dengan baik.

Permukiman ini memerlukan alat pemantau cuaca dan lingkungan yang dapat menyediakan data secara menerus dan *online* untuk mewakili bagian tengah sisi barat Pulau Aru. Instrumen tersebut juga diperlukan untuk mendukung penerbangan yang meningkat seiring pertumbuhan Benjina sebagai kawasan strategis pengembangan sektor kelautan. Permukiman Benjina di bagian pesisir barat Pulau Aru memiliki nilai 13 dalam analisis kesesuaian (Gambar 4.27).

#### 41. Nafar, Kecamatan PP Aru

Permukiman pantai ini terletak di pesisir landai sisi barat Aru dan menempati singkapan batuan anggota Jambulenga berupa napal yang menumpang di atas satuan batuan gamping cangkang Formasi Manumbai. Air dapat diperoleh dari sumur dangkal bila galian dapat menembus lapisan napal dan mencapai satuan gamping yang memi-

liki kesarangan untuk menerima air resapan. Air sumur yang berada dekat pantai tercemar air asin terobosan, terutama saat pasang tinggi atau ketika air tawar dalam lapisan tanah berkurang saat kemarau. Peningkatan ketersediaan air tawar dilakukan dengan membuat sumur resapan dan biopori guna menambah volume resapan air di saat musim hujan. Dataran di dekat pantai ditambahkan kerapatannya dengan tutupan tanaman pohon yang memberi perakaran kuat sehingga menghasilkan solum tebal penghalang air merembes keluar dan mencegah air asin menerobos masuk ke dalam. Rapatnya pohon ditambah pemulihan mangrove di pantai dapat menahan aliran air permukaan masuk laut. Biopori di sekitar jajaran tanaman pohon pionir mempercepat resapan air hujan mengisi akuifer.

Selain biopori yang diharapkan mengisi akuifer batuan dari Formasi Koba, perlu dibangun akuifer buatan berupa isian pasir kasar dan kerikail di embung terbuka. Tujuannya adalah memastikan agar air tetap tersimpan di reservoir ini karena pengisian yang dilakukan ke dalam batuan formasi Koba belum diketahui apakah masih tetap tersimpan di sekitar resapan atau telah mengalir ke berbagai arah.

Lembah retakan sebagai bagian dari retakan besar di sekitar Nafar dapat difungsikan sebagai kolam terbuka penyimpanan air. Sebagian hu-



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.79** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Nafar, Kecamatan PP Aru

Buku ini tidak diperjualbelikan.

tan telah rusak karena mengalami perambahan oleh masyarakat yang masuk melalui alur kanal. Lahan rusak ini harus segera dipulihkan dengan tanaman hutan produksi atau kebun tanaman monokultur, seperti budi daya ulat sutra. Budi daya lebah madu dapat dikembangkan di kawasan ini sebagai bagian dari pemanfaatan hutan produksi non-kayu dengan jenis lebah alam setempat.

Permukiman ini menyandang kerentanan gelombang tinggi dari arah perairan Laut Banda dan berpotensi tsunami akibat gempa yang tinggi kerapatan pusat gempanya. Permukiman Nafar, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 13 (Gambar 4.27).

#### **42. Lau-lau, Kecamatan PP Aru**

Permukiman ini terletak di pesisir barat Aru dan menempati satuan batuan anggota Jambulenga yang tidak selaras berada di atas batuan gamping cangkang Formasi Manumbai. Bila satuan napalnya tipis, di sumur penduduk akan ditemukan batuan yang berongga dari gamping cangkang. Dari satuan ini dapat diperoleh air yang meresap menerobos satuan napal melalui retakan atau bagian yang telah lapuk. Terdapat kemungkinan akuifer dangkal satuan gamping terbuka dan terisi air asin sehingga sumur penduduk menjadi payau, terutama saat musim kemarau. Perlu pembuatan biopori sebanyak mungkin di bagian lahan yang terbebas dari limbah. Resapan melalui bipori ini membantu meningkatkan ketersediaan air di akuifer. Pengisian ini tidak dapat diketahui apakah tetap tersimpan atau mengalir keluar dari akuifer. Pembuatan akuifer permukaan pada embung tertutup dapat mengendalikan simpanan air agar tidak lolos dan selalu dapat diperoleh air simpanannya.

Kendala bagi daerah ini untuk membangun tempat penyimpanan air adalah jenis batuan yang tidak memberi ruang kesarangan di batuan napal. Pembuatan akuifer permukaan embung tertutup juga menghadapi kendala ketersediaan bahan sedimen lepas kasar sebagai sedimen untuk peresapan air. Berdasarkan analisis kesesuaian, permukiman Lau-lau di bagian pesisir barat Pulau Aru tersebut memiliki nilai 14 (Gambar 4.27).



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.80** Citra Satelit Lingkungan di Sekitar Lau-lau, Kecamatan PP Aru.

### 43. Tunggu, Kecamatan PP Aru

Tunggu terletak di pantai pesisir barat Aru dan berupa kelompok rumah di tepi pantai dibangun di atas lahan dari singkapan batuan napal pasiran berlapis. Di pantai, terendapkan sedimen pecahan cangkang dan hasil erosi dari hulu yang diangkut beberapa sungai yang bermuara di dekatnya. Permukiman masih dikelilingi mangrove di bagian pantai, tetapi bagian belakangnya berupa semak dan lahan terbuka. Lahan di kawasan ini rentan terhadap perambahan karena tipis dan sulit membentuk solum baru. Pemulihan tutupan lahan memerlukan tindakan segera diiringi peningkatan kelembapan lapisan yang telah terbuka sebagai semak. Pembuatan sejumlah embung tertutup diharapkan dapat meningkatkan kelembapan.

Perambahan hutan bertujuan memperoleh kayu untuk bahan bangunan di Kota Dobo. Pemulihan hutan dengan tanaman kayu industri (*Tectona grandis*) diharapkan dapat mengurangi ketergantungan masyarakat dari kayu hutan alami.

Napal dengan cepat terkikis begitu lahan rusak menjadi lahan kritis. Pemulihan lahan terkendala oleh sulitnya memperoleh air untuk tanaman pionir. Pembuatan embung tertutup menjadi jalan

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.81** Citra satelit lingkungan di sekitar Tunggu, Kecamatan PP Aru.

keluar penyimpanan air sekaligus memulihkan tutupan lahan dengan menjaga kelembapannya. Pasir pembangun akuifer buatan diperoleh dari singkapan Formasi Manumbai berupa hancuran batu gamping cangkang. Lahan kritis ditanami dengan pohon kayu, seperti jati, sebagai usaha untuk memenuhi permintaan akan bahan bangunan untuk pembangunan di Dobo. Penanaman hutan kebun ini memerlukan cukup air sehingga harus disiapkan dahulu reservoir penyimpanannya. Permukiman Tunggu di bagian pesisir barat Pulau Aru, berdasarkan analisis kesesuaian, memiliki nilai 14 (Gambar 4.27). Nilai rendah disebabkan oleh datarnya lahan dan jenis batuan napal yang tersingkap di daerah ini.

#### **44. Womar bagian utara, Kecamatan PP Aru**

Pulau Womar atau Wamar merupakan salah satu dari beberapa pulau yang berada di perairan barat Aru yang dipisahkan oleh selat dangkal dari pulau utama. Sebagai tempat ibu kota pemerintah daerah, pulau kecil ini memerlukan perhatian khusus terkait dengan pengelolaan lahan dan sumber daya. Daerah ini berkembang menjadi salah satu simpul transportasi penting di Indonesia timur, khususnya menjembatani Maluku bagian tenggara dengan Papua bagian selatan. Dobo

di Pulau Womar menjadi tujuan utama sebelum menuju pedalaman. Jumlah penduduk yang bertambah dengan cepat dan meluasnya tempat permukiman menjadi tantangan dalam mengatur lahan dan sumber daya alam di wilayah ini.

Pesisir bagian barat, selatan, barat laut, dan barat daya menghadap perairan yang terbuka sehingga rentan terhadap gelombang tinggi. Pantai terbangun dari pasir karbonat mengandung kuarsa. Pematang pantai purba membentuk jajaran undak, terbangun dari pasir karbonat, dan mengandung kuarsa. Pematang purba ini menumpang di atas napal dan lempung gampingan Formasi Wasir yang dapat menjadi alas akuifer pematang purba menyimpan air. Pematang purba yang berupa timbunan pasir lepas ini menjadi sumber bahan bangunan untuk memenuhi permintaan sebagian keperluan masyarakat Dobo. Selain dari pematang purba, pasir juga dikeruk langsung dari timbunan di pantai saat laut surut. Pasir juga ditambang dari pantai di beberapa pulau di dekat Dobo.

Bila memperhatikan bentang alam, pulau ini memiliki bagian rendah berawa di bagian baratnya. Di bagian tengah dan barat daya, terdapat daerah berbukit rendah dari singkapan napal batu lumpur pasiran. Dengan singkapan geologi seperti demikian, keperluan bahan bangunan, seperti pasir dan batuan, tidak tersedia di pulau kecil ini. Penambangan pasir untuk bahan bangunan nyaris menghabiskan pematang purba. Penambangan juga dilakukan terhadap pasir pantai di mintakat intertidal. Perubahan bentang pantai menyebabkan massa air dari gelombang yang datang berubah titik jatuh tenaga maksimumnya ke bagian tebing yang lemah hingga merusak tebing pantai tersebut. Gelombang semakin tidak terbandung dan meluncur jauh naik ke darat. Dataran pantai belakang perumahan yang membelakangi pinggir pantai di Desa Wangel dan Durjela maupun permukiman pantai lainnya semakin terbongkar. Upaya pembangunan tanggul penahan tidak menyelesaikan masalah karena kekuatan tanggul tidak dapat mengimbangi tenaga maksimum gelombang yang tidak teredam lagi oleh morfologi dan terumbu karang. Terumbu karang rusak terbongkar oleh penambangan yang memakai bongkah

Buku ini tidak diperjualbelikan.

korol mati dari rataaan terumbu sebagai bahan bangunan (fondasi gedung dan pengerasan jalan).

Terbukanya dinding tebing pantai akibat abrasi gelombang memberi jalan terobosan air asin masuk ke dalam lapisan pasir pantai. Hal ini mengakibatkan sebagian sumur penduduk mengalami pencemaran. Keadaan ini juga terjadi di permukiman dalam kota di sepanjang pantai utara dari ujung timur Pulau Womar hingga bagian pantai di sekitar pasar kota.

Kecuali pantai timur dan sebagian wilayah tenggaranya, pantai Pulau Womar berupa singkapan lapisan berpasir karbonat dari hancuran terumbu karang dan batulumpur gampingan dari Formasi Wasir dan pecahan gamping cangkang Formasi Manumbai. Pantai bagian utara berupa singkapan batuan napal batu lumpur gampingan berlapis buruk. Sisi barat laut pulau yang masih menyisakan lahan semak diusulkan sebagai tempat membangun akuifer buatan embung terbuka yang diperuntukkan bagi pengembangan kawasan permukiman dan sarana umum.

Penyimpanan air di wilayah yang saat ini telah menjadi permukiman dapat dikembangkan dengan menyuntikkan air tampungan hujan dari masing-masing rumah ke dalam lapisan bawah tanah yang mempunyai kesarangan. Sumur resapan dan biopori dibuat di halaman rumah atau lahan kosong yang ada. Kawasan ini harus dipulihkan tutupan tanamannya agar mengurangi erosi serta menjadi interseptor hujan agar cukup waktu meresap ke dalam solum menjadi air tanah dangkal.

Sumur optimalisasi dikembangkan di permukiman pantai barat dan utara yang memiliki solum atau sedimen halus yang tebal dan terisi air tawar. Padat dan banyaknya rumah yang ada dapat mengumpulkan sejumlah air yang menjadi bahan untuk diinjeksikan ke dalam akuifer atau disimpan di dalam embung tertutup ke dalam akuifer buatan. Air hujan yang telah jatuh dan mengalir di permukaan tidak disarankan untuk disimpan dalam akuifer.

Sisi barat dan utara Pulau Womar menyandang kerentanan terhadap gelombang tinggi kejadian ekstrem cuaca maupun geologi



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.82** Citra Satelit Lingkungan di Pulau Womar bagian utara

yang memicu gelombang tsunami. Untuk menghadapi keadaan ini, harus disediakan jalur evakuasi sebanyak mungkin dari kota bawah kawasan sekitar pelabuhan menuju bagian tengah pulau yang relatif tinggi letaknya. Jalur evakuasi pun dapat melalui berbagai jalan yang telah ada, misalnya jalan menuju bandar udara. Mangrove di pesisir sisi timur perlu dipulihkan dan dijaga keutuhannya. Permukiman di Pulau Womar bagian utara di gugusan barat Pulau Aru, berdasarkan analisis kesesuaian, mendapatkan nilai 28 (Gambar 4.27).

