



Pemanfaatan Data Satelit Radar

untuk Wilayah Darat di Indonesia:
Peluang dan Tantangan



Editor: **Dony Kushardono**
Rahmat Arief

Pemanfaatan Data Satelit Radar

untuk Wilayah Darat di Indonesia:
Peluang dan Tantangan

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

Pemanfaatan Data Satelit Radar

untuk Wilayah Darat di Indonesia:
Peluang dan Tantangan

Editor: **Dony Kushardono**
Rahmat Arief

LIPI Press

© 2020 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
(LAPAN)

Katalog dalam Terbitan (KDT)
Pemanfaatan Data Satelit Radar untuk Wilayah Darat di Indonesia: Peluang dan Tantangan/
Dony Kushardono dan Rahmat Arief–Jakarta: LIPI Press, 2020.

xxi hlm. + 208 hlm.; 14,8 × 21 cm


ISBN 978-602-496-139-8 (cetak)
978-602-496-140-4 (e-book)

- | | |
|---------------------|------------------|
| 1. Pemanfaatan Data | 2. Satelit Radar |
| 3. Wilayah Darat | 4. Indonesia |

555.98

Copy editor : M. Sidik
Proofreader : Sonny Heru Kusuma dan Sarwendah Puspita Dewi
Penata isi : Landi Achmad dan Meita Safitri
Desainer sampul : D.E.I.R. Mahelingga
Cetakan pertama : Agustus 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
website: lipipress.lipi.go.id
 LIPI Press
 @lipi_press



Kerja sama dengan:
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh
Jln. Kalisari no.8 Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710
Telp.: (021) 8710065
website: pusfatja.lapan.go.id



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 turut serta mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Bunga rampai ini mengulas tentang pemanfaatan teknologi satelit penginderaan jauh *Synthetic Aperture Radar* (SAR) yang diharapkan dapat dipergunakan untuk mengatasi masalah pemantauan dan pemetaan lahan di Indonesia sebagai komplemen data penginderaan jauh optik yang memiliki banyak kendala liputan awan. Dengan memanfaatkan kelebihan cakupan ini secara berkala, diperoleh suatu sistem pemantauan yang andal, teratur secara temporal, dan bersifat regional sehingga analisis tentang kondisi tanaman, lingkungan sekitar, dan perkiraan produktivitas dapat lebih komprehensif.

Sehubungan dengan tingginya tingkat liputan awan di wilayah Indonesia, pemanfaatan data penginderaan jauh sensor optik untuk pemantauan permukaan bumi di Indonesia sering mengalami kendala kondisi atmosfer. Untuk itu, penggunaan satelit penginderaan jauh SAR yang bekerja pada panjang gelombang radar dan memiliki kelebihan dapat menembus awan, diharapkan dapat mengatasi masalah utama dalam pemantauan permukaan bumi di wilayah Indonesia.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini.

LIPI Press



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena penyusunan buku bunga rampai dengan judul *Pemanfaatan Data Satelit Radar untuk Wilayah Darat di Indonesia: Peluang dan Tantangan* ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini merupakan salah satu luaran dari kegiatan Workshop Teknologi dan Pemanfaatan Data *Synthetic Aperture Radar* (SAR) yang diselenggarakan oleh Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN pada 29 Agustus 2018.

Bunga rampai ini memuat kumpulan makalah ilmiah yang ditulis oleh peserta lokakarya tersebut dan telah dipresentasikan baik secara oral maupun poster. Tema makalah ilmiah yang dimuat pada buku ini meliputi tantangan pengembangan teknologi SAR, teknologi pengolahan data SAR, serta pemanfaatan data SAR dalam sektor pertanian, geologi, dan kebencanaan.

Kami berharap bunga rampai ini dapat memberikan kontribusi dalam upaya pengembangan data SAR di Indonesia serta menjadi salah satu referensi terkait teknologi dan pemanfaatan data satelit radar. Semoga bunga rampai ini dapat pula meningkatkan minat para pengguna dan peneliti atau perekayasa dalam memajukan dan memanfaatkan teknologi data penginderaan jauh satelit radar secara optimal.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam proses penyusunan bunga rampai ini. Kami pun menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam bunga rampai ini.

Oleh karena itu, saran yang konstruktif dari pembaca sangat diharapkan untuk penyempurnaan penulisan bunga rampai serupa ke depannya.

Jakarta, April 2019

Dr. M. Rokhis Komarudin, M.Si.
Kepala Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh



PRAKATA

Peluang pemanfaatan data satelit radar atau *Synthetic Aperture Radar* (SAR) di Indonesia cukup tinggi karena kemampuan data satelit SAR yang dapat menembus awan, di mana pada data satelit optik sering menjadi kendala dalam pemantauan permukaan bumi. Dalam rangka mengembangkan minat pengguna dan menggali potensi pemanfaatan data satelit penginderaan jauh SAR, puji syukur dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rida-Nya, telah disusun buku bunga rampai yang berjudul *Pemanfaatan Data Satelit Radar untuk Wilayah Darat di Indonesia: Peluang dan Tantangan*.

Bunga rampai ini disusun dari kumpulan makalah hasil *Workshop Nasional Pemanfaatan Data SAR* yang diselenggarakan di LAPAN Jakarta pada 29 Agustus 2018. Buku ini membahas mulai aspek teknologi hingga beberapa contoh penerapannya di Indonesia. Penulis makalah yang menjadi bagian dari bab isi buku ini berasal dari berbagai instansi, yaitu LAPAN, BPPT, BMKG, LPPM-IPB, BBSDLP-Kementan, PSG dan P3GL-Kemen-ESDM, dan Teknik Geomatika-ITS.

Pada kesempatan ini, kami mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN yang telah mendukung mulai dari penyelenggaraan lokakarya hingga terciptanya buku bunga rampai ini. Terima kasih juga diucapkan kepada semua pihak yang telah mendukung pengumpulan makalah hingga penerbitan buku ini. Semoga buku bunga rampai ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Amin.

Editor



UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, kami mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dalam penelitian dan lokakarya sehingga sebagian hasilnya dapat dirangkum menjadi bunga rampai ini, yaitu: Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) yang telah menyediakan citra ALOS-2/PALSAR bagi salah satu penulis dalam kapasitas sebagai Principal Investigator #1278, European Space Agency (ESA) yang telah menyediakan data Sentinel-1 dan perangkat lunak pengolahannya, Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN yang sudah menyelenggarakan lokakarya nasional SAR, Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh LAPAN atas penyediaan data TerraSAR-X dan TandemSAR-X, Program INSINAS Kemenristekdikti Tahun 2018 yang mendanai penelitian dan survei lapangan dalam pengembangan iptek penerbangan dan antariksa untuk pemantauan sumber daya alam dan lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yang mendanai kegiatan survei lapangan di Kabupaten Ogan Komering Ilir, Provinsi Sumatera Selatan, PT Sang Hyang Seri yang telah menyediakan data jadwal tanam untuk penelitian pemetaan padi, dan Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDLP) yang mendukung penelitian untuk pertanian.

Dr. Takeo Ito, profesor pada Research Center for Seismology Volcanology and Disaster Mitigation Nagoya University yang memberikan akses *server* pengolahan perangkat lunak GAMMA SAR,

Kepala Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) atas dukungan data sekunder yang dipergunakan dalam penelitian pemetaan kelapa sawit, dan Kepala Pusat Survei Geologi beserta jajarannya yang telah berpartisipasi pada kegiatan pemetaan geologi penginderaan jauh.

Dr. Dirk Hoekman dalam proyek kerja sama G4Indo tahun 2018 yang sudah memberikan ilmunya untuk aplikasi pertanian, dan Anugrah Indah Lestari, Nur Febrianti, Anissa Larasati, Gatot Nugroho panitia makalah lokakarya dari Pusfatja LAPAN yang mendukung penyusunan buku ini.



DAFTAR ISI

PENGANTAR PENERBIT.....	v	
KATA PENGANTAR.....	vii	
PRAKATA	ix	
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xi	
DAFTAR ISI.....	xiii	
DAFTAR GAMBAR.....	xv	
DAFTAR TABEL.....	xxi	
BAB 1	Satelit <i>Synthetic Aperture Radar</i> dan Pemanfaatannya Dony Kushardono dan Rahmat Arief.....	1
BAB 2	Tantangan Pengembangan Teknologi SAR di Indonesia Mahmud Raimadoya.....	13
BAB 3	Ekstraksi <i>Digital Elevation Model</i> Menggunakan Data <i>Stripmap</i> Terrasar-X dengan Teknik Radargrammetri Rachmat Maulana, Inggit L. Sari, Marendra E. Budiono, Novie Indriasari, Rahmat Arief, dan Shadiq Ali	27
BAB 4	Ekstraksi <i>Digital Elevation Model</i> dengan Metode Inter- ferometri Menggunakan <i>Stripmap</i> Terrasar-X/Tandem-X Shadiq Ali, Haris Dyatmika, Mulia Inda Rahayu, Agnes Sondita, Rachmat Maulana, dan Rahmat Arief	39
BAB 5	Potensi Data Satelit SAR untuk Pemantauan dan Pemetaan Padi Anugrah Indah Lestari dan Dony Kushardono.....	59

BAB 6	Perbandingan Data SAR Sentinel-1 dan Data Optik Landsat 8 untuk Deteksi Fase Pertumbuhan Tanaman Padi Dede Dirgahayu.....	75
BAB 7	Model Pertumbuhan Kelapa Sawit Menggunakan Data Terrasar-X Polarisasi HH Ita Carolita, Dede Dirgahayu, Tatik Kartika, Johanes Manalu, dan Heru Noviar	93
BAB 8	Identikasi <i>Standing Crop</i> Tanaman Tebu Menggunakan Data Radar SAR Sentinel-1 Sharfina Puteri dan Rizhatus Shofiyati.....	105
BAB 9	Identifikasi <i>Standing Crop</i> Jagung Menggunakan Citra SAR Sentinel-1A Baiq Arasya Wulandari dan Rizatus Shofiyati	115
BAB 10	Pemetaan Gambut Tropis Menggunakan Data SAR Sentinel-1A Fiolenta Marpaung, Sepanie Putiamini, Doni Fernando, dan Lena Sumargana	129
BAB 11	Estimasi Parameter Gempa dengan Citra Satelit Sentinel-1A Agustan dan Muhamad Sadly	143
BAB 12	Pemetaan Geologi Interpretasi Penginderaan Jauh Skala 1:50.000 di Indonesia Fitriani Agustin, Sonny Mawardi, Immaculata, Sonia Rijani, Sidarto, dan Akbar Cita.....	155
BAB 13	Peluang Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh SAR di Indonesia Dony Kushardono dan Rahmat Arief	173
	GLOSARIUM	179
	DAFTAR SINGKATAN.....	191
	INDEKS	197
	DAFTAR PENULIS.....	201
	BIOGRAFI EDITOR.....	207



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Perbandingan Antara (a) Citra SAR (Envisat) dan (b) Citra Optik (Terra MODIS)	2
Gambar 1.2	Satelit Penginderaan Jauh SAR: Masa Lalu, Saat Ini, dan Akan Datang	4
Gambar 1.3	Distribusi Temporal Makalah Penelitian tentang Penentuan Biomassa Menggunakan Data SAR Sesuai Tahun Publikasi.....	5
Gambar 1.4	Perbandingan Citra Satelit SAR Tunggal, Dual, dan Multi-Polarisasi (kiri) serta Resolusi Spasial Tinggi yang Semakin Memudahkan Identifikasi Objek Lebih Detail (kanan)	7
Gambar 1.5	Citra Satelit Sentinel-1 SAR untuk Deteksi Tumpahan Minyak di Teluk Balikpapan.....	8
Gambar 1.6	Citra Satelit TerraSAR-X Multi Temporal untuk Mendeteksi Perubahan Morfologi akibat Letusan pada Gunung Anak Krakatau	9
Gambar 2.1	(a) AOR Selat Malaka; dan (b) Hasil Deteksi Kapal .	16
Gambar 2.2	Polarisasi Sirkular pada Subset Citra ALOS-2 Selat Malaka	18
Gambar 2.3	Contoh Rekaman AN/APG-76:(a) Mode MTI; (b dan c) SPOT	21
Gambar 2.4	Kal/Val Sistem SAR	22

Gambar 3.1	(a) <i>Digital Surface Model</i> dan (b) <i>Digital Terrain Model</i>	28
Gambar 3.2	Posisi dan Geometri Satelit pada Stereo-radargrammetri	29
Gambar 3.3	Area yang digunakan saling tumpang-tindih.....	32
Gambar 3.4	Diagram Alir Proses Ekstraksi DEM dengan Teknik Stereo-radargrammetri.....	33
Gambar 3.5	Cuplikan Citra DEM Hasil Stereo-radargrammetri (kiri) dan Profil Elevasi DEM yang Dibandingkan DEM AW3D30 (kanan)	34
Gambar 4.1	Fase Suatu Gelombang	41
Gambar 4.2	(a) Contoh Bentuk Interferogram dan (b) Citra Radar di Daerah New Mexico, Amerika Serikat.....	43
Gambar 4.3	Diagram Alir Pengolahan Citra SAR dengan Metode Interferometri.....	47
Gambar 4.4	(a) Titik Uji DEM pada Citra dan (b) Titik Uji pada Peta Lapangan	48
Gambar 4.5	Gabungan Intensitas	49
Gambar 4.6	Citra Koheren	49
Gambar 4.7	Citra Interferogram.....	49
Gambar 4.8	Fase Topografi.....	49
Gambar 4.9	DEM Bandung.....	50
Gambar 4.10	Hasil Plot Profil pada DEM di Area Dataran Tinggi	54
Gambar 4.11	Hasil Plot Profil pada DEM di Area Dataran Tinggi	54
Gambar 4.12	<i>Plotting</i> Profil pada DEM di Area Dataran Datar	55
Gambar 4.13	Hasil <i>Plotting</i> Profil pada DEM di Area Dataran Datar	55
Gambar 5.1	Geometri Koefisien Hamburan-balik Data Radar.....	65
Gambar 5.2	Variasi Nilai Hamburan-balik (<i>Backscattering coefficient</i>) terhadap Umur Tanaman Padi	66
Gambar 6.1	Citra Komposit Warna Alami RGB 654 Landsat 8, 19 Juli 2017, PT SHS, dan Sekitarnya	78

Gambar 6.2	Citra Komposit Warna Sentinel-1, RGB (VV,VH,VV/VH), 19 Juli 2017, PT SHS, dan Sekitarnya	79
Gambar 6.3	Profil Pertumbuhan Tanaman Padi Berdasarkan EVI Landsat 8 Multitemporal 16 Harian pada Kelas EVI Maksimum 0,50–0,55	81
Gambar 6.4	Citra Komposit RGB Sentinel-1 Areal PT SHS, Subang 20 Mei–29 September 2017.....	82
Gambar 6.5	Hamburan-balik Polarisasi VH selama Pertumbuhan Padi Varietas Ciherang.....	83
Gambar 6.6	Hamburan-balik Polarisasi VV selama Pertumbuhan Padi Varietas Ciherang.....	83
Gambar 6.7	Profil Pertumbuhan Tanaman Padi Berdasarkan Rasio Hamburan-balik (VH/VV) Sentinel-1A Multitemporal 12 Harian	84
Gambar 6.8	Hamburan-balik Polarisasi VH/VV selama Pertumbuhan Padi Varietas Ciherang.....	86
Gambar 6.9	Korelasi Hamburan-balik Polarisasi VH/VV dengan Umur Padi Varietas Ciherang dari Sebelum Tanam (Tebar) hingga Umur Vegetatif Awal (19 HT)	87
Gambar 6.10	Korelasi Hamburan-balik Polarisasi VH/VV dengan Umur Padi Varietas Ciherang dari Umur Vegetatif Awal (19 HT) hingga Panen	87
Gambar 6.11	Fase Tanaman Padi 19 Juli 2017, PT SHS dan Sekitarnya Berdasarkan Data SAR Sentinel-1	88
Gambar 6.12	Citra Fase Tanaman 19 Juli 2017, (PT SHS), dan Sekitarnya Berdasarkan Landsat 8	89
Gambar 6.13	Referensi Fase Padi di PT SHS 19 Juli 2017	90
Gambar 7.1	Luas Area Perkebunan Kelapa Sawit di Indonesia dan Malaysia	94
Gambar 7.2	Lokasi Penelitian, Kabupaten Asahan Sumatra Utara	96
Gambar 7.3	Diagram Alir Pengolahan Data.....	97
Gambar 7.4	Citra TerraSAR-X Daerah Perkebunan Kelapa Sawit, Asahan Sumatra Utara	98

Gambar 7.5	Kalender Tanam Perkebunan Kelapa Sawit di Asahan Sumatra Utara dengan Informasi Usia (Dalam Tahun)	99
Gambar 7.6	Perbandingan Penampakan pada Citra Optik Resolusi Tinggi (Kiri) dan Citra TerraSAR-X (Kanan) pada Usia Muda dan Tua	100
Gambar 7.7	Hubungan antara Umur Kelapa Sawit dan Nilai Hamburan-balik TerraSAR-X	100
Gambar 7.8	Kerapatan Mahkota Daun Kelapa Sawit pada Usia 8 Tahun, 19 Tahun, dan 23 Tahun	101
Gambar 8.1	Diagram Alir Identifikasi Umur Tanaman Tebu	108
Gambar 8.2	Grafik Hamburan-balik dari Dua Titik Sampel Berdasarkan <i>Time Series</i>	109
Gambar 8.3	Peta Klasifikasi Tanaman Tebu September 2017.....	110
Gambar 8.4	Peta Klasifikasi Tanaman Tebu Desember 2017	111
Gambar 8.5	Peta Klasifikasi Tanaman Tebu April 2018	111
Gambar 8.6	Peta Klasifikasi Tanaman Tebu Juni 2018	112
Gambar 9.1	Perbandingan Hamburan-balik dengan Fase Vegetatif Pertumbuhan	118
Gambar 9.2	Lokasi Uji Coba (a) Daerah Kabupaten Garut (b) Salah Satu Titik Sampel Lahan Jagung di Garut	121
Gambar 9.3	Diagram Alir Metodologi Pengolahan Data.....	121
Gambar 9.4	Grafik Nilai Koefisien Hamburan-balik. (a) VH dan (b) VV	123
Gambar 9.5	Klasifikasi Terbimbing pada Citra Sentinel-1A Akuisisi 22 Juni 2017 pada Koordinat 7°10'-7°11' S dan 107°55'-107°56' E: (a) Training Data Klasifikasi Terbimbing, (b) Hasil Klasifikasi Terbimbing.....	125
Gambar 9.6	Peta Klasifikasi Fase Tanaman Jagung Bulan Juni 2017 di Daerah Garut.....	126
Gambar 10.1	(a) Lokasi Studi di Kabupaten OKI dan (b) Provinsi Sumatra Selatan	131

Gambar 10.2	Komposit Citra SAR Sentinel-1A (VV, VH, VV-VH) di Kabupaten Ogan Komering Ilir	134
Gambar 10.3	Profil Nilai Hamburan-balik dari Polarisasi VH (Panel Kiri), dan VV (Panel Kanan) di 10 Lokasi Studi Kajian, yaitu di Lokasi Penyambungan (PYB) (a dan b); dan Lokasi Kayu Agung (KYG) (c dan d) di Kabupaten Ogan Komering Ilir	135
Gambar 10.4	Sebaran Rasio Nilai Polarisasi VH dan Polarisasi VV di Kabupaten OKI, Provinsi Sumatra Selatan pada Tanggal Akuisisi 1 Mei 2018	136
Gambar 10.5	Sebaran Homogenitas Nilai Hamburan-balik Polarisasi VH di Kabupaten OKI, Provinsi Sumatra Selatan pada Tanggal Akuisisi 1 Mei 2018	137
Gambar 10.6	Perkiraan Sebaran Lahan Gambut di Kabupaten OKI, Provinsi Sumatra Selatan	138
Gambar 11.1	Ilustrasi Bidang dan Parameter Gempa	146
Gambar 11.2	Interferogram Hasil Pengolahan Diferensial InSAR Dua Data Sentinel-1A untuk Wilayah Poso	147
Gambar 11.3	Deformasi Permukaan yang Digambarkan dalam Lingkaran Warna untuk Komponen Vertikal dan Horizontal Berdasarkan Persamaan Trigonometri	149
Gambar 11.4	Interferogram Hasil Pengolahan InSAR dan Hasil Simulasi dari Pemodelan Parameter Gempa yang Paling Mendekati	150
Gambar 11.5	Interferogram Hasil Simulasi dari Pemodelan Parameter Gempa dari Kajian Lain, juga Perkiraan Lokasi Patahan dari Estimasi InSAR	151
Gambar 12.1	Peta Pelaksanaan Pemetaan Geologi Interpretasi Penginderaan jauh Skala 1:50.000 Periode 2010–2015	158
Gambar 12.2	Tahapan Kegiatan Pemetaan Geologi Penginderaan Jauh Skala 1:50.000 di Indonesia	159
Gambar 12.3	Fusi Citra Optik dengan Citra Radar	161
Gambar 12.4	Contoh Pengisian Basis Data untuk Poligon Litologi saat Interpretasi (Tanpa Skala)	163

Gambar 12.5	Tingkat kekasaran objek di wilayah gunung api terlihat jelas pada citra fusi landsat 457 dan IFSAR	164
Gambar 12.6	Batu gamping Berumur Oligosen yang Sebarannya Berada di Atas Formasi Batuan Sedimen yang Ada di Bawahnya.....	165
Gambar 12.7	Formasi Batuan Sedimen di Daerah Sarmi, Bufareh, Papua, Dilihat pada Citra DSM Radarsat.	166
Gambar 12.8	Pola Struktur Lipatan pada Formasi Batuan Sedimen Kelompok Embaluh, Kalimantan	167
Gambar 12.9	Peta Geologi Penginderaan jauh Skala 1:50.000 setelah Pengecekan Lapangan	170
Gambar 13.1	Peta Spesifikasi Kebutuhan Pengguna Data SAR pada Berbagai Sektor di Indonesia	175



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Karakteristik Sensor TerraSAR-X	27
Tabel 3.2	Karakteristik Citra yang Digunakan.....	32
Tabel 3.3	Uji Akurasi Elevasi Hasil Ekstraksi DEM dengan Stereo-radargrammetri	34
Tabel 4.1	Karakteristik Citra TerraSAR-X yang Dicoba untuk Daerah Bandung	44
Tabel 4.2	Data Elevasi Pengukuran Lapangan	46
Tabel 4.3	Perbandingan DSM Citra INSAR Terrasar-X dan DEM SRTM 30 m dengan Data Lapangan	51
Tabel 4.4	Perbandingan Akurasi Data Elevasi DEM INSAR 12 m, 24 m, SRTM 30 m dengan Data Pengukuran Lapangan (GPS)	52
Tabel 9.1	Data Citra Radar Sentinel-1 Daerah Garut Tahun 2017	119
Tabel 10.1	Lokasi Studi dan Tutupan Lahan di Kabupaten OKI ...	132
Tabel 10.2	Spesifikasi Data SAR Sentinel-1A yang Dipergunakan	133
Tabel 11.1	Parameter Gempa Hasil Perkiraan InSAR dan Kajian Lain	151
Tabel12.1	Perbandingan citra Landsat dengan RADAR	159

BAB 1



Satelit *Synthetic Aperture Radar* dan Pemanfaatannya

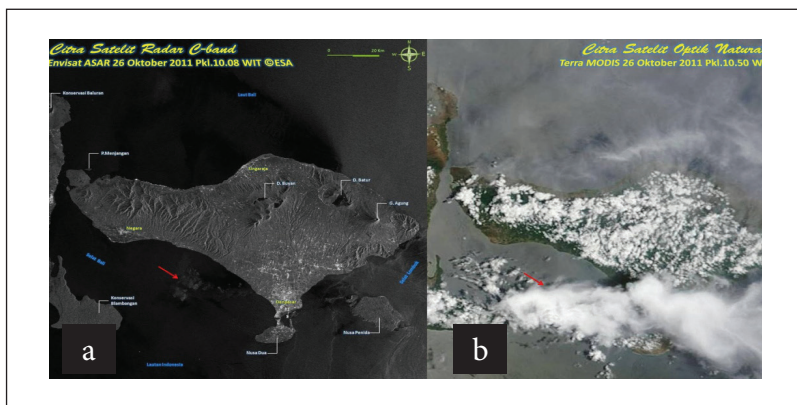
Dony Kushardono dan Rahmat Arief

A. PROGRAM SATELIT *SYNTHETIC APERTURE RADAR*

Berdasarkan pengalaman Bank Data Penginderaan Jauh Nasional di Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) dalam memberikan layanan pengguna di Indonesia, hingga saat ini pemanfaatan data penginderaan jauh di Indonesia lebih dari 90% masih mempergunakan data satelit optik, seperti Landsat, SPOT serta satelit lingkungan dan cuaca, seperti Terra, Aqua MODIS, dan Himawari. Pemanfaatan data satelit optik tersebut di Indonesia sudah cukup berkembang untuk mendukung berbagai sektor, seperti pertanian, perkebunan, kehutanan, pertambangan, perikanan tangkap, dan mitigasi bencana alam serta monitoring lingkungan. Sehubungan dengan tingginya tingkat liputan awan di wilayah Indonesia, pemanfaatan data penginderaan jauh sensor optik untuk pemantauan permukaan bumi di Indonesia sering mengalami kendala kondisi atmosfer.

