



Bab 6

Teknologi dan Kearifan Lokal untuk Adaptasi Perubahan Iklim pada Sumber Daya Air

Nani Heryani, Popi Rejekiningrum,
Budi Kartiwa, & Hendri Sosiawan

A. Pengaruh Perubahan Iklim pada Sumber Daya Air

Perubahan iklim saat ini makin menjadi perhatian berbagai kalangan. Perubahan iklim juga berdampak terhadap kenaikan frekuensi maupun intensitas kejadian cuaca ekstrem, peningkatan curah hujan dan suhu, serta kenaikan permukaan air laut. Selain itu, perubahan iklim juga meningkatkan tingkat keparahan kekeringan dan menyebabkan kekurangan air tidak hanya pada musim kemarau, tetapi juga pada musim penghujan di daerah-daerah yang kekurangan air. Peningkatan curah hujan yang dipicu dengan berkurangnya daerah resapan air menyebabkan peningkatan aliran permukaan dan risiko banjir, serta mengurangi simpanan air tanah (Şen, 2021)

Peningkatan suhu mengakibatkan peningkatan kebutuhan air, terutama untuk pertanian sebagai sektor yang mengonsumsi

N. Heryani*, P. Rejekiningrum, B. Kartiwa, & H. Sosiawan

Badan Riset dan Inovasi Nasional, *e-mail: naniheryanids@gmail.com

© 2023 Editor & Penulis

Heryani, N., Rejekiningrum, P., Kartiwa, B., & Sosiawan, H. (2023). Teknologi dan kearifan lokal untuk adaptasi perubahan iklim pada sumber daya air. Dalam Elza Surmaini, Lilik Slamet Supriatin, & Yeli Sarvina (Ed.), *Teknologi dan kearifan lokal untuk adaptasi perubahan iklim* (139–171). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.901.c721, E-ISBN: 978-623-8372-46-1

air lebih banyak dibandingkan sektor lain (Wang dkk., 2016), dan menimbulkan dampak yang signifikan dari waktu ke waktu terhadap sumber daya air (Srivastav dkk., 2021). Naiknya permukaan air laut memengaruhi ketersediaan air di wilayah pesisir dan secara langsung menyebabkan peningkatan *water table* pada akuifer sehingga meningkatkan limpasan permukaan dan menekan pengisian kembali akuifer (Adams & Peck, 2008).

Perubahan iklim selain berpengaruh terhadap sumber daya air permukaan juga besar pengaruhnya terhadap sumber daya air tanah, yang disebabkan oleh perubahan curah hujan dan evapotranspirasi, baik secara spasial maupun temporal (Loo dkk., 2015). Menurut Subagiyo (2021), perubahan iklim berpengaruh terhadap sektor sumber daya air, antara lain dengan meningkatnya tinggi gelombang, abrasi pantai, dan meluasnya kawasan yang terpengaruh intrusi air laut. Dampaknya ialah krisis air bersih perkotaan, kerawanan pangan, meningkatnya frekuensi penyakit, perubahan pola curah hujan, dan kerawanan bencana.

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber air potensial terbesar kelima di seluruh dunia, tetapi distribusinya tidak merata. Ketersediaan air di Pulau Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara dalam kondisi kritis. Secara total, ketersediaan air rata-rata di Indonesia sebesar 88,3 ribu m³/s atau setara dengan 2,78 triliun m³/tahun. Potensi air terbesar terdapat di Pulau Papua yang mencapai 29%, sedangkan potensi terkecil terdapat di Pulau Bali dan Nusa Tenggara sebesar 1% (Radhika dkk., 2017). Meskipun sumber daya air nasional memiliki jumlah yang cukup besar, air sering menjadi kendala yang mengganggu kestabilan dan keberlanjutan produksi pertanian di Indonesia. Kendala tersebut disebabkan oleh rendahnya efisiensi pengelolaan dan pemanfaatan air serta keragaman ketersediaan air antarpulau.

Di bidang pertanian, pengelolaan sumber daya air terpadu berperan sangat penting dan merupakan salah satu kunci keberhasilan peningkatan indeks pertanaman dan produksi pangan untuk menghadapi ancaman kelangkaan air. Oleh karena itu, diperlukan model pengelolaan air terpadu untuk meningkatkan indeks pertanaman dan

produksi pertanian. Pendugaan ketersediaan air pada masa yang akan datang dapat dianalisis dan dihitung menggunakan model neraca air spasial berbasis *grid*. Model neraca air dan model iklim global dapat menduga ketersediaan air saat ini dan masa depan untuk skema irigasi pada skenario perubahan iklim yang berbeda berbasis model iklim global. Selama beberapa tahun terakhir, analisis dan pembahasan mengenai dampak perubahan iklim terhadap sumber daya air pada berbagai skenario menggunakan model iklim global telah dilaporkan (Heryani dkk., 2022; Wang dkk., 2016, Rejekiingrum, 2014).

Tinjauan tentang dampak perubahan iklim terhadap ketersediaan sumber daya air di berbagai kawasan, lingkup daerah aliran sungai (DAS), dan satuan wilayah sungai (WS) masih jarang dilakukan. Bab ini menyajikan tinjauan tentang dampak perubahan iklim di Indonesia terhadap sumber daya air dalam upaya adaptasi perubahan iklim. Teknologi adaptasi dirancang serta diaplikasikan untuk membantu masyarakat dalam rangka beradaptasi dengan perubahan iklim. Inovasi teknologi yang diperkenalkan dan diintegrasikan dengan kearifan lokal dilakukan melalui transfer ilmu pengetahuan dan sosialisasi, pendampingan, kemudian disepakati bersama agar aplikasi teknologi dapat berkelanjutan.

B. Pemanasan Global dan Perubahan Iklim

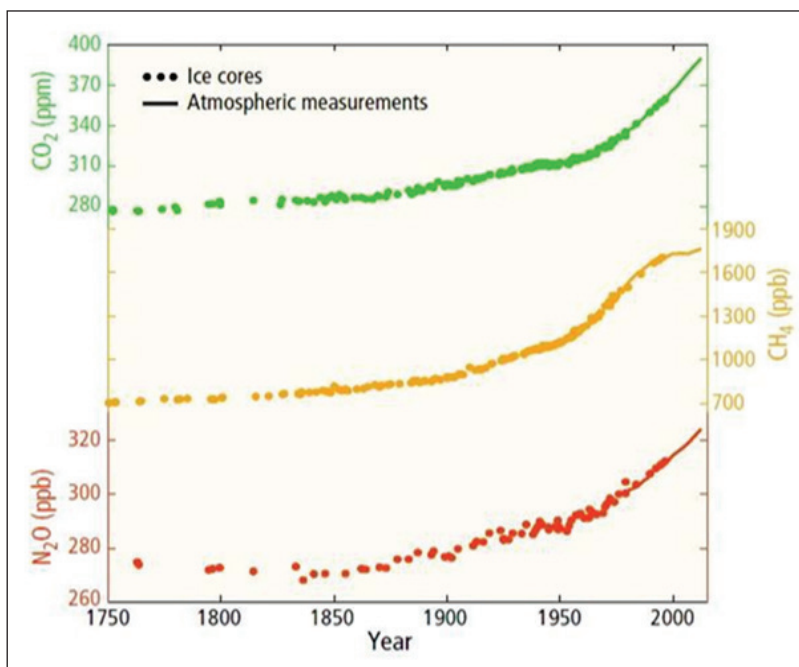
Penggunaan *Global Circulation Model* (GCM) dan skenario perubahan iklim ke depan diperlukan untuk mengkaji dampak dan proyeksi perubahan iklim terhadap sumber daya air secara nasional. Informasi proyeksi dampak perubahan iklim diperlukan sebagai upaya adaptasi dalam perencanaan pembangunan pertanian, khususnya pengelolaan air.

1. Pemanasan Global

Menurut analisis IPCC, suhu permukaan global terus naik dan gas rumah kaca (GRK) menjadi pemicu utama pemanasan global, terlihat dari meningkatnya konsentrasi GRK mulai pertengahan abad ke-18 hingga abad ke-20. Konsentrasi karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4),

dan nitrogen oksida (N_2O) di atmosfer telah mencapai level yang belum pernah terjadi dalam 800.000 tahun terakhir, seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan populasi. Sejak 1750, konsentrasi CO_2 , CH_4 , dan N_2O meningkat signifikan (masing-masing sebesar 40%, 150%, dan 20%) (Gambar 6.1). Industrialisasi, transportasi, kebakaran hutan, pertanian, peternakan, dan deforestasi menjadi faktor antropogenik yang bertanggung jawab atas perubahan iklim. Hal ini menunjukkan bahwa peran manusia menjadi faktor dominan dalam perubahan iklim (IPCC, 2014).