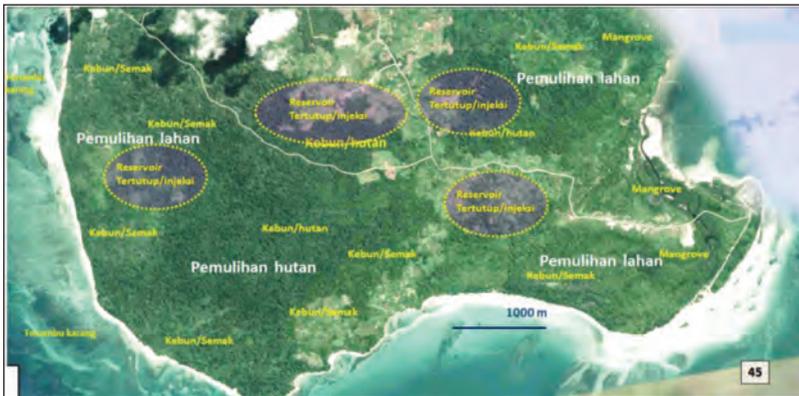
#### **45. Womar bagian Selatan, Kecamatan PP Aru**

Bagian selatan Pulau Womar berupa lahan berbukit rendah dan bergelombang, sementara pesisir timur dan selatan berupa undak pematang pantai purba dari pasir karbonat mengandung kuarsa. Bagian ini sebagiannya masih berupa hutan primer, tetapi sudah mengalami perambahan menjadi ladang dan semak belukar. Keadaan ini sebenarnya menjadi titik tolak tata ruang untuk pemulihan dan penguatan lingkungan Pulau Womar. Lahan terbuka di pesisir selatan harus dikendalikan dan dipulihkan tutupannya sehingga kembali lebar dengan tanaman pohon untuk hutan produksi kayu dan non-kayu.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Lahan yang telah dirambah dan tersisa sebagai semak dapat dikelola sebagai tempat penyimpanan air dalam bentuk embung tertutup.

Bagian barat daya pulau yang masih memiliki tutupan lebat dapat diusulkan menjadi taman nasional dan kebun raya bersama kawasan barat di selatan permukiman dekat pelabuhan yang saat ini berupa hutan mangrove. Suatu koridor berupa penyangga ditetapkan untuk menghubungkan agar dua lokasi tersebut terhubung. Dengan penyangga, perluasan perambahan dicegah terhadap dua sisa lingkungan yang masih terjaga sehingga lingkungan ini dapat diselamatkan. Penentuan pesisir tenggara menjadi kawasan wisata lingkungan dan edukasi merupakan upaya pengelolaan terbatas terkendali. Penataan kawasan ini berikut programnya diarahkan dengan muatan sosialisasi dan diseminasi konsep pengelolaan sumber daya alam-lingkungan yang berkesinambungan. Oleh karena itu, diperlukan adanya suatu keterpaduan dalam menghimpun potensi masyarakat untuk mewujudkan penataan Pulau Womar, dan hal ini bisa dilakukan oleh pemerintah daerah. Bagian selatan Pulau Womar, berdasarkan analisis kesesuaian, mendapatkan nilai 28 (Gambar 4.27). Tingginya nilai disebabkan oleh tingkat kebutuhan penguatan ketersediaan air tawar sangat tinggi untuk permukiman di Pulau Womar walau konsentrasi permukiman-nya berada di bagian utara pulau.



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.83** Citra Satelit Lingkungan di Pulau Womar bagian selatan.

## 46. Kota Dobo, Kecamatan PP Aru

Kota Dobo semula merupakan kota kecamatan, setelah ada pemekaran daerah Kepulauan Aru, wilayah ini menjadi meningkat menjadi wilayah administrasi Kabupaten.

Pusat kegiatan kota ini terdiri dari perniagaan (pasar), perkantoran, rumah ibadah, pelabuhan, dan beberapa kantor pelayanan masyarakat di bagian timur laut pulau. Sisi ini cukup terlindung dari angin maupun gelombang yang berasal dari perairan Laut Banda. Sebagian tempat ini semula merupakan pesisir dengan genangan rawa dan mangrove. Sisa dari ekosistem ini masih utuh di sisi barat dari pulau di selatan dari pelabuhan. Peningkatan penduduk diikuti meluasnya permukiman merambah mangrove dan menimbunnya dengan batu dari koral terumbu karang dan ditimbun pasir yang diperoleh dari pantai di sisi barat pulau. Di lahan reklamasi ini, perumahan tumbuh berdesakan dan hanya menyisakan jalur sempit jalan tanpa kelengkapan sanitasi. Di permukiman ini tidak dapat dibuat sumur karena airnya asin atau payau. Masyarakat memperoleh air minum dari pedagang yang berkeliling dengan gerobak atau perpipaan dari PDAM yang sangat terbatas. Pusat perdagangan di kota sekitar pelabuhan merupakan lahan datar dan rendah yang terjangkau genangan saat pasang naik maksimum. Genangan dapat mencapai ketinggian  $>20$  cm dan menutup jalan raya. Genangan ini mencemari darat dengan limbah padat yang terbawa masuk ke darat dan mencemari air tawar dangkal menjadi asin. Limbah padat tertinggal di parit atau di lorong di antara rumah padat menimbulkan lingkungan beraroma tidak sedap dan lembap.

Hasil pengukuran tahanan jenis di Dobo pada lintasan sekitar lapangan olah raga memperlihatkan terdapatnya lapisan yang berisi air tawar. Lapisan berisi air tawar juga terlihat hingga kedalaman  $> 6$  meter di bawah lapisan yang terisi atau diterobos air asin. Oleh karena itu, disarankan untuk membuat sebanyak mungkin biopori atau kolam resapan untuk mengisi solum sebagai peningkatan ketersediaan air dan mencegah intrusi air asin di bagian pesisir yang berjarak  $> 100$  meter. Sumur optimalisasi dapat dibangun di sekitar tempat

ini untuk melayani keperluan air masyarakat. Pesisir barat Wamar sekitar Wangel dan Durjela yang memiliki pematang pantai dapat ditingkatkan penyimpanan air tanah dangkalnya dengan injeksi air hujan yang terkumpul dari atap rumah penduduk.

Pengisian kembali air tanah dalam dengan injeksi air hujan harus dilakukan di bagian kompleks bangunan kantor/sarana pemerintah daerah yang banyak memakai air tanah, Bangunan tinggi dengan atap luas memberi peluang pengumpulan air hujan sebagai air yang diinjeksikan.

Pembangunan jangka pendek Dobo harus mendahulukan menata kota bawah (kota lama) dengan membangun jalan yang bersih, merelokasikan masyarakat yang menempati permukiman padat di pesisir utara sekitar pasar, memugar bangunan budaya, dan membangun sarana sanitasi. Kota tua dapat dijaga keaslian dan fungsinya, tetapi dibatasi intensitas kegiatan di dalamnya sehingga mengurangi kesibukan yang menyebabkan suasana menjadi centang-perenang dan kumuh. Penataan ulang ruang hunian di kota lama maupun di sekitar kompleks pemerintah daerah dilakukan dengan membangun bangunan bertingkat untuk menghemat lahan yang terbatas di Pulau Wamar.



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.84** Citra Satelit Lingkungan di Kota dan Pinggir Barat Dobo

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tingginya ancaman bahaya muka laut tinggi terhadap kawasan kota lama mengharuskan pembangunan jangka pendek menyediakan sarana mitigasi dan adaptasi tanggap bahaya, termasuk ketersediaan air bersih saat tanggap darurat. Untuk menghadapi keadaan dan kecenderungan perkembangan kota, diperlukan kepemimpinan yang tangguh agar dapat membentuk dan membangun masyarakat dalam keterpaduan. Permukiman kota Dobo di Pulau Wamar memiliki nilai 28 berdasarkan analisis kesesuaian (Gambar 4.27).

#### **47. Pulau Wamar**

Pembahasan lebih mendalam dilakukan terhadap Pulau Wamar karena status dan letaknya memiliki kecenderungan pertumbuhan yang mengarah pada terlampauinya daya dukung sumber daya alam dan lingkungan pulau kecil. Pertumbuhan kota sejak awal harus dikendalikan dan didasarkan pada pengembangan kawasan Maluku dan Kepulauan Aru sendiri.

Menjaga lingkungan Pulau Wamar harus dilakukan mengingat pulau ini merupakan etalase dari Kepulauan Aru. Bila pengelolaan jendela depan ini baik, dipastikan apa yang dilakukan di daerah lain di pedalaman dapat menjadi lebih baik hasilnya.

Guna mempertahankan lingkungan Pulau Wamar dari kerusakan lingkungan, pengembangan Dobo perlu dikendalikan agar terjaga keseimbangan di antara kawasan permukiman, perkantoran, jasa dan niaga, transportasi, dan jasa pendidikan kesehatan. Selain itu, perlu adanya penataan jalur yang lebih mudah diakses yang dilengkapi jaringan sanitasi.

Pulau dirancang memiliki kawasan pengembangan kota dengan kelengkapan sarananya, serta kawasan perlindungan dan penyangganya. Kawasan kota terbagi dalam beberapa peruntukan, tetapi untuk perumahan, dalam penataannya—selain sebagai permukiman—juga dapat menjadi penjaga daur dan neraca air.

Status peruntukan lahan yang ada saat ini harus ditinjau ulang dan dinyatakan sebagai status quo hingga tata ruang yang lebih berpi-

hak pada pengelolaan lestari diperoleh dan dinyatakan sebagai acuan baru. Penataan ruang di Pulau Wamar harus diiringi peningkatan kapasitas dari simpul baru di pesisir barat, yakni di Benjina, yang menjadi alternatif baru simpul jaringan distribusi dan pengendalian pemerintahan di Aru. Peran Dobo secara bertahap dikurangi dan dialihkan, sementara program-program pengembangan yang telah direncanakan di Dobo diarahkan ke simpul alternatif lain dengan merata ke berbagai tempat.



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.85** Citra Satelit Lingkungan Pula Wamar dengan Usulan Pengelolaan yang Didasarkan pada Pendekatan untuk Pemulihan dan Penguatan Ekosistem Pendukung Neraca dan Daur Air

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Rasio antara lahan terbangun dengan lahan yang berfungsi sebagai unsur alam tersebut bukan sekadar dalam hal luasannya, tetapi juga dalam hal kualitas daya dukung. Sebagai contoh, sarana yang baik dalam suatu ruang diukur berdasarkan kualitas volume ruang dan bukan berdasar luasan lahan. Bangunan bertingkat untuk permukiman dibangun terpisah dengan sarana umum dan jalan yang menjamin pergerakan masyarakat. Dengan cara ini lahan dapat dihemat, sementara dinamika pergerakan masa dapat ditata lebih baik. Kawasan ini juga dilengkapi dengan sarana penyimpanan dan pengolahan limbah. Kawasan penyangga diperuntukkan sebagai penghasil bahan pangan yang harus cepat tersedia, seperti sayur, buah, palawija dan tanaman pelindungnya, serta ternak penghasil telur, daging dan susu. Pertanian, perkebunan, dan peternakan di kawasan penyangga dirancang dan dibangun dengan efisiensi tinggi sehingga limbah dapat didaur ulang sebagai bahan pupuk atau pakan ternak. Pemikiran mengelola sumber daya alam dan lingkungan terbatas pulau kecil dengan konsep lestari ini sebenarnya menantang masyarakat Dobo untuk berekreasi. Bila pemikiran ini terwujud, Pulau Wamar dan Dobo dapat dijadikan model suatu kota kabupaten di pulau kecil yang dibangun dengan niat luhur, konsep cerdas, dan semangat tanpa kenal menyerah.

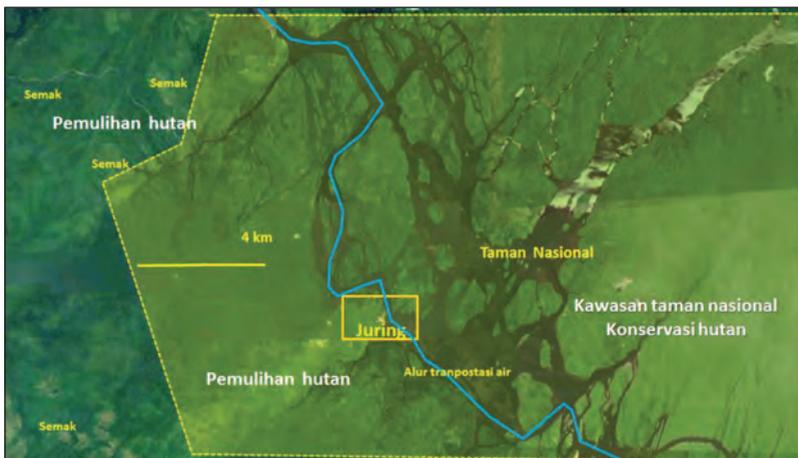
#### **48. Juring, Kecamatan PP Aru Selatan Timur**

Letak permukiman ini di tengah hutan di tepian kanal yang melebar dengan beberapa pulau yang tersebar membentuk daratan sempit. Selain kawasan usulan yang telah dirancang untuk konservasi di kanal retakan di bagian utara, pada kanal ini terdapat ekosistem yang berupa tebaran pulau-pulau kecil di perairan yang terbentuk dari retakan dan sesar. Karena letak di bagian tengah pulau, kawasan ini hanya dapat dicapai dengan menelusuri kanal hingga pedalaman di bagian tengah pulau. Di tengah ekosistem genangan ini terdapat permukiman Juring. Batas luasan kawasan ini adalah sekeliling bagian kanal yang melebar berupa kumpulan pulau yang terletak di dalam lingkungan genangan.