Satelit penginderaan jauh SAR bekerja pada panjang gelombang radar dan memiliki kelebihan dapat menembus awan yang merupakan masalah utama dalam pemantauan permukaan bumi di wilayah

Indonesia. Pada tahun ‘90-an, stasiun bumi penerima data satelit di LAPAN sudah menerima data SAR dari Satelit *Japan Earth Resources Satellite (JERS-1)* dan seri *European Remote Sensing (ERS-1 dan ERS-2)*, bahkan pengembangan metode pengolahan untuk klasifikasi penutup penggunaan lahan juga mulai dikembangkan di LAPAN saat itu seperti disebutkan oleh Kushardono (1996). Namun, pemanfaatan data penginderaan jauh SAR di Indonesia saat itu belum populer. Hal ini disebabkan pengguna di Indonesia biasa dimanjakan dengan citra optik yang mudah dipahami mata manusia, juga karena karakteristik citra SAR yang sangat berbeda serta masih sulit diinterpretasikan secara visual. Terlebih lagi, saat itu teknologi sensor radar satelit penginderaan jauh masih menggunakan polarisasi tunggal sehingga hanya diperoleh citra kekasaran nada abu-abu. Gambar 1.1 menunjukkan perbandingan citra satelit penginderaan jauh SAR menggunakan citra Envisat SAR dan citra optik menggunakan Terra MODIS yang diperoleh dalam waktu bersamaan. Dari citra SAR, permukaan lahan Jawa Timur dan laut sekitarnya dapat dipantau tanpa gangguan liputan awan.

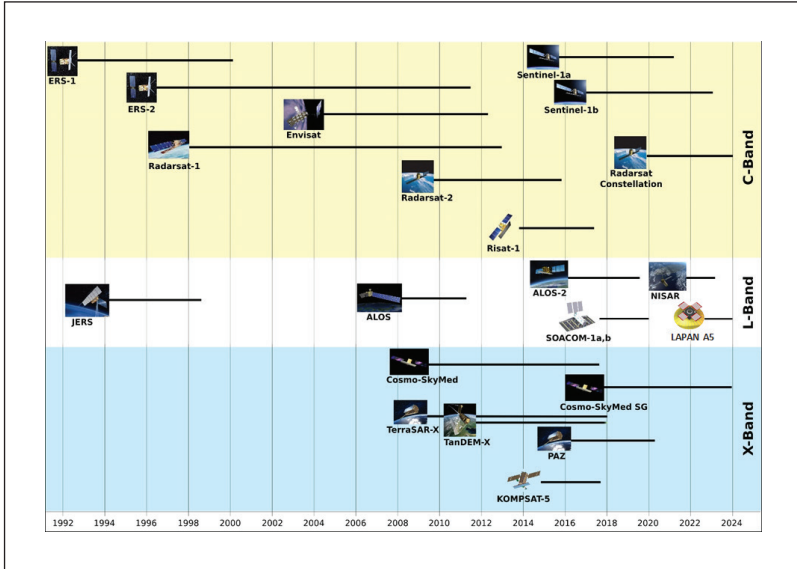


Sumber: Kushardono dkk. (2016)

Gambar 1.1 Perbandingan Antara (a) Citra SAR (Envisat) dan (b) Citra Optik (Terra MODIS)

Satelit penginderaan jauh SAR saat ini umumnya mengorbit rendah (*Low Earth Orbit/LEO*) melalui kutub (*polar orbiting*) dan dapat diakuisisi datanya setiap saat tersinkronisasi matahari, siang atau malam, mengumpulkan data amplitudo dan fase dari permukaan bumi yang dilaluinya. Sejak sekitar 10 tahun yang lalu, satelit SAR mulai banyak dioperasikan, bahkan banyak perencanaan pengorbitan satelit SAR baru, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1.2. Sekarang Satelit SAR tidak hanya menghasilkan citra polarisasi ganda (*dual polarization*), multi-polarisasi (HH, HV, VV, dan VH), tetapi juga sudah tersedia satelit SAR pada frekuensi pita L (390–1.550 MHz), C (3.900–6.200 MHz), dan X (6.200–10.900 MHz). Satelit-satelit penginderaan jauh SAR tersebut dikembangkan dan dioperasikan oleh berbagai badan keantariksaan dunia, termasuk LAPAN, yaitu:

1. European Space Agency (ESA): ERS-1, ERS-2, Envisat, Sentinel-1
2. Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA): JERS-1, ALOS-1, ALOS-2
3. Canadian Space Agency (CSA): Radarsat-1, Radarsat-2, Radarsat Constellation
4. Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt e.V. (DLR): TerraSAR-X, TanDEM-X
5. Indian Space Research Organization (ISRO): RISAT-1
6. Comision Nacional de Actividades Espaciales: SAOCOM
7. Italian Space Agency (ASI): COSMO-SkyMed
8. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA): PAZ
9. Korea Aerospace Research Institute (KARI): KOMPSat-5
10. NASA bersama ISRO: NISAR
11. LAPAN bersama Chiba University: LAPAN A5 (dalam rencana)

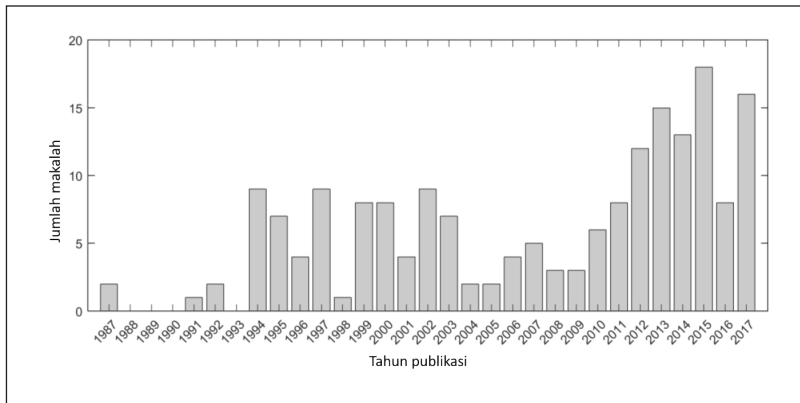


Sumber: UNAVCO (2019)

Gambar 1.2 Satelit Penginderaan Jauh SAR: Masa Lalu, Saat Ini, dan Akan Datang

Pemanfaatan penginderaan jauh untuk berbagai kebutuhan dengan menggunakan data SAR diperkirakan akan meningkat pada masa mendatang. Santoro dan Cartus (2018) melakukan survei makalah dan memerinci sebanyak 186 makalah penelitian tentang pemanfaatan data SAR untuk penentuan biomassa seperti pada Gambar 1.3. Sejak pertengahan '90-an, studi tentang SAR telah dirintis, yaitu penggunaan pita C pada satelit ERS-1 untuk pengamatan hamburan-balik (*backscatter*) pada biomassa. Terobosan pertama data SAR dari wahana satelit untuk memperkirakan biomassa terjadi sekitar tahun 2000, dengan banyak perhatian diberikan pada pengamatan ERS-1/2 dan JERS-1 tentang hamburan-balik dan koherensi sesuai dengan penelitian Santoro, Askne, Smith, dan Fransson (2017) dan Wagner dkk. (2017). Menurut Santoro dan Cartus (2018), dengan dimulainya

pengoperasian sensor ALOS PALSAR menggunakan pita frekuensi L pada akhir tahun 2006 dan konstelasi TanDEM-X pada tahun 2009, topik pengambilan biomassa muncul kembali, mencapai maksimum pertama dalam jumlah publikasi pada tahun 2013 dan kemudian meningkat lagi pada tahun 2015. Pada tahun 2016, terjadi penurunan publikasi sebagai konsekuensi dari akhir misi ALOS dan misi Envisat pada tahun 2011 dan 2012. Awal operasi ALOS-2 PALSAR-2 dan Sentinel-1 menjelang akhir 2014 ditambah dengan peningkatan pengetahuan tentang potensi beberapa data yang ada (terutama, hamburan-balik ALOS PALSAR dan interferometri TerraSAR-X/TanDEM-X) menjelaskan peningkatan jumlah publikasi pada tahun 2017. Sejak data satelit Sentinel-1A/B mulai tersedia bebas untuk publik, ketersediaan dan pemanfaatannya diperkirakan semakin meningkat. Terlebih lagi pada Gambar 1.2 digambarkan bahwa satelit NISAR (NASA ISRO SAR) yang beroperasi pada frekuensi pita L dan pita P (225–390 MHz) yang cocok untuk keperluan pertanian dan kehutanan akan diluncurkan dan tersedia secara bebas untuk publik juga.



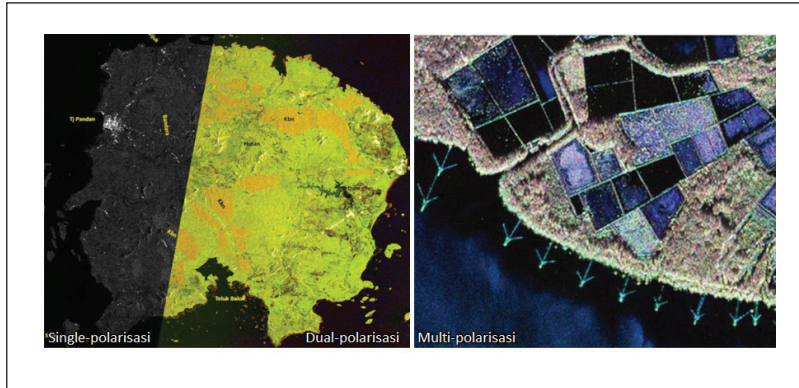
Sumber: Santoro dan Cartus (2018)

Gambar 1.3 Distribusi Temporal Makalah Penelitian tentang Penentuan Biomassa Menggunakan Data SAR Sesuai Tahun Publikasi

B. PEMANFAATAN DATA SATELIT SAR DI INDONESIA SAAT INI

Satelit SAR berorbit memiliki lintasan berulang pada daerah pengamatan yang sama sehingga dapat dihasilkan dua set data satelit SAR. Dengan menggunakan dua set data fase untuk lokasi yang sama pada waktu yang berbeda tersebut, memungkinkan untuk interferometrik SAR (InSAR) yang menunjukkan perpindahan tanah relatif antara dua set data sepanjang arah sinyal radar sehingga bisa dipergunakan untuk memetakan ketinggian lahan dan pergeseran permukaan tanah. Dengan teknik tersebut, dapat diperoleh data *digital elevation model* (DEM) yang menggambarkan bentuk lahan. Teknik InSAR yang dapat juga menghasilkan data pergeseran tanah ini dapat dimanfaatkan untuk identifikasi penurunan permukaan lahan seperti hasil penelitian Putri, Bayuaji, Sumantyo, dan Kuze (2013) di wilayah Jakarta, dan Suidiana, Antoni, Rokhmatuloh, dan Sumantyo (2017) di wilayah Bandung.

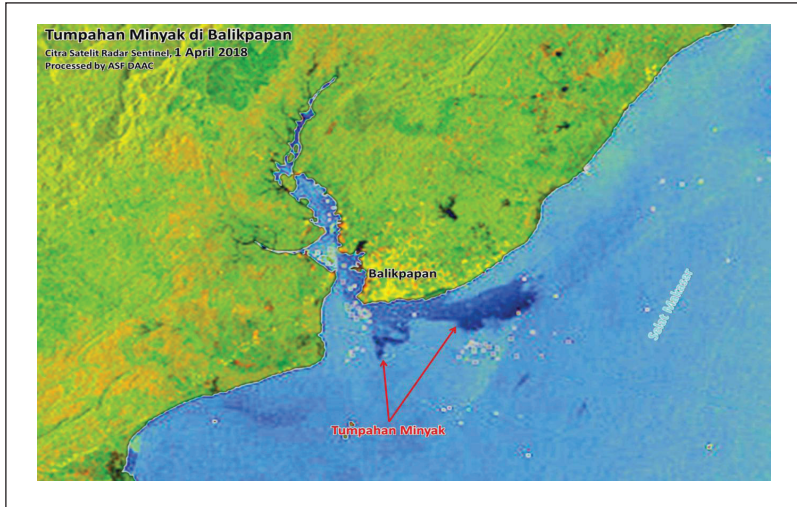
Dengan data satelit SAR multi-polarisasi, dimungkinkan membuat kombinasi *Red Green Blue* (RGB) mirip komposit warna pada citra satelit optik sehingga lebih memudahkan dalam interpretasi citranya. Kushardono (2012) menggunakan data multi-polarisasi Envisat-ASAR dan PALSAR yang dapat mengklasifikasikan 7 kelas penutup penggunaan lahan secara digital dengan akurasi rata-rata yang sangat tinggi hingga 97%. Di sisi lain, dengan semakin berkembangnya teknologi sensor radar tersebut, resolusi spasialnya sudah ditingkatkan hingga 1m. Gambar 1.4 menunjukkan tampilan perbedaan citra satelit SAR polarisasi tunggal (*single polarization*), dual, dan multi-polarisasi serta citra SAR resolusi spasial tinggi. Dengan tersedianya data satelit penginderaan jauh SAR yang semakin baik, identifikasi objek diharapkan lebih detail dan mudah sehingga pemanfaatan data satelit penginderaan jauh SAR di Indonesia akan semakin banyak.



Sumber: Kushardono (2019)

Gambar 1.4 Perbandingan Citra Satelit SAR Tunggal, Dual, dan Multi-Polarisasi (kiri) serta Resolusi Spasial Tinggi yang Semakin Memudahkan Identifikasi Objek Lebih Detail (kanan)

Walaupun metode pengolahan dan pemanfaatan data SAR di Indonesia masih dalam taraf pengkajian, namun pemanfaatannya untuk memberikan informasi cepat secara visual sudah ada karena minimnya data satelit optik yang bebas awan dan kelebihan data satelit radar yang dapat memantau permukaan tanpa gangguan cuaca serta kondisi siang dan malam. Sebagai contoh, pada kejadian tumpahan minyak di Teluk Balikpapan yang dapat dipantau menggunakan citra satelit Sentinel-1 SAR (Gambar 1.5) sehingga dari pola penyebarannya dapat diketahui sumber pencemarannya yang ternyata dari pipa saluran di bawah laut yang pecah. Dari citra satelit SAR dapat dengan mudah dibedakan pola antara perairan yang dilapisi tumpahan minyak dan perairan yang bersih. Perairan yang dilapisi tumpahan minyak tampak berwarna gelap karena sinyal yang dipancarkan dari satelit dipantulkan hampir sempurna oleh permukaan air sehingga antena radar tidak menangkap sinyal yang kembali.



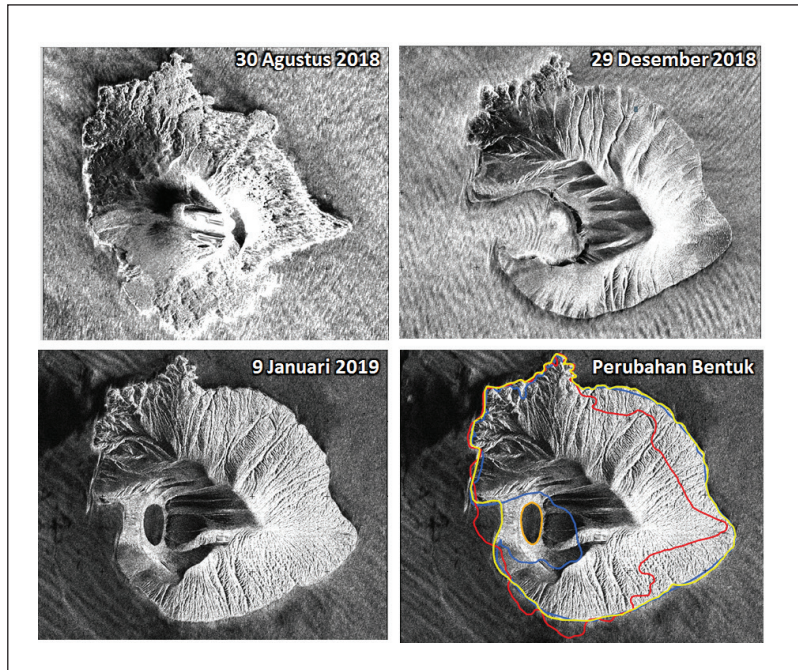
Sumber: Kushardono (2018)

Gambar 1.5 Citra Satelit Sentinel-1 SAR untuk Deteksi Tumpahan Minyak di Teluk Balikpapan

Potensi lain pemanfaatan data satelit SAR yang terbaru adalah saat kejadian letusan Gunung Anak Krakatau pada 22 Desember 2018 yang menimbulkan tsunami. Dengan citra satelit TerraSAR-X multi temporal melalui interpretasi visual, dapat ditunjukkan perubahan morfologi Gunung Anak Krakatau sebelum letusan yang ditunjukkan dengan garis merah, perubahan bentuknya yang ditunjukkan garis biru pada beberapa saat letusan yang menyebabkan kawahnya hilang, dan saat ini sudah berubah lagi yang ditunjukkan garis cokelat dan tampak lagi bentuk kawahnya ditengah dan terendam air (Gambar 1.6).

C. RANGKUMAN ISI

Dalam rangka meningkatkan minat pengguna data satelit penginderaan jauh SAR dan menggali metode pemanfaatan data SAR



Sumber: Pusfatja (2018)

Gambar 1.6 Citra Satelit TerraSAR-X Multi Temporal untuk Mendeteksi Perubahan Morfologi akibat Letusan pada Gunung Anak Krakatau

di Indonesia, bunga rampai ini disusun. Buku pemanfaatan data SAR di Indonesia ini menjelaskan tentang status teknologi SAR hingga pemanfaatannya. Dari sisi teknologi sehubungan dengan perlunya program penguasaan teknologi wahana penginderaan jauh radar, pada Bab II dibahas perihal tantangan dalam pengembangan teknologi SAR di Indonesia, yaitu gagasan satelit radar yang sudah ada pada Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017–2045 serta permasalahannya menghadapi era *Space 4.0*. Sementara dari sisi pengolahan data digital, berkenaan dengan program penerimaan data satelit penginderaan jauh SAR di Stasiun Bumi LAPAN sejak tahun 2018, pada Bab III dan IV dibahas hasil kajian pembuatan

DEM dengan metode interferometri menggunakan data *strip map* TerraSAR-X/Tandem-X. Kajian teknologi pengolahan data SAR untuk DEM tersebut diharapkan menghasilkan perangkat lunak yang dapat digunakan untuk produksi peta topografi di Indonesia.

Pada sisi pemanfaatan data satelit SAR, disajikan contoh pemanfaatan data SAR pada beberapa sektor di Indonesia, yaitu untuk pertanian, perkebunan, monitoring lingkungan, dan bencana alam. Pada pemanfaatan sektor pertanian dan perkebunan, disampaikan hasil kajian pustaka untuk mengetahui potensi data Satelit SAR untuk pemantauan dan pemetaan tanaman padi (Bab V), sementara implementasinya dilakukan kajian untuk mendapatkan model deteksi fase pertumbuhan tanaman padi sawah menggunakan Data SAR Sentinel-1 serta perbandingannya dengan data satelit optik yang pemanfaatannya sudah diterapkan (Bab VI). Adanya kemudahan dalam perolehan data Sentinel-1 SAR multi-temporal, pada Bab VII, VIII, dan IX disajikan hasil kajian potensi pemanfaatan datanya untuk identifikasi tanaman perkebunan, yaitu untuk pemantauan *standing crop* tanaman jagung dan tanaman tebu serta komoditas perkebunan yang besar, yaitu kelapa sawit.

Indonesia yang memiliki lahan gambut terluas di wilayah tropis, serta pentingnya lahan gambut yang memiliki fungsi strategis untuk hidrologi penambat karbon dan biodiversitas yang penting untuk kelestarian lingkungan dan kehidupan satwa (Ratmini, 2012), kondisinya perlu dipetakan. Pada Bab X, disajikan tentang pemetaan gambut tropis dengan menggunakan Data SAR Sentinel-1A, di mana diharapkan data SAR dan metode yang dikembangkan dapat dimanfaatkan untuk mendukung pemetaan lahan gambut di Indonesia.

Wilayah Indonesia diketahui berada di daerah *Ring of Fire* atau Cincin Api Pasifik sering terjadi bencana alam gempa bumi, letusan gunung api, ataupun tanah bergerak. Untuk keperluan peringatan dini bencana geologi dan keperluan pemberian informasi mitigasi

bencana, diperlukan parameter geologi yang dapat dideteksi dari data satelit SAR. Di Bab XI, sehubungan dengan sering terjadi bencana gempa di Indonesia, disampaikan hasil estimasi parameter gempa pada studi kasus daerah Poso 29 Mei 2017 dengan Citra Satelit Sentinel-1A. Di Bab XII, disampaikan hasil kajian pemanfaatan data SAR untuk pemetaan geologi skala 1:50.000 yang saat ini dibutuhkan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Kushardono, D. (1996). Metode klasifikasi citra satelit radar untuk mengidentifikasi penutup lahan. *Warta Inderaja (MAPIN)*, VII(2): 36–44.
- Kushardono, D. (2012). Klasifikasi spasial penutup lahan dengan data SAR dual polarisasi menggunakan *normalized difference polarization index* dan fitur keruangan dari matrik kookurensi. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 9(1): 12–24.
- Kushardono, D., Dewanti, R., Sambodo, K. A., Arief, R., Maryanto, A., & Suhermanto. (2016). User needs of remote sensing data in Indonesia: Preliminary study for concept design review of SAR Equatorial Satellite InaRSSat-1. *Proceeding of the 2nd International Conference of Indonesia Society for Remote Sensing*. Yogyakarta.
- Kushardono, D. (2018). *Tumpahan minyak di Balikpapan*. Status Facebook 4 April 2018. <https://www.facebook.com/dony.kushardono/>.
- Kushardono, D. (2019). *Pengenalan pemanfaatan data wahana baru pengindraanpenginderaan jauh*. Materi Presentasi Baselineing CPNS Deputi Penginderaan Jauh LAPAN.
- Pusfatja. (2018). *Respons tanggap darurat bencana berbasis data satelit*. Diunduh 1 Februari 2019 dari <http://pusfatja.lapan.go.id/index.php/tanggapbencana>.
- Putri, R. F., Bayuaji, L., Sumantyo, J. S. T., & Kuze, H. (2013). TerraSAR-X Dinsar for land deformation detection in Jakarta urban area, Indonesia. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 7(2): 195–205. DOI:10.4090/juee.2013.v7n2.195205.

- Ratmini, N. P. S. (2012). Karakteristik dan pengelolaan lahan gambut untuk pengembangan pertanian. *Jurnal Lahan Suboptimal*, 1(2): 197–206.
- Santoro, M., Askne, J., Smith, G., & Fransson, J. E. S. (2002) Stem volume retrieval in boreal forests from ERS-1/2 interferometry. *Remote Sens. Environ.*, 81: 19–35. DOI:10.1016/S0034-4257(01)00329-7.
- Santoro, M., & Cartus, O. (2018). Research pathways of forest above-ground biomass estimation based on SAR backscatter and interferometric SAR observations. *Remote Sensing*, 10(4): 608. DOI: 10.3390/rs10040608.
- Sudiana, D., Antoni, Rokhmatuloh, & Sumantyo, J. S. T. (2017). Land surface deformation mapping method using PS-InSAR on ALOS/PALSAR data in Bandung Region. *Proceeding of IOP Conference Series : Earth Environ. Sci.*, 84–89. DOI:10.1145/3168390.3168421.
- UNAVCO. (2019). *Synthetic aperture radar (SAR) Satellites*. Diunduh 2 Mei 2019 dari <https://www.unavco.org/instrumentation/geophysical/imaging/sar-satellites/sar-satellites.html>.
- Wagner, W., Luckman, A., Vietmeier, J., Tansey, K., Balzter, H., Schmillius, C., Davidson, M., Gaveau, D., Gluck, M., Le Toan, T., dkk. (2003). Large-scale mapping of boreal forest in SIBERIA using ERS tandem coherence and JERS backscatter data. *Remote Sens. Environ.*, 85: 125–144. DOI: 10.1016/S0034-4257(02)00198-0.