Kenaikan suhu global diperkirakan akan berlanjut seiring dengan peningkatan emisi GRK ke atmosfer. Sementara itu, beberapa jenis GRK memiliki masa hidup ratusan tahun dan akan terakumulasi dengan dampak yang bervariasi pada lingkungan (Tabel 6.1).



Keterangan: Data diambil dari inti es (titik) dan pengukuran langsung dari atmosfer (garis).

Sumber: IPCC (2014)

Gambar 6.1 Konsentrasi GRK (CO_2 , CH_4 , dan NO_2) di Atmosfer

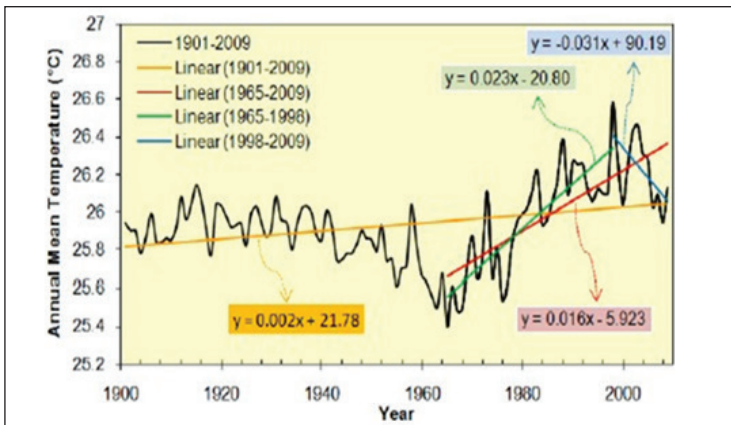
Tabel 6.1 Umur Berbagai Jenis GRK di Atmosfer dan Dampaknya terhadap Perubahan Iklim Global

Gas Rumah Kaca	Umur (Tahun)	Potensi Daya Rusak (100 tahun)
Karbon dioksida (CO ₂)	ratusan	1
Metana (CH ₄)	12	25
Nitrogen oksida (N ₂ O)	114	298
Hidrofluorokarbon (CHF ₃)	264	14.800
Sulfur heksafluorida (SF ₆)	3.200	22.800
PFC-14 (CF ₄)	50.000	7.390

Keterangan: Angka pada kolom adalah potensi daya rusak yang menyatakan sekian kali merusak jika dibandingkan CO₂.

Sumber: IPCC AR4 (2007) dalam Aldrian dkk. (2011)

Kementerian PPN/Bappenas (2014) melaporkan bahwa pemanasan global akibat peningkatan GRK di atmosfer menjadi isu yang menjadi perhatian dunia karena mengancam kelangsungan hidup manusia dan lingkungannya. Konsentrasi CO₂ diprediksi meningkat menjadi 935 ppm pada akhir abad ke-21 dan menyebabkan rata-rata suhu meningkat 0,85°C selama 130 tahun (IPCC, 2014; Stocker dkk., 2013). Kenaikan suhu di Indonesia kurang dari 1°C selama abad ke-20 disajikan pada Gambar 6.2.



Sumber: Kementerian PPN/Bappenas (2014)

Gambar 6.2 Pola Suhu Rata-Rata Tahunan di Wilayah Daratan Indonesia

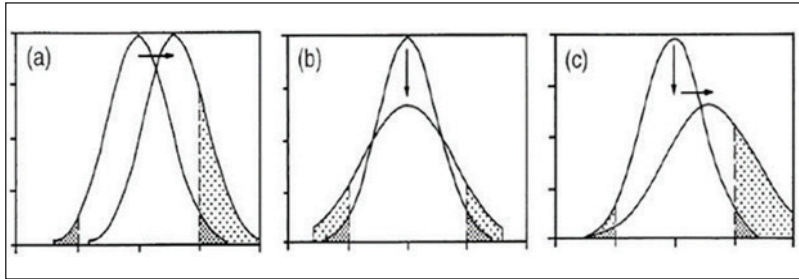
2. Dinamika Perubahan Iklim Indonesia

Dampak perubahan iklim di Indonesia, meliputi (1) peningkatan suhu udara di seluruh wilayah Indonesia dengan laju yang lebih rendah dibandingkan daerah subtropis; (2) peningkatan curah hujan saat musim kemarau di wilayah utara khatulistiwa, sedangkan wilayah selatan khatulistiwa mengalami penurunan; dan (3) peningkatan muka air laut. Selain berpotensi menyebabkan kekeringan atau banjir ekstrem, kenaikan suhu permukaan atmosfer juga mengakibatkan kenaikan suhu air laut yang berdampak pada perluasan volume air laut dan mencairnya gletser serta es di kutub. Selanjutnya, terjadi kenaikan tinggi permukaan air laut, yang dapat mengancam kualitas hidup di daerah pesisir (Kementerian PPN/Bappenas, 2009).

Menurut Kelompok Kerja Pertama IPCC pada tahun 2013, indikator perubahan iklim mencakup peningkatan suhu global sejak tahun 1901 sebesar $0,89^{\circ}\text{C}$. Di wilayah Asia Tenggara, terjadi kenaikan suhu $0,4\text{--}1^{\circ}\text{C}$, untuk jangka menengah (2046–2065) diperkirakan peningkatan suhu sebesar $1,5\text{--}2^{\circ}\text{C}$, dan untuk proyeksi jangka panjang (2081–2100) kenaikan suhu mencapai $2\text{--}4^{\circ}\text{C}$ yang akan tersebar secara merata di seluruh daratan. Suhu tertinggi pada siang hari diperkirakan $3\text{--}4^{\circ}\text{C}$ lebih tinggi dari suhu rata-rata saat ini. Peningkatan curah hujan diperkirakan terjadi di beberapa negara, termasuk Indonesia dan Papua Nugini. Sementara itu, di negara lain, seperti Thailand, Laos, Myanmar, Kamboja, dan Vietnam, curah hujan diperkirakan akan menurun sebesar $10\%\text{--}20\%$ pada bulan Maret–Mei. Secara keseluruhan, curah hujan tahunan diperkirakan akan meningkat, kecuali di bagian barat daya Indonesia. Kelembapan tanah akan meningkat hingga 1 mm di bagian barat daya Papua Nugini dan penurunan sekitar 0,6 mm di bagian barat Papua Nugini, yaitu di negara-negara Laos, Vietnam, Kamboja, Thailand, Malaysia, dan sebagian Indonesia dan Myanmar (IPCC, 2013).

Berdasarkan laporan Kementerian Lingkungan Hidup (2008), bukti terjadinya perubahan iklim telah terlihat secara global sejak tahun 1980-an, yang ditandai dengan peningkatan suhu udara global, kenaikan permukaan air laut, dan mencairnya es. Hal ini telah

meningkatkan risiko terjadinya peristiwa ekstrem, seperti gelombang panas, kekeringan, curah hujan intensif, dan banjir yang memiliki dampak merusak (WMO, 2016). Hasil analisis statistik terkait perubahan iklim dapat dilihat pada Gambar 6.3.



Keterangan: Sumbu vertikal menyatakan peluang; sumbu horizontal menyatakan nilai parameter iklim. (a) Perubahan dalam rerata; (b) perubahan dalam variasi; dan (c) perubahan dalam rata-rata dan variasi.

Sumber: Kementerian Lingkungan Hidup (2008)

Gambar 6.3 Penilaian Perubahan Iklim secara Statistik

Daerah pesisir di seluruh kawasan Asia Tenggara menghadapi kenaikan muka air laut 10%–15% lebih tinggi daripada peningkatan rata-rata global. Pada tahun 2050, diperkirakan kenaikan muka air laut dapat mencapai 50 hingga 100 cm pada tahun 2090. Kota-kota besar di Asia Tenggara, seperti Jakarta, Bangkok, Ho Chi Minh City, Manila, dan Yangon, akan menghadapi dampak yang sangat signifikan akibat fenomena ini (The World Bank, 2013).

C. Dampak Perubahan Iklim terhadap Sumber Daya Air

Untuk melihat dampak yang terjadi pada sumber daya air sebagai akibat dari dampak perubahan iklim, perlu ditelusuri dahulu faktor-faktor penyebabnya. Kemudian, untuk menentukan strategi adaptasi yang tepat, akan dirancang pemodelan dampak perubahan iklim terhadap sumber daya air.