Biosfer yang terdapat di dalam kawasan ini perlu dilindungi dari kerusakan dan kepunahan karena kanal ini menjadi jalur yang akan padat oleh transportasi yang menghubungkan pesisir barat dan timur Alor.

Guna melindungi kawasan ini dari ramainya alur transportasi dan terobosan masyarakat yang dapat menimbulkan kerusakan, ditentukan bagian mana yang menjadi daerah perlindungan dan kawasan mana yang berstatus kawasan taman nasional yang di dalamnya disediakan lahan untuk membangun eko sains teknopark (Gambar 4.87). Lahan untuk teknopark sebaiknya di dekat permukiman Juring agar mempermudah pengelolannya. Jalur transportasi disediakan di sisi selatan bagian alur paling luar (Gambar 4.86).

Lingkungan genangan di dalam kanal ini berada pada satuan batuan Formasi Koba yang tersusun terutama oleh batu gamping kapuran dan napal. Morfologi semi karst menjadi ciri bentang alam singkapan batu gamping dengan cerukan lubang-lubang pelarutan. Dengan singkapan batuan di lahan seperti itu, air tawar sulit tertahan tanpa lolos melalui rongga-rongga pelarutan tersebut.

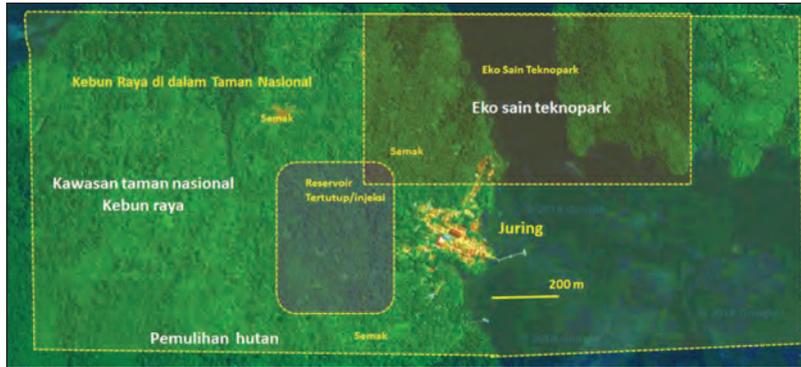


Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.86** Citra Satelit Lingkungan Sekitar Juring di Tepi Kanal dan Lahan Basah Pedalaman Kecamatan Aru Selatan Timur

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Air yang tergenang di lahan basah ini berada pada ketinggian yang tidak memberi dorongan untuk mengalir. Serasah yang tertimbun melarutkan bahan organik menjadikan air keruh dan mengandung asam humus.



Sumber: Google (2018)

**Gambar 4.87** Citra Satelit Permukiman Juring di Salah Satu Gugus Pulau di Dalam Kanal di Pedalaman Kecamatan Aru Selatan Timur.



## V

# Mitigasi dan Adaptasi Kepulauan Aru Terhadap Kerentanan Sumber Daya Air Melalui Pemulihan dan Perlindungan Lingkungan Alamiah

---

Latar belakang keadaan alam, kependudukan, hingga masalah lingkungan Kepulauan Aru menjadi dasar pemikiran untuk meningkatkan ketersediaan air domestik (non-irigasi teknis). Pembahasan dan penjelasan dengan diagram yang didasarkan dan dikembangkan dari penelitian di bagian sebelumnya menjadi dasar dari saran dan pertimbangan yang diajukan. Latar belakang kerentanan kawasan ini terhadap kejadian ekstrem merupakan latar belakang yang menjadi ancaman terhadap neraca air, terutama kawasan pesisir landai. Sasaran utama adalah bagaimana merancang adaptasi guna meningkatkan daya dukung lingkungan sebagai daya dukung neraca air serta bagaimana membangun dan mengembangkan teknologi pengelolaan-penyimpanan bijaksana air secara lestari. Pendekatan pemulihan dan perlindungan lingkungan diupayakan juga melibatkan masyarakat dan pemangku kepentingan sejak pemahaman masalah hingga penyelesaiannya. Pembangunan dan pengembangan kebun raya dan eko sains teknopark merupakan pendekatan yang edukatif dan aspiratif sekaligus dapat memperkuat lingkungan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Tulisan tentang kerangka kerentanan, mitigasi, dan adaptasi yang dilakukan dengan pendekatan pemulihan dan penguatan lingkungan ini masih dapat dikembangkan dan disempurnakan sehingga menjangkau berbagai masalah berikut penyelesaiannya di Aru. Pemikiran ini dapat diwujudkan bila terdapat kesempatan memperoleh data lapangan lebih banyak lagi. Tulisan ini menjadi model bagaimana suatu pulau kecil datar di kawasan perbatasan dengan dana dan tenaga terbatas harus menghadapi ancaman bahaya dan berusaha mengatasi masalahnya dengan mengandalkan kemampuan mengelola alam secara lestari berkesinambungan.

Tulisan ini merupakan hasil penelitian yang dikembangkan lebih lanjut dengan memilih pendekatan analitik guna memulihkan dan meningkatkan kapasitas lingkungan pulau kecil dalam memperkuat daur dan neraca hidrologi berdasarkan kemampuan potensi alam. Alur pendekatan analitik disampaikan pada Gambar 2.2. Berdasarkan dinamika alam dan keadaan lingkungan pulau serta memperhitungkan sejauh mana campur tangan manusia dalam menghasilkan keadaan saat ini, dilakukan analisis kesesuaian bagi upaya penerapan teknologi peningkatan ketersediaan air yang mengandalkan kekuatan alam dan lingkungan pulau kecil. Unsur yang bekerja menghasilkan dinamika alam (misalnya atmosfer, laut, bumi, dan biota) diperikan dan digambarkan keadaan dan kecenderungan perubahannya. Bentang alam atau morfologi yang menjadi unsur bumi mendapat perhatian mengingat peran pentingnya dalam daur dan neraca air pulau kecil. Dengan mempertimbangkan keadaan sosial kemasyarakatan serta keadaan lahan dan landasan hukum, dibuat model rancangan upaya adaptasi dan peningkatan ketahanan sumber daya. Pada upaya ini, pemangku kepentingan diperikan dan ditentukan, disertakan pula analisis risiko. Usulan pendekatan tersebut menjadi acuan kajian dalam tulisan ini dan menghasilkan gambaran rinci untuk setiap lokasi terpilih yang mewakili keragaman dan ciri masalah yang dihadapi. Pada bagian akhir, diagram alir pengembangan ekosistem yang telah teruji dilengkapi dengan identifikasi variabelnya; apakah sebagai unsur alamiah atau antroposen dan apakah sebagai suatu

potensi sumber daya atau sebagai potensi ancaman bahaya maupun bencana. Diagram yang dilengkapi dengan perhitungan ancaman bahaya ini dapat menggambarkan keperluan mitigasi dan adaptasi dalam menyongsong bencana sehingga kemampuan dan ketahanan alamnya selalu memiliki daya tahan dan dalam upaya pengelolaan lestari. Hal tersebut diharapkan dapat dicapai ketika lingkungan telah memiliki ketahanan melalui upaya pemulihan/penguatan dan perlindungan dalam berbagai bentuk lingkungan, seperti kebun raya dan taman nasional.

Beberapa catatan, kesimpulan, dan pandangan ke depan dapat disampaikan sebagai hasil dari analisis dan pembahasan sebagai berikut.

Kepulauan Aru berada pada pengaruh putaran musim Asia Australia. Dinamikanya berkaitan erat dengan dinamika cuaca-iklim kawasan lebih luas, seperti badai tropis, ENSO dan IOD (*Indian Dipole Mode*). Gejala tersebut juga disertai kejadian ekstrem cuaca dan ancaman muka laut tinggi. Siklus dan neraca hidrologi terpengaruh oleh anomali kondisi cuaca sehingga mengurangi curah hujan sebagai satu-satunya sumber air tawar pada neraca hidrologi pulau kecil. Anomali cuaca-iklim sangat kuat memicu kejadian ekstrem di perairan sekeliling Aru dan menimbulkan ancaman bahaya kebakaran hutan akibat kekeringan, banjir, dan muka laut tinggi (misalnya hantaman gelombang dan genangan air laut). Mitigasi dan adaptasi dalam menghadapi keadaan ini adalah menjaga kawasan pesisir dan pantai tetap memiliki pelindung alamiah. Selain dari kejadian ekstrem cuaca, ancaman muka laut tinggi kawasan ini juga berupa gelombang tinggi tsunami yang terpicu oleh gempa yang tinggi potensi kejadiannya di kawasan Laut Banda.

Muka laut tinggi menyebabkan penggenangan pesisir, mencemarkan air tawar di permukaan, dan meningkatkan intrusi air asin pada akuifer tanah dangkal. Upaya penghentian perusakan diikuti pemulihan dan menjaga ekosistem pantai menjadi penyelesaian utama masalah ketersediaan air tawar permukiman pantai. Pembuatan sumur

optimalisasi, sebagaimana yang diusulkan, merupakan sisi adaptasi lain untuk memperoleh air tawar.

Kepulauan Aru terletak di tepi paparan benua dan merupakan daratan dengan bentang alam relatif datar karena tidak banyak mengalami proses geologi perlipatan. Keadaan ini tidak memberi morfologi bergunung atau berbukit yang menguntungkan guna memicu hujan orografi dan menjaga putaran air berlangsung perlahan di darat guna meningkatkan penyimpanan air. Oleh karena itu, diperlukan rekayasa guna meningkatkan ketersediaan air di semua tempat di Aru.

Beberapa teknologi penyimpanan-pengelolaan air dalam berbagai keadaan dan tempat diusulkan dikembangkan sesuai daya dukung alam dan keperluannya. Pendekatan alamiah pada penguatan lingkungan yang menopang neraca hidrologi lebih diutamakan guna meningkatkan ketersediaan air. Penerapan teknologi penyimpanan yang hemat lahan dengan sesedikit mungkin mengubah lengkungan dipilih dengan memperhitungkan kesesuaian daya dukung dan tingkat kebutuhan air. Penyimpanan dan pengelolaan air di permukiman pantai dilengkapi dengan teknologi pengelolaan limbah guna menjaga kebersihan lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Air tanah dalam di Kepulauan Aru merupakan air formasi di dalam lapisan batuan yang terbatas kapasitas dan kelestariannya. Pemakaian berlebih menyebabkan intrusi air asin yang masuk langsung dari air laut di permukiman pantai ke dalam lapisan akuifer. Pengisian pada lapisan akuifer oleh air asin juga berasal dari air fosil yang merembes dari formasi sedimen yang menyimpan air asin di dekat akuifer yang terpompa air tawarnya. Oleh sebab itu, pengisian kembali dengan cara injeksi perlu dilakukan segera. Injeksi dilakukan pada akuifer yang telah diperiksa, dipelajari, dan dipilih dengan syarat-syarat teknis dan ekonomi yang terpenuhi. Pengisian ini dilakukan pada akuifer air tanah dangkal permukaan atau air tanah dalam dengan tata cara yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Air tanah dangkal hanya terisi ulang oleh resapan air hujan. Pemakaian berlebih mengancam pengurangan masa air tawar. Kekosongan pada akuifer

akan diisi air asin yang tidak dapat diganti lagi oleh resapan air hujan dari permukaan. Pemulihan air tawar pada akuifer dangkal dilakukan dengan cara injeksi air hujan yang sebelumnya dikumpulkan dari atap dan disimpan di tangki penampung.

Air tawar tanah dangkal juga terancam polusi limbah cair maupun likhit limbah domestik maupun industri (hasil laut). Pengendalian limbah harus segera dilakukan guna mencegah rusaknya air tawar tanah dangkal. Pembuatan reaktor pengolah limbah domestik secara komunal harus dilakukan terutama di permukiman pantai. Sarana penimbunan dan pengolahan sampah kota untuk Dobo harus dibangun mengikuti tata cara yang benar. Penimbunan limbah yang ada saat ini berpotensi menyebarkan likhit masuk ke dalam sistem air tanah dangkal.

Penambangan pasir tidak terkendali pada pematang pantai merusak neraca hidrologi air tanah dangkal (kuantitas). Kerusakan kawasan resapan dan penyimpanan ini berdampak terjadinya intrusi air laut yang merusak kualitas air tanah dangkal. Penambangan koral di lepas pantai dan perambahan mangrove menambah ancaman gempuran langsung gelombang besar yang merusak fisik pantai, sementara limpasan airnya merusak air tawar pantai. Penambangan material merupakan jalan pintas memperoleh bahan bangunan yang memang tidak cukup tersedia untuk memenuhi laju pembangunan fisik, khususnya Kota Dobo di Pulau Womar. Penambangan pasir di pantai masih dapat dilakukan, tetapi harus terukur (memperhitungkan antara pengambilan dengan pemulihan timbunan pasir di pantai yang berasal dari rombakan terumbu karang). Bila kehidupan terumbu karang terjaga, terutama jenis cabang, asupan bahan karbonat pecahan terumbu karang akan cukup untuk memulihkan timbunan pasir pantai.