BAB 2



Tantangan Pengembangan Teknologi SAR di Indonesia

Mahmud Raimadoya

Gagasan Satelit Mikro RADAR Ekuatorial (SMRE) yang menjadi target riset bidang pertahanan dan keamanan (hankam) dalam dokumen Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017–2045 (Kemristekdikti, 2017) dan rencana peluncuran satelit mikro SAR LAPAN A5/LAPAN-Chibadai-Satellite orbit kutub pada tahun 2021 (Triharjanto, 2017), memberikan tantangan tersendiri bagi komunitas penginderaan jauh Indonesia. Tantangan teknologi SAR di Indonesia di antaranya dari kacamata ruas pemakai, baik yang bersifat teknis dan nonteknis maupun dari aspek hulu dan hilir. Dari segi nonteknis, jurang kapasitas SDM, posisi SAR pada kelompok makro Riset Teknologi Tinggi (RTT), dan industri penginderaan jauh global yang memasuki era *Space 4.0* (Monte, 2017) menjadi tantangan yang perlu dicermati. Dari segi teknis, transfer teknologi sistem SAR pada bagian hulu (ruas antariksa) merupakan tantangan yang sangat kritis dan menentukan. Pada saat yang sama, pengembangan bagian hilir (ruas pemakai) perlu diperkuat dengan aplikasi *Ground Motion Target Indicator/Imaging* (GMTI/GMTIm) (Dunn, Bingham, dan Fowler, 2004) untuk memenuhi misi SAR hankam. Kalibrasi SAR

menjadi tantangan pada ruas bumi, yang sudah harus siap sebelum peluncuran satelit mikro SAR. Oleh karena itu, sangat diharapkan bisa dihasilkan sebuah skenario sebagai strategi untuk menghadapi semua tantangan tersebut.

A. TEKNOLOGI PENGINDERAAN JAUH SAR

Pada tahun 2007, teknologi SAR memasuki zaman keemasan (*golden era*) yang ditandai dengan beroperasinya empat misi penginderaan jauh SAR antariksa sekaligus, yaitu Radarsat (*Pita C*, CSA Kanada), Envisat/ASAR (*Pita C*, ESA Eropa), TerraSAR-X (*Pita X*, DLR Jerman), dan ALOS/PALSAR (*Pita L*, JAXA Jepang). Namun, gemanya keemasan global tersebut kurang terasa gaungnya di Indonesia. Padahal, PT Survai Udara Penas, sebuah badan usaha milik negara (BUMN), terlibat aktif pada periode awal uji coba pengembangan sistem *Side-Looking Airborne RADAR* (SLAR) oleh *Goodyear Aerospace* dan *Westinghouse* pada akhir tahun '50-an. Kapasitas penginderaan jauh Indonesia teranomali karena tidak bisa beranjak dari teknologi penginderaan jauh optik, seperti Landsat, SPOT, dan Quick Bird. Padahal, penguasaan kapasitas teknologi penginderaan jauh yang tuntas dan paripurna tidak hanya terbatas pada sensor optik, tetapi harus menyeluruh dengan mencakup juga sensor gelombang mikro (SAR).

Dalam situasi anomali karena jurang kapasitas tersebut, pemantauan kapal dengan satelit SAR antariksa Radarsat-2 menjadi *killer application* pada program INDESO (2013–2016) Kementerian Kelautan dan Perikanan (Hanggono, 2017). Hasil aplikasi ini membangkitkan kesadaran peran teknologi SAR pada Benua Maritim Indonesia. Menyusul peluncuran satelit mikro optik LAPAN A3/LAPAN-IPB-Sat (LISAT) pada tahun 2016, Pusat Teknologi Satelit (Pusteksat LAPAN) saat ini sedang mempersiapkan misi satelit mikro SAR LAPAN A5/LAPAN-Chibadai-Sat (LACSAT) orbit kutub dengan rencana peluncuran 2021. Gagasan Satelit Mikro

RADAR Ekuatorial (SMRE) yang menjadi target riset bidang hankam dalam dokumen Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017–2045 (Kemristekdikti, 2017) dapat dilihat secara utuh dalam konteks ini. Oleh karena itu, tuntutan kapasitas teknologi penginderaan jauh SAR bukan didorong semata-mata oleh aksi gagah-gagahan atau ikut-ikutan dengan tren global teknologi SAR, apalagi sekadar “pencitraan”, melainkan memang didasari pada kebutuhan mendesak aplikasi nyata penginderaan jauh Indonesia yang bersifat peka waktu (*time sensitive*). Aplikasi jenis ini tidak mampu dipenuhi oleh teknologi penginderaan jauh optik karena dituntut harus bekerja secara sewaktu (*real time*), siang atau malam, dan mampu beroperasi pada kondisi cuaca yang buruk sekalipun seperti berawan.

Terlepas dari paradoks aplikasi teknologi SAR di Indonesia, bab ini mengupas tantangan teknologi SAR di Indonesia dari sisi ruas pemakai, baik yang bersifat teknis dan nonteknis maupun dari aspek hulu dan hilir.

B. TANTANGAN TEKNIS

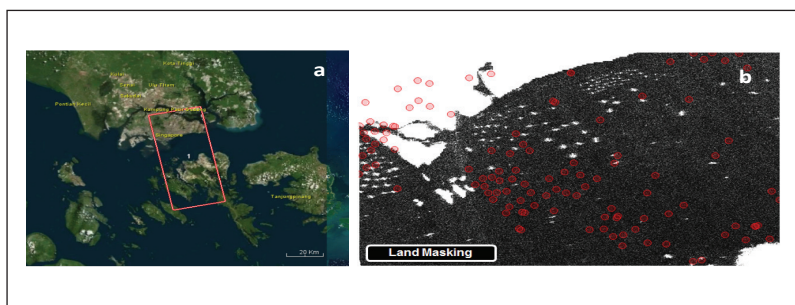
Sebagai sebuah misi antariksa, misi satelit mikro radar ekuatorial memiliki tantangan teknis yang dapat dibagi ke dalam ruas sebagai berikut: 1) Ruas Pemakai (*User Segment*), 2) Ruas Antariksa (*Space Segment*), 3) Ruas Bumi (*Ground Segment*), dan 4) Ruas Data (*Data Segment*). Ruas yang terakhir bersifat lintas ruas sehingga perlu memperoleh perhatian pada ketiga ruas sebelumnya. Tantangan teknis yang menjadi prioritas pada setiap ruas di atas diuraikan ringkas di bawah ini, dengan berpatokan pada misi ini sebagai interim.

1. Ruas Pemakai

Bersandar pada aplikasi *killer* yang telah rutin beroperasi di Indonesia, yaitu deteksi dan penjejakan kapal dengan citra Radarsat yang memiliki tingkat kesiapan teknologi matang (*Technology Readiness Level: TRL-9*), spesifikasi sistem SAR yang diperlukan sebenarnya hanya bersifat standar, yaitu mode akuisisi *StripMap* dengan

incidence angle tertentu, dan polarisasi tunggal *co-polarization* (co-pol). Spesifikasi ini sebenarnya sudah dapat dipenuhi oleh misi SAR antariksa pita C generasi ketiga (ERS-1, ERS-2, dan Radarsat). Oleh karena itu, spesifikasi ini juga akan menjadi acuan untuk kebutuhan minimum yang diharapkan mampu dipenuhi oleh misi LAPAN A5. Meskipun jenis polarisasi LAPAN A5 direncanakan bukan linier, melainkan sirkular sebagai berikut: *Left, Left* (LL); *Left, Right* (LR); *Right, Left* (RL); dan *Right, Right* (RR).

Sebagai rujukan untuk aplikasi deteksi kapal, dipilih *Area of Responsibility* (AOR) Selat Malaka karena memiliki lalu lintas kapal yang padat. Pada Gambar 2.1 a, disajikan cakupan arsip citra *SLC Quad-Pol* ALOS-2/JAXA 16 April 2007 *SceneID*: ALPSRP065290010 (*Ascending*) dengan *Off Nadir Angle* ~ 21.5 untuk AOR Selat Malaka (Raimadoya, 2017). Hasil deteksi kapal pada subset citra tersebut disajikan pada Gambar 2.1 b setelah dilakukan *land masking*. Posisi beberapa kapal di daratan menunjukkan dislokasi yang terjadi pada kapal yang sedang berlayar (*non-stasioner*). Diperlukan informasi dari sensor *Automatic Identification System* (AIS) untuk memperoleh posisi kapal secara sewaktu (*real time*). Dengan demikian, muatan LAPAN A5 tidak hanya SAR, tetapi juga AIS, bila misinya adalah untuk deteksi dan penjejakan kapal.



Sumber: Raymadoya (2017)

Gambar 2.1 (a) AOR Selat Malaka; dan (b) Hasil Deteksi Kapal

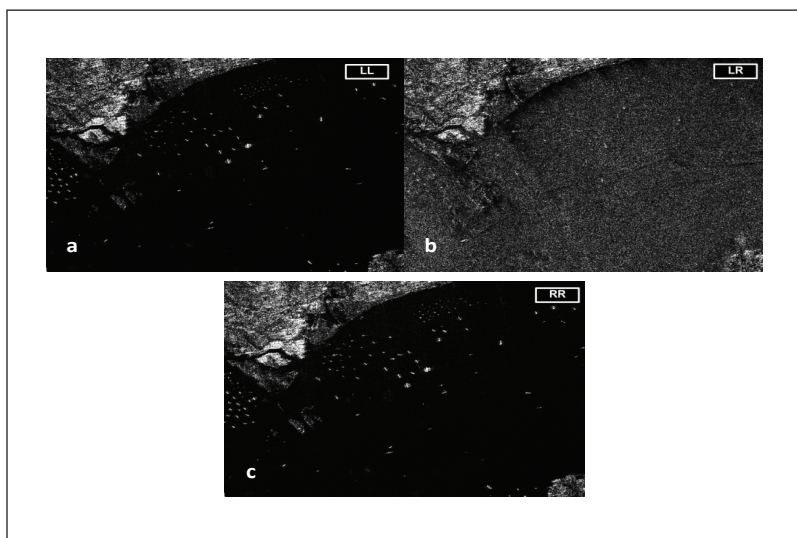
Mengingat bahwa polarisasi ALOS-2 adalah linier, subset citra yang sama kemudian diolah lebih lanjut untuk menurunkan citra dengan polarisasi sirkular sesuai spesifikasi polarisasi LAPAN A5. Hasil analisis *SAR Polarimetry* (Pol-SAR) tersebut kemudian disajikan pada Gambar 2.2. Dengan asumsi bahwa *cross-pol LR = RL*, maka citra *cross-pol* yang disajikan adalah *LR* pada Gambar 2.2 b. Sementara, polarisasi *co-pol LL* (Gambar 2.2 a) dan *RR* (Gambar 2.2 c) disajikan sebagai pembandingan. Secara visual, citra *LL* dan *RR* memberikan gambar yang lebih jelas. Namun, proses deteksi kapal perlu dilakukan pada ketiga citra tersebut untuk memastikan polarisasi sirkular mana yang efektif. Analisis pada AOR yang sama perlu juga dilakukan pada citra *quad-pol* dengan frekuensi yang berbeda, seperti Radarsat-2 maupun TerraSAR-X, untuk mengantisipasi kemungkinan perubahan frekuensi SAR yang akan digunakan pada misi LAPAN A5.

2. Ruas Antariksa

Muatan RADAR pada satelit memerlukan kapasitas pembuatan sistem *Synthetic-Aperture RADAR* (SAR) secara mandiri. Saat ini, kapasitas Pusteksat/LAPAN masih terbatas pada muatan sensor optik sehingga memerlukan proses transfer teknologi untuk sensor SAR melalui pendekatan *smart buy* (pengadaan cerdas), seperti yang telah dijalankan sejak misi LAPAN A1/LAPAN-TUB-Sat. Oleh karena itu, misi LAPAN A5 sebagai *technology demonstrator* SAR antariksa Indonesia diharapkan dapat memberikan kesempatan transfer teknologi sistem SAR bagi perekayasa Pusteksat untuk membangun kapasitas. Meskipun untuk itu harus dilakukan kompromi dalam desain sistem SAR, termasuk penggunaan polarisasi sirkular, sesuai keinginan pihak Universitas Chiba, Jepang, yang menyiapkan muatan sistem SAR.

Dengan demikian, misi SMRE lebih diutamakan untuk penguasaan teknologi standar sistem SAR. Beroperasinya misi ini

juga diharapkan dapat memenuhi kebutuhan ruas pemakai untuk melanjutkan deteksi dan penjejakan kapal. Hasil dari kegiatan ini kemudian dapat dimanfaatkan untuk persiapan misi dengan spesifikasi sistem SAR yang ditingkatkan untuk aplikasi hankam. Dengan asumsi pendekatan seperti ini, tantangan penguasaan kemampuan teknologi muatan sistem SAR untuk satelit mikro dapat dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut: (a) Tahap-1: *smart buy system* SAR; (b) Tahap-2: pembuatan *local sistem SAR airborne*; (c) Tahap-3: Persiapan lokal Satelit Mikro SAR Ekuatorial (SMSE); (d) Tahap-4: *Flight Model SMSE*.



Sumber: Raymadoya (2017)

Gambar 2.2 Polarisasi Sirkular pada Subset Citra ALOS-2 Selat Malaka

Hasil akhir dari Tahap-1 adalah keberhasilan peluncuran dan operasi satelit, dengan nilai tambah berupa peningkatan kemampuan perekayasa Pusteksat atas sistem SAR, diharapkan setidaknya pada tingkat TRL-7 ke atas (TRL: *Technology Readiness Level*). Dengan

kemampuan dari hasil nilai tambah ini, sangat diharapkan secara lokal dapat dibuat sistem SAR dirgantara (*airborne*) pada Tahap-2 dengan aplikasi SAR standar dan tidak terlalu kompleks. Kemudian, hasil dari Tahap-2 ini akan digunakan sebagai *test bed* untuk masuk ke Tahap-3. Di tahap ini, desain sistem SAR untuk SMRE akan disesuaikan sebisa-bisanya dengan tujuan ruas pemakai sebelum akhirnya *Flight Model* SMSE dapat disiapkan pada Tahap-4 dan siap diluncurkan. Semua tahapan dalam ruas antariksa ini merupakan tantangan kritis, dengan anggaran dan jadwal palang (*milestone*), yang sangat menentukan untuk ruas yang lain. Mengingat ruas antariksa merupakan bagian hulu (*upstream*) dalam sebuah misi antariksa.

Spesifikasi sistem SAR untuk aplikasi hankam dapat dilihat contohnya pada SAR dirgantara AN/APG-76 (*Airborne Fire Control RADAR*) yang mampu melakukan pencitraan sewaktu objek stasioner dalam mode SPOT dan mengindikasikan sasaran bergerak dalam mode MTI, atau secara umum dikenal sebagai mode SAR/GMTI (Hughes, 1998). Berbeda dengan *Ground Moving Target Indicator* (GMTI), *Ground Moving Target Imaging* (GMTIm) adalah untuk memperoleh gambar 2-D dari sasaran bergerak setelah dideteksi dengan GMTI (Yang, 2017). Dengan memanfaatkan citra dari GMTIm, dapat dilakukan rekognisi dan identifikasi pada sasaran bergerak yang terdeteksi oleh GMTI, seperti contoh yang disajikan citra AN/APG-76 pada Gambar 2.3. Dalam mode MTI, sasaran bergerak di darat terlihat berada di jembatan dan sepanjang jalan sebagai objek berwarna putih (Gambar 2.3 a). Sementara, dalam mode SPOT, sebuah kapal sedang berlayar dapat diperoleh dengan cukup jelas untuk tujuan rekognisi maupun identifikasi (Gambar 2.3 b dan c).

Saat ini, sistem SAR antariksa dengan mode SAR/GMTI baru tersedia pada satelit Radarsat-2, TerraSAR-X, dan ALOS-2 karena membutuhkan dukungan teknologi *High Resolution*

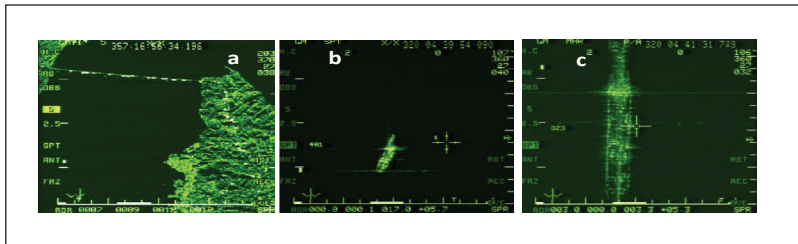
Wide Swath (HRWS). Meskipun demikian, kemungkinan HWRS diaplikasikan pada satelit mikro perlu diantisipasi sejak awal dalam mempertimbangkan rancangan SMSE sebagai kelanjutan dari misi LAPAN A5.

3. Ruas Bumi

Dalam misi satelit, ruas bumi berperan dalam: 1) Kalibrasi/Validasi dan Kualitas Data, 2) Pengembangan Sistem Stasiun Bumi, 3) Penerimaan dan Pengolahan Data Citra, 4) Penunjang Aplikasi dan Pemakai, dan 5) Pengendalian Satelit. Uji terbang sistem *Circular Polarization* SAR (CP-SAR) dirgantara menggunakan Pita C dengan pesawat CN-235 TNI-AU pada 2–18 Maret 2018 di Makassar, berikut keberhasilan dalam luaran hasil rekaman citranya (CEReS, 2018), merupakan kemajuan awal penting untuk pengadaan muatan LAPAN A5. Keberhasilan ini perlu diikuti sebuah kampanye CP-SAR dirgantara yang dilakukan sebelum peluncuran untuk memperoleh data awal CP-SAR bagi berbagai keperluan. Kampanye ini perlu direncanakan dengan matang agar dapat memenuhi semua kebutuhan dalam satu kali misi.

Untuk ruas bumi, kampanye dirgantara CP-SAR di Indonesia dapat dimanfaatkan untuk belajar mempersiapkan kalibrasi/validasi sensor SAR maupun penerimaan dan pengolahan data citra SAR. Mengingat salah satu tantangan utama pada ruas bumi adalah menyiapkan skenario kalibrasi dan validasi muatan SAR (Kal/Val SAR). Pada Tahap-1, kemampuan tugas ini harus dipelajari secara tuntas dan dipersiapkan bersama dengan pihak Universitas Chiba, Jepang, termasuk penyiapan konsep skenario Kal/Val SAR berikut peralatan yang perlu dipersiapkan. Kapasitas kemampuan Kal/Val, nantinya, dimanfaatkan saat sistem SAR *airborne* yang dibuat secara lokal (Tahap-2) dan dilakukan kampanye pengumpulan citra, sesuai keinginan ruas pemakai pada Tahap-3. Diharapkan pada Tahap-4 sudah berhasil dibuat skenario Kal/Val yang akan diejawantahkan setelah peluncuran SMRE.

Akuisisi citra SAR yang dilakukan selama kampanye dirgantara CP-SAR dapat dimanfaatkan untuk mempersiapkan komponen penerimaan dan pengolahan data citra SAR oleh ruas bumi secara komprehensif. Hal ini sangat membantu dalam pengembangan stasiun bumi bagi penanganan data setelah berhasil diluncurkan. Pada kegiatan kampanye, diharapkan bisa disiapkan draft awal Prosedur Operasi Baku (POB) untuk penerimaan dan pengolahan data citra SAR, termasuk penyimpanannya dan akses oleh pemakai umum.

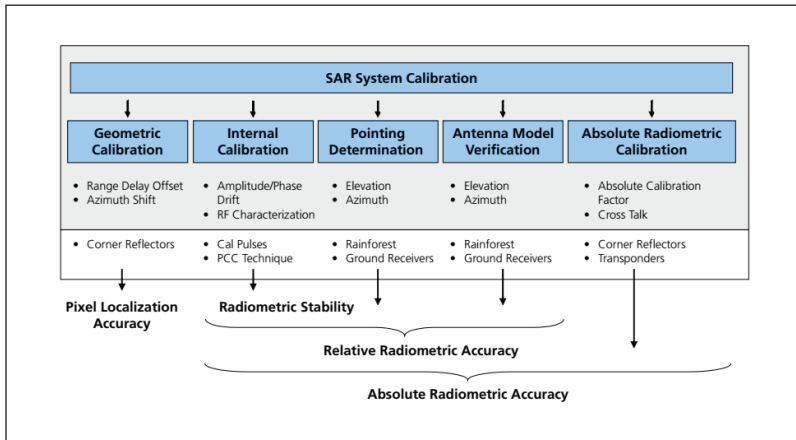


Sumber: Hughes (1998)

Gambar 2.3 Contoh Rekaman AN/APG-76:(a) Mode MTI; (b dan c) SPOT

Belajar dari pengalaman operator misi SAR antariksa yang telah beroperasi, skenario Kal/Val sistem SAR yang disiapkan setidaknya mencakup kalibrasi geometrik dan radiometrik (Schwerdt dkk., 2017), seperti disajikan pada Gambar 2.4. Untuk keperluan tersebut, setidaknya diperlukan peralatan *corner reflector (triangular/dihedral)*, *ground receiver* dan *transponder*, serta hutan tropis sebagai permukaan *distributed target*. Jumlah yang diperlukan untuk setiap peralatan, tergantung pada rencana Kal/Val yang akan dilakukan. Pada kampanye SAR dirgantara dapat ditempatkan di sekitar bandara. Sementara, untuk misi SAR antariksa, perlu disiapkan tapak khusus yang disiapkan berdasarkan rencana orbit satelit maupun mode akuisisi SAR yang akan dioperasikan (*spotlight, stripmap, scansar*). Oleh karena itu, skenario Kal/Val perlu disiapkan, baik

untuk kampanye SAR dirgantara maupun misi SAR antariksa, termasuk pengadaan peralatan sesuai kebutuhan. Untuk itu, perlu dipertimbangkan untuk melakukan kampanye CP-SAR dirgantara, sebagai kesempatan untuk mulai menyiapkan skenario Kal/Val secara bertahap.



Sumber: Schwerdt dkk. (2017)

Gambar 2.4 Kal/Val Sistem SAR

C. TANTANGAN NONTEKNIS

Kegiatan riset SMRE secara makro dikelompokkan dalam Riset Teknologi Tinggi (RTT). Pengelompokan ini terkait dengan profil rencana pendanaan berdasarkan bobot prioritas. Berdasarkan pendekatan ini, pada periode awal (2017–2019), prioritas besar pendanaan diberikan pada Riset Terapan-SDA (RT-SDA). Kemudian, besar pendanaan bergeser ke Riset Maju-SDA (RM-SDA) pada periode 2020–2024. Selanjutnya, bergeser ke Riset Terapan Manufaktur (RTM) pada periode 2025–2029, yang dilanjutkan dengan Riset Maju Manufaktur (RMM) pada 2030–2034. Peningkatan pendanaan untuk RTT baru dilakukan pada 2035–2039, diikuti kemudian Riset Rintisan Terdepan (2040–2045).

Dengan pendanaan riset pemerintah seperti di atas, perlu dilakukan terobosan, mengingat untuk misi satelit diperlukan anggaran yang besar pada tahap awal. Namun, akan memerlukan dana yang relatif lebih sedikit pada tahap operasional. Upaya untuk menyaliasi pendanaan ini menjadi tantangan nonteknis yang sangat krusial karena risiko dan upaya yang harus dilakukan pada misi SMRE tergolong tinggi. Oleh karena itu, diperlukan strategi agar dana RTT yang kecil pada 2017–2019 sebagian besar dapat diprioritaskan pada persiapan misi LAPAN A5.