1. Faktor Utama yang Menunjukkan Terjadinya Perubahan Iklim pada Sumber Daya Air

Terdapat tiga faktor utama yang menunjukkan perubahan iklim pada sumber daya air, yaitu (1) perubahan pola aliran sungai global; (2) dampak perubahan iklim terhadap pola hidrologi wilayah; dan (3) bahaya yang timbul akibat perubahan iklim pada sumber daya air.

a. Perubahan Pola Aliran Sungai Global

Tren perubahan iklim global dapat diamati melalui analisis pola aliran sungai di seluruh dunia. Chiew dan McMahon (1996) telah melakukan analisis statistik pada data debit puncak dan volume aliran sungai. Penelitian ini melibatkan 142 sungai dengan periode data sepanjang 50 hingga 162 tahun dan cakupan DAS mulai dari 1.000 hingga 8 juta km². Meskipun beberapa lokasi menunjukkan tren dan perubahan yang signifikan, tidak ada konsistensi untuk seluruh wilayah. Pada beberapa kasus di mana terlihat adanya tren, diyakini bahwa perubahan tersebut disebabkan oleh perubahan kondisi biofisik di DAS. Hal ini menggambarkan ketidakpastian mengenai ketersediaan air di wilayah tersebut pada masa depan.

b. Dampak Perubahan Iklim terhadap Pola Hidrologi Wilayah

Fenomena pemanasan global memberikan dampak signifikan pada sumber daya air di sebagian besar wilayah lintang tengah dan tinggi. Hal ini disebabkan oleh pergeseran daerah sabuk tekanan tinggi subtropis ke arah kutub utara, di mana peningkatan suhu mencapai dua hingga tiga kali lipat dari wilayah tropis. Hasil kajian Barnett dkk. (2005) menunjukkan bahwa kenaikan suhu khususnya di daerah yang ditutupi oleh salju dapat mengubah pola hidrologi. Dampak ini berimplikasi signifikan bagi seperenam penduduk dunia yang mengandalkan pasokan air dari gletser dan tutupan salju.

Dampak yang paling ekstrem dari perubahan iklim adalah perubahan dalam pola siklus hidrologi, yang berdampak pada jumlah dan mutu sumber daya air. Kondisi hidrologi bervariasi dari satu

wilayah ke wilayah lain sehingga pengaruh perubahan iklim pada proses hidrologi lokal kemungkinan akan berbeda antardaerah. Penelitian dalam beberapa tahun belakangan telah mengungkapkan kerentanan sumber daya air terhadap fluktuasi suhu dan perubahan pola curah hujan. Upaya teknis perlu dilakukan untuk memitigasi dampak buruk perubahan iklim terhadap ekosistem dan masyarakat (Ranesh, 2014).

c. Bahaya yang Timbul Akibat Perubahan Iklim pada Sumber Daya Air

Ancaman perubahan iklim terhadap sektor air adalah perubahan pola curah hujan dan kenaikan suhu. Risiko penurunan ketersediaan air (PKA) bervariasi pada wilayah-wilayah dengan intensitas bahaya, yang mengalami peningkatan dari tahun 2010 hingga 2015, penurunan pada periode 2015–2020, dan kembali meningkat pada rentang waktu 2025–2030. Wilayah Jawa-Bali dan Sumatra menempati peringkat atas dalam hal risiko, sedangkan wilayah Papua dan Maluku memiliki tingkat ancaman PKA yang paling minimal. Dari hasil analisis risiko banjir, terlihat bahwa Jawa-Bali dan Sumatra memiliki kerentanan tertinggi terhadap bahaya banjir, sedangkan Papua dan Maluku memiliki tingkat kerentanan paling rendah (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020).

Wilayah yang terdampak kekeringan diperkirakan akan bertambah, yang merugikan berbagai sektor. Menurut hasil kajian (Ranesh, 2014), di kawasan Asia diperkirakan bahwa suhu rata-rata permukaan benua telah mengalami kenaikan sekitar $0,7^{\circ}\text{C}$ selama abad ke-20 dan diperkirakan akan terjadi pemanasan tambahan sebesar $0,2\text{--}0,5^{\circ}\text{C}$ per dekade pada periode 2070–2100. Peningkatan suhu udara permukaan ini akan berdampak signifikan terhadap kondisi hidrologi.

2. Model Dampak Perubahan Iklim pada Sumber Daya Air

Prediksi dampak perubahan iklim terhadap ketersediaan sumber daya air dilakukan dengan beberapa skenario perubahan iklim melalui penggunaan model *Modelling System for Agricultural Impacts*

of Climate Change (MOSAICC). Kajian hidrologi dan pemodelan dilakukan dengan memanfaatkan model hidrologi *Spatial Tools for River Basins and Environment and Analysis of Management Options* (STREAM), yang terintegrasi dalam kerangka MOSSAIC. STREAM adalah model neraca air berbasis *grid* yang secara spasial menggambarkan siklus hidrologi dalam DAS sebagai rangkaian kompartemen penyimpanan dan aliran (Aerts dkk., 1999). Beberapa penelitian melaporkan bahwa model STREAM dapat digunakan untuk mempelajari dampak perubahan iklim terhadap kebutuhan air dan karakteristik hidrologi (Tan dkk., 2022; Malek dkk., 2018).

Model STREAM telah diaplikasikan di Indonesia untuk simulasi aliran air di beberapa DAS (Julian dkk., 2011; Poerbandono dkk., 2009). Dampak potensial perubahan iklim terutama pada rezim hidrologis dan sumber daya air pada masa depan (2010–2050) dilakukan pada 24 DAS yang terletak di sentra pertanian di seluruh Filipina dengan menilai aliran sungai masa depan yang berasal dari GCM (BCM2, CNCM3 dan MPEH5) di bawah dua skenario (A1B dan A2) yang dibandingkan skenario dasar (abad ke-20) (Tolentino dkk., 2016). Simulasi model STREAM menunjukkan bahwa perubahan iklim dapat berdampak besar terhadap kondisi hidrologi DAS dengan meningkatkan potensi evapotranspirasi (PET) sebesar 4,4%–17,3%, serta penurunan aliran sungai dan air tanah masing-masing sebesar 48,8%–95,6% dan 12,7%–76,8% (Tarekegn dkk., 2022)

3. Strategi Antisipasi Dampak Perubahan Iklim terhadap Ketersediaan Sumber Daya Air

Adaptasi melalui pengelolaan air sangat penting untuk pembangunan berkelanjutan dan diperlukan untuk mencapai Agenda Pembangunan Berkelanjutan 2030, Perjanjian Paris, dan Kerangka Sendai untuk Pengurangan Risiko Bencana (UNESCO & UN Water, 2020). Strategi adaptasi perubahan iklim meliputi pendekatan keras (struktural) dan lunak (instrumen kebijakan). Pendekatan keras (*hard approaches*) meliputi peningkatan penyimpanan air, infrastruktur tahan iklim, dan peningkatan ketahanan tanaman melalui introduksi varietas tanaman

tahan banjir dan kekeringan. Pendekatan lunak (*soft approaches*) meliputi asuransi banjir dan kekeringan, sistem prakiraan dan peringatan dini, perencanaan penggunaan lahan, dan peningkatan kapasitas (pendidikan dan kesadaran).

Langkah-langkah dan kebijakan dalam upaya adaptasi dan mitigasi dampak perubahan iklim menurut UNESCO dan UN Water (2020), antara lain

- 1) memberikan dukungan terhadap kesiapan menghadapi kekeringan dan banjir melalui investasi serta penguatan ketahanan iklim dalam infrastruktur WASH (*Water, sanitation, and hygiene*);
- 2) memperluas cakupan perlindungan sosial serta memperkenalkan produk keuangan, seperti asuransi;
- 3) mendorong pemerataan gender dalam penggunaan dan pengelolaan sumber daya air, dan
- 4) meningkatkan pasokan air untuk pertanian melalui panen hujan, penggunaan mulsa, dan pengurangan olah tanah dalam sistem tadah hujan.

Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim (RAN-API) untuk sektor sumber daya air mencakup langkah-langkah, sebagai berikut (Kementerian PPN/Bappenas, 2014):

- 1) peningkatan manajemen infrastruktur sumber daya air untuk mendukung ketersediaan air dan ketahanan pangan;
- 2) pengembangan manajemen risiko bencana banjir (sungai, rob, lahar dingin), longsor, dan kekeringan;
- 3) peningkatan manajemen dan pengembangan infrastruktur sumber daya air guna mengendalikan kerusakan akibat air;
- 4) peningkatan kesadaran dan partisipasi masyarakat dalam upaya konservasi air; dan
- 5) peningkatan penyediaan dan akses terhadap data serta informasi terkait dampak perubahan iklim.

D. Teknologi Adaptasi Perubahan Iklim pada Sumber Daya Air

Berikut ini akan dibahas beberapa teknologi adaptasi yang telah dilakukan oleh berbagai pihak di Indonesia.

1. *Food Smart Village (FSV): Konsep dan Pengembangan Teknologi Adaptasi*

Tinjauan holistik terhadap pengelolaan sumber daya air dan integrasi strategis dalam menghadapi dampak perubahan iklim diimplementasikan melalui konsep inovatif desa mandiri pangan (*food smart village*). Konsep ini merujuk pada pengembangan kawasan pertanian skala rumah tangga yang berfokus pada pemanfaatan teknologi inovatif untuk mencapai kemandirian pangan, terutama di lahan-lahan sub-optimal. Desa mandiri pangan berlandaskan lima pilar adaptasi perubahan iklim, yaitu (1) pengelolaan sumber daya iklim dan air, termasuk air permukaan dan air tanah, serta modifikasi iklim mikro; (2) budi daya tanaman sesuai zona agroklimat; (3) integrasi tanaman dan ternak untuk hasil dan lahan lebih baik; (4) pertanian konservasi dengan olah tanah minimal, penggunaan mulsa dan tanaman penutup, serta tumpang sari dengan tanaman penambat nitrogen; (5) pemanfaatan limbah pertanian dan ternak dengan pendekatan 3R (*reduce, reuse, recycle*).