Penguatan ketersediaan air di gugus Kepulauan Aru dengan beberapa macam rekayasa hendaknya dilakukan secara terencana melalui kajian terpadu dan dukungan data yang memadai guna menghindarkan dari kesalahan yang berdampak negatif. Oleh karena itu, diperlukan data meteorologi yang lengkap yang terkait keadaan

cuaca dan curah hujan guna mengetahui neraca hidrologi pulau. Untuk itu, perlu penambahan stasiun pencatat cuaca di setiap wilayah kecamatan.

Pemulihan dan kemudian penguatan ekosistem mangrove sebagai ekosistem yang fungsinya bukan hanya sebagai pelindung pantai, tetapi juga sebagai ekosistem pelindung dan tempat pemijahan biota laut. Terdapatnya mangrove di pantai menapis sedimen dari darat, dan dengan demikian, menjaga perairan tetap jernih sebagai ekosistem tempat berkembangnya terumbu karang.

Pembangunan tanggul pelindung pantai hendaknya bukan sebagai tujuan akhir, melainkan sebagai sasaran antara. Hal tersebut harus dipandang sebagai cara perlindungan dalam pemulihan ekosistem alamiah, seperti mangrove dan terumbu karang, yang selanjutnya dapat dipulihkan dan diperkuat.

Mengingat keadaan alam yang berpeluang melahirkan ancaman bahaya yang menjadi kendala dalam transportasi (laut dan udara), alur darat perlu segera dibuka dan diperbaiki. Hal ini juga didasari pertimbangan bahwa pembangunan pusat pemerintahan yang memiliki rentang jangkauan berimbang ke segala tempat di Kepulauan Aru memerlukan adanya jalur darat yang bisa diandalkan. Jaringan transportasi darat ini merupakan solusi atas masalah transportasi laut yang terkendala oleh ancaman gelombang tinggi. Jalur darat juga menjadi solusi untuk mitigasi ancaman bahaya tsunami sebagai jalur evakuasi cepat ke pedalaman. Datarnya daratan memerlukan evakuasi jauh ke pedalaman untuk mencapai tempat aman.

Beberapa teknologi yang diusulkan terkait peningkatan ketersediaan air telah diperhitungkan mampu menghadapi bencana kejadian ekstrem, seperti cuaca dan muka laut tinggi. Terkait tsunami, teknologi ini dapat mengamankan sarana berikut air simpanannya dari kerusakan akibat timbunan bahan yang terangkut dan ditinggalkan tsunami.

1. Pengembangan dan pembangunan perlindungan alam ditujukan sebagai strategi membangun kelembagaan melalui usaha pelibatan dan pemberdayaan masyarakat. Perlindungan ekosistem

yang diusulkan merupakan upaya terakhir penyelamatan biosfer pulau kecil tropis dataran rendah kawasan laut luas di antara dua benua. Letak Pulau Aru menjadikan wilayah tersebut sebagai jembatan antara Australia dengan kawasan Papua dan Laut Banda sebelum mencapai garis Wallacea yang memisahkan biosfer daratan Asia dan Australia.

2. Pada tulisan ini disampaikan pemikiran mengenai pemulihan neraca dan daur hidrologi yang dilakukan melalui pendekatan menyeluruh dan terpadu antara mengandalkan kemampuan alam untuk memulihkan dirinya melalui perbaikan dan perlindungan agar prosesnya tidak terganggu. Pendekatan ini diiringi oleh pengenalan dan penerapan teknologi yang dirancang untuk memanfaatkan potensi lingkungan tersebut semaksimal mungkin sebelum menerapkan teknologi rumit yang mahal yang sulit dilakukan di daerah yang menyandang segala keterbatasan.
3. Tulisan ini disampaikan sebagai bagian dari penelitian mengenai pulau kecil dengan bahasan mengenai kerentanan dan ketahanan terkait kejadian ekstrem alamiah maupun antroposen dengan tinjauan khusus mengenai sumber daya lingkungan dan air. Analisis dan evaluasi yang dilakukan merupakan pendekatan bagaimana melihat masalah dan menemukan jalan keluarnya untuk kawasan seperti Aru (pulau kecil landai yang berada pada kawasan rentan ancaman berbagai macam bencana).
4. Konsekuensi dari penerapan pemikiran yang disampaikan pada tulisan ini, khususnya bagi Kepulauan Aru, adalah harus dikembangkan komunikasi lebih jauh agar masyarakat memperoleh kepastian pendampingan dalam pelaksanaan pemikiran tersebut.

5. Pemikiran untuk membangun Aru menjadi lingkungan yang ramah tetapi aman bagi masyarakatnya ini dihadapkan pada banyak kendala yang memerlukan pendekatan cerdas dan semangat pantang menyerah. Oleh karena itu, diperlukan keterpaduan antarpemangku kepentingan melalui pendekatan kepemimpinan dan bimbingan pengelola pemerintahan daerah yang tangguh.
6. Dengan pendekatan penyelesaian masalah sebagaimana usulan seperti pada diagram, tujuan utama tulisan ini adalah bagaimana mengelola suatu pulau kecil yang terbatas sumber daya alam lingkungannya tetapi tinggi ancaman bahayanya menjadi suatu lingkungan yang dapat mempertahankan kelestariannya ketika menghadapi kejadian ekstrem alamiah maupun antroposen.

## UCAPAN TERIMA KASIH

---

Sebagai penutup dari naskah ini, kami mengucapkan terima kasih atas terselesaikan dan dapat diterbitkannya naskah ini menjadi buku. Terima kasih diucapkan kepada pimpinan pusat penelitian atas saran dan dukungannya untuk menerbitkan buku ini berdasarkan data hasil beberapa penelitian, yaitu tematik, PN9, kompetitif, dan unggulan LIPI. Terima kasih juga diucapkan kepada berbagai pihak yang mendukung penelitian di lapangan maupun di laboratorium sehingga kami memperoleh data yang lengkap untuk menyusun buku ini. Ucapan terima kasih kami tujukan kepada pemerintah daerah dan masyarakat Kabupaten Kepulauan Aru yang mendukung dan memberi izin penelitian serta menggunakan data yang ada guna melengkapi tulisan ini. Terima kasih juga disampaikan kepada penyunting dan rekan peneliti yang memberi saran perbaikan terhadap naskah ini. Terima kasih diucapkan kepada staf LIPI Press yang dengan sabar mengiringi dan memfasilitasi sehingga proses penerbitan naskah ini menjadi lancar.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



## DAFTAR PUSTAKA

---

- Aldrian, E., & Susanto, R. D. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *Int J. Climatol*, 23, 1435–1452.
- Anwar, H., & Harjono, H. (2011). Pengurangan risiko bencana alam dan degradasi lingkungan di Indonesia. *Dalam Perspektif terhadap kebencanaan dan lingkungan di Indonesia: Studi kasus dan pengurangan dampak resiko*, Herryal Z. Anwar & Herry Harjono (eds). Bandung: Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI.
- Azis, M. F. (2014). Komunikasi pribadi: *Wind rose* set diagram Kepulauan Aru. Analisis data dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Kepulauan Aru. Kepulauan Aru dalam angka.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Kepulauan Aru. (2011). *Kepulauan Aru dalam angka*.
- Bappeda Kabupaten Kepulauan Aru. (2010). *Rencana tata ruang wilayah Kabupaten Kepulauan Aru*. Laporan.
- Bappeda Kab. Kepulauan Aru. (2011). *Rencana tata ruang wilayah Kabupaten Kepulauan Aru*. Laporan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

- BMKG Dobo. (2011). Data meteorologi bandara Dobo. [Pers. Comm].
- BMKG. (2011a). *Peta jenis hujan di Indonesia*.
- BMKG. (2011b). *Metsat enhance: Satelit cuaca wilayah Indonesia dan sekitarnya*.
- BMKG. (2015). *Metsat enhance: Satelit cuaca wilayah Indonesia dan sekitarnya*.
- BMKG. (2018). *Metsat enhance: Satelit cuaca wilayah Indonesia dan sekitarnya*.
- CDIAC IGOS. (2012). *Data curah hujan perairan Laut Arafura*. <https://irildeo.columbia.edu/SOURCES/.CDIAC/.msu/.precipitation/>. Diakses pada 2 Agustus 2014.
- GHCN. (2018). Global historical climate network 2018.
- Google. (2018). [Google maps of Indonesia 2018]. <https://www.google.com/maps/@6.1990245,133.55739,249634m/data=!3m1!1e3>. Diakses pada 10 Agustus 2018.
- Halpert, M. S., & Ropelewski, C. F. (1992) Temperature patterns associated with the Southern oscillation. *J Climate*, 5, 577–593.
- Hantoro, W.S., & Soeprapto, T.A. (2003). Siltasi-Sedimentasi alamiah dan antropogenik di perairan: Kasus pada rehabilitasi terumbu karang di perairan Senayang Lingga, Riau Kepulauan. *Makalah pada Seminar RIPTTEK Kelautan Nasional*, Jakarta 30–31 Juli 2003.
- Hantoro, W. S., & Suharsono. (2004). Anthropogenic and natural pressure from the land to the coral reef ecosystem: On off coral reef building. *Proceedings IGCP 495 meeting, Maine USA, October 2004*.
- Hantoro, W.S., Latief H., Susilohadi, Gusman, A., Hidayat, A., Suminar, A., & Airlangga A. Y. (2006). Volcanic tsunami hazard of Krakatau: Run up and travel time model for its mitigation in Sunda Strait. *Geological Hazard and Its Mitigation*. International Proceedigs, Mei 2006, Yogyakarta, Indonesia.
- Hantoro, W. S. (2006). Climate-environment and extreme event since the last glacial maximum: Human occupation and dispersal pattern in Indonesian maritime island. Dalam Simanjuntak, T., Hisyam, M.,

Prasetyo, B., dan Nastiti, T. S. (Ed). Archeology: Indonesian perspective. Jakarta: LIPI Press dan Yayasan Obor Indonesia.

Hantoro, W. S., Suprpto, T. A., Hadiwisastra, S., Latif, H., Airlangga, A. Y., Handayani, L., ... Kosasih. (2008a). Perubahan muka air laut global di Indonesia: Ancaman bencana bagi wilayah pesisir dan pulau kecil. Dalam *Kumpulan naskah kenaikan muka laut relatif dan kerentanan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil di Indonesia*. Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumber Daya Non-hayati. Jakarta: BRKP-DKP.

Hantoro, W. S., Hadiwisastra, S., Arsadi, E. M., Masduki, A., Latif, H., Suyatno, & Kosasih. (2008b). Air tawar di pulau kecil terumbu karang Derawan di Kalimantan Timur: Contoh masalah dan antisipasi terhadap kenaikan muka laut global. Dalam *Kumpulan naskah kenaikan muka laut relatif dan kerentanan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil di Indonesia*. Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumberdaya Nonhayati. Jakarta: BRKP-DKP.

Hantoro, W.S. Soeprpto T.A. (2009). Kerentanan pesisir rencana situs pembangkit listrik tenaga nuklir di pesisir utara Jawa. Dalam *KAK survei tapak-tapak potensial secara terintegrasi meliputi aspek kebumihan dan sosekbudling untuk PLTN: Tahap analisis regional di Jawa Barat dan Banten*. Kluster banjir pantai: Studi tapak pembangkit listrik tenaga nuklir. BATAN. Laporan Studi.

Hantoro, W. S. (2012). Konsep bencana, rehabilitasi, adaptasi dan peningkatan ketahanan wilayah pesisir dan pulau kecil di Indonesia menghadapi ancaman kejadian ekstrem muka laut tinggi. Dalam *Ketahanan wilayah: Demi terwujudnya percepatan pembangunan ekonomi yang berwawasan lingkungan*, Sugiarto, A. T., Wibowo, M., dan Andriyani D.S. (eds). Jakarta: LIPI Press.

Hantoro, W. S., Djuwansah, M. R., Sebowo, E., Azis, M. F., Soeprpto, T. A., Fadhillah A., Suyatno. (2013). Kerentanan pesisir pulau kecil landai Kepulauan Aru terhadap muka laut tinggi kejadian ekstrem. *Prosiding Geoteknologi 2012*. Bandung: Puslit Geoteknologi LIPI.

Hantoro, W. S., & Djuwansah, M. R. (2014). Peningkatan ketahanan masyarakat serta lingkungan kawasan landai pesisir pulau kecil dan terdepan terhadap kondisi ekstrem atau bencana gangguan iklim dan geologi: Konsep adaptasi melalui pendekatan alamiah. *Membangun*

strategi adaptasi perubahan iklim, Heru Santosa (ed). Bandung: Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI.

Hantoro, W. S. (2014). *Kerentanan dan ketahanan wilayah landai pesisir dan pulau-pulau kecil terhadap kejadian ekstrem dinamika cuaca dan iklim: Adaptasi dan Peningkatan ketahanan sumber daya alam-lingkungan pada keanekaragaman ancaman*. Bandung: Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI.