Dalam rentang periode waktu di atas, industri antariksa juga sudah memasuki era *Space 4.0*. Khusus untuk teknologi SAR antariksa yang diawali dengan peluncuran satelit mikro SAR ICEYE-X1 pada Januari 2018, dengan volume, bobot, dan daya yang sangat kecil dibandingkan standar SAR antariksa sebelumnya (ESA, 2018). Pada saat yang sama, akan dimulai ketersediaan entitas swasta untuk jasa roket peluncuran satelit dengan biaya yang lebih rendah. Hal ini akan mendorong lebih banyak konstelasi satelit mikro pada masa depan dan memperpendek evolusi antarsatelit. Perpendekan evolusi satelit terkait turunnya biaya peluncuran akan berakibat pada penggunaan komponen muatan satelit ke arah *non space-grade*. Oleh karena itu, misi ICEYE-X1 dapat dijadikan rujukan penting untuk misi SMRE.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan alur pikir misi LAPAN A5 sebagai batu loncatan bagi misi SMRE seperti yang telah diuraikan di atas, berikut ini adalah beberapa kesimpulan penting yang dapat disampaikan:

1. Keberhasilan uji terbang CP-SAR perlu diikuti dengan upaya kampanye SAR dirgantara di kawasan Indonesia untuk memfasilitasi ketersediaan citra SAR polarisasi sirkular, termasuk penyiapan POB penerimaan dan pengolahan data citra SAR pada ruas bumi.

2. Kampanye CP-SAR dirgantara perlu didahului dengan persiapan rancangan skenario Kal/Val sistem SAR, yang nantinya dapat dikembangkan secara penuh untuk keperluan Kal/Val SAR misi SMRE
3. Desain sistem SAR ditujukan untuk memenuhi standar SAR antariksa sesuai keperluan minimum deteksi dan penjejakan kapal.
4. Untuk misi SMRE, desain Sistem SAR perlu dirancang dengan mempertimbangkan kemungkinan spesifikasi GMTI/GMTIm bila kemampuan HRWS kemudian bisa diterapkan pada satelit mikro.
5. Pendanaan SMRE di bawah kelompok riset makro RTT perlu disesuaikan dengan kebutuhan awal yang lebih besar pada persiapan misi SAR antariksa.

DAFTAR PUSTAKA

- CEReS. (2018). *First image of JMRS L C band Circularly Polarized Synthetic Aperture Radar (CP-SAR)*. Josaphat Microwave Remote Sensing Laboratory (JMRS L). Center for Environmental Remote Sensing (CEReS), Chiba University. Diunduh 17 Agustus 2018. <http://www2.cr.chiba-u.jp/jmrs l/?p=5053>.
- Dunn, R.J., Bingham, P.T., & Fowler, C.A. (2004). *Ground moving target indicator radar, and the transformation of US Warfighting*. Northrop Grumman, USA.
- ESA. (2018). *ESA's Earthnet data assessment pilot: ICEYE-X1*. <https://earth.esa.int/web/sppa/activities/edap/sar-missions/iceye-x1>.
- Hanggono, A. (2017). *Pemanfaatan satelit radar untuk kelestarian sumber daya ikan*. Focus Group Discussion (FGD) A-5/LAPAN-Chibadai-Sat, Jakarta, 4 September 2017.
- Hughes, M. T. (1998). *Discoverer II: Space-based GMTI/SAR demonstration program*. D-II Briefing to Industry, DARPA-Air Force-NRO Joint Program Office, USA.

- Kemristekdikti. (2017). *Rencana induk riset nasional tahun 2017–2045*. Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi. Republik Indonesia.
- Monte, L. D. (2017). *Space 4.0: ESA grand challenge*. European Space Agency (ESA).
- Raimadoya, M. A. (2017). *Aplikasi circular polarization SAR*. Focus Group Discussion (FGD) A-5/LAPAN-Chibadai-Sat, Jakarta, 4 September 2017.
- Schwerdt, M., Schmidt, K., Ramon, N. T., Klenk, P., Yague-Martinez, N., Prats-Iraola, P., Zink, M., & Geudtner, D. (2017). Independent system calibration of sentinel-1B. *Remote Sensing*, 9(6): 511. DOI: 10.3390/rs9060511.
- Triharjanto, R. H. (2017). *Status pengembangan satelit LAPAN-A5/ChibaSat*. Focus Group Discussion (FGD) A-5/LAPAN-Chibadai-Sat, Jakarta, 4 September 2017.
- Yang, J. (2017). Study on ground moving target indication and imaging of airborne SAR. *Springer Nature Singapore Pte. Ltd.*

BAB 3



Ekstraksi *Digital Elevation Model* Menggunakan Data *Stripmap* Terrasar-X dengan Teknik Radargrammetri

Rachmat Maulana, Inggit L. Sari, Marendra E. Budiono,
Novie Indriasari, Rahmat Arief, dan Shadiq Ali

A. SATELIT SAR UNTUK DEM

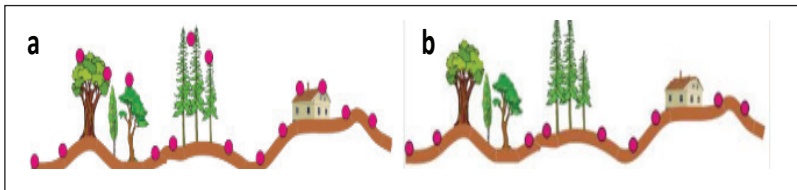
TerraSAR-X merupakan satelit SAR yang diluncurkan oleh Jerman pada tahun 2007. Satelit ini memiliki fitur operasional canggih yang belum tersedia dari sumber data radar sebelumnya. TerraSAR-X menggunakan sensor berfrekuensi tinggi pada pita X serta resolusi citra yang ditawarkan bervariasi. TerraSAR-X pada mode SpotLight mampu memberikan resolusi 1m dan pada mode *StripMap* resolusi yang diberikan sekitar 3 m, terdapat pula mode ScanSAR yang memberikan resolusi citra sekitar 18m (Airbus Defence and Space, 2014).

Tabel 3.1 Karakteristik Sensor TerraSAR-X

Frekuensi gelombang	Pita X (9,65 GHz)
Resolusi spasial	1 m (mode <i>Spotlight</i>), 3 m (mode <i>Stripmap</i>), 18 m (mode <i>Scansar</i>)
<i>ketinggian satelit</i>	514 km
<i>Sudut inklinasi</i>	97,44

Sumber: Airbus Defence and Space (2014)

Digital Elevation Model (DEM) merupakan terminologi umum untuk *Digital Surface Model* (DSM) dan *Digital Terrain Model* (DTM) yang memberikan informasi ketinggian tanpa memedulikan keadaan permukaan (Capaldo, 2013). DSM merupakan representasi 3 dimensi dari suatu daerah yang melingkupi segala objek: pohon, bangunan, dan objek lain di daerah tersebut. Sebaliknya, DTM hanya merepresentasikan permukaan tanah tanpa melingkupi objek yang berada di daerah tersebut.

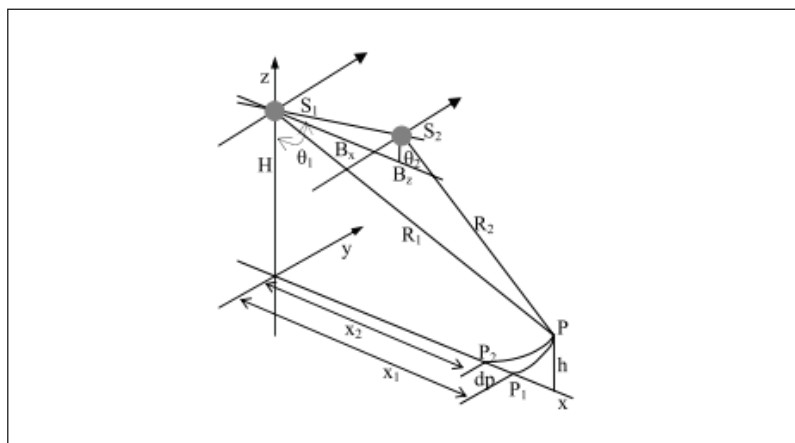


Sumber: Capaldo (2013)

Gambar 3.1 (a) *Digital Surface Model* dan (b) *Digital Terrain Model*

Radargrammetri merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mengekstraksi informasi geometri menggunakan citra radar (Leberl, 1990). Terdapat beberapa teknik yang dapat digunakan untuk mengekstraksi informasi ketinggian suatu area menggunakan SAR. Teknik klinometri yang memanfaatkan bentuk bayangan pada suatu area akibat penglihatan pada satu sisi dapat digunakan untuk mengestimasi ketinggian objek yang spesifik menggunakan refleksi model Lambertian (Wildey, 1984). Teknik polarimetri juga dapat dilakukan untuk mendapatkan informasi ketinggian dari perilaku hamburan-balik gelombang yang berbeda (Schuler, Jong-Sen, & De Grandi, 1996). Informasi ketinggian dapat diperoleh pula dengan menggabungkan nilai kompleks pada dua citra yang diakuisisi oleh antenna yang berbeda lokasi, atau oleh antenna yang sama pada waktu yang berbeda yang dapat disebut sebagai teknik interfeometri. Selain itu, terdapat pula teknik stereo-radargrammetri yang memperoleh informasi ketinggian dari dua citra yang saling *overlap* (Toutin & Gray, 2000).

Teknik stereo-radargrammetri membutuhkan citra yang diakuisisi pada *incidence angle* yang berbeda. Kualitas DEM dari stereo-radargrammetri bergantung pada rasio ketinggian atau dari sudut perpotongan dari pasangan citra. Untuk memperoleh hasil geometri yang baik, sudut perpotongan dari kedua citra harus mempunyai paralaks yang cukup untuk mendapatkan informasi ketinggian. Namun, untuk mendapatkan visualisasi yang baik, perbedaan sudut yang kecil dibutuhkan (Hum Yu, Li, Ge, & Chang, 2010). Perbedaan sudut yang optimal antara kedua citra berada sekitar 10–20 derajat (d'Ozouville dkk., 2008) atau sekitar 15–25 derajat (Hennig, Koppe, Kiefl, & Janoth, 2010).



Sumber: Maitre (2008)

Gambar 3.2 Posisi dan Geometri Satelit pada Stereo-radargrammetri

Pada Gambar 3.2, S_1 dan S_2 merupakan Satelit 1 dan 2, B_x dan B_z merupakan horizontal dan vertikal *baseline*, R_1 dan R_2 merupakan jarak sensor 1 dan 2 ke target P. P_1 dan P_2 merupakan target P yang dilihat oleh tiap-tiap satelit (S_1 dan S_2), dp merupakan disparitas yang merupakan jarak antara P_1 dan P_2 . Jika ketinggian permukaan adalah 0 ($h=0$), disparitasnya adalah nol dan akan meningkat seiring

bertambahnya ketinggian (h). Hal ini dapat digambarkan pada persamaan berikut:

$$dp = \sqrt{x^2 + (H-h)^2} - H^2 - \sqrt{(x-B_x)^2 + (H+B_z-h)^2} - (H+B_z)^2 - B_x \quad (1)$$

perlu diperhatikan pula bahwa ketinggian memiliki hubungan berbanding terbalik dengan disparitas (dp), yang didapatkan

$$h = \frac{2HB_x + 2Hdp - \sqrt{4H^2B_x^2 + dp^2}}{dp + B_x} \quad (2)$$

yang menjadi

$$A = 8B_x(H^2 - x^2 + xB_x) + dp(4B_x^2 + dp^2 + 4dpB_x) + 4dp(H^2 - x^2 + xB_x) \quad (3)$$

persamaan ini kemudian disederhanakan sebagai citra yang didapatkan dari satelit sensor (ketinggian sensor, H, sangat tinggi dibandingkan dengan ketinggian target, h) sehingga persamaan dapat digambarkan dengan sudut penglihatan:

$$h = \frac{dp}{\cotan \theta_2 - \cotan \theta_1} \quad (4)$$

Menurut (Hennig dkk., 2010), parameter akuisisi yang optimal untuk mendapatkan DEM secara stereo-radargrammetri dengan menggunakan data TerraSAR-X berdasarkan hasil percobaannya adalah data yang memiliki polarisasi HH serta sudut disparitas yang bergantung pada keadaan permukaan. Sudut disparitas yang cukup besar untuk keadaan permukaan yang datar dan sudut disparitas yang kecil untuk keadaan permukaan yang bergelombang (pegunungan dan perbukitan).

DEM digunakan untuk menentukan atribut fitur permukaan, seperti ketinggian dan kemiringan dari suatu titik. Fitur permukaan ini secara luas digunakan dalam analisis hidrologi dan geologi, manajemen bencana, ataupun eksplorasi sumber daya alam.

Studi ini dilakukan dengan pembuatan DEM menggunakan metode ekstraksi nilai elevasi. Penggunaan metode stereo-radargrammetri, dan citra SAR resolusi tinggi, serta mempertahankan resolusi spasial dari DEM yang didapat dengan tetap menjaga akurasi nilai elevasi yang didapatkan.

B. STUDI DATA SAR UNTUK DEM

Data yang digunakan pada studi ini merupakan dua citra *Single-look Slant-range Complex* (SSC) TerraSAR-X yang meliputi wilayah sekitar Madiun. Data diakuisisi dengan mode *StripMap* (SM) dengan polarisasi HH. Kedua citra ini memiliki *side looking* yang sama (kanan) serta berada dalam keadaan *descending*. Area yang saling *overlap* dapat dilihat pada Gambar 3.3.

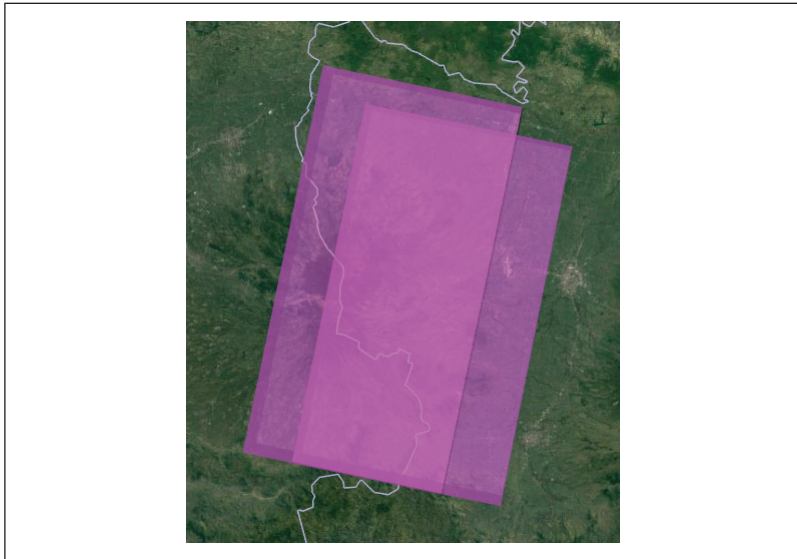
Ekstraksi nilai elevasi menggunakan metode stereo-radargrammetri dalam pembuatan DEM dilakukan dengan stereo *image matching* pada kedua citra. Proses *image matching* diawali dengan mendefinisikan gambar primer dan gambar sekunder. Kemudian dilanjutkan oleh tahap koregistrasi yang dibantu oleh data DEM lainnya. Pada tahap ini, ambang batas korelasi-silang dan resolusi spasial ditetapkan pada angka tertentu. Selanjutnya, *ground control points* (GCP) digunakan dalam proses *shift refinement and flattening stage* yang memperbaiki pergeseran citra sesuai dengan titik GCP. Data Elevasi didapatkan setelah konversi pergeseran (*shift*) ke ketinggian dilakukan. Diagram alir proses ekstraksi nilai elevasi dapat dilihat pada Gambar 3.4.

DEM yang berhasil diekstraksi dibandingkan menggunakan data DEM dari ALOS *Global Digital Surface Model* “ALOS World 3D-30m” (AW3D30). Hasil pengambilan data lapangan di wilayah Madiun digunakan pula untuk mengukur akurasi ketinggian dari DEM yang didapatkan.

Tabel 3.2 Karakteristik Citra yang Digunakan

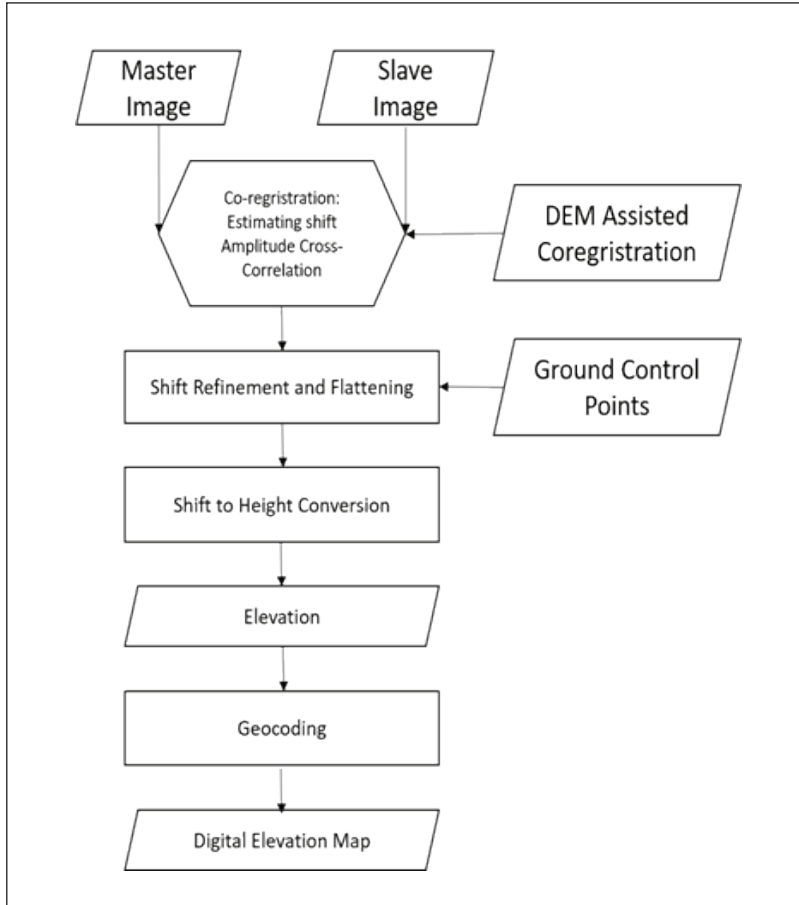
Karakteristik	Citra 1	Citra 2
Produk	TerraSAR-X	TerraSAR-X
Misi	<i>StripMap</i>	<i>StripMap</i>
Waktu Akuisisi	24/3/2018	10/4/2018
Tipe Produk	SSC	SSC
Incidence Angle	30.254	48.533
Pass	<i>Descending</i>	<i>Descending</i>
Side Looking	Kanan	Kanan
Polarisasi	HH	HH

Sumber: Airbus Defence and Space (2018)



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 3.3 Area yang digunakan saling tumpang-tindih.



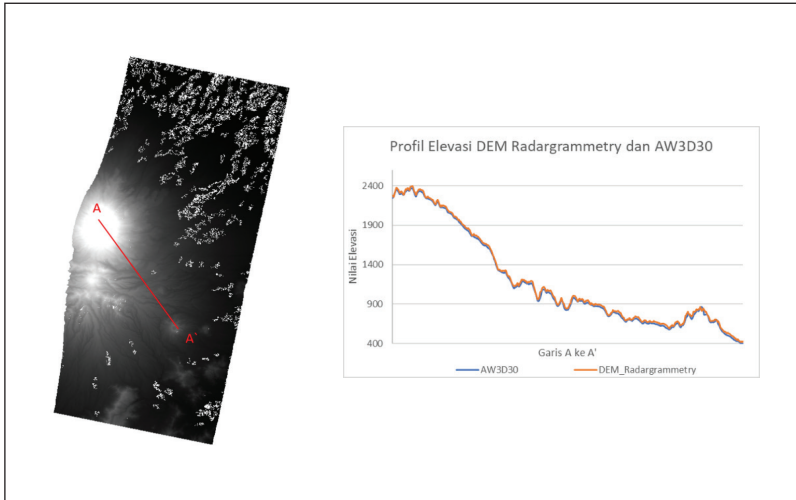
Sumber: Hasil Pengolahan Data dari Hasil Pemikiran Penulis (2018)

Gambar 3.4 Diagram Alir Proses Ekstraksi DEM dengan Teknik Stereo-radiogrammetri

C. HASIL AKURASI DEM DARI DATA SAR

Hasil ekstraksi DEM menggunakan data TerraSAR-X memiliki resolusi spasial sekitar 3 meter. Secara visual, hasil ekstraksi DEM terlihat cukup baik pada sebagian besar daerah, tetapi terdapat pula

bercak-bercak nilai kosong pada beberapa daerah. Adanya bercak ini karena proses *image-matching* pada daerah tersebut kurang berhasil sehingga tidak dapat memperoleh nilai elevasi. Kurang berhasilnya proses *image matching* ini dapat disebabkan oleh keadaan *noise speckle* yang tinggi pada daerah tersebut sehingga pencarian pergeseran dari kedua citra mengalami kesulitan.



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 3.5 Cuplikan Citra DEM Hasil Stereo-radargrammetri (kiri) dan Profil Elevasi DEM yang Dibandingkan DEM AW3D30 (kanan)

Tabel 3.3 Uji Akurasi Elevasi Hasil Ekstraksi DEM dengan Stereo-radar-grammetri.

Titik	Elevasi Hasil Stereo [m]	Elevasi AW3D30 [m]	Elevasi Data Lapangan (GPS) [m]	Perbedaan Stereo-GPS [m]	Perbedaan AW3D30-GPS [m]
1.	427,822	428,017334	427,327	0,495	0,690
2.	298,384	300,203186	300,559	2,175	0,356
3.	105,676	104,3416901	100,957	4,719	3,385

Titik	Elevasi Hasil Stereo [m]	Elevasi AW3D30 [m]	Elevasi Data Lapangan (GPS) [m]	Perbedaan Stereo-GPS [m]	Perbedaan AW3D30-GPS [m]
4.	264,910	263,4016113	259,396	5,514	4,006
5.	651,992	648,3394165	647,858	4,134	0,481
6.	1317,897	1324,401855	1321,693	3,796	2,709
7.	393,343	390,4891968	388,425	4,918	2,064
8.	879,378	876,5269165	877,685	1,693	1,158
9.	390,772	389,5357666	396,788	6,016	7,252
10.	355,111	361,6526184	357,12	2,009	4,533
11.	542,123	540,6464844	537,729	4,394	2,917
12.	253,655	250,7452393	249,402	4,253	1,343
Kesalahan Absolut				3,676	2,575

Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Profil elevasi yang didapatkan dari hasil ekstraksi nilai elevasi menggunakan stereo-radargrammetri terlihat cukup baik saat dibandingkan dengan DEM dari ALOS-AW3D30 (Gambar 3.5). Hal ini menunjukkan nilai elevasi dari DEM yang didapatkan tidak mengalami pergeseran nilai elevasi yang signifikan.

Hasil uji akurasi elevasi hasil ekstraksi DEM dengan menggunakan teknik stereo-radargrammetri memiliki nilai kesalahan absolut sekitar 3,676 meter dengan nilai *root-mean-square-error* (RMSE) sekitar 4,01 meter (Tabel 3.3). Nilai ini sudah menunjukkan hasil yang cukup memuaskan dibandingkan DEM dari AW3D30 dengan kesalahan absolut 2,575 meter dan nilai RMSE sebesar 3,22 meter.

D. KESIMPULAN

Ekstraksi DEM dengan menggunakan data TerraSAR-X pada mode *StripMap* serta pada level *Single-look Slant-range Complex* (SSC) berhasil dilakukan. Hasil elevasi yang didapatkan dari teknik Radargrammetri memberikan nilai akurasi yang cukup memuaskan meskipun terdapat bercak-bercak yang menandakan terdapat nilai kosong pada beberapa daerah.

Dibandingkan teknik lain, teknik radargrammetri terbilang cukup sederhana, yakni hanya membutuhkan citra yang saling bertampalan dengan akuisisi pada sudut datang yang berbeda. Meskipun cukup sederhana, teknik ini menunjukkan dapat memberikan resolusi spasial dan akurasi elevasi yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Airbus Defence and Space. (2014). TerraSAR-X services image product guide. *Technical Document*, (2.0), 24. Diunduh pada Agustus 2018 dari http://www2.geo-airbusds.com/files/pmedia/public/r459_9_201408_tsxx-itd-ma-0009_tsx-productguide_i2.00.pdf.
- Capaldo, P. (2013). *High resolution radargrammetry with COSMO-SkyMed, TerraSAR-X and RADARSAT-2 imagery: Development and implementation of an image orientation model for digital surface model generation*. Sapienza Università Di Roma. Roma.
- d'Ozouville, N., Deffontaines, B., Benveniste, J., Wegmüller, U., Violette, S., & de Marsily, G. (2008). DEM generation using ASAR (ENVISAT) for addressing the lack of freshwater ecosystems management, Santa Cruz Island, Galapagos. *Remote Sensing of Environment*, 112(11): 4131–4147. DOI:10.1016/j.rse.2008.02.017
- Hennig, S. D., Koppe, W., Kiefl, N., & Janoth, J. (2010). Validation of Radargrammetric Digital Elevation Models (DEMs) Generated with TerraSAR-X Data. *8th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, pp. 1–4. Aachen, Germany.