Pilar pertama menjadi dasar utama meningkatkan produktivitas lahan kering, termasuk diversifikasi produksi pangan dan peternakan, serta memenuhi kebutuhan domestik dalam adaptasi perubahan iklim. Partisipasi kelembagaan dan kearifan lokal mendukung kelangsungan pilar pertama. Pilar kedua hingga kelima menitikberatkan pada penciptaan sistem pertanian adaptif terhadap perubahan iklim. Keberhasilan penerapan model pengelolaan sumber daya air pada program Lahan Kering Iklim Kering (LKIK) terlihat jelas melalui pengembangan FSV di beberapa lokasi. Di Desa Oebola, Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT), pengembangan ini mengandalkan mata air dari LKIK. Selain itu, model ini juga diimplementasikan di Desa Limampocoe, Kecamatan Cenranae,

dan Desa Tompobulu, Kecamatan Tompobulu, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan.

Penggunaan dan optimasi air permukaan dari mata air berdampak besar pada ketersediaan air dan produktivitas LKIK. Integrasi peternakan juga penting, terutama di Desa Oebola. Di Desa Limampocoe, pendekatan pengelolaan air berfokus pada dam parit bertingkat (Heryani dkk., 2014). Untuk memberikan gambaran visual, ilustrasi tentang penggunaan tampungan air mini renteng (TAMREN) dalam sistem irigasi di kedua lokasi tersebut disajikan dalam bentuk Gambar 6.4.



Keterangan: (Atas) Desa Limampocoe, Sulawesi Selatan; (Bawah) Desa Oebola, NTT

Sumber: Sosiawan (2015)

Gambar 6.4 Model Pengembangan *Food Smart Village*

2. Teknologi Pengelolaan Air dan Irigasi untuk Adaptasi Perubahan Iklim pada Beberapa Agroekosistem

Teknologi pengelolaan air dan irigasi pada berbagai agroekosistem melibatkan beberapa tahap, seperti mengidentifikasi sumber daya air, mengeksplorasi dan mengeksploitasi, merancang jaringan irigasi, dan meningkatkan efisiensi penggunaan air. Perbedaan umum dalam pengelolaan air di ketiga agroekosistem berikut, meliputi sumber air

yang dipilih (air permukaan, air tanah, atau keduanya), teknik irigasi, jenis pompa, serta jenis energi (listrik, diesel, surya, dan sebagainya). Desain irigasi mencakup posisi pompa, *outlet*, jaringan pipa, dan batas lahan. Berikut adalah beberapa studi kasus pengelolaan air dan irigasi di lahan sawah tadah hujan, lahan kering iklim kering, dan lahan kering masam.

a. Teknologi Pengelolaan Air dan Irigasi pada Lahan Sawah Tadah Hujan

Budi daya padi pada lahan sawah tadah hujan sangat tergantung pada karakteristik curah hujan setempat. Indeks pertanaman padi lahan sawah tadah hujan (LSTH) umumnya satu kali tanam per tahun (IP 100). Pada beberapa lokasi tertentu yang memiliki bulan basah (curah hujan >200 mm/bulan) lebih dari 8 bulan, memungkinkan untuk memiliki indeks pertanaman padi dua kali (IP200).

Perubahan iklim akan berdampak pada meningkatnya ketidakpastian ketersediaan air padabudi daya padi LSTH. Solusi terbaik dalam menghadapi kondisi ini adalah melalui implementasi teknologi pengelolaan air dan irigasi hemat air. Sumber daya air alternatif dapat berasal dari air permukaan ataupun air tanah menggunakan teknik submersi (penggenangan) ataupun dengan sistem curah menggunakan *big gun sprinkler*.

Teknologi pengelolaan air melalui pemanfaatan sumber air permukaan yang diintegrasikan dengan sistem irigasi *big gun sprinkler* telah diimplementasikan pada LSTH seluas 10 ha di Desa Prataan, Kecamatan Bogorejo, Kabupaten Blora. Kebutuhan irigasi pada *demonstration farming* (demfarm) LSTH Desa Prataan dipenuhi dari operasional tiga unit pompa selama 10 jam per hari yang menyedot air dari sungai dan mendorong air menuju lahan pada ketinggian 23 m sejauh 250 m. Selanjutnya, dengan daya dorong yang tersisa akan mendorong air sekaligus memutar *big gun sprinkler* sehingga irigasi akan tersebar dalam bentuk butir hujan dengan diameter curahan irigasi sekitar 40 m pada dua titik *big gun sprinkler* yang beroperasi secara paralel. Instalasi pompa operasional *big gun sprinkler* disajikan pada Gambar 6.5.



Sumber: Kartiwa (2021)

Gambar 6.5 Instalasi Pompa di Sungai serta Operasional *Big Gun Sprinkler* Demfarm LSTH

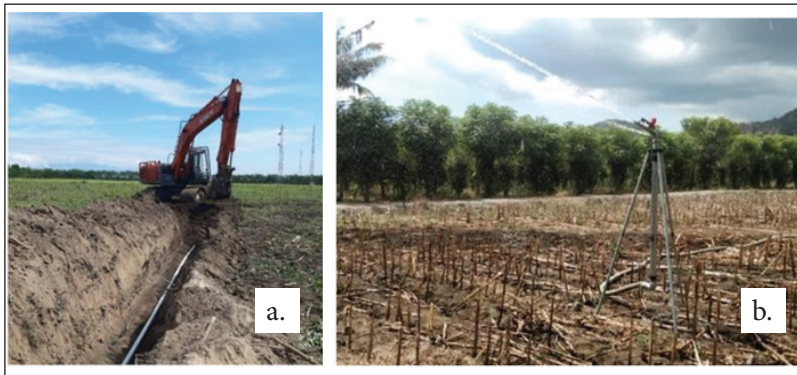
Teknologi pengelolaan air lain, yakni melalui pemanfaatan sumber air permukaan yang diintegrasikan dengan sistem irigasi perpipaan (*pipeline irrigation system*) yang telah diimplementasikan pada LSTH seluas 100 ha di Desa Tambak Romo, Mulyo Rejo, dan Nglanjuk, Kecamatan Cepu, Kabupaten Blora, menggunakan pompa sentrifugal dan mendistribusikannya ke lahan sawah. Instalasi infrastruktur pengelolaan air, meliputi pemasangan daya listrik, jaringan kabel listrik, pembuatan rumah pompa, instalasi pompa sentrifugal tenaga motor listrik, instalasi jaringan pipa, serta instalasi *outlet* irigasi. Pompa sentrifugal selanjutnya dipasang di dalam rumah pompa yang berfungsi melindungi pompa dan instalasi listrik saat terjadi banjir. Jaringan pipa irigasi berfungsi untuk mendistribusikan air dari sungai menuju *outlet* irigasi sebagai titik akhir distribusi air. *Outlet* irigasi berfungsi untuk mengeluarkan air dari pipa menuju ke lahan sawah.

b. Teknologi Pengelolaan Air dan Irigasi pada Lahan Kering Iklim Kering

LKIK adalah agroekosistem paling rentan terhadap kekeringan akibat perubahan iklim. Pengelolaan air dan irigasi di LKIK mempertimbangkan faktor biofisik (kemiringan, luas, dan jenis sumber air). Pendekatannya sebagai berikut.

- 1) Gunakan sumber air di lokasi (air tanah dan permukaan).
- 2) Eksploitasi air menggunakan pompa dengan sumber energi yang sesuai.
- 3) Pasang jaringan primer, sekunder, tersier dan *outlet* irigasi.
- 4) Hitung jumlah alat irigasi per areal tanam.

Studi kasus pengelolaan air LKIK di lokasi demfarm Desa Senayan, Kecamatan Poto Tano, Kabupaten Sumbawa Barat, NTB, menunjukkan bahwa dalam mengatasi kekurangan air, pemanfaatan air tanah untuk keperluan pertanian, air minum, dan domestik sudah dilaksanakan cukup intensif. Sumur bor sebagai sumber air tanah dieksploitasi menggunakan beberapa pompa, yaitu pompa VTP (*vertical turbine pump*) bertenaga diesel; serta pompa *submersible* tenaga genset, tenaga surya, dan tenaga listrik. Selain air tanah, sumber air di LKIK berasal dari air permukaan (air sungai). Instalasi saluran distribusi air melalui pipanisasi dan alat penyiraman disajikan pada Gambar 6.6.