Hantoro, W. S., Situmorang, A., Subehi, L., Soehardjono, & Irianto, F. (2014). *Laporan program kegiatan kompetitif LIPI*. Puslit Geoteknologi LIPI.

Hantoro, W. S., Djuwansah, M. R., Sebowo, E., Aziz, M. F., Soeprapto, T. A., Fadhilah, A., ... Suyatno. (2015). *Kerentanan pesisir pulau kecil landai Kepulauan Aru terhadap muka laut tinggi kejadian ekstrem geologi dan gangguan cuaca*. Bandung: Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI.

Hantoro, W. S., & Yoganingrum, A. (2016). Penguatan ketersediaan air tanah dangkal dan dalam. *Rekayasa peningkatan kapasitas air tanah melalui injeksi air hujan* (R. Djuwansah & H. Permana, eds). Bandung: Penerbit Halima.

Hantoro, W. S., Arsadi, M. E., Suherman, D., Aziz, M. F., Suyatno, & Kosasih, E. (2017a). Mitigasi, adaptasi, dan peningkatan ketahanan wilayah pesisir dan pulau kecil landai terhadap bahaya kejadian ekstrem geologi serta gangguan iklim: Kasus Pulau Biak dan Kepulauan Padaido. Bandung: Penerbit Halima.

Hantoro W. S., Subehi L, Situmorang A., Firmansyah, Syamsi D., Yoganingrum A., Munadar D. (2017b). Ketahanan dan daya saing sumber daya alam-lingkungan masyarakat pesisir landai pulau kecil terhadap kejadian ekstrem alamiah dan antropogen: Sintesa kawasan strategis. laporan kumulatif kegiatan unggulan LIPI tahun 2015–2017.

Hantoro, W. S., Djuwansah, M. R., Soebowo, E., Suherman, D., Aziz, M. F., Soeprapto, T. A., Kosasih, E. (2017c). Kerentanan-ketahanan pesisir dan pulau kecil landai: Adaptasi dan peningkatan ketahanan serta daya saing (Kepulauan Aru). Bandung: Penerbit Halima.

Hantoro, W. S., Djuwansah, R., Subowo, E, Azis, M. F., Kosasih, E., & Suyatno. (2018). Kerentanan-ketahanan pesisir dan pulau kecil landai: Adaptasi dan peningkatan ketahanan-daya saing (Kepulauan Aru), Herry

- H, Hamzah L, Susilohadi, & Haryadi P (eds). Bandung: Penerbit Halima.
- Hartono, U., & Ratman, N. (1992). *Geologi Lembar Aru, Maluku Tenggara*. Dep. Pertambangan dan Energi Direktorat Jenderal Geologi dan Sumber Daya Mineral. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Hastenrath, S. (1997). *Climate dynamics of the tropics*. New York: Kluwer Academic Publisher.
- Hehanussa, P. E., & Haryani, G. (2001). *Kamus limnologi (perairan darat)*. IHP UNESCO & Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- IPCC. (2017). Academic Report. Bali, Indonesia.
- KNMI. (2018). Time series monthly TUAL (METEO) GHCN v2 precipitation (all). [http://climexp.knmi.nl/getprcpall.cgi?id=someone@somewhere&WMO=97810&STATION=TUAL\\_\(METEO\)&extraargs=](http://climexp.knmi.nl/getprcpall.cgi?id=someone@somewhere&WMO=97810&STATION=TUAL_(METEO)&extraargs=). Diakses pada 10 Agustus 2010.
- IGOSS NMC, SSTA (2017). Sea Surface Temperature Anomaly.
- IRI, LDGO Columbia EDU (2004). Climatic and oceanographic data.
- Landsat. (2007). Aru terrain map. <https://landsat.usgs.gov/july-25-2007-usgs-and-nasa-release-terralook-data>. Diakses pada 4 Maret 2010.
- <https://citrasatelit.wordpress.com/jual-citra-satelit/resolusi-menengah-10-meter-20-meter/landsat-8/>.
- Latif H. (2014a). Peta rata-rata ketinggian gelombang di Indonesia Timur. [Komunikasi Pribadi].
- Latif, H. (2014b). Peta perspektif kenaikan muka laut estatik di Indonesia Timur. [Komunikasi Pribadi].
- Menne, M. J., Durre, I., Vose, R. S., Gleason, B. E., & Houston, T. G. (2012). An overview of the global historical climatology network-daily database. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 29, 897–910 doi:10.1175/JTECH-D-11-00103.1.
- Narulita, I., Santosa, H., Hantoro, W. S., & Djuwansah, M. R. (2005). Pengaruh pasang surut laut terhadap posisi dan kualitas air tanah di Pulau Pari, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. Dalam P. E Hehanussa & Hendra Bakti (eds), *Sumber daya air di pulau kecil*. Jakarta: LIPI Press.

- NASA-SRTM. (2007). NASA shuttle radar topography mission (SRTM) version 3.0 global 1 arc second data released over Asia and Australia. <https://earthdata.nasa.gov/nasa-shuttle-radar-topography-mission-srtm-version-3-0-global-1-arc-second-data-released-over-asia-and-australia>. Diakses pada 15 April 2010.
- Prawiwardoyo, S. (1996). *Meteorologi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Pusat Survei Geologi. (2007). *Atlas: Pengelompokan pulau kecil berdasarkan tektonogenesis untuk perencanaan tata ruang darat laut dan dirgantara nasional*. PSG Badan Geologi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Rasmusson, E. M., & Carpenter, T. H. (1982). Variation in tropical sea surface temperature and surface wind field associated with the Southern Oscillations/El Nino. *Mon/ Wea. Rev.*110, 364–384.
- Ropelewski, C. F., & Halpert, M. S. (1997). Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*115, 1606–1626.
- Samodra, H. (2006). *Geologi batuan karbonat dan bentang alam karst. Manajemen bioregional: Karst, masalah dan pemecabannya. Dilengkapi kasus Jabodetabek*. Pusat Penelitian Biologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Soeprapto T. A. (2017). Komunikasi pribadi.
- Yoganingrum, A., Maryati, I., Rezaldi, M. Y., & Hantoro, W. S. (2012). Kebutuhan dan media informasi pengelolaan air tawar masyarakat pulau kecil di Kabupaten Kepulauan Seribu. *Jurnal IPTEK KOM*, 14(2), 151–164.

# INDEKS

---

- Abrasi Pantai, 86
- Adaptasi, 9, 15–18, 22, 54, 72, 82, 83, 104, 111, 113, 114, 124, 143, 158, 195, 261, 267–70, 279, 280
- Air tawar tanah dangkal, 11, 14, 94, 95, 163, 271
- Akuifer buatan, 84, 140, 161, 171, 172, 175, 177, 192, 193, 210, 211, 213, 214, 216–19, 221–26, 228–30, 233, 235, 237, 239, 243–46, 248, 251, 254, 256
- Algodang, 74, 75
- Alluvial, 219, 220, 222, 233
- Analisis risiko, 268
- Ancaman bahaya, 15, 17, 72, 82, 97, 102, 111–13, 138, 176, 195, 244, 261, 268, 269, 272
- Anggota Jambulenga, 63, 71, 91
- Antropogen, 6, 11, 15, 166
- Arah angin, 22, 34
- Arah Arus, 283
- Arah Gelombang, 283
- Arkeologi, 98, 100, 149
- Artocarpus altilis*, 88, 90, 213, 216, 241
- Aru, 1–9, 12, 14, 16–23, 25–7, 29, 31, 35–63, 66, 71–9, 81–5, 87, 91, 92, 96–103, 105–14, 118, 119, 121–24, 128, 129, 132–37, 140–45, 148–59,

- 169–71, 176, 178, 179, 181,  
183, 185, 188–90, 195–54,  
257, 259, 261–65, 267–75,  
277, 279–81
- Atmosfer, 11, 268
- Australia, 1, 6, 21, 33, 40, 53, 96,  
118, 136, 269, 273, 282, 297
- Bahaya, 12, 13, 14, 15, 17, 72, 82,  
96, 97, 102, 108, 111, 112,  
113, 138, 176, 185, 195,  
228, 240, 241, 244, 248,  
261, 268, 269, 272, 280
- Baltubur, 230
- Barakan, 51, 236, 237
- Barakoy, 284
- Baringtonia, 52, 98, 231
- Basada, 52, 58, 170
- Batu Bara, 284
- Batu gamping, 58, 59, 62, 63, 65,  
70, 71, 75, 91, 93–5, 134,  
137, 185, 203, 204, 207,  
209, 212–14, 217, 218, 220,  
227, 230, 231, 246, 248,  
250, 254, 264
- Batu Goyang, 238
- Batu lumpur, 62, 149, 246, 247,  
250, 255, 256
- Belmun, 232
- Bencana, 2, 12, 13, 17, 74, 106,  
112, 113, 116, 143, 147,  
195, 269, 272, 273, 277, 279
- Bendungan, 147, 158, 159, 172,  
173, 176, 188, 189, 192, 247
- Benjina, 3, 4, 50, 53, 57, 78, 100,  
101, 105, 123, 135, 136,  
169, 249, 250, 262
- Benua Maritim Indonesia, 24
- Bidang ketidakselarasan, 58, 60, 63,  
71, 170, 181
- Biogeofisik, 98, 100
- Biopori, 178, 183, 185, 213, 214,  
225, 229, 231, 233, 251,  
252, 256, 259
- Cagar biosfer, 122, 206
- Coping capacity*, 13
- Curah hujan, 6, 26–33, 36, 48, 79,  
81, 91, 93, 140, 158, 160,  
165, 178, 242, 243, 269,  
272, 278
- Daya saing, 14, 125, 135, 280, 297
- Deliniasi, 124, 145, 148, 150, 151
- Delta, 66, 71, 98, 135
- Desa Jambulenga, 104, 123, 198
- Desa Kaibolafin, 205, 206
- Desa Katantar, 53
- Desa Lamerang, 199, 200
- Desa Masidang, 211
- Desa Meror, 84, 87
- Desa Samang, 53
- Desa Wahangulangula, 204
- Desa Wahayum, 202

- Desa Wangel, 57  
 Desa Warilau, 203  
 Desa Wokam, 57, 201  
 Desa Yonggar, 284  
 Dipole-dipole, 61, 62, 68, 92  
 Dipole Mode, 98, 269  
 Dosimar, 53, 238, 239  
 Dosinamalau, 53, 122, 220, 221  
*Drip*, 79  
 Durjela, 42, 57, 62, 63, 65, 68, 69,  
     84, 85, 92–4, 105, 115, 169,  
     255, 260  
 Eko sains teknopark, 10, 18, 114,  
     122–26, 128, 129, 131, 132,  
     134–37, 197, 199, 202, 206,  
     212, 214, 264, 267  
 Ekosistem, 9, 10, 15, 18, 40, 48, 72,  
     75, 76, 84, 104, 105, 108,  
     114, 115, 118, 120–22, 124,  
     126, 128, 129, 132–36, 142,  
     205, 206, 209, 210, 236,  
     239, 248, 259, 263, 268,  
     269, 272  
 Ekuator, 1, 22  
 Embung, 17, 54, 84, 111, 129,  
     130, 136, 140, 158, 171–78,  
     185, 192, 193, 195, 199,  
     200, 202, 203, 208, 210–14,  
     217–19, 221–26, 228–31,  
     233–35, 237, 240, 242–49,  
     251–53, 256, 258  
 Endapan karbonat, 181  
 Erosi, 49, 50, 56, 58, 60, 61, 66, 70,  
     105, 114, 119, 224, 253, 256  
 Estatik, 12, 53, 58, 98, 103, 281  
 Estuari, 37, 45, 51–3, 56, 75, 76,  
     94, 98, 100, 102–06, 108,  
     112, 118, 123, 133, 187,  
     189, 205, 222, 235, 236,  
     244, 246, 247, 249  
 Eudin, 76  
 Fakfak, 4, 6  
 Fasies, 58, 60, 62, 66, 69, 70  
 Fatur, 53  
 Fatural, 134, 169, 240, 241  
*Faviidae* sp., 103  
 Ferui, 58  
 Fisiografi, 11  
 Flufiatil, 285  
 Formasi Koba, 47, 48, 70, 91, 209,  
     229, 230, 231, 240, 251, 264  
 Formasi Manumbai, 71, 72, 91,  
     185, 199, 201, 206, 209,  
     211, 212, 215, 218, 219,  
     233, 248, 249, 250, 252,  
     254, 256  
 Formasi Tanah Merah, 47, 51, 115,  
     146, 149, 170, 173, 181,  
     183, 230, 239, 240, 241  
 Formasi Wasir, 47, 61, 62–3, 71,  
     104, 149, 170, 180, 181,  
     250, 255, 256

Geologi, 1, 57, 58, 60, 111, 148,  
 155, 180, 181, 188, 281,  
 282, 295  
 Gomar, 226, 227  
 Gomo-gomo, 235, 236  
 Gomsey, 122, 215, 216  
*Goniastrea* sp., 103  
 Gugus Pulau, 3, 265  
 Gulili, 50, 137  
  