- Yu, J. H., Li, X., Ge, L., & Chang, H. C. (2010). *Radargrammetry and interferometry SAR for DEM generation*. 15th Australasian Remote Sensing & Photogrammetry Conference, pp. 1212–1223. Alice Springs, Australia.
- Leberl, F. W. (1990). *Radargrammetric image processing*. Artech House Remote Sensing Library.
- Maitre, H., (2008), *Processing of synthetic aperture radar images*. ISTE Ltd and John Wiley & Sons Inc.
- Schuler, D. L., Jong-Sen, L., & De Grandi, G. (1996). Measurement of topography using polarimetric SAR images. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on Computers*, 34(5): 1266–1277. DOI:10.1109/36.536542
- Toutin, T., & Gray, L. (2000). State-of-the-art of elevation extraction from satellite SAR data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 55(1): 13–33. DOI:10.1016/S0924-2716(99)00039-8
- Willey, R. L. (1984). Topography from single radar images. *Science*, 224: 153–156. DOI:10.1126/science.224.4645.153

BAB 4



Ekstraksi *Digital Elevation Model* dengan Metode Interferometri Menggunakan *Stripmap* Terrasar-X/Tandem-X

Shadiq Ali, Haris Dyatmika, Mulia Ina Rahayu, Agnes Sondita, Rachmat Maulana, dan Rahmat Arief

Penginderaan jauh merupakan disiplin ilmu yang mengintegrasikan seperangkat luas pengetahuan dan teknologi yang digunakan untuk observasi, analisis, dan interpretasi fenomena alam. Sumber informasi utamanya adalah ukuran dan gambar yang diperoleh dengan bantuan *platform* udara dan luar angkasa. Perkembangan teknologi di bidang ini telah mampu untuk melakukan monitoring dan pemetaan terhadap aktivitas pergerakan bumi. Salah satu aplikasi yang memiliki informasi untuk itu adalah dengan cara membuat model elevasi digital sebuah permukaan atau yang dikenal dengan DEM. Metode untuk menghasilkan DEM ini bisa menggunakan teknik Interferometri SAR. Proses pengolahan citra dengan teknik ini menghasilkan model elevasi digital yang menunjukkan situasi fisik dan topografi bumi. DEM didefinisikan sebagai model digital 3 dimensi yang diperoleh dari elevasi permukaan dengan menggunakan metode interpolasi yang dipilih.

A. INTERFEROGRAM DATA SAR

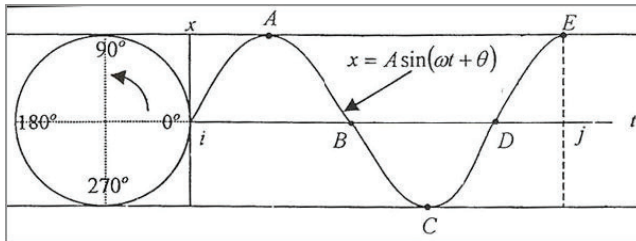
SAR adalah salah satu sistem penginderaan jauh yang tidak dipengaruhi oleh cuaca dan waktu. Dalam prosesnya yang merupakan metode perekaman aktif, di mana sensor pada radar ini merekam energinya sendiri yang dipantulkan oleh objek di permukaan bumi, tidak tergantung pada radiasi matahari (Ayuhernasari, 2008). SAR dapat digunakan saat siang maupun malam serta pada segala jenis kondisi cuaca. Hal ini disebabkan sistem SAR menggunakan gelombang radio (*microwave*) untuk pengamatan permukaan bumi. Proses pengiriman pulsa energi gelombang mikro pada objek yang diinginkan dan merekam kekuatan asal pantulan yang diterima oleh objek di dalam area pencitraan. SAR menggunakan amplitudo dan perbedaan fase antara sinyal kembali dan sinyal yang dibuat. Amplitudo adalah kekuatan dari respons radar dan fase adalah fraksi dari satu siklus gelombang sinus (untuk satu panjang gelombang radar) (Veci, 2017).

Metode InSAR mengeksploitasi perbedaan fase antara dua pengamatan radar SAR kompleks diambil dari posisi sensor dan ekstrak yang sedikit berbeda informasi tentang permukaan bumi (Crosetto & Aragues, 1999). Metode interferometri mendeteksi radiasi yang dipantulkan dari setiap laluan (lebih dari satu lintasan) pada orbit yang sama ke pusat antena (Feretti, 2007). Fase gambar SAR terutama ditentukan oleh jarak antara antena satelit dan target *ground*. Dengan menggabungkan fase dari dua gambar ini setelah koregistrasi, interferogram bisa dihasilkan fase yang sangat berkorelasi dengan topografi dataran (Feretti, 2007). Dari fase dapat diturunkan menjadi informasi ketinggian dan deformasi. InSAR merupakan alat dan metode yang efektif yang digunakan untuk menghitung ketinggian permukaan bumi (Feretti, 2007) dan pengukuran deformasi di permukaan tanah dengan ketelitian sub-sentimeter (Makineci & Karabörk, 2016).

Interferogram pola *fringes* merepresentasikan perbedaan jarak yang *overlap* melalui siklus fase. Selama panjang gelombang yang

digunakan sekitar 10^{-2} m, perbedaan fase tersebut memungkinkan proses estimasi jarak dari antena ke objek dengan akurasi sekitar 10^{-2} sampai 10^{-3} m. TerraSAR-X dan TanDEM-X adalah radar pengamat Radar Sintetis (SAR) satelit bumi yang diluncurkan pada Juni 2007 dan Juni 2010. Satelit membawa sensor pita X SAR frekuensi tinggi, yang dapat dioperasikan dalam mode pencitraan fleksibel. Tujuan utama dari misi kedua satelit tersebut adalah mengumpulkan data SAR statis secara bersamaan, yang memungkinkan untuk menghasilkan interferogram dengan koherensi tinggi (Natural Resources Canada, 2012) untuk menghasilkan model elevasi permukaan bumi.

Kunci dari teknik interferometri adalah pengukuran fase dari sinyal radar. Fase merupakan kondisi osilasi suatu sinyal gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang tertentu yang berulang setiap 2π (Ismullah, 2002). Gambar 4.1 menampilkan ilustrasi sebuah gelombang yang menjalar dari titik i ke j .



Sumber: Ayuhernasari (2008)

Gambar 4.1 Fase Suatu Gelombang

Pada Gambar 4.1, gelombang tersebut memenuhi Persamaan 1:

$$x = A \sin(\omega t + \theta) \quad (1)$$

di mana A adalah amplitudo (nilai x maksimum), ω adalah kecepatan sudut gelombang, t adalah waktu, dan θ adalah fase awal. Pada Gambar 4.1, terlihat fase awal adalah 0. Fase itu sendiri adalah harga $(\omega t + \theta)$. Dari titik i ke titik D dinamakan satu gelombang

penuh. Memproyeksikan gelombang tersebut pada lingkaran sebelah kiri maka didapatkan bahwa titik A fase yang terukur adalah 90° atau $\frac{1}{2}\pi$ rad, pada titik B terukur 180° atau π , pada titik C terukur 270° atau $1\frac{1}{2}\pi$, pada titik D terukur 360° atau 2π , dan pada titik E akan terukur fase sebesar $360^\circ+90^\circ$ atau sebesar $2\frac{1}{2}\pi$ rad. Fase sinyal pantul yang diterima lagi oleh dua sensor dapat dinyatakan dengan Persamaan 2:

$$\varphi = \frac{4\pi}{\lambda} r \quad (2)$$

di mana φ adalah beda fase dan r adalah $r_1 - r_2$. Jika fase sudah diketahui, jarak miring dapat dihitung dengan Persamaan 3:

$$r = \lambda(\varphi + k) \quad (3)$$

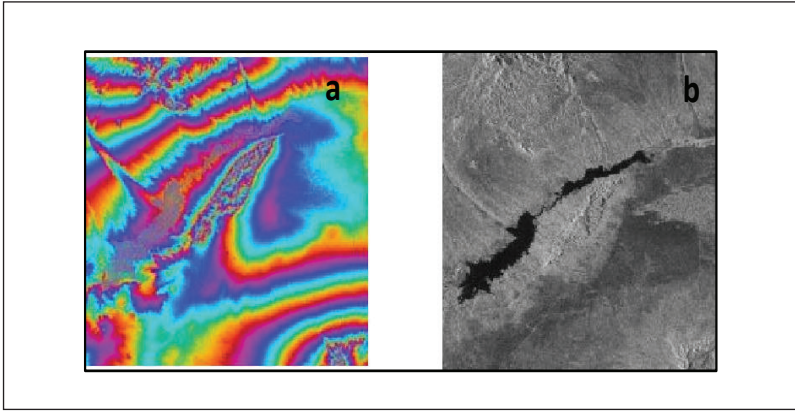
di mana k adalah ambiguitas fase yang sebelumnya harus dicari melalui proses *phase unwrapping* agar mendapatkan fase yang absolut, melalui Persamaan 4:

$$\varphi_{abs} = \varphi + k2\pi \quad (4)$$

di mana φ' adalah fase relatif. Citra beda fase yang dihasilkan pada InSAR ini dinamakan interferogram, seperti pada Gambar 4.2.

Berdasarkan Gambar 4.2, dapat dilihat bahwa perbedaan warna pada *interferogram* merupakan 1 panjang gelombang dan pada citra radar terlihat bahwa intensitas yang berwarna hitam merupakan intensitas yang tidak dipantulkan.

Interferogram rata-rata menghasilkan pengukuran fase ambigu dari ketinggian dataran relatif karena memiliki nilai siklik 2π dari tahap interferometri. Variasi fase antara dua titik pada interferogram rata menyediakan pengukuran variasi ketinggian yang sebenarnya setelah menghapus bilangan integer dari ketinggian ambiguitas (setara dengan bilangan integer 2π siklus fase). Proses penambahan pengganda bilangan bulat yang benar dari 2π menjadi *fringe* inter-



Sumber: Ayuhernasari (2008)

Gambar 4.2 (a) Contoh Bentuk Interferogram dan (b) Citra Radar di Daerah New Mexico, Amerika Serikat

ferometri disebut fase pembukaan. Contoh fase pembukaan ditunjukkan pada gambar berikut, di mana fase interferometri SAR, versi yang tidak terbungkus dan peta dengan kelipatan bilangan bulat kanan dari 2π yang ditambahkan ke fase asli ditampilkan bersama.

Dalam pembuatan DEM, perlu diperhatikan beberapa variabel, seperti koordinat dan proyeksi koordinat, agar tidak terjadi kegagalan dalam pemrosesan karena nantinya akan diinterpolasi. Sebagai hasil dari interpolasi yang memiliki DEM jenis titik awan untuk menjangkau semua titik di dalamnya, dispersi fase dapat dimanfaatkan untuk memperkirakan ketinggian teoritis dispersi (terbatas pada frekuensi spasial tinggi) dari DEM yang dihasilkan dari SAR interferometri:

$$\sigma_h = \sigma_0 \frac{R\lambda \sin \theta}{4\pi B} \quad (5)$$

Di sisi lain, frekuensi spasial rendah dari kesalahan DEM tidak bisa diprediksi dari nilai koherensi yang rendah. Informasi yang dibawa oleh citra koherensi bisa dimanfaatkan untuk membantu

segmentasi citra. Pada penelitian ini, yang menjadi rumusan masalah adalah bagaimana mengatur parameter untuk menghasilkan DSM dengan akurasi yang bagus dan memiliki nilai RMSE yang kecil dengan resolusi yang sesuai. Hasil dari DSM dapat dijadikan sebagai referensi DEM untuk ortorektifikasi citra optik.

B. PENGOLAHAN DATA SAR INTERFEROMETRI

Ekstraksi DSM menggunakan metode interferometri dari 2 citra satelit SAR TerraSAR-X/TanDEM-X mode *Stripmap* dengan resolusi spasial 3 m dan level *Single-look Slant-range Complex* (SSC) pada 7 Juni 2018 sebagai citra *master* dan 18 Juni 2018 sebagai citra *slave*. Lokasi studi kasus adalah daerah Bandung dengan pemetaan pengukuran pada koordinat $7^{\circ} 14' 9,6''$ S $107^{\circ} 38' 52,8''$ E hingga $6^{\circ} 38' 16,8''$ S $107^{\circ} 27' 50,4''$ E. Deskripsi data dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.1 Karakteristik Citra TerraSAR-X yang Dicoba untuk Daerah Bandung

Karakteristik	<i>Master</i>	<i>Slave</i>
Nama Sensor	TDX1_SAR	TSX1_SAR
Mode akuisisi	StripMap	StripMap
Tanggal akuisisi	7/6/2018 11.9.50	18/6/2018 11.09.51
Tipe produk	SSC	SSC
Polarisasi	HH	HH
Sudut datang [derajat]	21,32	21,24
Arah path	Ascending	Ascending
Orbit	44230	61127

Sumber: Airbus Defence and Space (2018)

Dari Tabel 4.1, terlihat bahwa kedua citra *master* dan *slave* yang digunakan memiliki perbedaan 11 hari dan perbedaan sudut datang (*incidence angle*) yang kecil serta *baseline perpendicular* antara kedua

citra adalah 342 m yang artinya kedua citra ini sangat bagus untuk metode interferometri untuk menghasilkan DSM dengan baik.

Metode pengolahan pembuatan DSM ini menggunakan dua citra yang dipilih dengan perbedaan waktu yang cukup dekat, yaitu 11 hari atau sama dengan waktu repetisi dari satelit TerraSAR-X/TanDEM-X itu sendiri atau yang disebut dengan *repeat pass* InSAR. Tahapan metode dapat dilihat pada gambar 4.3 yang dimulai dari proses koregistrasi dua citra yang *overlapping* (Gens, 2006), jika citra TerraSAR-X terlalu besar dibandingkan wilayah penelitian maka dapat di-subset. DEM yang digunakan sebagai referensi adalah DEM SRTM 30 m. Tahap selanjutnya adalah proses interferogram dan koherensi. Dari hasil tersebut, dapat dilihat bentuk koheren dari 2 citra. Data citra ini dilakukan *multilook* 5×5 untuk resolusi spasial 12 m dan *multilook* 10×11 untuk resolusi spasial 24 m. Beberapa parameter ditetapkan secara manual untuk memberikan hasil yang lebih akurat. Peta kesalahan tinggi dapat diproduksi dengan mempertimbangkan berbagai sumber kesalahan. Distorsi geometri gambar, seperti *foreshortening*, *layover*, dan *shadow* memberikan nilai koherensi yang rendah. Koherensi rendah menunjukkan akurasi rendah. Koherensi tinggi pada kedua gambar tidak menunjukkan perubahan pada objek sehingga akurasi nilai ketinggian lebih tinggi. Setelah itu, pengolahan dilakukan *unwrapping* dengan nilai batas (*threshold*) menentukan jumlah piksel yang diolah. Pada pengolahan ini, nilai batas yang digunakan adalah 0,45. Konversi berikutnya pada perhitungan fase ke tinggi. Konversi *geocoding* menyiratkan proyeksi ulang dari sistem koordinat SAR dari gambar kompleks ke dalam sistem kartesian geosentris yang didefinisikan oleh posisi koordinat lintang dan bujur serta ketinggian.

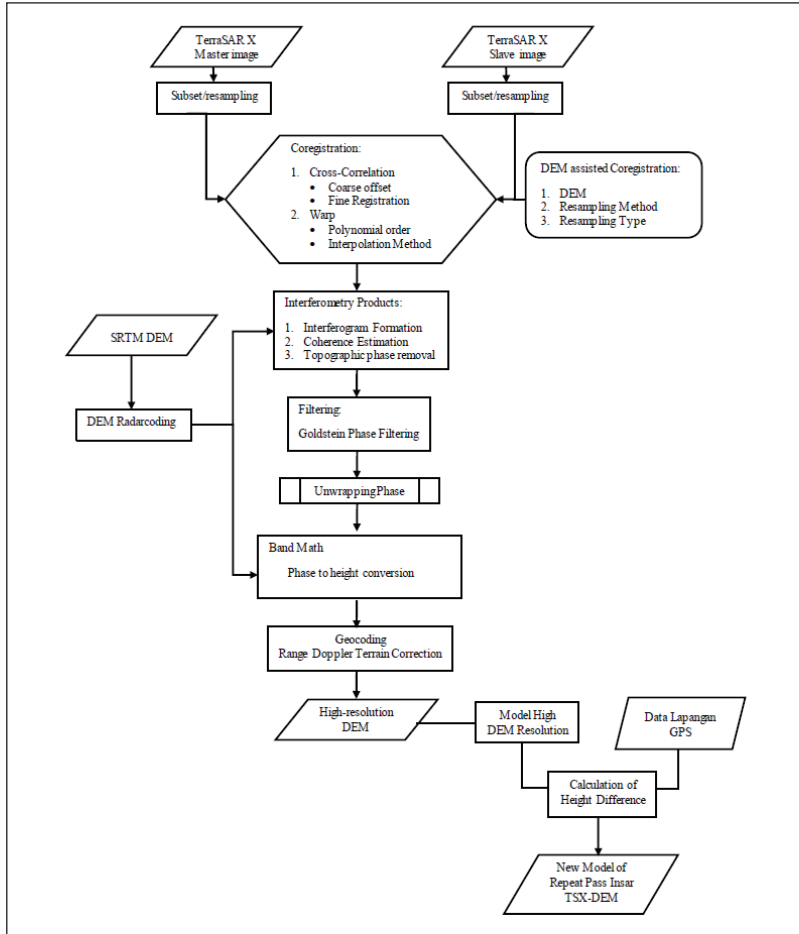
Langkah akhir dari proses ekstraksi DSM yang dihasilkan dari metode di atas adalah membandingkan hasil DSM dengan data lapangan dari pengukuran ketinggian menggunakan peralatan GPS

dan mengoreksi hasil DSM tersebut sehingga didapat model elevasi DSM baru yang lebih akurat. Pada daerah penelitian ini, telah diukur 24 titik pengukuran data elevasi berdasarkan GPS terlihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Elevasi Pengukuran Lapangan

Titik	GPS (m)	Koordinat	
1.	687,53	S 6°58'05,80827"	E 107°37'53,26712"
2.	685,43	S 7°00'42,38106"	E 107°35'56,32485"
3.	685,19	S 7°01'27,48641"	E 107°35'21,40146"
4.	696,94	S 7°02'41,67315"	E 107°34'06,41612"
5.	696,54	S 7°02'36,75285"	E 107°34'06,52327"
6.	686,95	S 6°58'53,15927"	E 107°32'04,29472"
7.	759,31	S 6°58'51,10106"	E 107°31'12,54491"
8.	692,84	S 6°59'29,09595"	E 107°31'53,04857"
9.	689,39	S 6°59'59,89938"	E 107°31'54,14790"
10.	728,69	S 7°01'01,40197"	E 107°31'46,18113"
11.	713,46	S 7°00'42,42887"	E 107°31'50,50483"
12.	899,42	S 7°02'57,02898"	E 107°29'55,34226"
13.	1.000,30	S 7°04'30,94405"	E 107°29'14,83758"
14.	703,68	S 7°02'53,96885"	E 107°33'48,79903"
15.	669,78	S 6°55'04,55860"	E 107°28'03,01348"
16.	777,44	S 6°54'23,03444"	E 107°31'02,64265"
17.	674,79	S 6°54'13,58276"	E 107°27'46,71350"
18.	753,87	S 6°54'51,40595"	E 107°31'46,03042"
19.	701,39	S 6°52'01,76786"	E 107°27'10,65726"
20.	754,50	S 6°51'13,59740"	E 107°27'30,00591"
21.	980,21	S 6°50'24,34808"	E 107°33'20,52477"
22.	1.072,83	S 6°50'52,31576"	E 107°37'12,68433"
23.	1.106,80	S 6°50'35,99785"	E 107°37'20,34568"
24.	684,92	S 6°57'32,96594"	E 107°42'37,89514"

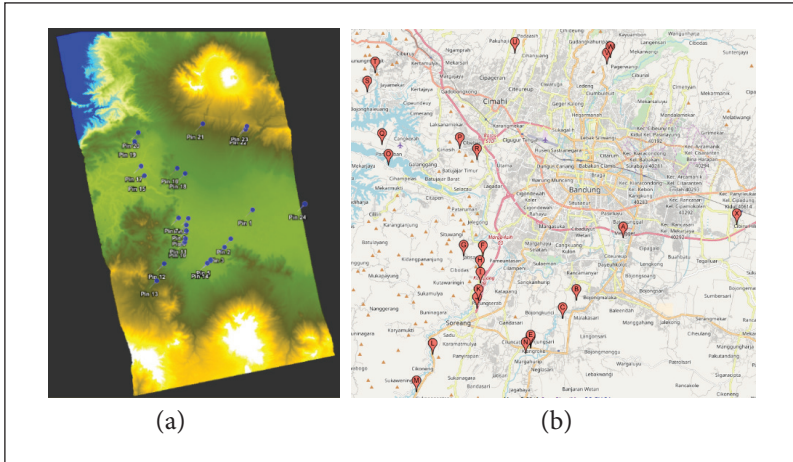
Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)



Sumber: Hasil Pemikiran Penulis (2018)

Gambar 4.3 Diagram Alir Pengolahan Citra SAR dengan Metode Interferometri

Berdasarkan pengukuran lapangan, pengukuran 24 titik elevasi dengan menggunakan GPS tersebar di daerah dengan *slope* rendah dan tinggi yang artinya pengukuran tersebut dilakukan di daerah datar, tinggi, lereng, dan datar. Bentuk titik pengukuran lapangan pada *google map* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)
Gambar 4.4 (a) Titik Uji DEM pada Citra dan (b) Titik Uji pada Peta Lapangan

C. KUALITAS DSM DARI SAR INTERFEROMETRI

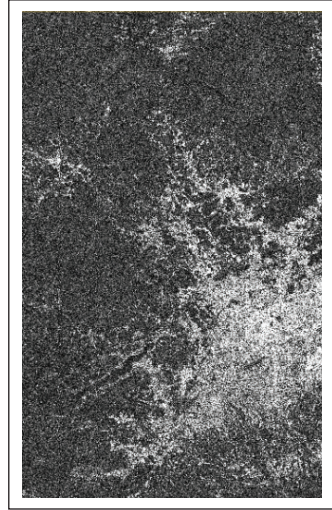
Hasil pengolahan citra TerraSAR-X diproses menggunakan teknik interferometri untuk menghasilkan DSM, diperoleh 5 citra sebagai hasil proses pembuatan DSM, yaitu citra gabungan intensitas, citra koherensi, citra interferogram, fase topo, dan DSM. Pada Gambar 4.9, ditampilkan bentuk visual dari citra tersebut pada setiap langkah pengolahan menggunakan teknik interferometri.