Keterangan: (a) Penggalian saluran pipa irigasi; (b) Penyiraman pada tanaman jagung dengan *big gun sprinkler*

Sumber: Rejekiningrum (2021)

Gambar 6.6 Instalasi Saluran Distribusi Air dan Contoh Alat Penyiraman

c. Teknologi Pengelolaan Air dan Irigasi pada Lahan Kering Masam

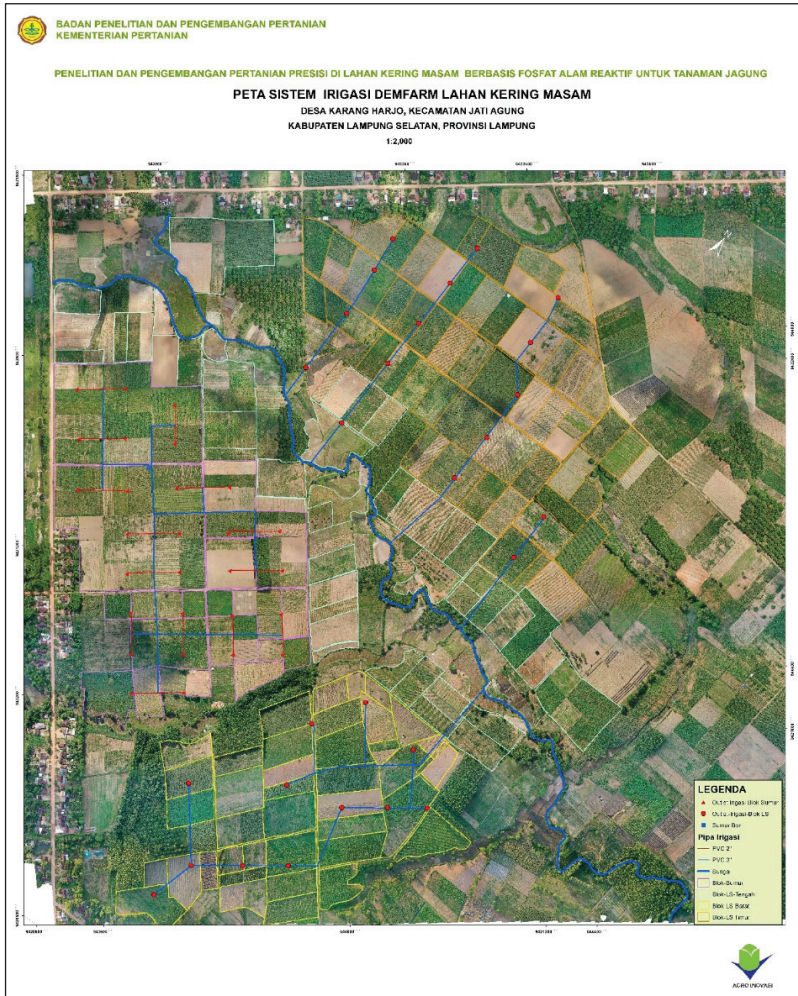
Teknologi pengelolaan air dan irigasi pada Lahan Kering Masam (LKM) diaplikasikan di lokasi Desa Karang Rejo, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan. Terdapat dua model pengelolaan air dan irigasi, yaitu berbasis sumber air permukaan dan air tanah (sumur bor air tanah dalam). Contoh peta desain pengelolaan air disajikan pada Gambar 6.7.

Instalasi infrastruktur pengelolaan air meliputi instalasi tiang listrik, jaringan kabel listrik; pembuatan sumur air tanah dalam (kedalaman 80 m, diameter 8 inci, casing PVC); serta instalasi pompa *submersible* dengan daya 9,3 kW. Instalasi infrastruktur irigasi meliputi jaringan pipa irigasi sepanjang 1.976 m, terdiri dari pipa PVC 3” sepanjang 1.016 m serta PVC 2” sepanjang 960 m; instalasi *outlet* irigasi sebanyak 18 titik irigasi. Delapan belas *outlet* irigasi tersebut menjadi titik koneksi dengan ujung selang irigasi gulung diameter 2 inci sepanjang minimal 30 m, yang ujung lainnya terhubung dengan *big gun sprinkler*. Pada saat operasional, pompa *submersible* yang dipasang pada sumur mampu mendorong dua hingga empat unit *big gun sprinkler*.

Pasokan air dari sumur air tanah dalam yang didorong oleh pompa celup selanjutnya akan masuk ke dalam sistem jaringan pipa irigasi. Jaringan pipa irigasi di lokasi LKM dikubur di dalam tanah pada kedalaman 60 cm berdasarkan pertimbangan agar tidak terputus/ rusak terlindas mesin traktor ataupun bajak saat pengolahan tanah. Jaringan pipa irigasi berfungsi untuk mendistribusikan air dari sumur air tanah dalam menuju *outlet* irigasi sebagai titik akhir distribusi air. *Outlet* irigasi berfungsi sebagai titik koneksi antara pipa distribusi dan *big gun sprinkler* melalui selang gulung.

Berdasarkan pada pertimbangan spesifikasi teknis pompa celup (*submersible pump*) dan teknik irigasi *big gun sprinkler* yang digunakan pada sistem irigasi Demfarm LKM, operasional *big gun sprinkler* pada waktu yang bersamaan berjumlah dua hingga empat unit berdasarkan jarak antara *big gun sprinkler* dan pompa celup. Pada titik terdekat

dapat digunakan empat unit *big gun sprinkler* sekaligus, sedangkan pada titik terjauh cukup digunakan dua unit *big gun sprinkler*.



Sumber: Rivaie (2021)

Gambar 6.7 Desain Pengelolaan Air dan Irigasi Demfarm LKM Desa Karang Rejo, Lampung

E. Kearifan Lokal dalam Upaya Adaptasi Perubahan Iklim Sektor Sumber Daya Air

Berikut ini akan dibahas beberapa contoh kearifan lokal yang dimiliki masyarakat di Indonesia.

1. Pengembangan Teknologi Panen Air Hujan pada Berbagai Komunitas Pecinta Panen Air

Teknologi panen air adalah upaya menampung air pada musim kemarau untuk dimanfaatkan pada musim hujan atau kondisi keke-
ringan. Selain untuk irigasi, panen air berguna dalam pengisian kemb-
ali air tanah (*groundwater recharge*) dan mengurangi risiko banjir. Di
sektor pertanian, embung, dam parit, dan *long storage* sudah banyak
dimanfaatkan untuk irigasi terutama pada tanaman pangan dan
hortikultura. Prototipe bangunan panen air disajikan pada Gambar
6.8.



Keterangan: (a) Bangunan panen air embung; (b) Dam parit; (c) *Long storage*

Sumber: Balitbangtan (2017)

Gambar 6.8 Prototipe Bangunan Air

Embung merupakan bangunan panen air yang telah ada sejak lama, sedangkan dam parit dan *long storage* saat ini sudah banyak dikembangkan. Embung sudah banyak dimanfaatkan secara individu, komunitas kelompok tani, maupun gabungan kelompok tani. Dam parit telah berkembang di berbagai wilayah, termasuk Jawa Barat, Jawa Tengah, DI Yogyakarta, dan Sulawesi Selatan. Konsep dam parit bertingkat (*channel reservoir in cascade*) diterapkan untuk memaksimalkan pemanfaatannya dengan membangun beberapa dam parit dalam satu aliran sungai (Heryani, 2022; Heryani dkk., 2014;

Heryani, Sawiyo, & Pujilestari, 2013). Selain itu, praktik *long storage* juga telah menyebar ke wilayah pesisir pantai utara Jawa dan menjadi fokus pengembangan di daerah NTB dan NTT.

Sementara itu, teknologi panen air ini juga dapat digunakan untuk keperluan domestik (rumah tangga). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia No. 11/Prt/M/2014 mengenai Pengelolaan Air Hujan di Bangunan Gedung dan Persilnya menyatakan tujuannya adalah mempertahankan kondisi hidrologi alami. Hal ini dilakukan melalui pemanfaatan air hujan, infiltrasi, dan penyimpanan sementara untuk mengurangi debit banjir, memanfaatkan elemen alam dan buatan (Kementerian PUPR, 2014). Komunitas Pecinta Panen Air mengembangkan pemanenan air hujan untuk mengatasi kelangkaan air bersih dan kekeringan. Beberapa komunitas yang melakukan panen air hujan di Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta, antara lain sebagai berikut.

- 1) River and Ecology Club dari Sekolah Vokasi UGM, telah mengembangkan teknologi Panen Air Hujan di Brebes, Semarang, Boyolali, dan Yogyakarta untuk perumahan penduduk.
- 2) Komunitas Agni Mandiri untuk memenuhi kecukupan air di Desa Sruni, Musuk, Boyolali.
- 3) Komunitas Banyubening untuk memenuhi kebutuhan air sehari-hari (Sekolah Vokasi UGM, 2022).
- 4) Komunitas Mat Peci di Jakarta untuk memenuhi kebutuhan air minum di Sekolah Sungai Ciliwung, untuk kegiatan *urban farming*/pertanian perkotaan, dan cadangan air bersih untuk memenuhi kebutuhan air di pos-pos pemantauan Ciliwung di Tanjung Barat dan Lenteng Agung, serta instalasi pemanenan air hujan di Masjid Al-Atiq Kebon Baru, Tebet, Jakarta Selatan (Firdaus, 2022).