*Hazard*, 278  
 Hipotesis, 60, 94, 95  
 Hokmar, 53, 58, 169, 170, 246, 247  
 Holosen, 44, 57, 83, 87, 96  
 Hutan lindung, 9, 75, 76, 118, 119,  
 122, 149, 150  
 Hutan penyangga, 76  
  
 Iklim, 11, 12, 17, 18, 22, 25–27, 47,  
 61, 129, 138, 142, 143, 144,  
 269, 279, 280, 295, 296  
 Iklim mikro, 27  
*Infratidal*, 83  
 Injeksi air hujan, 17, 63, 147, 158,  
 164, 168, 169, 179, 181,  
 191, 245, 260, 271, 280  
 Injeksi akuifer, 129, 136  
 Intertidal, 45, 83, 86, 92, 255  
 Iroloy, 74, 75, 118, 136  
  
 Jalan Ali Murtopo, 64, 65, 68, 92,  
 93  
  
 Jambulenga, 63, 71, 91, 104, 123,  
 146, 149, 187, 198, 199,  
 233, 248, 250, 252  
 Jeudin, 78  
 Jirli, 286  
 Jorang, 133, 170, 227, 228  
 Juring, 132, 263, 264, 265  
 Jursian, 122, 233  
  
 Kaibolafin, 205, 206  
 Kaiwaba, 52, 58  
 Kalar, 6, 53, 78, 86, 87, 105, 134,  
 169, 170, 243, 244  
 Kalar kalar, 170, 243  
 Kalkarenit, 47, 62, 71, 133, 201,  
 229, 234, 243  
 Kanal, 2, 119, 189, 264, 265  
 Karey, 133, 170, 229, 230  
 Karst, 16, 55, 131, 136, 145, 149,  
 205–11, 213–15, 264, 282  
 Katantar, 53, 105, 170  
 Kawasan strategis, 18, 19, 36, 123,  
 124, 128, 138, 187, 196,  
 197, 202, 212, 214, 239,  
 244, 249, 250  
 Kebun raya, 10, 18, 123, 124, 126,  
 129, 133–35, 137, 199, 208,  
 212, 214, 239, 248, 258,  
 267, 269  
 Kecamatan Aru Selatan, 2, 4, 6, 51,  
 71, 76, 102, 158, 170, 226,

- 227, 228, 229–31, 233, 234,  
236–48, 250, 264, 265
- Kecamatan Aru Selatan Timur, 2,  
71, 76, 102, 170, 226–31,  
233, 234, 236–38, 241, 264,  
265
- Kecamatan Aru Tengah, 2, 3, 48,  
52, 75, 76, 100, 101, 170,  
220–24, 226, 232, 235, 236,  
249
- Kecamatan Aru Tengah Timur, 2,  
170, 220, 22–23
- Kecamatan Aru Timur, 286
- Kecamatan Aru Utara, 2, 170,  
201–17, 219, 220, 233
- Kecamatan PP Aru, 51, 170,  
198–201, 218, 219, 250–54,  
257, 259, 263
- Kecepatan angin, 37, 38, 41
- Kecepatan Arus, 22, 23
- Kecepatan gelombang, 38
- Kejadian ekstrem, 1, 6, 8, 9, 11, 12,  
14, 17, 20, 22, 72, 74, 81–3,  
97, 105, 106, 108, 111, 113,  
114, 124, 128, 138, 139,  
141–43, 176, 195, 228, 240,  
241, 244, 256, 267, 269,  
272–74, 279, 280
- Kekar, 46–8, 56, 60, 96, 147, 218,  
226
- Kenaikan muka laut estatik, 12
- Kepulauan Aru, 1–7, 9, 12, 14, 17,  
19, 21, 23, 25–7, 29, 35–40,  
43–5, 50, 52–60, 62, 63, 66,  
72–4, 77, 79, 81, 82, 91, 92,  
96–103, 105–11, 113, 114,  
118, 123, 124, 128, 129,  
137, 140–45, 148–57, 159,  
171, 176, 178, 179, 181,  
185, 196, 206, 210, 259,  
261, 267, 269, 270–73, 275,  
277, 279, 280
- Kepulauan Kulur, 130, 131, 206,  
207
- Kepulauan Tual, 29, 31–4
- Kerentanan, 9, 12–4, 16, 43, 45,  
54, 96–8, 100, 102–09, 111,  
113, 138, 142, 158, 185,  
195, 197, 211, 228, 239,  
241, 244, 248, 252, 256,  
267, 268, 273, 279
- Kesarangan, 58–60, 62, 67, 70–2,  
88, 91–3, 95, 96, 108, 146,  
148, 149, 182–84, 193, 201,  
203, 211–14, 218, 248, 251,  
252, 256
- Kesesuaian lahan, 16, 79
- Kobamar, 53, 118, 131, 132, 218,  
219
- Kobasang, 53
- Kobror, 58, 105, 123, 223, 224
- Koijabi, 4, 106, 123, 132, 170, 187,  
221–23

- Kolamar, 4, 123, 130, 131, 170,  
207–10
- Komfane, 217, 218
- Konglomerat, 47
- Kontinen Sahul, 1, 43, 66
- Konversi, 75, 151, 154
- Korosi, 104
- Kuarsa, 47, 48, 51, 59, 134, 183,  
185, 230, 231, 234, 237,  
239, 240, 243, 248, 250,  
255, 257
- Kwartir, 47, 58, 59, 70, 71, 146,  
148, 149, 230
- Kulur Kultubai, 287
- Kurva Curah Hujan, 25, 31, 32
- Kutubai, 78
- Ladang, 29, 48, 50, 174, 219, 240,  
242, 257
- Laguna, 98
- Lahan basah, 27, 58, 78, 116, 127,  
129, 130, 136, 158, 187,  
208, 236, 265
- Lamerang, 129, 199, 200
- Lau Lau, 170
- Laut Arafura, 1–3, 6, 9, 17, 20, 21,  
30, 33, 35–8, 40, 134, 136,  
142, 206, 210, 237, 278
- Laut Banda, 1–3, 9, 17, 21, 22, 30,  
33, 35–7, 40, 56, 72, 96,  
111, 136, 142, 199, 201,  
239–41, 244, 248, 249, 252,  
259, 269, 273
- Leiting, 214, 215
- Lensa air tawar, 62, 65, 92, 93, 95,  
163, 168
- Lithoresistivity*, 287
- Lorang, 224–26
- Mahongsel, 213, 214
- Mangrove, 2, 40, 41, 43, 45, 51–3,  
56, 90, 102, 103, 105, 106,  
108, 114, 120, 126, 129,  
130, 134, 158, 169, 178,  
196, 208, 209, 236, 251,  
253, 258, 259, 271, 272
- Manjau, 75
- Maratua, 90
- Masa air, 37, 70, 93, 107, 115, 163,  
176, 270
- Masidang, 210, 211
- Merauke, 4, 6, 297
- Mercusuar, 67, 68
- Meror, 4, 53, 58, 71, 84, 87, 102,  
106, 123, 131, 134, 169,  
234, 235, 238
- Meteo-climatologi*, 98
- Meteorologi, 6, 11, 17, 26, 143,  
178, 271, 278
- Minapolitan, 19, 78, 244
- Minion, 76
- Mintakat Hujan, 24

- Miosen Atas, 58, 149
- Mitigasi, 2, 111, 113, 124, 158,  
195, 198, 261, 268, 269, 272
- Morfologi, 11, 16, 23, 53, 54, 56,  
57, 82, 84, 91, 93, 98, 104,  
108, 109, 111, 138, 139,  
144, 145, 147, 149, 154,  
157, 171, 172, 179, 243,  
255, 268, 270
- Muara, 45, 52, 53, 87, 102, 118,  
122, 133, 187, 189, 198,  
212, 223, 236, 245, 247, 249
- Muka laut tinggi, 12, 17, 20, 102,  
104, 111, 141, 211, 222,  
228, 240, 241, 244, 261,  
269, 272, 279, 280
- Nafar, 169, 170, 250–52
- Napal, 44, 47, 49, 58–60, 62, 63,  
65, 68, 70, 71, 75, 91, 104,  
114, 119, 133, 149, 154,  
170, 183–85, 216, 217, 220,  
224–31, 235, 237, 240, 243,  
245–50, 252–56, 264
- Negara kepulauan, 1
- Neraca hidrologi, 11, 16, 17, 28–30,  
34, 81, 85, 106, 107, 121,  
128, 140, 143, 165, 268–72,  
297
- Ngabor, 58
- Ngaibor, 105, 169, 170, 239, 240
- Ngaiguli, 169, 241, 242
- Orografi, 23, 270
- Pantai purba, 63, 83, 87, 134, 255,  
257
- Paparan Sahul, 53, 56
- Papua, 4, 23, 53, 178, 228, 254, 273
- Pasang surut, 36, 37, 51, 57, 61, 81,  
93, 105, 108, 163, 196, 198,  
203, 210, 281
- Pasut astronomis, 98
- Pelestarian sosial budaya, 19
- Pemampatan, 104, 116
- Pemangku kepentingan, 15, 123,  
124, 267, 268
- Pematang pantai, 56, 57, 63, 71,  
83–5, 87, 88, 115, 134, 200,  
201, 223, 235, 237, 241,  
257, 260, 271
- Pemeruman, 61, 180
- Pemulihan, 9, 14, 15, 18, 47, 61,  
114, 116, 119, 120, 124,–27,  
130, 133–35, 137, 138, 150,  
163, 182, 185, 197, 201,  
208, 214, 215, 219–21, 239,  
243, 247, 251, 257, 267–69,  
271–73, 297
- Penambangan pasir, 53, 83, 115,  
142
- Penambulai, 51, 52, 76, 78, 101,  
103, 106, 169
- Penampang Sintetik, 59, 174

- Pengembangan, 4–6, 14–6, 18–20,  
22, 36, 49, 61, 74–6, 78, 79,  
82, 97, 116, 118, 120–26,  
128–31, 134–36, 138, 141,  
149, 150, 155, 158, 176,  
187, 190, 19–97, 202, 212,  
214, 232, 238, 239, 243,  
244, 249, 250, 256, 261,  
262, 267, 268, 296
- Penguatan, 9, 14, 15, 18, 72, 75, 84,  
95, 114, 116, 121, 123, 125,  
12–29, 137, 138, 143, 168,  
171, 195, 197, 212, 238,  
257, 258, 268, 269, 270, 272
- Perambahan hutan, 48, 253
- Perlindungan Lingkungan, 117, 267
- Pesisir, 1, 3, 4, 6, 9–12, 14, 15,  
17, 19, 22, 38, 43, 45, 48,  
50–3, 56, 70, 71, 75, 76, 81,  
82, 85–7, 91–3, 95–8, 100,  
102–09, 111–15, 118–20,  
126, 13–35, 141, 142, 144,  
160–62, 169, 170, 187,  
189, 195, 196, 198, 199,  
201, 230, 231, 236, 237,  
239, 241, 243–50, 252–54,  
257–60, 262, 264, 267, 269,  
279, 280, 296, 297
- Peta Geologi, 57, 148, 188
- Peta Indonesia Timur, 2
- Pintu air, 147, 188, 189, 223, 235,  
246
- Pliosen, 58
- Pohon sukun, 88, 213, 241
- Pola aliran, 11, 46, 111, 139
- Porites* sp., 103
- Presipitasi, 26, 27, 48
- Pulau Barakan, 51, 236, 237
- Pulau Derawan, 90, 166
- Pulau Enu, 289
- Pulau Jeh, 78
- Pulau Jeudin, 289
- Pulau Karang, 289
- Pulau kecil, 1, 2, 6, 9, 17–20, 43–5,  
48, 51–4, 58, 71, 75, 76, 78,  
82, 88, 92, 97, 100, 103,  
105, 106, 118–22, 127, 130,  
132–34, 140, 142, 159, 160,  
162, 165, 166, 169, 172,  
174, 176, 177, 190–92, 196,  
206, 208, 232, 233, 236,  
254, 255, 261, 263, 268,  
269, 273, 274, 279–82, 296
- Pulau Kumir, 233, 234
- Pulau Mar, 290
- Pulau Womar, 2, 22, 41, 42, 52, 57,  
61, 62, 66, 70, 71, 85, 86,  
92, 100, 103, 104, 115, 120,  
155, 179, 197, 254–58, 271
- Pulau Workai, 51, 75, 78, 106, 123,  
231, 232, 235–37
- Pusat Survei Geologi, 1, 282