Gambar 4.5 menggambarkan intensitas gabungan citra *master* dan *slave*. Intesitas merupakan nilai hamburan-balik dari citra: semakin tinggi nilai intensitasnya maka semakin terang objek pantulannya. Pada Gambar 4.6 merupakan koherensi antara kedua citra. Gambar ini diperoleh dari korelasi antara fase kedua citra; semakin cocok piksel kedua citra maka semakin tinggi nilai koherennya. Gambar 4.7 merupakan interferogram yang dihasilkan dari kedua citra yang belum dikoregistrasi. Untuk pengolahan DEM, sebaiknya tidak banyak terdapat *fringe* gelombang karena tidak ada fenomena alam



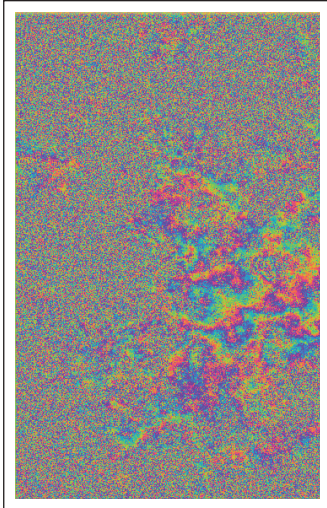
Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 4.5 Gabungan Intensitas



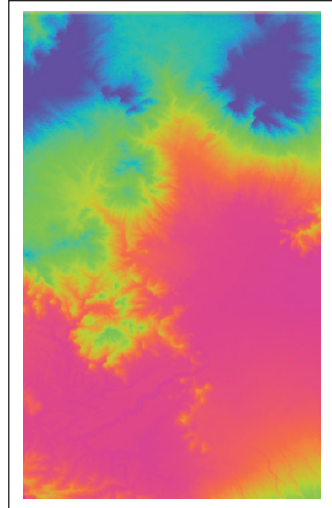
Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 4.6 Citra Koheren



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 4.7 Citra Interferogram

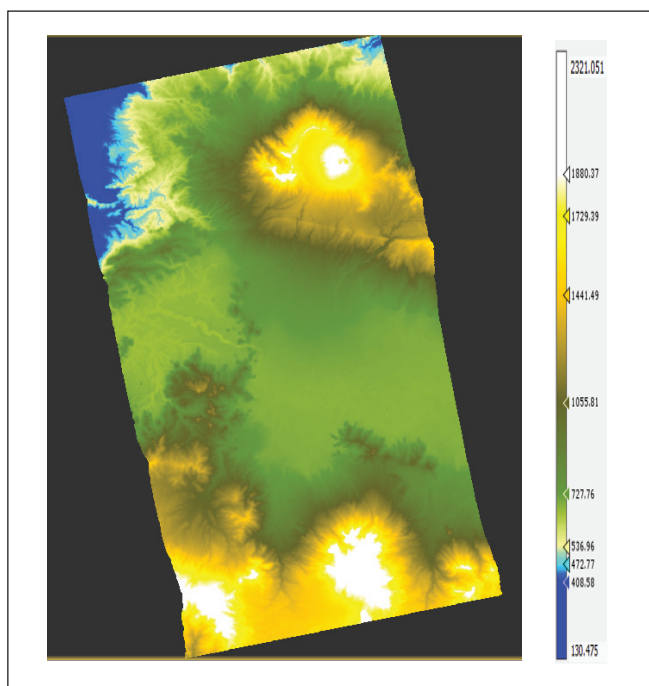


Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 4.8 Fase Topografi

dalam selisih waktu antara kedua citra. Pada Gambar 4.8 adalah fase topografi. Fase ini diperoleh setelah di-*unwrapping* atau dipisahkan dari komponen lain karena fase ini digunakan untuk menghasilkan elevasi. Hasil luaran pengolahan seperti terlihat Gambar 4.9 yang merupakan DSM hasil teknik interferometri yang telah dikoreksi geometrik untuk daerah Bandung. Nilai elevasi maksimum adalah 2.321 m dan minimum 130 m.

Untuk menguji ketelitian hasil dari pengolahan data ketinggian menggunakan teknik interferometri ini digunakan data pengukuran lapangan seperti pada Tabel 4.3. Sebanyak 24 titik pengukuran lapangan yang diperoleh dari pengukuran ketinggian menggunakan GNSS yang akurat dijadikan sebagai titik referensi untuk uji validasi



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 4.9 DEM Bandung

akurasi DSM menggunakan metode yang digunakan. Dari data TerraSAR-X dihasilkan DSM dengan resolusi spasial 12 m dan 24 m dengan menggunakan teknik *multilooking*. DSM tersebut dibandingkan data GPS dan SRTM 30m.

Tabel 4.3 Perbandingan DSM Citra INSAR Terrasar-X dan DEM SRTM 30 m dengan Data Lapangan

Titik	GPS (m)	SRTM30 (m)	INSAR(m)		Koordinat	
			12 m	24 m		
1.	687,53	690,86	694,21	693,26	S 6°58'05,80827"	E 107°37'53,26712"
2.	685,43	686,03	693,40	688,84	S 7°00'42,38106"	E 107°35'56,32485"
3.	685,19	686,08	688,89	686,76	S 7°01'27,48641"	E 107°35'21,40146"
4.	696,94	699,14	694,21	698,60	S 7°02'41,67315"	E 107°34'06,41612"
5.	696,54	697,14	693,68	697,59	S 7°02'36,75285"	E 107°34'06,52327"
6.	686,95	687,85	684,78	689,12	S 6°58'53,15927"	E 107°32'04,29472"
7.	759,31	774,83	762,18	778,55	S 6°58'51,10106"	E 107°31'12,54491"
8.	692,84	694,89	692,16	697,41	S 6°59'29,09595"	E 107°31'53,04857"
9.	689,39	691,92	691,14	696,16	S 6°59'59,89938"	E 107°31'54,14790"
10.	728,69	725,99	726,40	734,60	S 7°01'01,40197"	E 107°31'46,18113"
11.	713,46	716,97	713,73	721,62	S 7°00'42,42887"	E 107°31'50,50483"
12.	899,42	909,07	916,34	900,48	S 7°02'57,02898"	E 107°29'55,34226"
13.	1.000,30	1.001,13	1.000,47	1.001,21	S 7°04'30,94405"	E 107°29'14,83758"
14.	703,68	704,15	697,87	702,31	S 7°02'53,96885"	E 107°33'48,79903"
15.	669,78	671,45	658,33	663,55	S 6°55'04,55860"	E 107°28'03,01348"
16.	777,44	784,45	792,00	782,23	S 6°54'23,03444"	E 107°31'02,64265"
17.	674,79	675,37	669,03	674,34	S 6°54'13,58276"	E 107°27'46,71350"
18.	753,87	753,51	770,41	757,39	S 6°54'51,40595"	E 107°31'46,03042"
19.	701,39	697,13	689,75	685,69	S 6°52'01,76786"	E 107°27'10,65726"
20.	754,50	749,06	747,86	747,54	S 6°51'13,59740"	E 107°27'30,00591"
21.	980,21	976,08	981,18	979,62	S 6°50'24,34808"	E 107°33'20,52477"
22.	1.072,83	1.072,17	1.058,95	1.067,17	S 6°50'52,31576"	E 107°37'12,68433"
23.	1.106,80	1.102,14	1.084,48	1.090,46	S 6°50'35,99785"	E 107°37'20,34568"
24.	684,92	682,81	nan	nan	S 6°57'32,96594"	E 107°42'37,89514"

Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Tabel 4.4 Perbandingan Akurasi Data Elevasi DEM INSAR 12 m, 24 m, SRTM 30 m dengan Data Pengukuran Lapangan (GPS)

	Δ (GPS-SRTM 30 m) (m)	Δ (GPS-INSAR 12 m) (m)	Δ (GPS-INSAR 24 m) (m)
Absolute error	3,24	6,98	5,38
RMSE	4,77	9,33	7,42

Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Dari Tabel 4.4, rerata perbedaan tinggi antara DSM yang dihasilkan dari pengolahan InSAR dari data TerraSAR-X dan data lapangan data sekitar 3,24 m. Berdasarkan perbedaan nilai ketinggian didapatkan RMSE 4,77 m. Terdapat beberapa titik yang memiliki nilai perbedaan sangat tinggi, yaitu pada titik 7. Berdasarkan pengukuran lapangan, titik 7 merupakan daerah yang memiliki kemiringan yang cukup tinggi atau daerah lereng, jadi bisa diasumsikan posisi saat pengukuran terdapat beberapa kesalahan.

DSM InSAR 24 m merupakan *multilooking* 9×11 dari resolusi 3 m. Nilai “nan” pada titik 24 (Tabel 4.4), bukanlah *missing value*. Namun, itu adalah batasan dari data TerraSAR-X. Pada DEM dengan resolusi 24 m ini, didapatkan nilai *absolute error* 5,38 m dan RMSE 7,42. Jika dibandingkan dengan SRTM, terdapat perbedaan RMSE ≈ 3 m. Pada DSM dengan resolusi 24 m, terdapat beberapa titik yang galat, salah satunya pada titik 7, yang juga mirip dengan SRTM, tetapi juga terdapat dua titik lain, yaitu titik 19 dan 23. Berdasarkan data *slope* dari DEM InSAR ini, titik 19 dan 23 merupakan daerah yang memiliki kemiringan dengan *level slope* 2, dan titik 7 dengan *level slope* 3.

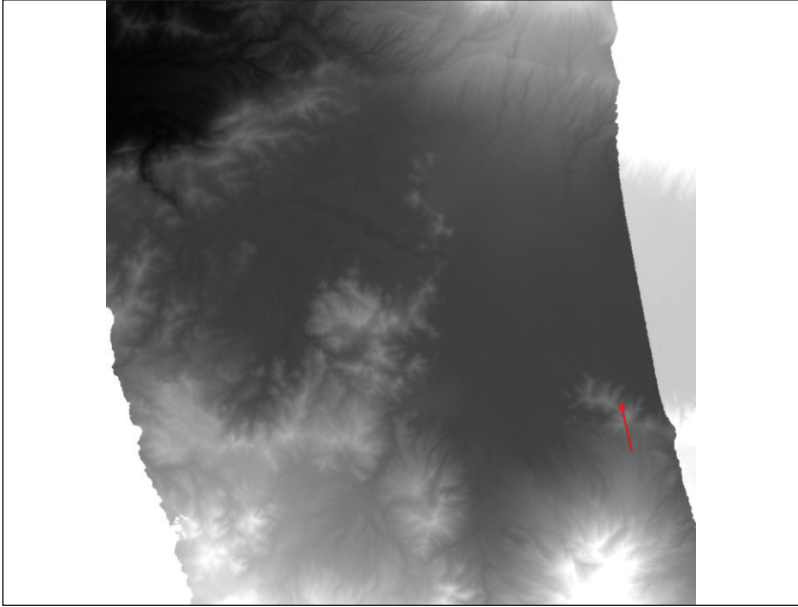
DSM Interferometri SAR 24m merupakan *multilooking* 5×5 dari resolusi 3m. Nilai “nan” pada titik 24 (Tabel 4.4), bukanlah *missing value*. Namun, itu adalah batasan wilayah dari citra TerraSAR-X. Pada DEM dengan resolusi 12 m ini, didapatkan nilai *absolute error*

6,98 m dan RMSE 9,33 m. Jika dibandingkan dengan SRTM, terdapat perbedaan RMSE \approx 5m. Pada DEM 24 m ini, terdapat beberapa titik yang galat, tetapi titik 7 memiliki perbedaan 2 m pada resolusi 12 m. Titik yang memiliki nilai perbedaan di atas 10 m terhadap pengukuran lapangan adalah 12, 15, 16, 18, 22, dan 23. Pada titik 23, terdapat galat yang sangat tinggi dengan perbedaan 22 m dan 32 m. Berdasarkan data *slope* dari DEM InSAR ini, titik-titik tersebut merupakan daerah yang memiliki kemiringan dengan *level slope* 2 hingga *level slope* 3.

Profil elevasi adalah irisan penampang 2 dimensi dari suatu permukaan. Berdasarkan profil dapat dipergunakan untuk analisis morfologi permukaan, seperti: kecekungan permukaan, perubahan permukaan, kecembungan permukaan, dan ketinggian maksimum permukaan lokal. *Plotting* profil pada DEM yang diplot sesuai arah LOS (*ascending*) dari kiri ke kanan. Pada gambar berikut, ditunjukkan perbedaan profil elevasi di area dengan dataran tinggi dan datar.

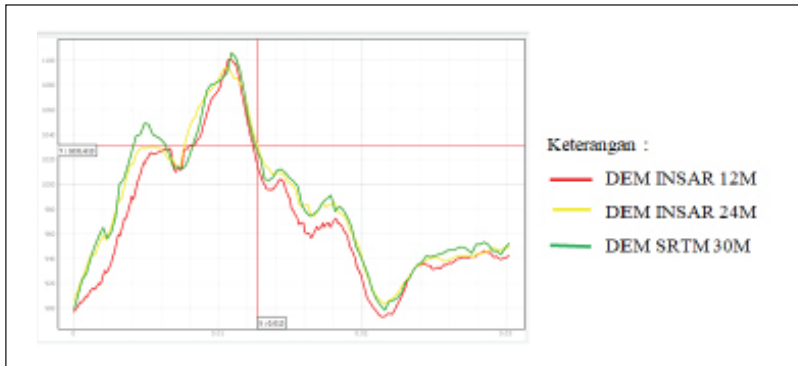
Gambar 4.10 menunjukkan garis merah untuk membandingkan profil dari nilai elevasi setiap DSM yang dihasilkan di area dataran tinggi. Gambar 4.11 merupakan bentuk profil dari perbandingan 3 DSM, yaitu InSAR 12 m, 24 m, dan SRTM 30 m. Terlihat pada profil bahwa DSM InSAR dengan resolusi 12 m dan 24 m memiliki tren yang sama terhadap SRTM dan memiliki sedikit nilai elevasi yang tidak sama.

Gambar 4.12 dan 4.13 menggambarkan profil elevasi untuk membandingkan nilai elevasi setiap DSM di daerah yang datar dan merupakan bentuk profil dari perbandingan 3 DSM, yaitu InSAR 12 m dan 24 m serta SRTM 30 m. Terlihat pada profil bahwa DEM InSAR dengan resolusi 24 m memiliki tren rerata elevasi lebih dekat dengan SRTM dibandingkan INSAR 12m.



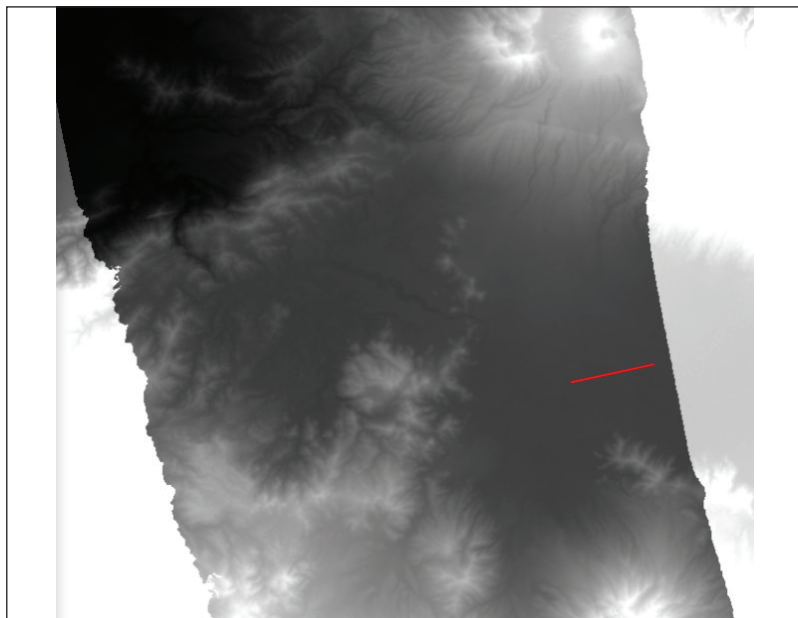
Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 4.10 Hasil Plot Profil pada DEM di Area Dataran Tinggi



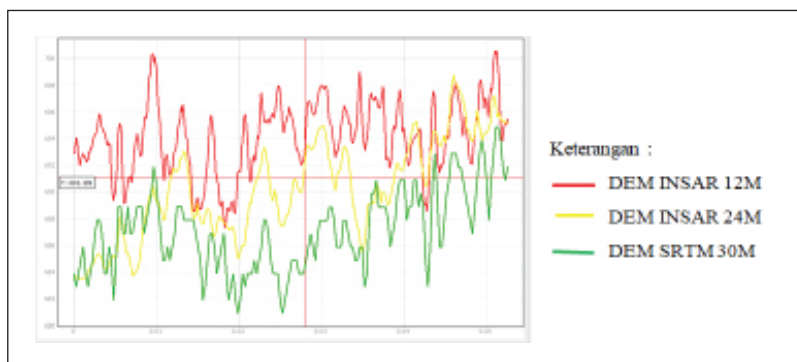
Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 4.11 Hasil Plot Profil pada DEM di Area Dataran Tinggi



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 4.12 *Plotting* Profil pada DEM di Area Dataran Datar



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 4.13 Hasil *Plotting* Profil pada DEM di Area Dataran Datar

D. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, telah dilakukan pengolahan data dari pembuatan DSM menggunakan metode interferometri *repeat pass* menggunakan data 2 citra dengan perbedaan waktu sama dengan perbedaan waktu repetisi satelit TerraSAR-X/Tandem-X, yaitu 11 hari. Eksperimen ini menjelaskan bahwa perbedaan hasil DSM dilihat dari resolusi spasial, yaitu 12 m dan 24 m. Dari hasil eksperimen menyatakan bahwa DSM InSAR 24 m lebih akurat daripada DSM InSAR 12 m, atau semakin besar resolusi belum bisa dikatakan bahwa nilai ketelitian DSM tersebut semakin detail. Hal lain yang diperoleh dari eksperimen di atas bahwa ketelitian nilai elevasi dari SRTM lebih baik karena DSM dari 12 m dan 24 m yang dikembangkan berbasis interferometri *repeat pass* dengan perbedaan waktu 11 hari, sedangkan citra SRTM diperoleh dari akuisisi yang dilakukan secara bersamaan (*bistatic DEM generation*).

DAFTAR PUSTAKA

- Airbus Defence and Space. (2014). TerraSAR-X services image product guide. *Technical Document*, (2.0), 24. Diunduh pada Agustus 2018 dari http://www2.geo-airbusds.com/files/pmedia/public/r459_9_201408_tsxx-itd-ma-0009_tsx-productguide_i2.00.pdf.
- Ayuhernasari, H. (2008). *Studi pemanfaatan band yang berbeda pada InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)*. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu Dan Teknologi Kebumihan, ITB. Bandung.
- Crosetto, M., & Aragues, F. P. (1999). *Radargrammetry and SAR interferometry for DEM generation: validation and data fusion*. DIIAR - Sez. Rilevamento, Politecnico di MilanoP. Leonardo Da Vinci 32, 20133 Milan, Italia.
- Feretti, A. (2007). *InSAR principles: Guidelines for SAR interferometry processing and interpretation*. European Space Agency Spatiale Europeenne: Netherlands.

- Gens, R. (2006). *DEM generation*. Geos 693-Insar and It Applications. University of Alaska Fairbanks.
- Ismullah, H. I. (2002). *Model tinggi permukaan digital hasil pengolahan radar interferometri satelit untuk wilayah berawan*, Disertasi Doktor. Institut Teknolgi Bandung.
- Makineci, B. H., & Karabörk, H. (2016). *Evaluation digital elevation model generated by synthetic aperture radar data*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Volume XLI-B1, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic a Selcuk University, Engineering Faculty, 42075 Selcuklu Konya, Turkey.
- Natural Resources Canada. (2012). *Fundamental of remote sensing*. Canada Centre for Remote Sensing Tutorial. Diakses pada 2 Juli 2018 dari <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/satellite-imagery-and-air-photos/tutorial-fundamentals-remote-sensing/9309>.
- Veci, L. (2017). *Interferometry tutorial with RADARSAT-2. Array System Computing*. Inc: ESA.

BAB 5



Potensi Data Satelit SAR untuk Pemantauan dan Pemetaan Padi

Anugrah Indah Lestari dan Dony Kushardono

A. PENGINDERAAN JAUH UNTUK PERTANIAN

Padi (beras) merupakan salah satu sumber pangan pokok yang paling dominan bagi masyarakat Indonesia. Penduduk Indonesia yang mencapai 252,17 juta orang dengan laju pertumbuhan sebesar 1,31%, memiliki tingkat konsumsi beras mencapai 132,98 kg/kapita/tahun (Kementan, 2013). Indonesia diprediksi akan memperoleh bonus demografi antara tahun 2028–2030 yang memiliki konsekuensi salah satunya dalam peningkatan kebutuhan pangan (Bappenas, 2014). Padahal, sejak tahun 2007–2013, produksi padi nasional di Indonesia belum mencukupi kebutuhan nasional (Kementan, 2013). Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk memperoleh perkiraan produksi padi sehingga dapat menjadi pertimbangan dalam pengambilan kebijakan yang memengaruhi ketahanan pangan (Pazhanivelan dkk., 2015).

Pemantauan fase pertumbuhan tanaman padi merupakan salah satu cara yang digunakan untuk memperkirakan produksi padi. Dengan memanfaatkan data penginderaan jauh, identifikasi per-

tumbuhan tanaman padi dapat dilakukan dalam waktu yang relatif lebih cepat dan dapat mencakup wilayah yang luas sehingga perkiraan produksi padi dapat diperoleh dalam skala regional. Data penginderaan jauh pun bersifat multitemporal sehingga identifikasi fase pertumbuhan padi dapat dilakukan secara berkesinambungan.

Sensor penginderaan jauh banyak dimanfaatkan untuk pemantauan fase pertumbuhan padi, baik dengan sensor optik maupun sensor aktif atau radar. Pemanfaatan data Terra/Aqua MODIS dilakukan untuk identifikasi fase pertumbuhan padi menggunakan parameter NDVI dan EVI (Van Kham, 2012; Dirgahayu, Noviar, dan Anwar, 2014; Wijesingha, Deshapriya, dan Samarakoon, 2015). Data satelit Landsat pun telah digunakan untuk identifikasi fase pertumbuhan padi serta pemetaan area padi (Nuarsa & Nishio, 2007; Parsa & Dirgahayu, 2013; Manalu & Suwargana, 2016; Chuc, Anh, Thuy, Hung, dan Thanh, 2017). Namun, sedikitnya jumlah citra bebas awan yang digunakan untuk pemetaan area padi dapat mengakibatkan penurunan akurasi saat proses klasifikasi (Chuc dkk., 2017).

Pemanfaatan satelit dengan sensor optik untuk mengidentifikasi fase pertumbuhan padi memiliki keterbatasan karena sensor optik dipengaruhi oleh cuaca dan liputan awan. Tren liputan awan di wilayah Indonesia memiliki persentase sekitar 50% sepanjang tahun 1952–1997 untuk *upper level cloud* dan *low level cloud* dengan menggunakan data *Extended Edited Cloud Report Archive* (EECRA) dan *International Satellite Cloud Climatology Project* (ISCCP) (Norris, 2005). Dalam Eastman, Warren, dan Hahn (2011), disebutkan bahwa tren liputan awan di Indonesia pada September hingga November dalam rentang tahun 1954–2008 berkisar di atas 60%. Periode musim tanam padi umumnya dilakukan pada bulan November–Maret yang merupakan musim hujan (Sumarno, 2016) sehingga data penginderaan jauh dengan sensor aktif atau radar merupakan

alternatif teknologi yang dapat digunakan sebagai substitusi data penginderaan jauh sensor optik.

Dengan menggunakan sensor radar atau *Synthetic Aperture Radar* (SAR), citra dapat diperoleh siang dan malam karena sensor radar menghasilkan sumber energi sendiri. Di samping itu, data radar dapat memberikan informasi citra wilayah daratan pada area yang tertutup awan, kabut, dan asap karena panjang gelombang elektromagnetik pada sensor radar adalah gelombang mikro sehingga memiliki tingkat penetrasi yang tinggi (Natural Resources Canada, 2015). Penelitian ini mengulas pemanfaatan data SAR untuk pemetaan area tanaman semusim, terutama padi, dan pemantauan fase pertumbuhan tanaman padi.

B. PEMANFAATAN DATA SAR DALAM PEMETAAN AREA TANAMAN SEMUSIM

Wegmüller dan Werner (1997) mengemukakan potensi SAR pada pita C untuk pemetaan hutan dan lahan pertanian dengan memanfaatkan interferometri SAR. Dalam penelitian tersebut, dilakukan klasifikasi berdasarkan korelasi interferometri dan nilai intensitas hamburan-balik. Penelitian tersebut memperoleh akurasi sekitar 90% untuk pemetaan hutan. Wilayah hutan dicirikan melalui korelasi interferometri yang rendah, nilai intensitas hamburan-balik yang sedang, dan perubahan nilai hamburan-balik yang kurang signifikan secara multitemporal. Sebaliknya, area pertanian diindikasikan oleh nilai intensitas hamburan-balik yang berubah-ubah secara multitemporal dan memiliki korelasi interferometri yang rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa klasifikasi untuk tanaman semusim dapat dilakukan melalui karakteristik nilai hamburan-balik yang berubah-ubah secara multitemporal dibandingkan penutup lahan lain.

Del Frate dkk. (2003) melakukan penelitian terkait pemanfaatan SAR pada pita C untuk melakukan klasifikasi beberapa jenis tanaman

semusim, yaitu *barley*, jagung, kentang, gandum, dan *rapeseed* dengan menggunakan algoritma *neural network* untuk daerah Flevoland, Belanda. Polarisasi yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah VV, HH, dan VH dengan data yang digunakan sebanyak 4 data radar selama Juni–Juli.