Beberapa prototipe teknologi panen air hujan disajikan pada Gambar 6.9.



Keterangan: Panen air hujan untuk keperluan rumah tangga

Sumber: (Kiri) Giyanto (2022); (Kanan) Setiyo (2022)

Gambar 6.9 Panen Air Hujan di Wilayah Permukiman

Air hujan yang dipanen oleh komunitas Pecinta Panen Air pada umumnya digunakan untuk cuci dan masak, menyiram tanaman pekarangan, serta sebagai air minum. Bahkan, ada beberapa komunitas yang berupaya agar air hujan yang dipanen dapat digunakan sebagai air kemasan dalam botol. Tingkat keasaman (pH) air hujan berkisar 7,2 sampai 7,4 dan layak untuk dikonsumsi dilaporkan oleh Agus Maryono dalam Grehenson (2018) di Yogyakarta, Bali, Bogor, dan Jakarta.

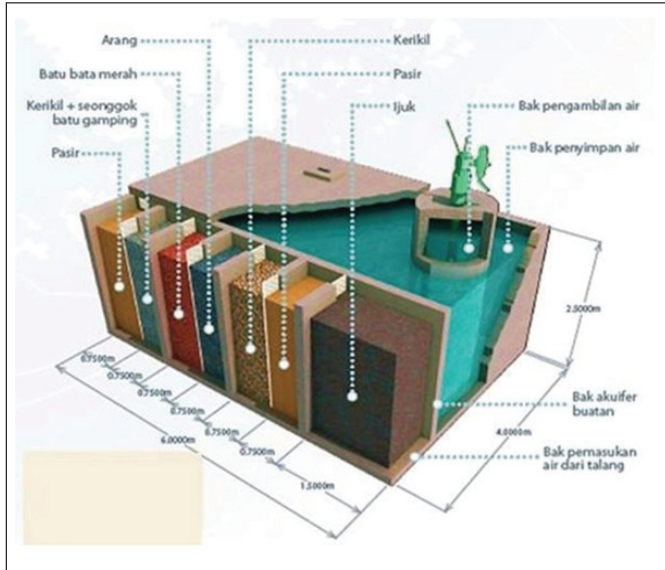
2. Panen Air Hujan di Pulau-Pulau Kecil

Dalam Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 jo. Undang-Undang No. 1 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil disebutkan bahwa pulau kecil adalah pulau dengan luas lebih kecil atau sama dengan 2.000 km² beserta kesatuan ekosistemnya. Berdasarkan Keppres Nomor 6 Tahun 2017 tentang Penetapan Pulau-Pulau Kecil Terluar yang berbatasan langsung dengan pulau lain, terdapat 111 pulau tersebar di Kepulauan Riau, Kalimantan

Utara, Kalimantan Timur, Sulawesi Tengah, Sulawesi Utara, Maluku Utara, Papua, Papua Barat, Maluku, NTT, NTB, Bali, Jawa Timur, Jawa Tengah, Jawa Barat, Banten Lampung, Bengkulu, Sumatra Barat, Sumatra Utara, Aceh, Riau (Sekretariat Kabinet Republik Indonesia, 2017).

Perubahan iklim yang makin kerap terjadi berdampak buruk terhadap eksistensi manusia yang hidup di pulau-pulau kecil, seperti Pulau Halura, Sumba Timur, dan NTT (WALHI-FoE Indonesia, t.t.). Penduduk di wilayah pesisir dan pulau kecil memanfaatkan panen air untuk memenuhi kebutuhan air minum dan rumah tangga karena air tanah bersifat asam dan payau, serta belum ada fasilitas air dari pemerintah. Saat ini pemanenan air hujan skala rumah tangga dalam upaya adaptasi perubahan iklim makin berkembang di pulau-pulau kecil melalui, yaitu (1) program “Teknologi Pemanenan Air Hujan Menuju Desa Mandiri Air Bersih” di Pulau Merbau Kabupaten Kepulauan Meranti, Provinsi Riau (Joleha dkk., 2019); (2) pemanenan air hujan skala rumah tangga secara individu dan komunal (untuk tiga rumah, lima rumah, dan skala kelurahan) di Selatpanjang, Kepulauan Meranti Riau (Sutrisno dkk., 2016); (3) pemanenan air hujan secara komunal di Desa Teluk Papal Kecamatan Bantan Kabupaten Bengkalis (Beza dkk., 2016; Janrosi dkk., 2018); dan (4) desalinasi air laut yang dikombinasikan dengan panen air di pulau-pulau kecil Sulawesi Utara (Sutrisno, dkk., 2012). Pemanenan air hujan dapat dilakukan dalam bak penampungan dengan wilayah tangkapannya berupa atap rumah tangga atau atap bangunan (Heryani, 2021; Tan & Wora, 2021; Heryani, Sudarman, dkk., 2013)

Pemerintah melalui Kementerian PUPR memfasilitasi penyediaan air baku komunal dengan program PAH (Penampung Air Hujan) dan Bangunan ABSAH (Akuifer Buatan dan Simpanan Air Hujan). Media akuifer buatan terdiri atas kerikil, pasir, ijuk, arang, batu bata merah, dan batu gamping yang disajikan pada Gambar 6.10 (Hadimuljono, 2021). Satu lokasi ABSAH dapat memenuhi kebutuhan air lebih kurang 100 kepala keluarga. Prototipe bangunan ABSAH disajikan pada Gambar 6.11.



Sumber: Hadimuljono (2021)

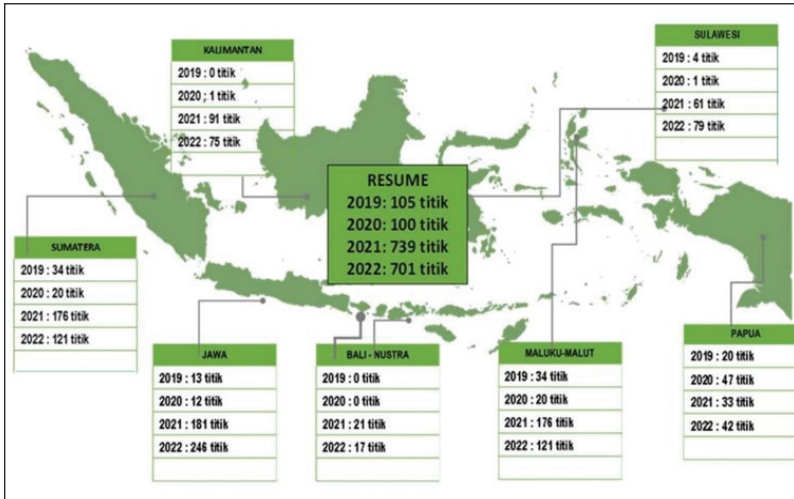
Gambar 6.10 Desain Akuifer pada Bangunan ABSAH



Sumber: BWS Sumatera IV (2021)

Gambar 6.11 ABSAH yang Dikembangkan di Kabupaten Bintan dan Kota Tanjungpinang

Pada periode tahun 2019–2022, Kementerian PUPR telah melaksanakan program pembangunan ABSAH di daerah sulit air akibat faktor geologi dan iklim di pulau-pulau kecil dan daerah berair asin, seperti Pulau Miangas, Pulau Hiri, Pulau Pasi, dan Pulau Lombok. Distribusi pembangunan ABSAH di berbagai wilayah di Indonesia disajikan pada Gambar 6.12.



Sumber: Pawenrusi (t.t.)

Gambar 6.12 Rincian Pembangunan ABSAH Tahun 2019–2022

Pembangunan ABSAH diprioritaskan pada kondisi geografis, seperti (1) daerah karst yang secara litologi bersifat lolos air sehingga tidak mampu menyimpan air tanah dengan jumlah yang memadai untuk dimanfaatkan pada musim kemarau; (2) pulau-pulau kecil yang memiliki kualitas air tanah payau dan air hujan yang lebih banyak melimpas; (3) daerah pesisir yang memiliki kualitas air tanah payau; (4) daerah rawa atau gambut dengan kualitas air yang tidak sesuai dengan standar baku mutu; dan (5) daerah kesulitan air baku dengan potensi air permukaan maupun air tanah yang sangat kecil.