- Radier, 46
- Rapid onset, 14
- Reaktor Pengolahan Limbah, xiv, 167
- Rebi, 169, 245
- Regulator, 27
- Resapan air, 43, 63, 65, 89, 90, 92, 96, 120, 140, 160, 165, 166, 170, 184, 198, 203, 207, 210, 211, 214, 216, 218, 219, 223, 228, 230, 231, 232, 235, 251, 270, 271
- Reservoir terbuka, 112, 171, 193
- Reservoir tertutup, 61, 71, 112, 135, 139, 144, 145, 147, 149, 192, 193, 195, 198, 199, 205, 209, 210, 235, 238
- Rhizopora* sp., 290
- Salarem, 169, 234, 235
- Samudra Hindia, 21, 22
- Samudra Pasifik, 53, 112
- Sanitasi, 14, 17, 79, 95, 97, 98, 109, 127, 159, 160, 166, 169, 259, 260, 261
- Schlumberger, 61, 65–9
- Sedimen klastik, 58, 60, 71, 87, 181, 295
- Sekuen stratigrafi, 66–9
- Selibatata, 50, 118
- Selmona, 131, 211, 212
- Septik tank, 166, 168
- Sesar, 46, 48, 56, 60, 66, 146, 147–49, 182, 213, 226, 263
- Siklon, 25
- Siklus hidrologi, 54, 160
- Slow onset*, 14
- Solum, 47–9, 51, 58, 60, 61, 63, 67, 72, 88, 90, 91, 114, 134, 135, 183–85, 197, 200, 208, 213–16, 218–21, 224, 225, 227–33, 235, 237, 241, 246, 251, 253, 256, 259
- Sonneratia* sp., 53
- Sosialisasi, 15
- Spasial, 14, 26, 98
- Springkle irrigation*, 79
- Suaka margasatwa, 9, 75, 119, 122, 124, 149
- Sumber kayu, 48, 50
- Sumur Bor Abstraksi, 190
- Sumur injeksi, 61, 141, 159, 169
- Sumur kolektor, 164
- Sumur optimalisasi, 17, 54, 61, 63, 89–91, 109, 117, 120, 139, 144, 147, 159, 162–64, 169, 177, 191, 199, 200, 203, 204, 226, 242, 243, 246, 247, 269
- Susut laut, 47, 58, 118
- Taberfane, 247, 248, 249, 250
- Tahanan jenis, 61–3, 65–70, 93–5, 180, 209, 235, 259

- Taman nasional, 18, 76, 100, 119,  
122, 127, 129, 130, 132–37,  
197, 199, 206, 258, 264, 269
- Tangkapan air, 46, 55
- Tanjung Malakalani, 53
- Tata ruang, 4, 16–9, 72, 82, 98,  
109, 125, 143, 149, 172,  
257, 261, 277, 282
- Temperatur Udara, 34
- Tersier, 47, 70, 149
- Terumbu karang, 40, 45, 52–4, 56,  
62, 84, 87, 88, 90, 98, 103,  
105, 106, 108, 115, 116,  
120, 126, 129, 130, 134,  
173, 196, 202, 203, 224,  
226, 230, 236–38, 255, 256,  
259, 271, 272, 278, 279, 296
- Timika, 4
- Tinggi muka laut, 11, 12, 37, 57,  
97, 103, 108
- Tubir depan, 84
- Tungu, 170, 253, 254
- Tutupan lahan, 11, 16, 27, 50, 54,  
56, 93, 108, 111, 139, 143,  
149, 150, 229, 253, 254
- Vulnerability*, 13
- Wahangulangula, 204, 205
- Wahayum, 130, 170, 201, 202
- Wamar, 2, 4, 43, 45, 53, 63, 64,  
69–71, 78, 83, 94, 103–08,  
115, 126, 138, 142, 199,  
254, 257, 258, 260–63
- Wangel, 42, 57, 64, 65, 68, 69, 84,  
86, 92–4, 105, 115, 169,  
255, 260
- Warilau, 100, 130, 203
- Warloy, 58, 122, 170
- Watulei, 219, 220
- Wokam, 53, 57, 87, 129, 169, 170,  
200, 201
- Womar, 2, 22, 41, 42, 52, 57, 61,  
62, 66, 70, 71, 85, 86, 92,  
100, 103, 104, 115, 120,  
128, 155, 179, 197, 254,  
255–58, 271
- Workai, 51, 52, 75, 78, 103, 106,  
123, 133, 169, 231, 232,  
235, 236, 237
- Yelawan, 78
- Undak teras, 98

# GLOSARIUM

---

BMKG	: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
CDIAC, 2012	: pusat data keikliman
ENSO	: El Nino Southernn Oscillation
GHCN	: Global Historical Climatology Network
ITCZ	: <i>InterTropical Convergence Zone</i>
PKSN	: Pusat Kegiatan Strategis Nasional
PKL	: Pusat Kegiatan Lokal
PPL	: Pusat Pelayanan Lingkungan
PSG	: Pusat Survei Geologi
SPI	: <i>standart precipitation indeks</i>
WP I	: Wilayah Pengembangan
<i>Artocarpus altilis</i>	: pohon sukun

<i>Morus alba</i>	: pohon murbei
<i>Tectona grandis</i>	: pohon jati
<i>Leucaena leucocephala</i>	: pohon lamtoro
<i>Slow/rapid onset</i>	: perubahan lambat dan cepat
<i>Drip dan sprinkle irrigation</i>	: irigasi dengan cara tetes dan siraman
Litoresistivitas	: nilai tahanan jenis batuan
<i>Porites sp., Goniastrea sp., Faviidae sp.</i>	: nama jenis koral masif ( <i>head coral</i> )
<i>Interception</i>	: proses tertahannya air hujan oleh pohon (daun dan dahan) sebelum jatuh ke tanah
Kalkarenit	: batu gamping dari bahan butiran
Napal	: lempung mengandung karbonat
Polymede, polysulfone polyester	: rumus bahan kimia di membran reverse osmosis
Sumur optimalisasi	: sumur rekayasa yang hanya menangkap air tawar pantai
Reverse osmosis	: proses osmosis terbalik
<i>Unconformity</i>	: ketidakselarasan batas antara dua lapisan batuan; lazimnya sebagai bidang erosi atau bidang tanpa ada wakil perlapisan.

## BIOGRAFI PENULIS

---



**Wahyoe Soepri Hantoro**, lahir di Tulungagung-Jawa Timur. Menamatkan pendidikan SD, SMP dan SMA, semuanya di Kediri. Pendidikan Sarjana Geologi di ITB, mengambil kajian stratigrafi karbonat dan sedimen klastik.

Bergabung ke LGPN LIPI, terlibat pada berbagai penelitian dengan Institusi Internasional (SCRIPS, ORSTOM, CNRS dan lain lain. Dengan dana dari Bank Dunia melalui program OFP (Overseas Fellowship Program) melanjutkan dan menyelesaikan studi program doctor dengan predikat summa cumlaude di Universite d'Aix Marseille II, Prancis. Selama itu ditempatkan di LGQ-CNRS sebagai peneliti menekuni bidang neotektonik-perubahan muka laut dan perubahan iklim/lingkungan, serta terlibat pula pada program penelitian di Perancis (*age dating, paleoclimate & archeology*).

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Anggota kelompok kerja/studi/diskusi internasional (UNESCO sejak di Prancis antara lain IGCP 268, 274, 275, 282) yang dilakukan di berbagai negara Eropa, Afrika, Asia dan Amerika. Kegiatan berlanjut saat aktif sebagai peneliti di Puslitbang Geoteknologi LIPI (IGCP 355, 375 hingga 495). Pendalaman pada penelitian koral terumbu karang membuka kerjasama dengan kelompok kerja ilmiah internasional dan universitas luar negeri antara lain dengan IAEA dan IAST (Jepang). Aktif pada kelompok kerja ilmiah lain, umumnya yang bergerak pada bidang perubahan global lingkungan dan iklim, seperti CLIP, START, PAGES, IMAGES (*national contact*) dan lain-lain. Aktif sebagai anggota kelompok ahli untuk IOC Weatpac dan IGBP.

Memperoleh dana untuk program RUT II pada 1994 di bidang neotektonik dan perubahan lingkungan. Program ini melibatkan sejumlah pakar (Fisika, Kimia isotop, Biologi dan Lingkungan), diselesaikan pada tahun 1997 dengan penilaian sangat memuaskan. Kegiatan pada kajian koral terumbu karang sejak 1988 di Marseille terus berlangsung, antara lain aktif pada beberapa kongres (Coral Reef Congres Panama 1995: *Best Paper Award*) dan Panitia Nasional "Coral Reef Congres" tahun 2000 di Bali serta workshop (proksi koral) START di Hawaii, 1998).

Kerjasama dengan beberapa institusi dan perusahaan swasta internasional (PT. Freeport Indonesia, BATAN, dll) membuka peluang penerapan dari kajian ilmu keikliman purba dan dampak lingkungan dari kegiatan pengelolaan sumber daya alam berskala besar. Melakukan koordinasi pada berbagai kegiatan terkait lingkungan dengan pemerintah daerah yang di biayai dana nasional maupun internasional antara lain Riverwatch (1998), ADB untuk WJEMP (2003-2004), Kajian Observatorium Boscha (Menristek); merupakan penelitian terapan untuk lingkungan dataran dan pegunungan.

Kajian kawasan pesisir, perairan dan pulau kecil merupakan pengembangan dan penerapan pemahaman kebencanaan dan ketahanan lingkungan dari hasil program penelitian kompetitif/unggulan. Kajian lingkungan tersebut antara lain Coremap sejak penyiapan hingga penerapan (1995–2005), kegiatan Pemetaan Terumbu Karang Indonesia (1998–2001), kajian dan model rehabilitasi (Senayang, 1999 dan Teluk Ratai 2001–2002). Kajian khusus perairan dan pesisir juga dilakukan melalui program Small

Islands (1996–sekarang), Pelita Kelautan Bappenas (1998), Tanimbar Assesment for MEE (1997–1999), Kajian SD Alam dan Mineral (Propinsi Riau dan Jawa Tengah). Kajian peningkatan ketahanan dan daya saing sumberdaya alam/lingkungan di berbagai daerah kepulauan dan pesisir dengan pemerintah daerah (Anambas, Natuna, Karimun, Batam, Bintan, Bangka, Belitung, Kangean, Biak, Ambon, Ternate, Kei, Sumba, Sumbawa, Lombok, Bali dan beberapa daerah pesisir seperti Fak fak, Manokwari Merauke, Pekalongan, Tengerang-Indramayu, Palembang, Jambi dan lain lain). Pada kegiatan tersebut diterapkan teknologi peningkatan ketersediaan sumberdaya air dengan pendekatan pemulihan neraca hidrologi.

Sejumlah kerja sama internasional penelitian dilakukan sejak 1992 untuk mengatasi kendala analisis laboratorium, antara lain dengan Univ. Harvard (1992-1993), California Technology (1993-2000), Univ. Princeton (1996-1998), Univ. New Hampshire (1993-sekarang), RSES-ANU (1994-sekarang), AIST Tsukuba (2002-sekarang), Univ. Bremen (2005-2007), Rijks Museum (2005-2010). Kerjasama ini antara lain diwujudkan dalam bentuk ekspedisi (RF Sonne) dan analisis contoh lapangan di laboratorium. Ekspedisi dengan RV Marion Dufresne sebagai program IMAGES untuk memperoleh contoh dari laut dalam. Pelaksana Research Grant dari State Lab. Marine Geology Univ. Tongji (2009 – sekarang) untuk penelitian kelautan. Research Fellow di University of Queensland dan Wolongong, Australia.

Kegiatan akademis lain adalah bimbingan program S1, S2 dan S3 di berbagai perguruan tinggi (ITB, IPB, Master Course Asean), pelatihan GIS (COREMAP) dan komunikasi maupun melayani konsultasi sejumlah LSM dan institusi yang bergerak di bidang lingkungan dan kelautan.

Sebagai peneliti senior, aktif pada pembimbingan dan nara sumber pada kegiatan penelitian di berbagai institusi lain, seperti dengan P3GL (Perairan Berau – Tarakan, Kalimantan Timur), BRKP (Selat Sunda) dan beberapa perguruan tinggi.

Aktif sebagai kelompok penelitian Austronesia pada Pusat Penelitian Arkeologi Nasional.



**Muhamad Rahman Djuwansah**, lahir di Cimahi, Jawa Barat, tanggal 25 Februari 1958. Penulis memperoleh gelar Sarjana Pertanian dari Universitas Padjadjaran, Bandung, tahun 1980; memperoleh gelar *Diplome d'etude Approfondie* pada tahun 1986; dan memperoleh gelar Doctor pada tahun 1990 dari *Universite Louis Pasteur*, di Strasbourg, Perancis.

Penulis bekerja di Lembaga Geologi dan Pertambangan Nasional (LGPN, sekarang Pusat Penelitian Geoteknologi) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia sejak 1982, dan pernah menduduki jabatan struktural sebagai Kepala Balai Penelitian Air dan Tanah (1997–2001). Penulis memperoleh jabatan Peneliti Utama golongan IV/e bidang Ilmu-ilmu Air dan Tanah pada tahun 2013. Lebih dari tujuh puluh publikasi ilmiah telah dihasilkan, baik yang ditulis sendiri maupun dengan penulis lain dalam bentuk bagian buku, jurnal, prosiding, dan makalah yang diterbitkan dan disampaikan dalam pertemuan ilmiah nasional dan internasional. Sebanyak 30 karya tulis ilmiah di antaranya dalam bahasa Inggris dan Prancis.



**Eko Soebowo**, lahir di Mojokerto, Jawa Timur pada 12 Juni 1955. Penulis menyelesaikan pendidikan dari Jurusan Teknik Geologi, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jogjakarta pada tahun 1985/1986. Penulis pernah melakukan kunjungan ke Canberra, Australia di Australia Nasional University (ANU) pada tahun 1996.