Melalui penelitian Del Frate dkk. (2003) diperoleh hasil klasifikasi dengan multipolarisasi (HH, VV, dan HV) sebagai masukan algoritma *neural network* memberikan nilai akurasi keseluruhan tertinggi yakni sebesar 91% dibandingkan hanya menggunakan polarisasi tunggal (55,7%) dan dual polarisasi (86,1%). Di samping itu, penggunaan data multitemporal juga meningkatkan nilai akurasi klasifikasi. Nilai akurasi keseluruhan yang tinggi untuk beberapa tanaman semusim mengindikasikan bahwa metode tersebut dapat digunakan untuk klasifikasi area tanaman padi serta dapat ditambah dengan informasi tekstur sebagai masukan pada algoritma klasifikasi *neural network* sebagai upaya peningkatan nilai akurasi.

Dalam penelitian Fathoni, Chulafak, dan Kushardono (2017), perubahan nilai hamburan-balik secara multitemporal selama musim tanam padi dimanfaatkan untuk pemetaan lahan baku sawah di Kabupaten Indramayu. Data yang digunakan adalah tiga citra radar multitemporal Sentinel-1 dual polarisasi, VV dan VH serta dilakukan klasifikasi *maximum likelihood* dan *neural network* dengan informasi tekstur. Variabel tekstur yang digunakan adalah semua jenis tekstur dan *contrast group texture* (*homogeneity*, *dissimilarity*, dan *contrast*). Dengan teknik ini, diperoleh akurasi hasil klasifikasi terbimbing hingga 88%. Sementara itu, untuk meningkatkan akurasi, dipergunakan informasi tekstur data SAR, di mana terdapat delapan fitur tekstur yang dilibatkan dengan persamaan sebagai berikut (Kushardono, 2012):

$$\text{Angular second moment} : \sum_{i,j} P(i,j)^2 \quad (1)$$

$$\text{Contrast} : \sum_{i,j} (i-j)^2 P(i,j) \quad (2)$$

$$\text{Homogeneity} : \sum_{i,j} \frac{P(i,j)}{1+(i-j)^2} \quad (3)$$

$$\text{Entropy} : \sum_{i,j} P(i,j) \log P(i,j) \quad (4)$$

$$\text{Dissimilarity} : \sum_{i,j} P(i,j) * |i-j| \quad (5)$$

$$\text{Correlation} : \sum_{i,j} \frac{[ij P(i,j) - \mu_x \mu_y]}{\sigma_x \sigma_y} \quad (6)$$

$$\text{Sum of Average} : \sum_k [k P_{x+y}(k)] \quad (7)$$

$$\text{Sum of Variance} : \sum_k [(k - \text{sum of average})^2 + P_{x+y}(k)] \quad (8)$$

di mana :

$$P_{(x+y)}(k) = \sum_i \sum_j P(i,j)$$

μ_x dan μ_y = rata-rata pada baris dan kolom di matriks korelasi

σ_x dan σ_y = standar deviasi pada baris dan kolom yang sama

Berdasarkan penelitian Fathoni dkk. (2017), dapat dilakukan klasifikasi tiga penutup lahan, yaitu sawah, non-sawah, dan tubuh air. Nilai hamburan-balik yang diperoleh untuk lahan baku sawah cenderung fluktuatif mengikuti fase pertumbuhan tanaman, sedangkan nilai hamburan-balik pada area non-sawah dan tubuh air cenderung stabil secara multitemporal. Kemudian, klasifikasi dengan menggunakan *neural network* dan melibatkan *contrast group texture* memberikan nilai akurasi tertinggi, yaitu sebesar 88%.

C. PEMANFAATAN DATA RADAR UNTUK PEMANTAUAN FASE PERTUMBUHAN TANAMAN PADI DAN PEMETAAN AREA PADI

Pada data SAR, dikenal koefisien β , σ , dan γ yang digunakan untuk pemantauan fase pertumbuhan tanaman. Gambar 5.1 menunjukkan nilai hamburan-balik yang diperoleh untuk koefisien σ , β , dan γ , di mana nilai β merupakan *radar brightness* yang merepresentasikan reflektivitas sinyal radar per luasan dalam *slant range*. Sementara, nilai *sigma naught*, σ^0 merepresentasikan reflektivitas rata-rata pada bidang A_L (bidang horizontal). Nilai *sigma naught*, σ^0 dideskripsikan melalui rumus berikut:

$$\sigma^0(dB) = \beta^0(dB) + 10 * \log_{10} \sin(\theta) \quad (9)$$

di mana:

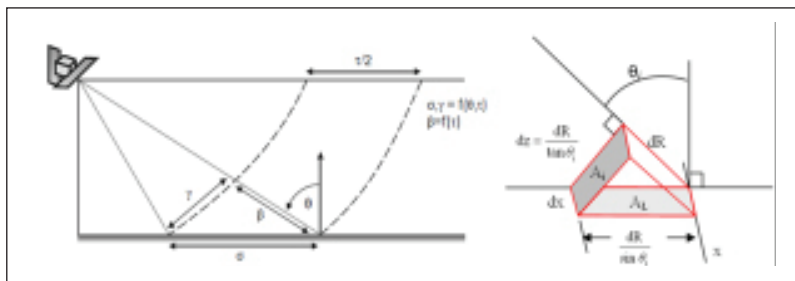
θ = sudut datang

β = *radar brightness*

Nilai *gamma naught*, γ^0 merupakan nilai hamburan-balik yang tidak bergantung dengan *range*, di mana nilai hamburan-balik γ^0 didefinisikan sebagai nilai pada bidang A_r yang tegak lurus terhadap sinar datang radar. Nilai hamburan-balik γ^0 dideskripsikan melalui rumus berikut:

$$\gamma^0(dB) = \beta^0(dB) + 10 * \log_{10} \tan(\theta) \quad (10)$$

Penggunaan nilai hamburan-balik γ^0 dalam pemantauan fase pertumbuhan padi dimungkinkan karena nilai σ^0 sangat bergantung pada topografi serta sudut antara *ground* dan sensor sehingga tingkat kecerahannya dipengaruhi oleh jarak suatu objek dengan wahana pembawa sensor. Oleh karena itu, digunakan nilai hamburan-balik γ^0 karena memperhitungkan distorsi geometrik akibat orientasi permukaan bumi terhadap sensor penerima (O'Grady, Leblanc, dan Gillieson, 2013).



Sumber: Löw, 2004; PCI Geomatics (2014)

Gambar 5.1 Geometri Koefisien Hamburan-balik Data Radar

Pada tahun 1997, Le Toan dkk. melakukan penelitian menggunakan data SAR pita C pada polarisasi VV untuk dianalisis nilai hamburan-balik σ^0 terhadap fase tanam padi. Nilai hamburan-balik yang diekstraksi memiliki hubungan dengan intensitas citra melalui persamaan berikut:

$$\langle I \rangle = K \cdot \sigma^0 \quad (11)$$

dengan

$$\langle I \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} DN_i^2 \quad (12)$$

di mana :

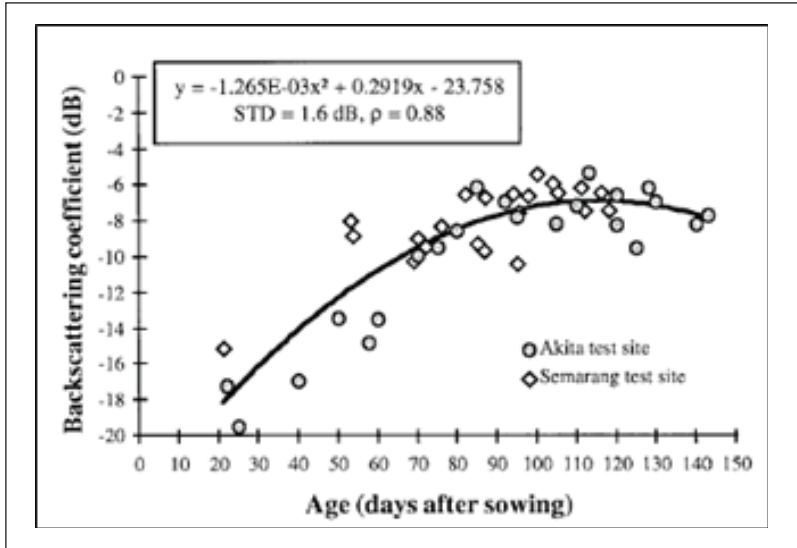
$\langle I \rangle$ = intensitas rata-rata dalam piksel

K = konstanta kalibrasi

DN_i = *digital number* pada piksel ke- i

N = jumlah piksel yang diekstraksi

Gambar 5.2 merupakan hasil nilai hamburan-balik pada polarisasi VV terhadap umur tanam padi yang diperoleh dari dua lokasi yang berbeda, yaitu di Indonesia (Semarang) dan Jepang (Akita). Dua lokasi penelitian itu menunjukkan tren fase pertumbuhan padi yang sama. Melalui grafik tersebut, terlihat tren peningkatan nilai hamburan-balik hingga fase reproduktif. Pada fase awal, di mana



Sumber: Le Toan dkk. (1997)

Gambar 5.2 Variasi Nilai Hamburan-balik (*Backscattering coefficient*) terhadap Umur Tanaman Padi

area persawahan tergenang air, nilai hamburan-balik menunjukkan nilai terendah, yaitu berada pada kisaran -18 hingga -15 dB. Adanya variasi nilai hamburan-balik yang signifikan secara multitemporal merupakan karakteristik dari area persawahan padi dibandingkan jenis penutup lahan lain. Oleh karena itu, dengan memanfaatkan nilai hamburan-balik dapat dilakukan identifikasi tanaman padi saat fase vegetatif, reproduktif, dan pematangan.

Dalam penelitian Lam Dao dkk. (2007), disebutkan bahwa waktu tanam padi umumnya bertepatan dengan musim hujan sehingga citra bebas awan yang dihasilkan oleh sensor optik sangat terbatas. Oleh karena itu, digunakan data radar yang bebas dari pengaruh cuaca dan tutupan awan. Dalam penelitian tersebut dilakukan pemanfaatan data ENVISAT ASAR, satelit yang beroperasi pada pita

C untuk pemantauan fase pertumbuhan padi dengan menggunakan nilai hamburan-balik σ^0 pada polarisasi HH, VV, dan rasio HH/VV. Sebanyak 3 citra digunakan dalam kurun waktu Januari–Maret 2007. Lam Dao dkk. (2007) menyimpulkan bahwa polarisasi HH dan VV dapat digunakan untuk pemantauan fase pertumbuhan padi untuk Provinsi An Giang, Vietnam serta rasio HH/VV dapat digunakan untuk klasifikasi tanaman padi dan non-padi dengan memanfaatkan algoritma pemetaan padi yang dikembangkan oleh ENVISAT APP.

Prachmayandini dan Trisasongko (2012) memanfaatkan data SAR dengan polarisasi HH pada pita L untuk pemantauan fase pertumbuhan padi. Data yang digunakan adalah citra ALOS PALSAR pada 26 November 2006, 26 Februari 2007, 13 April 2007, 29 Mei 2007, 29 Agustus 2007, dan 14 Oktober 2007. Dalam melakukan ekstraksi nilai hamburan-balik σ^0 , dipilih sebanyak 100 piksel untuk setiap titik sampel. Penelitian tersebut akan lebih baik jika menggunakan data multitemporal lebih banyak mengingat fase pertumbuhan padi berlangsung dalam waktu yang singkat. Di samping itu, perbandingan antarpolarisasi juga dibutuhkan untuk mengetahui jenis polarisasi yang lebih sesuai dengan jadwal tanam padi dan masa panen di lapangan.

Penelitian lain dilakukan oleh Raviz dkk. (2016) untuk pemantauan fase pertumbuhan padi dan pemetaan padi pada musim kemarau dan hujan dengan memanfaatkan data radar multitemporal pita C (Sentinel-1A) dan pita X (TerraSAR-X) di wilayah Luzon, Filipina. Pita C memiliki kisaran panjang gelombang sebesar 4–8 cm, sedangkan pita X sebesar 2,5–4 cm yang berpengaruh pada penetrasi terhadap objek. Pada data SAR dikenal tiga macam mekanisme hamburan, yaitu *single-bounce scattering*, *double-bounce scattering*, dan *volume scattering*. Pada pita C, mekanisme hamburan yang dominan adalah *double-bounce scattering* antara vegetasi dan air. Sementara, mekanisme *volume scattering* dominan pada pita X (Kim, Jackson, Bindlish, Lee, dan Hong, 2013).

Penelitian Raviz dkk. (2016) menggunakan polarisasi VV dan VH untuk data Sentinel-1A. Penelitian ini menganalisis nilai hamburan-balik σ^0 untuk pemantauan fase pertumbuhan padi dan pemetaan area padi. Pemetaan area padi dilakukan dengan menggunakan algoritma *rule-based rice detection* dalam software MAPscape-Rice yang dikembangkan oleh Sarmap. Pada algoritma tersebut melibatkan analisis perubahan nilai hamburan-balik σ^0 terhadap perspektif agronomis, kondisi padi saat fase pematangan, jadwal tanam, dan durasi penanaman padi yang diperoleh dari data lapangan (Nelson dkk., 2014).

Hasil penelitian yang dilakukan Raviz dkk. (2016) adalah perubahan nilai hamburan-balik σ^0 pada Sentinel-1A polarisasi VH tidak mengalami kenaikan secara signifikan. Sebaliknya, nilai hamburan-balik σ^0 pada polarisasi VV di mana terjadi perubahan secara multitemporal yang signifikan dengan puncak berada pada satu minggu setelah fase *tillering* di lapangan. Hal ini dimungkinkan terjadi karena sinyal balik pada polarisasi VH dan HV cenderung lebih rendah dibandingkan sinyal pada polarisasi HH dan VV serta lebih dipengaruhi oleh kekasaran permukaan (Sarmap, 2009). Pengujian akurasi pemetaan area padi dilakukan dengan menggunakan data lapangan sebanyak 258 titik dengan mengambil sampel jadwal tanam dan masa panen. Berdasarkan penelitian, nilai akurasi keseluruhan pemetaan area padi sebesar 80% ($\kappa=0,60$) untuk polarisasi VV dan 76% ($\kappa=0,52$) untuk polarisasi VH pada musim hujan. Sementara, pada musim kemarau, nilai akurasi keseluruhan sebesar 82% untuk polarisasi VV dan 70% untuk polarisasi VH. Berbeda dengan penelitian Le Toan dkk. (1997); Lam Dao dkk. (2007); dan Raviz dkk. (2016) yang melakukan analisis terhadap nilai hamburan-balik σ^0 , nilai hamburan-balik *gamma naught*, γ^0 data SAR Sentinel-1 pada polarisasi VV, VH, dan VV/VH dan sensor optik yang memanfaatkan parameter NDVI multitemporal digunakan untuk pemantauan beberapa jenis

tanaman semusim, seperti *barley*, gandum, *rapeseed*, jagung, bunga matahari, dan kedelai pada area Aurade dan Lamasquere, Prancis (Velo dkk., 2017). Pemantauan dilakukan untuk mengidentifikasi korelasi parameter NDVI dan nilai hamburan-balik γ^0 sejak fase penanaman hingga pascapanen. Penelitian tersebut menunjukkan adanya korelasi antara parameter NDVI dengan nilai hamburan-balik γ^0 pada polarisasi tertentu yang direpresentasikan melalui nilai *linear correlation coefficient* (r^2). Korelasi tertinggi diperoleh untuk tanaman jagung. Korelasi antara nilai NDVI dan rasio VH/VV adalah sebesar 0,91, sedangkan antara nilai NDVI dan VH sebesar 0,89. Rasio VH/VV mampu digunakan untuk menunjukkan kondisi pascapanen seperti kemungkinan adanya fase penanaman kembali pada suatu area. Korelasi yang tinggi antara nilai hamburan-balik γ^0 dan nilai NDVI memungkinkan pemantauan fase pertumbuhan padi dilakukan dengan memanfaatkan nilai hamburan-balik γ^0 .

Pada penelitian Le Toan dkk. (1997); Lam Dao dkk. (2007); dan Raviz dkk. (2016) dapat dikatakan bahwa nilai hamburan-balik *sigma naught*, σ^0 dengan polarisasi VV, VH, dan HH dapat dijadikan acuan untuk pemantauan fase pertumbuhan tanaman padi. Namun, terdapat beberapa hal yang perlu dioptimalkan dalam penelitian tersebut, di antaranya, dalam pengambilan sampel tidak dilakukan per piksel, tetapi perlu dilakukan secara spasial dengan melibatkan informasi tekstur sehingga dapat diperoleh nilai hamburan-balik rata-rata berdasarkan analisis statistik dan diharapkan dapat meningkatkan akurasi (Kushardono, 2012). Selain itu, penelitian Velo dkk. (2017) menyiratkan penggunaan nilai hamburan-balik γ^0 perlu diteliti lebih mendalam sehingga dapat dibandingkan antara nilai hamburan-balik σ^0 dan γ^0 yang lebih representatif untuk pemantauan fase pertumbuhan padi dan pemetaan area padi. Kemudian, peran dari rasio VH/VV dan VV/ VH pun perlu dikaji kembali pemanfaatannya untuk pemantauan fase pertumbuhan padi.

D. KESIMPULAN

Pemantauan fase pertumbuhan padi dapat dilakukan dengan menggunakan nilai hamburan-balik σ^0 memanfaatkan polarisasi VV, VH, dan HH pada data SAR. Namun, perlu dilakukan kembali kajian terkait peran rasio VH/VV dan VV/VH serta perbandingan antara penggunaan nilai hamburan-balik σ^0 dan γ^0 untuk memperoleh pemantauan fase pertumbuhan padi yang optimum. Di samping itu, metode pengambilan sampel secara spasial dan melibatkan informasi tekstur perlu dilakukan untuk memperoleh sampel yang representatif untuk pemantauan fase pertumbuhan padi.

Beberapa metode pemetaan area padi telah digunakan dan memperoleh nilai akurasi keseluruhan yang cukup tinggi, di antaranya, dengan menggunakan metode *neural network*, *maximum likelihood*, dan *rule-based rice detection*. Pemetaan area padi dengan melibatkan dual hingga multipolarisasi serta informasi tekstur sebagai masukan algoritma mampu meningkatkan akurasi keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bappenas. (2014). *Rencana pembangunan jangka menengah nasional 2015–2019: Buku 1 agenda pembangunan nasional*.
- Chuc, M. D., Anh, N. H., Thuy, N. T., Hung, B. Q., & Thanh, N. T. N. (2017). Paddy rice mapping in Red River Delta Region using Landsat 8 images: preliminary results. *Proceedings IEEE The 9th International Conference on Knowledge and Systems Engineering*, 209–214, DOI: 10.1109_kse.2017.8119460.
- Del Frate, F., Schiavon, G., Solimini, D., Borgeaud, M., Hoekman, D. H., Vissers, & Martin A. M. (2003). Crop classification using multiconfiguration C-Band SAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(7): 1611–1619; DOI:10.1109/TGRS.2003.813530.
- Dirgahayu, D., Noviar, H., & Anwar, S. (2014). Model pertumbuhan tanaman padi di Pulau Sumatera menggunakan data EVI MODIS multi temporal. *Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014*, 333–343.

- Eastman, R., Warren, S. G., & Hahn, C. J. (2011). Variations in cloud cover and cloud types over the ocean from surface observations, 1954–2008. *Journal of Climate*, 24:5914–5934; DOI:10.1175/2011JCLI3972.1.
- Fathoni, M. N., Chulafak, G. A., & Kushardono, D. (2017). Kajian awal pemanfaatan data radar Sentinel-1 untuk pemetaan lahan baku sawah di Kabupaten Indramayu Jawa Barat. *Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2017*.
- Kementerian Pertanian (Kementan). (2013). *Kalender tanam terpadu (penelitian, pengkajian, pengembangan, dan penerapan)*. ISBN 978-602-128-07-2. IAARD Press. Jakarta.
- Kim, Y., Jackson, T., Bindlish, R., Lee, H., & Hong, S. (2013). Monitoring soybean growth using L-, C-, and X-Band scatterometer data. *International Journal of Remote Sensing*, 34(11):4069–4082; DOI: 10.1080/01431161.2013.772309.
- Kushardono, D. (2012). Klasifikasi spasial penutup lahan dengan data SAR dual polarisasi menggunakan normalized difference polarization index dan fitur keruangan dari matriks kookurensi. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 9(1): 12–24.
- Lam Dao, N., Apan, A., Young, F., Le Van, T., Le Toan, T., & Bouvet, A. (2007). Rice monitoring using ENVISAT-ASAR data: preliminary results of a case study in the Mekong River Delta, Vietnam. *Proceedings of The 28th Asian Conference on Remote Sensing 2007*, ISBN 978-983-43550-0-5.
- Le Toan, T., Ribbes, F., Wang, Li-Fang., Floury, N., Ding, Kung-Hau., Au Kong, J., Fujita, M., & Kurosu, T. (1997). Rice crop mapping and monitoring using ERS-1 data based on experiment and modeling results. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35(1): 41–56; DOI:10.1109/36.551933.
- Löw, A.. (2004). *Coupled Modelling of Land Surface Microwave Interactions Using ENVISAT ASAR Data*. [Disertasi]. Ludwig Maximilians Universität München, Germany.
- O'Grady, D., Leblanc, M., & Gillieson, D. (2013). Relationship of local incidence angle with satellite radar backscatter for different surface conditions. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 24: 42—53; DOI: 10.1016/j.jag.2013.02.005.

- Manalu, J., & Suwargana, N. (2016). Identifikasi fase pertumbuhan tanaman padi dari data citra Landsat-8 menggunakan parameter normalize difference vegetation index. *Prosiding Seminar Penginderaan Jauh 2016*.
- Natural Resources Canada. (2015). *Fundamentals of remote sensing*. A Canada Center for Remote Sensing.
- Nelson, A., Setiyono, T., Rala, A. B., Quicho, E. D., Raviz, J. V., Abonete, P. J., Maunahan, A. A., Gracia, C. A., Bhatti, H. Z. M., Villano, L. S., Thongbai, P., Holecz, F., Barbieri, M., Collivignarelli, F., Gatti, L., Quilang, E. J. P., Mabalay, M. R. O., Mabalot, P. E., Barroga, M. I., Bacong, A. P., Detoito, N. T., Berja, G. B., Varquez, F., Wahyunto., Kuntjoro, D., Murdiyati, S. R., Pazhanivelan, S., Kannan, P., Marya, P. C. N., Subramanian, Elangovan., Rakwatin, P., Intrman, A., Setapayak, T., Lertna, S., Minh, V. Q., Tuan, V. Q., Duong, T. H., Quyen, N. H., Van Kham, D., Hin, Sarith., Veasna, T., Yadav, M., Chin, C., & Ninh, N. H. (2014). Towards an operational SAR-based rice monitoring system in Asia: examples from 13 demonstration sites across Asia in the RIICE Project. *Remote Sensing*, 6(11): 10773–10812; DOI:10.3390/rs61110773.
- Norris, J. R. (2005). Trends in upper-level cloud cover and surface divergence over the tropical Indo-Pacific Ocean between 1952 and 1997. *Journal of Geophysical Research Vol. 110*, D21110; DOI:10.1029/2005JD006183.
- Nuarsa, I. W., & Nishio, F. (2007). Relationships between rice growth and remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 4: 103–112; DOI: 10.30536/ijreses.2007.v4.a1221.
- Parsa, I. M., & Dirgahayu, D. (2013). Multi temporal Landsat data to quick mapping of paddy field based on statistical parameters of vegetation index (Case Study: Tanggamus, Lampung). *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 10(1): 19–24; DOI: 10.30536/ijreses.2013.v10.a1838.
- Pazhanivelan, S., Kannana, P., Marya, P. Christy N., Subramaniana, E., Jeyaramana, S., Nelson, A., Setiyono, T., Holeczc, F., Barbieri, M., & Yadav, M. (2015). Rice crop monitoring and yield estimation through Cosmo Skymed and TerraSAR-X: a SAR-based experience

- in India. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Volume XL-7/W3: 85–92; DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-85-2015.
- PCI Geomatics. (2014). *SAR Processing with Geomatica: Training Guide*. PCI Geomatics Enterprises, Inc. Canada.
- Prachmayandini, R., & Trisasonoko, B. H. (2012). Monitoring paddy fields using backscatter properties of ALOS PALSAR scanSAR. *Majalah Ilmiah Globe*, 14(1): 70–77.
- Raviz, J., Laborte, A., Barbieri, M., Mabalay, M. R., Gracia, C., Bibar, J. E. A., Mabalot, P., & Gonzaga, H. (2016). Mapping and monitoring rice areas in Central Luzon Philippines using X and C-band SAR imagery. *Proceedings of Asian Association on Remote Sensing 2016*.
- Sarmap. (2009). *Synthetic Aperture Radar and Sarscape - SAR Guidebook*. Diunduh pada April 2018 dari <http://www.sarmap.ch/pdf/SAR-Guidebook.pdf>.
- Sumarno, (2016). Periodisasi musim tanam padi sebagai landasan manajemen produksi beras nasional. *Sinar Tani No. 3136*.
- Van Kham, D. (2012). Using MODIS data for the monitoring growth and development of rice plants in Red River Delta. *VNU Journal of Science Earth Sciences*, 28: 106–114.
- Veloso, A., Mermoz, S., Bouvet, A., Le Toan, T., Planells, Milena., Dejoux, J. F., & Ceschia, E., (2017). Understanding the temporal behavior of crops using Sentinel-1 and Sentinel-2-like data for agricultural applications. *Remote Sensing of Environment* 199: 415–426. DOI: 10.1016/j.rse.2017.07.015.
- Wegmüller, U., & Werner, C. (1997). Retrieval of vegetation parameters with SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35(1): 18–24; DOI: 10.1109/36.551930.
- Wijesingha, J. S. J., Deshapriya, N. L., & Samarakoon, L. (2015). Rice crop monitoring and yield assessment with MODIS 250m gridded vegetation product: A case study in Sa Kaeo Province, Thailand. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Volume XL-7/W3, 121–127; DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-121-2015.