3. Pengembangan Irigasi Hemat Air: Studi Kasus di Kabupaten Grobogan

Teknologi irigasi hemat air yang telah berkembang di Kabupaten Grobogan, Jawa Tengah, adalah irigasi kocor. Irigasi diberikan langsung kepada tanaman jagung hibrida yang ditanam pada awal musim kemarau di lahan tadah hujan dan lahan kering. Dosis irigasi 200 ml diberikan dengan interval 7–10 hari sebanyak 5 kali pada tanaman jagung di lahan tadah hujan. Sementara itu, dosis irigasi 200 ml, interval 3 hari, sebanyak 25 kali dan interval 2 hari sebanyak 30 kali dilakukan di lahan kering, dengan hasil rata-rata mencapai 5,8 ton/ha.

Inovasi teknologi yang dikembangkan di Kabupaten Grobogan adalah SIEMPRITA, yaitu sistem irigasi berupa tampungan sumur terbuat dari beton kedap air yang terhubung dengan embung sebagai sumber air. Air dialirkan dari embung ke sumur beton menggunakan pompa dorong, kemudian disiram kepada tanaman menggunakan alat siram. Embung 1.200 m³ mengairi 9 ha lahan jagung dengan pengaturan air sesuai fase pertumbuhan tanaman. Jumlah tampungan SIEMPRITA tergantung pada jarak tanam, interval irigasi, dan golongan irigasi. Pada musim hujan, selain air hujan aliran permukaan juga akan mengisi embung, sedangkan pada musim kemarau, air embung berasal dari saluran di sekitar embung dan embung besar yang posisinya lebih tinggi. Desain SIEMPRITA ditunjukkan pada Gambar 6.13.

Teknik penyiraman hemat air, selain sistem kocor, dapat menggunakan alat irigasi khusus, yaitu TIRTA-MINI ataupun TIRTA-MIDI (Gambar 6.14). TIRTA-MINI merupakan alat siram yang mirip dengan alat semprot hama penyakit diletakkan pada punggung penyiram, sedangkan TIRTA-MIDI memiliki kapasitas lebih besar karena ditempatkan pada gerobak menggunakan roda pendorong.



Sumber: Sutrisno (2019)

Gambar 6.13 Sistem Irigasi Embung Terkoneksi Tangkapan Renteng Hemat Air



Sumber: Kartiwa (2018)

Gambar 6.14 Alat Siram Hemat Air Model Tangki Gendong Inovatif

F. Penutup

Perubahan iklim makin sering terjadi, tercermin pada fluktuasi curah hujan yang menyebabkan lebih banyak banjir dan kekeringan. Hal ini berdampak luas pada kehidupan manusia. Upaya berkelanjutan harus terus dilakukan agar dapat beradaptasi dengan perubahan iklim. Teknologi adaptasi perubahan iklim berbasis kearifan lokal telah berhasil diterapkan dalam berbagai agroekosistem dan diterima oleh masyarakat secara luas. Namun, untuk menjaga keberlanjutan implementasi teknologi ini secara besar-besaran, diperlukan langkah-langkah, seperti transfer teknologi, sosialisasi inovasi secara intensif, peningkatan partisipasi masyarakat, pendampingan teknologi, dan penguatan lembaga pengelolaan sumber daya air. Kerja sama yang erat antara pemerintah pusat, provinsi, kabupaten/kota, dan masyarakat menjadi kunci dalam mencapai sinergi pemanfaatan sumber daya yang beragam, seraya memupuk hubungan yang harmonis antara masyarakat dan pemerintah.

Oleh karena itu, *Global Circulation Model* (GCM) dalam skenario perubahan iklim dapat meningkatkan pemahaman tentang aliran air di dalam DAS. Melalui analisis neraca air, kita dapat mengidentifikasi ketersediaan dan kebutuhan air serta mengevaluasi kekritisannya sumber daya air. Pentingnya analisis ini, yang terus berkembang seiring waktu, memberikan informasi komprehensif tentang kebutuhan dan ketersediaan air nasional. Data ini bermanfaat bagi pengambil kebijakan dan *stakeholder*, terutama dalam pengelolaan sumber daya air di sentra produksi pertanian. Prioritas diberikan pada ketersediaan air irigasi untuk produksi pertanian berkelanjutan.

Referensi

Adams, R. M., & Peck, D. E. (2008). Effects of climate change on water resources. *CHOICES The magazine of food, farm, and resource issues* (vol. 23, nomor 1). <https://www.choicesmagazine.org/2008-1/theme/04.pdf>

- Aerts, J. C. J. H., Kriek, M., & Schepel, M. (1999). STREAM (Spatial tools for river basins and environment and analysis of management options): 'Set up and requirements'. *Phys. Chem. Earth (B)*, 24(6), 591–595. <https://www.researchgate.net/publication/329736838>
- Aldrian, E., Karmini, M., & Budiman. (2011). *Adaptasi dan mitigasi perubahan iklim di Indonesia*. Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara, Kedepuitan Bidang Klimatologi, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).
- Balitbangtan. (2017). *Petunjuk teknis implementasi infrastruktur panen air*. Kementerian Pertanian.
- Barnett, T. P., Adam, J. C., & Lettenmaier, D. P. (2005). Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 438, 303–309. <https://doi.org/10.1038/nature04141>
- Beza, A. I., Lilis H, Y., & Suprayogi, I. (2016). Kajian pemanfaatan air hujan sebagai pemenuhan kebutuhan air bersih di Pulau Kecil (Studi kasus: Desa Concong Tengah Kecamatan Concong Kabupaten Indragiri Hilir). *Jom FTEKNIK*, 3(1), 1–10.
- BWS Sumatera IV. (2021). *Pembangunan akuifer buatan simpanan air hujan (ABSAH)*. Diakses pada 15 Mei 2023, dari <https://sda.pu.go.id/balai/bwssumatera4/post/detail/pembangunan-akuifer-buatan-simpanan-air-hujan-absah>
- Chiew, F. H. S., & McMahon, T. A. (1996). Trends in historical streamflow records. Dalam J. A. A. Jones, C. Liu, M. K. Woo, H. T. Kung (Ed.), *Regional hydrological response to climate change* (63–68). Kluwer Academic Publisher.
- Firdaus, U. (2022, 5 Maret). *Peran komunitas Mat Peci dalam optimalisasi pemanfaatan air hujan di era new normal* [Pemaparan]. Kongres Memanen Air Hujan IV, Yogyakarta.
- Giyanto. (2022, 17 Desember). *Merajut harapan, Memanen air hujan* [Pemaparan]. Kongres Memanen Air Hujan V Tahun 2022, Yogyakarta.
- Grehenson, G. (2018). *Pakar UGM ajak masyarakat memanen air hujan*. Diakses pada 7 Mei, 2023, dari <https://www.ugm.ac.id/id/berita/17044>
- Hadimuljono, B. (2021, Januari 13). *Manfaatkan air hujan, Padat karya ABSAH Kementerian PUPR TA 2021 mencakup 273 Lokasi*. Diakses pada 13 Mei, 2023, dari <https://pu.go.id/berita/manfaatkan-air-hujan-padat-karya-absah-kementerian-pupr-ta-2021-mencakup-273-lokasi>

- Heryani, N. (2021). Pengembangan teknologi panen air untuk memenuhi kebutuhan domestik. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 15(2), 117–129. <https://doi.org/10.21082/jSDL.v15n2.2021.117-129>
- Heryani, N. (2022). Dam parit bertingkat dan teknologi irigasi hemat air untuk optimalisasi pemanfaatan sumberdaya air di lahan kering. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 41(2), 74–84. <https://doi.org/10.21082/jp3.v41n2.2022.p74-84>
- Heryani, N., Kartiwa, B., Sosiawan, H., Rejekiingrum, P., Adi, S. H., Apriyana, Y., Pramudia, A., Yufdy, M. P., Tafakresnanto, C., Rivaie, A. A., Suratman, Dariah, A., Malik, A., Yusuf, & Setiani, C. (2022). Analysis of climate change impacts on agricultural water availability in Cimanuk Watershed, Indonesia. *Sustainability (Switzerland)*, 14(23), Article 16236. <https://doi.org/10.3390/su142316236>
- Heryani, N., Sawiyo, & Pujilestari, N. (2013). Pemberian irigasi suplemen pada lahan kering berbasis kearifan lokal untuk meningkatkan produktivitas lahan. Dalam *Prosiding seminar nasional matematika, sains dan teknologi volume 4, tahun 2013*, 58–71.
- Heryani, N., Sosiawan, H., & Hari Adi, S. (2014). Penilaian kesesuaian pembangunan dam parit bertingkat untukantisipasi kekeringan: Studi kasus Kecamatan Cenrana, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Sumber Daya Air*, 10(2), 113–124.
- Heryani, N., Sudarman, K., Talaohu, S. H., & Sawiyo. (2013). Disain teknologi panen hujan untuk kebutuhan rumah tangga studi kasus di Daerah Istimewa Yogyakarta dan Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 16(3), 170–182.
- IPCC. (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of Intergovernmental Panel on Climate Change* (T. F. Stocker, D. Qin, G. K Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley [Ed.]). Cambridge University Press. <https://www.researchgate.net/publication/266208027>
- IPCC. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II, and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Core Writing Team, R. K. Pachauri, & L.A. Meyer [Ed.]).
- Janrosi, M. R. E., Sujatmoko, B., & Fauzi, M. (2018). Pemanenan air hujan secara komunal di Desa Teluk Papal Kecamatan Bantan Kabupaten Bengkalis. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik*, 5(2), 1–7.