Penulis memulai karier pekerjaannya sebagai Pegawai Negeri Sipil di Lembaga Geologi dan Pertambangan-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) pada tahun 1983 yang selanjutnya berubah menjadi Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI pada tahun 1986. Jabatan fungsional peneliti ditekuni mulai tahun 1989 hingga sekarang dengan

jabatan Peneliti Ahli Utama, bidang keahlian yang ditekuni yakni geologi teknik.

Beberapa kegiatan penelitian yang dilakukan oleh penulis di antaranya adalah kondisi geologi dan geologi teknik di daerah Banda Aceh, Sibolga, Padang, Bengkulu, Lampung, Banten, Bandung, Purwakarta, Cianjur, Subang, Indramayu, Jawa Barat, Cilacap, Gombong, Banjarnegara, Semarang, Jogjakarta, Bojonegoro, Tuban, Bali Selatan, Kalimantan Barat, Kalimantan Timur, Palu, Kendari, Ambon, Saumlaki, Kepulauan Aru, Halmahera, Nabire, Jayapura, Timika dan Wamena, Papua; serta beberapa kegiatan penelitian lainnya berkaitan dengan potensi dan ancaman bahaya geologi, khususnya longoran, amblesan dan likuefaksi. Penulis juga melakukan penelitian mengenai Potensi Sumber Daya Mineral Pesisir Selatan dan Utara Jawa Tengah. Pengembangan SDM dan Air di Kepulauan Karimun Kepri.



**Ida Narulita** lahir di Lawang, Jawa Timur pada tanggal 31 Desember 1968, putri pertama dari Bapak Mochammad Suud dan Ibu Hindun Liliek Basjaib. Penulis menikah dengan Prof. Dr. Muhamad Rahman Djuwansah dan dikaruniai empat orang anak, yaitu Abdurrahman Harits, Yuqa Nurhamida, Abdullah Fauzi dan Hana Ainurrahmah.

Penulis menamatkan Sekolah Dasar SDK St. Franciscus 1 di Lawang pada tahun 1981, Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 di Lawang pada 1984, dan Sekolah Menengah Atas Negeri di Lawang pada tahun 1987. Penulis memperoleh gelar Sarjana Geofisika dan Meteorologi dari Institut Teknologi Bandung pada tahun 1993. Saat ini penulis sedang menempuh Pascasarjana di Departemen Geografi, Universitas Indonesia.

Penulis bekerja di Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI sejak tahun 1994 dan Jabatan Peneliti diawali sebagai Ajun Peneliti Muda III/A pada tahun 1997, Ajun Peneliti Madya III/B pada tahun 1999, Peneliti Muda III/C pada tahun 2003, Peneliti Madya IV/B pada tahun 2008, Peneliti Madya IV/C pada tahun 2012, dan Peneliti Ahli Utama IV/D pada tahun 2018.

Penulis pernah mengikuti beberapa pelatihan sesuai dengan bidang kompetensinya, antara lain pelatihan *Water Resources Management, Industrial Pollution Control Research, with Specialization on Environmental Assessment of Coastal Shoreline* di Jepang tahun 1995 dan *Climate Change and Its Impacts: Connecting Local Variability and Knowledge in a Global System*, di Rhode Island, USA tahun 2016.

Penulis mulai melakukan penelitian hidrologi Pulau kecil pada tahun 1997 di Pulau Pari, Kepulauan Seribu. Pada tahun 2012–2014 penulis telah melakukan studi Daya Dukung Sumber Daya Air Pulau Belitung, dan pada tahun 2018–2019 penulis melakukan penelitian Adaptasi dan Mitigasi Pengelolaan Sumber Daya Air Terhadap Pertumbuhan Penduduk dan Perubahan Iklim di Pulau Kecil Ekuator, studi kasus Pulau Bintan. Penelitian lain terkait sumber daya air adalah Penelitian Estimasi Ketersediaan Sumber Daya Air di Cekungan Bandung pada tahun 2004–2006, dan Estimasi Imbuhan Air Tanah di Ciliwung Cisedane pada tahun 2007–2010.



**Mochamad Furqon Azis Ismail** lahir di Bandung pada 19 Mei 1980. Pada tahun 2003, penulis telah menyelesaikan studi Sarjana di Program Studi Oseanografi, Institut Teknologi Bandung. Tahun 2009 penulis menyelesaikan studi *Master of Science* bidang *Ecological Marine Management* dari Vrije Universiteit Brussel, Belgia. Kiprahnya di dunia internasional dimulai dengan menjadi *Graduate Research Assistant* dari tahun 2015–2019 pada *International Centre for Applied Climate Sciences*, University of

Southern Queensland, Australia atas sponsor Program *Research and Innovation in Science and Technology Project* (RisetPRO)-Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, Republik Indonesia. Pada tahun 2019 penulis mendapatkan gelar *Doctor of Philosophy* bidang Oseanografi dari University of Southern Queensland.

Sejak 2004 hingga kini penulis bergabung sebagai staf peneliti bidang Oseanografi Fisik dan Dinamika Iklim pada Pusat Penelitian Oseanografi-

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI). Topik penelitian yang ditekuni penulis adalah interaksi laut dan atmosfer serta pengaruhnya terhadap dinamika sirkulasi lintas paparan/kontinen dan samudra. Menjadi penulis, *reviewer* dan editor bidang ilmu oseanografi dan iklim telah dilakoni penulis, baik itu di dalam maupun luar negeri. Penulis juga telah melakukan penelitian oseanografi kawasan kepulauan kecil di Biak Padaido, Kep Aru.



**Tjoek Azis Soeprapto** mulai belajar geologi pada tahun 1973 di Jurusan Geologi UGM dan lulus pada pertengahan tahun 1985. Ketiga mahasiswa, penulis sangat aktif di banyak kegiatan, mulai dari terjun payung, atlet PON hingga Resimen Mahasiswa.

Pada tahun 1985 penulis diterima sebagai pegawai harian di Pusat Pengembangan Geologi Kelautan (PPGL) di Bandung yang baru saja didirikan pada tahun 1984 oleh almarhum Prof. Katili dan Drs. Hartono. Sejak menjadi PNS penuh pada tahun 1986, penulis terlibat di banyak kegiatan survei pantai dan lepas pantai menggunakan berbagai wahana survei. Pada akhir tahun 1989 penulis mendapat beasiswa untuk melanjutkan studi di *Royal Holloway and Bedford Park Colledge*, Inggris dan selsesai pada tahun 1992, di mana penulis juga terlibat dalam studi seismik dalam hingga menembus bidang Moho bersama dengan para peneliti dari *Cambridge University* di Laut Banda hingga tepian benua Australia dan kemudian dilanjutkan dengan survei seismik 3D bersama Amoco di sekitar Pulau Madura.

Sekembalinya dari Inggris, penulis kemudian memfokuskan kegiatan pada bidang GIS di mana penulis menjadi orang pertama di PPGL yang memahami pentingnya peran bidang tersebut dalam ilmu geologi. Atas keahliannya itu, hingga pertengahan tahun 2000-an, penulis banyak terlibat dalam pemetaan pantai melalui program MREP dan CoreMap bersama dengan para peneliti dari LIPI, Bakosurtanal dan KKP. Sejak tahun 2007 kesehatannya mulai tergerogoti dan harus melakukan cuci darah 2 kali dalam seminggu. Walaupun demikian, semangat hidupnya tetap sangat tinggi dengan memberikan banyak pelatihan GIS kepada rekan-rekan pe-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

neliti, para mahasiswa dari berbagai perguruan tinggi hingga aparat pemerintah daerah, termasuk dari Pemda Kabupaten Wondama, Papua Barat. Pada tahun 2009 penulis pensiun dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (d/h Pusat Pengembangan Geologi Kelautan), dan kemudian menetap di Semarang sambil menjadi dosen luar biasa di Jurusan Geologi Universitas Diponegoro, Semarang.



**Heri Nurochman**, lahir di Pemalang, 30 November 1988. Penulis mendapatkan gelar S1-nya dari Universitas Diponegoro Semarang pada tahun 2011. Penulis melanjutkan pendidikannya di Universitas Keimyun Korea dari 2017 hingga 2019 untuk program Magister bidang Earth Sciences. Bidang peneliti utama penulis adalah Geothermal yang dilakukannya sejak 2014 hingga 2019.



**Engkos Kosasih**, lahir di Sumedang, 10 Maret 1956 dari keluarga beragama Islam. Penulis beralamatkan di Jalan Villa Asri Tengah III No. C 104, Komplek Bumi Asri III, Sukapada, Bandung. Komunikasi dengan penulis dapat dilakukan melalui kontak HP 081322758856 dan surel [engkoskosasih056@gmail.com](mailto:engkoskosasih056@gmail.com). Penulis menamatkan pendidikannya di STM Negeri I Bandung (1974–1976). Penulis diangkat menjadi Pegawai Negeri Sipil pada tanggal 1 Juni 1979 sebagai Teknisi Ahli. Keahlian

dan kegiatan penulis selama masa kerja adalah sebagai operator peralatan survei, interpretasi data pengeboran serta pengembangan teknis peralatan pengeboran pengambilan contoh (kayu, batu, koral dan sedimen) di Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI. Kegiatan penulis berfokus pada survei dan penelitian Geologi dan Geofisika, antara lain pemetaan dan pengelolaan neraca air tanah permukaan melalui pengembangan teknologi sumur opti-

Buku ini tidak diperjualbelikan.

malisasi dan injeksi di pulau pulau kecil (Kepulauan Aru, Pulau Biak, Pari, Bali, Lombok, Sumbawa, Kappoposang, Takabonerate, Ambon, Halmahera, Derawan, dan lain-lain); kawasan pesisir (Brebes-Semarang, Jogja-Cilacap, Banten -Tangerang-Bekasi, Lampung, Bengkulu, Palembang, Timika); juga sebagai teknisi pengukuran seismik pantul dangkal lintasan perairan dangkal Jawa Tengah (Brebes-Demak) dan Litoral Jawa Tengah Selatan (Cilacap-Jogja).



**Suyatno**, lahir di Pringsewu, Lampung, 08 Mei 1960. Penulis beragama Islam, beralamat di Jalan Sekemirung No. E20 RT05/10. Komunikasi ke penulis dapat dilakukan melalui Kontak HP 081312251518 dan alamat Email nonosuyatno@gmail.com. Penulis menamatkan pendidikannya dari STM Otto Iskandardinata, Bandung dan terhitung sejak tanggal 1 Maret 1983 penulis diangkat menjadi Pegawai Negeri Sipil sebagai Teknisi Ahli. Keahlian dan kegiatan penulis adalah sebagai operator peralatan survei dan interpretasi data geofisika (tahanan jenis) di

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI. Kegiatan penelitian yang dilakukan penulis berfokus pada kegiatan survei dan penelitian geofisika, antara lain pemetaan dan neraca air tanah permukaan di pulau pulau kecil (Kepulauan Aru, Pulau Biak, Pari, Bali, Lombok, Sumbawa, Kappoposang, Takabonerate, Ambon, Halmahera, Derawwan, dan lain-lain); serta kawasan pesisir (Brebes-Semarang, Jogja-Cilacap, Banten-Tangerang-Bekasi, Lampung, Bengkulu, Palembang, Timika dan Berau). Penulis juga aktif melatih dan membimbing eksperimen dan pemetaan spektrometer beberapa mahasiswa magister dan doktor di ITB dan IPB.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



# ADAPTASI-PENINGKATAN KETAHANAN

## Air Tawar di Kepulauan Aru

**K**erentanan di Pulau Aru terhadap kejadian ekstrem menjadi ancaman terhadap neraca air, terutama di kawasan pesisir landai. Diperlukan strategi adaptasi guna meningkatkan daya dukung lingkungan sekaligus daya dukung neraca air sehingga terbangun sistem pengelolaan-penyimpanan air secara lestari dan bijaksana.

Kerangka kerentanan, mitigasi, dan adaptasi coba disajikan melalui pendekatan pemulihan dan penguatan lingkungan sehingga bisa menjadi alternatif solusi permasalahan di Pulau Aru. Oleh karena itu, buku ini dapat menjadi acuan cara menganalisis dan menentukan teknologi yang sesuai untuk memperkuat ketahanan air bersih di gugusan pulau datar dalam menghadapi kerentanan kejadian ekstrem alam.

Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi pengambil kebijakan dan masyarakat luas, utamanya mereka yang tinggal di daerah pesisir landai.

**Selamat membaca!**



**Diterbitkan oleh:**

LIPI Press, anggota Ikapi  
Gedung PDDI LIPI Lt. 6  
Jln. Jend. Gatot Subroto 10, Jakarta Selatan 12710  
Telp.: (021) 573 3465 | Whatsapp 0812 2228 485  
E-mail: [press@mail.lipi.go.id](mailto:press@mail.lipi.go.id)  
Website: [lipipress.lipi.go.id](http://lipipress.lipi.go.id) | [penerbit.lipi.go.id](http://penerbit.lipi.go.id)

ISBN 978-602-496-152-7



9 786024 196152 7

tidak diperjualbelikan.