- Joleha, Sujatmoko, B., Djuniati, S., Gussafri, H., Bochari, Hendri, A., & Suprasman. (2019). Penerapan teknologi pemanenan air hujan menuju desa mandiri air bersih di Pulau Merbau. *Unri Conference Series: Community Engagement*, 1, 317–324. <https://doi.org/10.31258/unricsce.1.317-324>
- Julian, M. M., Nishio, F., Poerbandono, & Ward, P. J. (2011). Simulation of river discharges in major watersheds of Northwestern Java From 1901 To 2006. *International Journal of Technology*, 2(1), 37–46.
- Kartiwa, B. (2018). *SIEMPRITA: Sistem irigasi embung terkoneksi tampungan renteng irit air* [Presentasi poster]. Pembahasan Hasil Penelitian Blok Program di Kabupaten Grobogan Jawa Tengah.
- Kartiwa, B. (2021). *Pengembangan teknologi hemat air untuk efisiensi irigasi di lahan sawah tadah hujan Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2020). *Status lingkungan hidup Indonesia 2020*.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2008). *Kajian risiko dan adaptasi terhadap perubahan iklim Pulau Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat*.
- Kementerian PPN/Bappenas. (2009). *Indonesia climate change sectoral roadmap* (M. Irving, S. Thamrin, H. von Luepke, P. Guizol, Medrilzam, C. Panjiwibowo, L. Stender, T. Harrison, F. K. Ursula, A. Amalia, I. Ni Tua, & T. D. Virgyanti [Ed.]).
- Kementerian PPN/Bappenas. (2014). *Rencana aksi nasional adaptasi perubahan iklim (RAN-API)*.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 11/PRT/M/2014 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Air Hujan pada Bangunan Gedung dan Persilnya. (2014). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/104493/permen-pupr-no-11prtm2014-tahun-2014>
- Srivastav, A. L., Dhyani, R., Ranjan, M., Madhav, S., & Sillanpää, M. (2021). Climate-resilient strategies for sustainable management of water resources and agriculture. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 41576–41595. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14332-4>
- Loo, Y. Y., Billa, L., & Singh, A. (2015). Effect of climate change on seasonal monsoon in Asia and its impact on the variability of monsoon rainfall in Southeast Asia. *Geoscience Frontiers*, 6(6), 817–823. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2014.02.009>

- Malek, K., Adam, J. C., Stöckle, C. O., & Peters, R. T. (2018). Climate change reduces water availability for agriculture by decreasing non-evaporative irrigation losses. *Journal of Hydrology*, 561, 444–460. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.046>
- Pawenrusi, F. (t.t.) *Akuifer Buatan Simpanan Air Hujan (ABSAH)* [Bahan paparan PPT]. Direktorat Air Tanah dan Air Baku, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Poerbandono, Ward, P. J., & Julian, M. M. (2009). Set up and calibration of a spatial tool for simulating river discharge of Western Java in recent decades: Preliminary results and assessments. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 41(1), 50–64.
- Radhika, Firmansyah, R., & Hatmoko, W. (2017). Perhitungan ketersediaan air permukaan di Indonesia berdasarkan data satelit. *Jurnal Sumber Daya Air*, 13(2), 115–130.
- Ranesh, K. Y. (2014). Impact of climate change on water resources. *J Earth Sci Clim Change*, 5(3), 185. <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000185>
- Rejekiningrum, P. (2014). Dampak perubahan iklim terhadap sumberdaya air: Identifikasi, simulasi, dan rencana aksi. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 8(1), 1–15.
- Rejekiningrum, P. (2021). *Pengembangan teknologi hemat air untuk efisiensi irigasi di lahan kering iklim kering*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Rivaie, A. A. (2021). *Pengembangan teknologi hemat air untuk efisiensi irigasi di lahan kering masam*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Sekolah Vokasi UGM. (2022, 17 Desember). *Komunitas pecinta pemanenan air hujan* [Pemaparan]. Kongres Memanen Air Hujan V Tahun 2022, Yogyakarta.
- Sekretariat Kabinet Republik Indonesia. (2017). *111 pulau ini ditetapkan Presiden Jokowi sebagai pulau-pulau kecil terluar*. Diakses pada 12 Mei, 2023, dari <https://setkab.go.id/111-pulau-ini-ditetapkan-presiden-jokowi-sebagai-pulau-pulau-kecil-terluar/>
- Şen, Z. (2021). Reservoirs for water supply under climate change impact—A review. *Water Resources Management*, 35(11), 3827–3843). <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02925-0>

- Setiyo. (2022, 17 Desember). *Peran kelompok masyarakat dalam memanfaatkan air hujan untuk memenuhi kecukupan air di Desa Sruni, Boyolali, Komunitas Agni Mandiri, Desa Sruni Musuk, Boyolali* [Pemaparan]. Kongres Memanen Air Hujan V Tahun 2022, Yogyakarta.
- Sosiawan, H. (2015). *Penelitian dan pengembangan model food smart village pada lahan kering untuk adaptasi perubahan iklim*. Balai Penelitian Agroklimat Dan Hidrologi, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G., Alexander, L., Allen, S., Bindoff, N., Bréon, F., Church, J., Cubasch, U., Emori, S., Forster, P., Friedlingstein, P., Gillett, N., Gregory, J., Hartmann, D., Jansen, E., Kirtman, B., Knutti, R., Kanikicharla, K. K., ... Tangang, F. (2013). Technical summary. Dalam T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley (Ed.), *Climate change 2013: The physical science basis. Working group I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Subagiyo, A. (2021). *Perubahan iklim dan ketahanan sumber daya air*. Aris Subagiyo. Diakses pada 16 Mei, 2023, dari <http://arissubagiyo.lecture.ub.ac.id/2021/05/perubahan-iklim-dan-ketahanan-sumber-daya-air/>
- Sutrisno, E., Siregar, Y. I., & Nofrizal. (2016). Pengembangan sistem pemanenan air hujan untuk penyediaan air bersih di Selatpanjang Riau. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 3(1), 1–8.
- Sutrisno, N. (2019). *Model pengelolaan air terpadu untuk meningkatkan indeks pertanaman tanaman pangan dan produksi pertanian*. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Sutrisno, N., Heryani, N., Nurbani. (2012). Ketahanan air mendukung ketersediaan pangan pulau-pulau kecil. Dalam E. Pasandaran, E. E. Ananto, K. Suradisastra, S. N. Sutrisno, B. Irawan, H. Soeparno, & A. Hendriadi (Ed.), *Membangun kemandirian pangan pulau-pulau kecil dan wilayah perbatasan*. IAARD Press.

- Tan, L., Feng, P., Li, B., Huang, F., Liu, D. L., Ren, P., Liu, H., Srinivasan, R., & Chen, Y. (2022). Climate change impacts on crop water productivity and net groundwater use under a double-cropping system with intensive irrigation in the Haihe River Basin, China. *Agricultural Water Management*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107560>
- Tan, V., & Wora, M. (2021). Kajian pemanfaatan air hujan sebagai pemenuhan kebutuhan air bersih di Pulau Ende. *TEKNOSIAR*, 15(1), 9–17.
- Tarekegn, N., Abate, B., Muluneh, A., & Dile, Y. (2022). Modeling the impact of climate change on the hydrology of Andasa watershed. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(1), 103–119. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-01063-7>
- The World Bank. (2013). *Turn down the heat: Climate extremes, regional impacts, and the case for resilience*.
- Tolentino, P. L. M., Poortinga, A., Kanamaru, H., Keesstra, S., Maroulis, J., David, C. P. C., & Ritsema, C. J. (2016). Projected impact of climate change on hydrological regimes in the Philippines. *PLoS ONE*, 11(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163941>
- Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. (2007). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/39911/uu-no-27-tahun-2007>
- UNESCO, & UN Water. (2020). *United Nations world water development report: Water and climate change*.
- WALHI-FoE Indonesia. (t.t.). *Small islands and profound impact of the climate crisis* [Buklet].
- Wang, Xj., Zhang, Jy., Ali, M., Shahid, S., He, Rm., Xia, Xh., & Jiang, Z. (2016). Impact of climate change on regional irrigation water demand in Baojixia irrigation district of China. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21(2), 233–247. <https://doi.org/10.1007/s11027-014-9594-z>
- WMO. (2016, 8 November). *The global climate 2011-2015: Hottest five year period on record*. Science Daily. <https://www.sciencedaily.com/releases/2016/11/161108122748.htm#>