BAB 6



Perbandingan Data SAR Sentinel-1 dan Data Optik Landsat 8 untuk Deteksi Fase Pertumbuhan Tanaman Padi

Dede Dirgahayu

Pangan beras masih merupakan makanan pokok sebagian besar penduduk Indonesia sehingga pertumbuhannya perlu dipantau agar dapat menjamin keberhasilan panen dan produksi (BPS, 2018). Pemantauan tersebut dapat dilakukan menggunakan data satelit, baik data optik maupun radar, yang dapat mencakup wilayah yang luas dan frekuensi waktu pengamatan yang cukup bagi tanaman semusim, seperti padi.

A. MASALAH PEMANTAUAN PADI DI INDONESIA DENGAN SATELIT

Kegiatan penelitian dan pengembangan model untuk pemantauan fase pertumbuhan tanaman padi telah dibangun sejak tahun 1997 dengan menggunakan citra Landsat dan telah digunakan untuk memantau luas tanam padi di Pulau Jawa. Seiring dengan status Landsat 7 yang SLC-Off, mulai tahun 2005 hingga 2010 digunakan citra MODIS Terra resolusi 250 m untuk memantau fase pertumbuhan tanaman padi di Pulau Jawa. Selanjutnya, dikembangkan ke seluruh wilayah Indonesia sehingga dapat dioperasikan oleh Balai

Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian (BBSDLP) Kementerian Pertanian dalam Sistem Katam Terpadu sejak tahun 2015 (Syahbuddin, 2015). Dalam perkembangan selanjutnya, karena kebutuhan nasional akan informasi fase yang lebih akurat, pada akhir 2016 BBSDLP memprakarsai pengembangan model pemantauan fase pertumbuhan berbasis citra Landsat melalui kerja sama dengan LAPAN dan berhasil membuat purwarupa model fase pertumbuhan berbasis Landsat 8 untuk pulau Jawa. Purwarupa model ini belum dapat langsung dioperasikan karena belum dilakukan verifikasi dan validasinya, terutama di seluruh Jawa (Banten, Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Jawa Timur) (Dirgahayu, Parsa, & Harini, 2016).

Pengaruh kondisi cuaca yang tidak bersih dan tingginya persentase awan menyebabkan pemanfaatan data satelit dengan sensor optik untuk memantau fase pertumbuhan padi tidak optimal, terutama di negara tropis seperti Indonesia. Laporan dari Eastman, Warren, dan Hahn. (2011) menyebutkan bahwa liputan awan di Indonesia pada periode September hingga November lebih besar dari 60%. Selain itu, Sumarno (2016) menyatakan bahwa pada umumnya musim tanam padi di Wilayah Barat Indonesia dilakukan pada bulan September–Maret yang merupakan musim hujan (banyak awan). Kondisi tersebut menjadi alasan penggunaan data penginderaan jauh dengan sensor aktif atau radar merupakan salah satu alternatif untuk memantau fase tanaman padi, baik sebagai komplemen maupun substitusi data penginderaan jauh sensor optik. Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian dilakukan untuk identifikasi fase tanaman padi menggunakan data radar Sentinel-1 berbasis data Landsat 8.

B. PERBANDINGAN HASIL DARI DATA LANDSAT-8 DAN SENTINEL-1

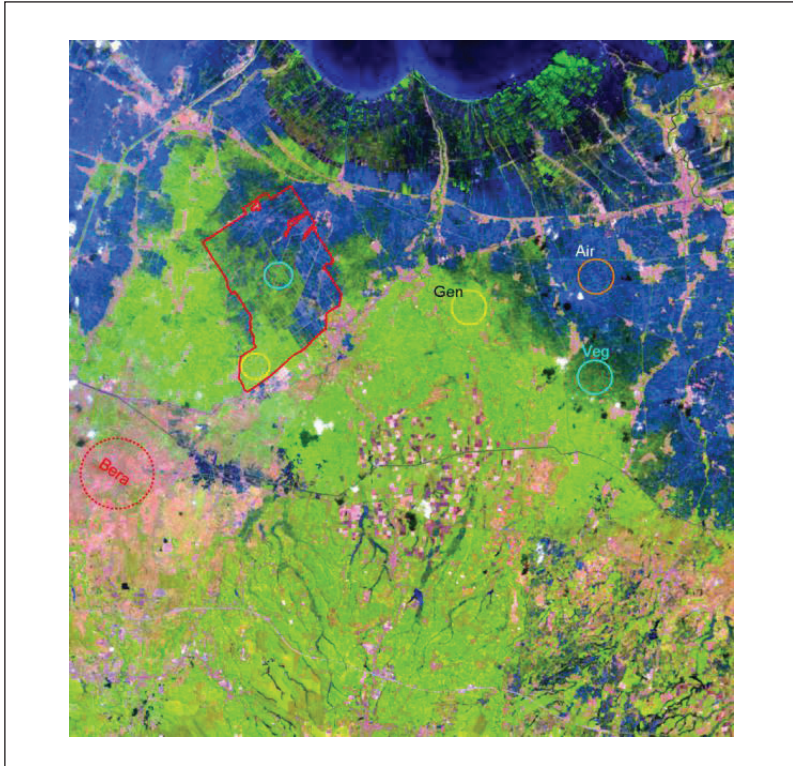
Analisis perbandingan data Landsat 8 dan Sentinel-1 dilakukan untuk identifikasi kondisi lahan sawah maupun fase tanaman padi

pada area uji coba PT Sang Hyang Seri (PT SHS), dengan menggunakan beberapa data multiwaktu (16 dan 12 harian). Analisis ini minimal membutuhkan dua data agar fase tanaman padi dapat diketahui (Dirgahayu, 2017). Pada data satelit optik, fase vegetatif ditandai dengan perubahan tingkat kehijauan semakin meningkat (positif), sebaliknya fase generatif dicirikan dengan penurunan tingkat kehijauan (negatif) karena daunnya ada yang gugur atau menguning. Secara digital, perubahan kenaikan dan penurunan tingkat kehijauan daun tersebut dapat dideteksi dengan perubahan Indeks Vegetasi (*Enhanced Vegetation Index*, EVI) dari data satelit optik seperti Landsat 8 (Lihat Gambar 6.1). Parameter indeks vegetasi EVI dihitung dengan persamaan umum sebagai berikut:

$$EVI = \frac{f_{NIR} - f_{Red}}{f_{NIR} + C_1 f_{Red} - C_2 f_{Blue} + L} \times G \quad (1)$$

di mana $L = 1$; $C_1 = 6$; $C_2 = 7,5$; G (*gain factor*) = 2,5; dan *Red*, *Blue* dan *NIR* adalah data Landsat 8 pita merah, biru dan inframerah dekat.

Kenampakan Citra Landsat 8 dibandingkan citra Sentinel-1 pada perekaman yang sama, yaitu pada 19 Juli 2017 disajikan pada Gambar 6.1 dan Gambar 6.2. Berdasarkan citra komposit RGB tersebut kenampakan warna objek air, vegetasi, dan lahan terbuka (perhatikan yang ditandai lingkaran) seperti area pemukiman tidak jauh berbeda antara citra komposit RGB data Landsat 8 dan Sentinel-1. Kenampakan citra menunjukkan untuk objek tubuh air berwarna dominan biru tua hingga terang, hijau hingga kuning untuk vegetasi, dan cokelat kemerahan, jingga, magenta untuk objek lahan terbuka. Kondisi menarik ditunjukkan oleh variasi warna lahan terbuka pada lahan sawah setelah panen (bera), selain ada yang berwarna magenta terang, ada juga yang berwarna hijau gelap.

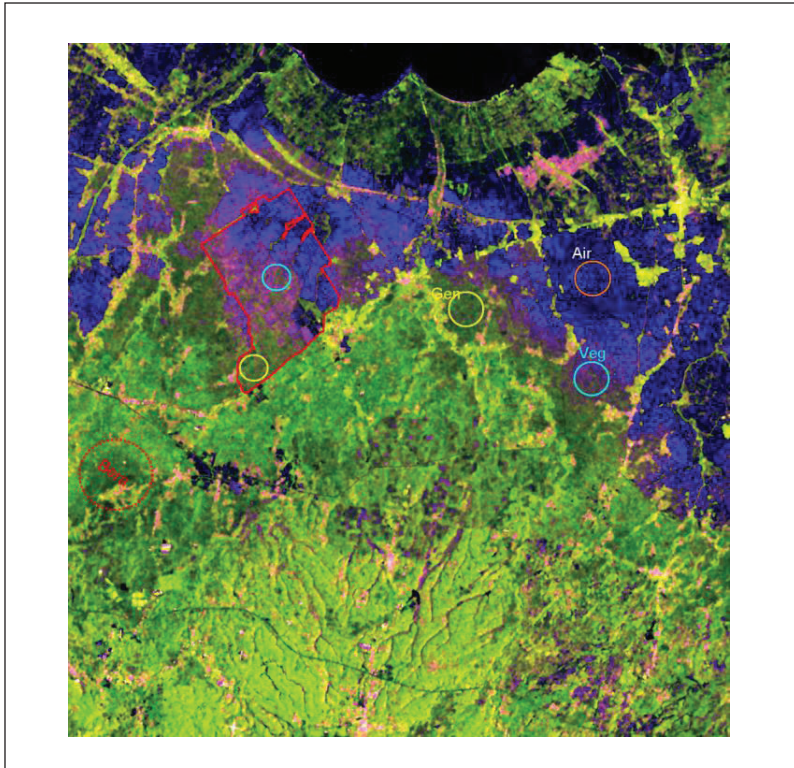


Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 6.1 Citra Komposit Warna Alami RGB 654 Landsat 8, 19 Juli 2017, PT SHS, dan Sekitarnya

1. Identifikasi Pertumbuhan Tanaman Padi

Secara umum, identifikasi tanaman padi di lahan sawah pada citra Landsat multiwaktu hanya bersifat global, yakni hanya dapat mengidentifikasi air, vegetasi, dan bera serta perubahannya dari waktu ke waktu. Sementara, umur tanaman belum dapat diklasifikasikan tanpa diketahuinya info jadwal tanam. Berdasarkan pengalaman, untuk identifikasi fase air (dari persiapan tanam) bisa terjadi percampuran



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

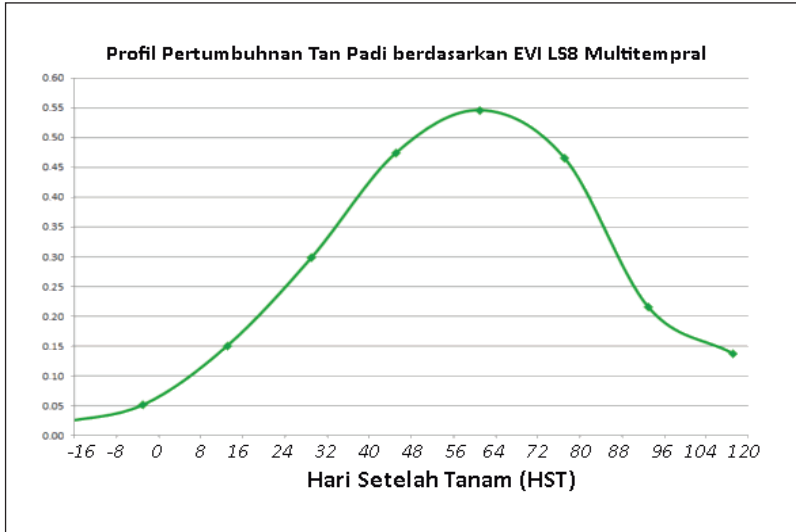
Gambar 6.2 Citra Komposit Warna Sentinel-1, RGB (VV,VH,VV/VH), 19 Juli 2017, PT SHS, dan Sekitarnya

dengan fase vegetatif (tanaman padi yang baru tanam hingga umur satu minggu) sehingga sulit dibedakan (Parsa, 2015). Selain sulit dibedakan dengan fase vegetatif 1 (awal), terutama sampai umur tanaman 1 minggu, ternyata fase air juga sering sulit dipisahkan dengan fase bera jika bera tersebut dalam kondisi lembap. Oleh karena itu, dalam identifikasi ini, fase air termasuk di dalamnya padi umur 1 minggu, sedangkan fase bera termasuk di dalamnya bera yang lembap. Walaupun ada kesulitan sebagaimana disebutkan di

atas, dengan analisis citra multiwaktu yang dihubungkan dengan umur tanaman padi percampuran tersebut dapat diminimalisasi.

2. Ekstraksi Parameter Pertumbuhan Tanaman Padi

Untuk mengetahui bagaimana pertumbuhan tanaman padi secara bertahap dari mulai tanam hingga panen, digunakan data EVI multi-temporal LS8 dan nilai hamburan-balik *backscatter*SAR Sentinel-1 selama pertumbuhan tanaman padi (rata-rata 4 bulan). Hasil ekstraksi nilai EVI LS8 setiap 16 hari sejak awal tanam, varietas Ciherang ditunjukkan pada Gambar 6.3. Hasil Citra Komposit RGB yang berasal dari kombinasi polarisasi data SAR Sentinel-1 (VV-VH-VV/VH) diperlihatkan pada Gambar 6.4. Sebagai acuan untuk mengetahui umur tanaman padi, digunakan areal sawah PT SHS yang jadwal tanaman padi di setiap bloknya telah diketahui. Hasil analisis statistik spasial terhadap data multitemporal SAR Sentinel-1 dari mulai tanam (1 Juni 2017) yang bersamaan waktunya dengan penerimaan data hingga panen pada suatu blok sawah ditunjukkan dalam Gambar 6.5 untuk hamburan-balik VH, Gambar 6.6 untuk hamburan-balik VV, serta Gambar 6.7 untuk Rasio VH/VV. Dengan demikian, dapat diketahui perubahan pertumbuhan tanaman padi berdasarkan perubahan nilai hamburan-balik data radar Sentinel-1 setiap 12 hari, baik menggunakan hamburan-balik tunggal maupun rasionya. Gambar 6.7 menunjukkan bahwa pada masa penggenangan dan masa tebar tanaman padi (umumnya 3–2 minggu sebelum tanam) tampak nilai hamburan-balik yang semula tinggi (hingga 0,225) menurun hingga saat tanam dan mencapai terendah setelah 12 HST. Lalu, meningkat hingga sampai puncak nilai hamburan-baliknya pada umur padi 86–90 HST. Selanjutnya, menurun yang tidak terlalu tajam hingga panen (120 HST). Fenologi pertumbuhan tanaman padi berdasarkan hamburan-balik tersebut agak berbeda

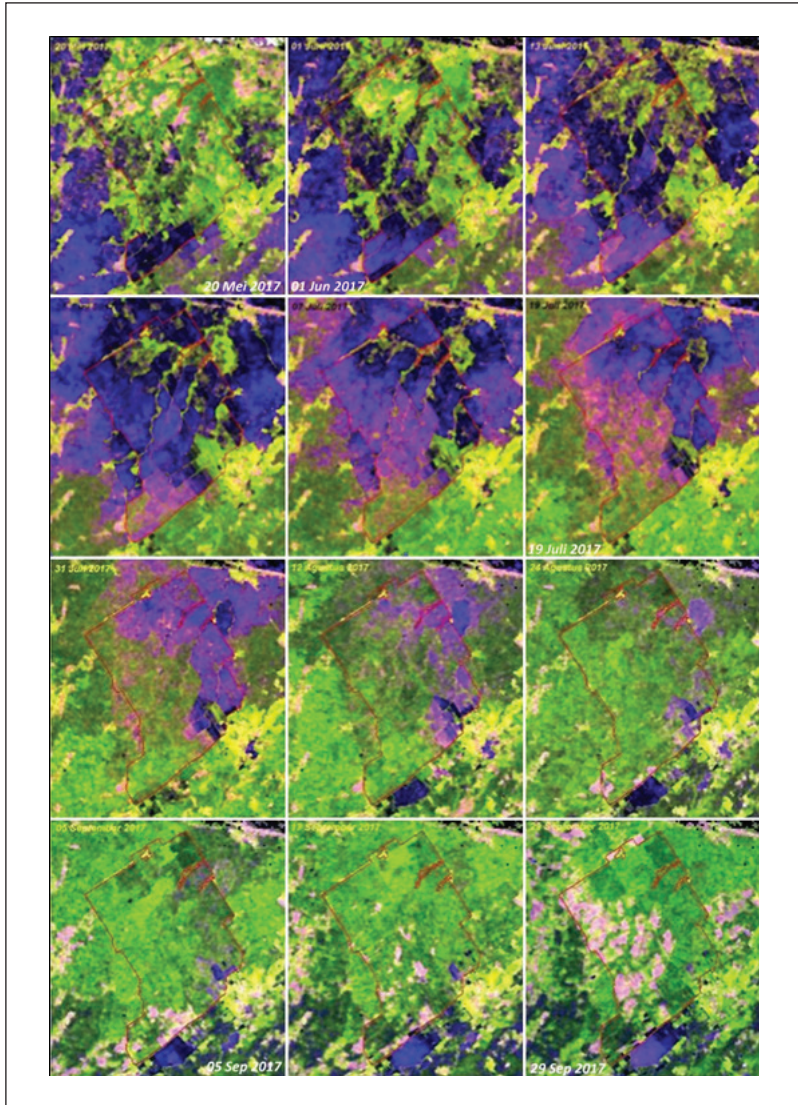


Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 6.3 Profil Pertumbuhan Tanaman Padi Berdasarkan EVI Landsat 8 Multitemporal 16 Harian pada Kelas EVI Maksimum 0,50–0,55

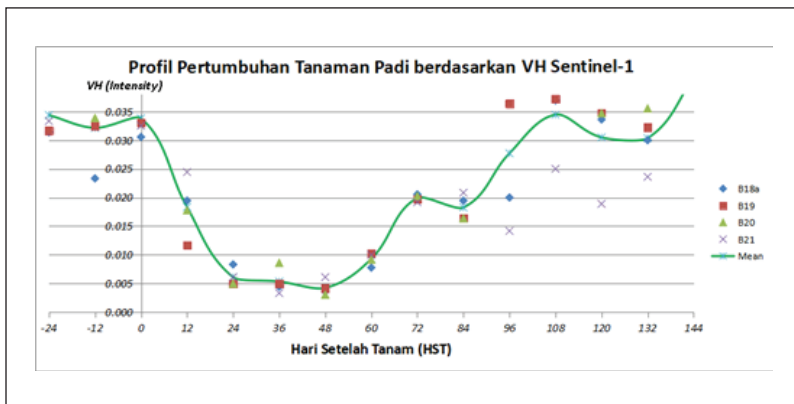
dengan data optik, seperti Landsat 8 yang telah disajikan pada Gambar 6.3.

Gambar 6.5 menunjukkan fluktuasi nilai hamburan-balik VH dari mulai tebar hingga panen dan bera. Diawali dengan nilai hamburan-balik yang relatif lebih besar pada saat tebar (24 hari sebelum tanam) yang didominasi oleh air dan lumpur tanah. Selanjutnya, menurun hingga fase vegetatif awal (24 HST), lalu meningkat kembali melewati fase vegetatif maksimum hingga umur 108 HST pada fase generatif 2. Lalu, nilai hamburan-balik menurun kembali hingga panen (120 HST). Selanjutnya, nilai hamburan-balik meningkat kembali pada fase bera. Hasil temuan ini menunjukkan kondisi yang agak berbeda dengan hasil penelitian Le Toan dkk. (1997) yang tidak menjelaskan adanya fluktuasi dari sebelum tanam hingga usia 20 HST. Fluktuasi nilai hamburan-balik VH ini lebih



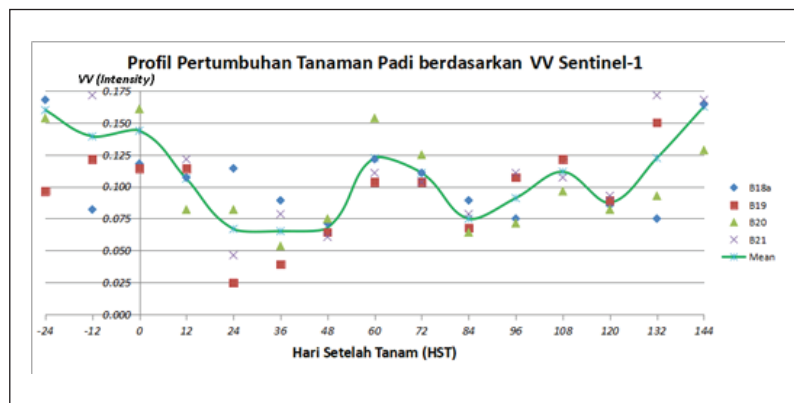
Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 6.4 Citra Komposit RGB Sentinel-1 Areal PT SHS, Subang 20 Mei–29 September 2017



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

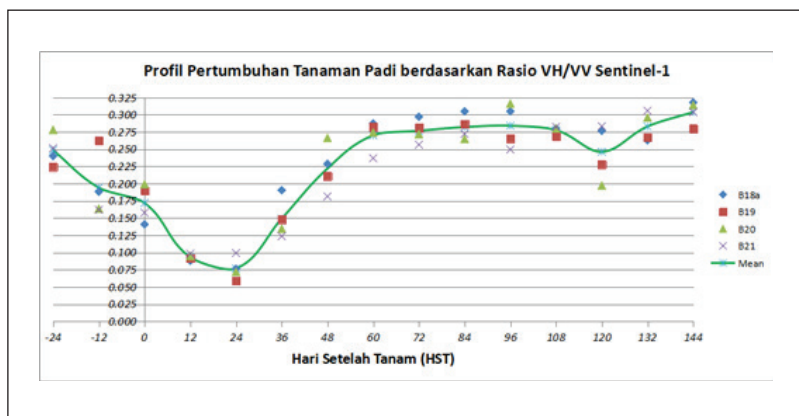
Gambar 6.5 Hamburan-balik Polarisasi VH selama Pertumbuhan Padi Varietas Ciherang



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 6.6 Hamburan-balik Polarisasi VV selama Pertumbuhan Padi Varietas Ciherang

mirip dengan pertumbuhan dan perkembangan tajuk tanaman padi dengan pola khusus yang naik hingga 108 HST. Nilai hamburan-balik masih meningkat pada fase generatif disebabkan oleh kekasaran tajuk akibat tumbuh dan mengeringnya bulir padi. Kondisi yang berbeda ditunjukkan oleh nilai hamburan-balik VV yang tidak memiliki pola khusus pertumbuhan tanaman padi. Nilai hamburan-balik VV lebih berfluktuatif, yaitu naik dan turun, baik pada fase vegetatif maupun generatif, sehingga agak sulit menggunakan parameter VV untuk mendeteksi fase tanaman padi. Hamburan-balik VV faktanya memang lebih sensitif terhadap perubahan kondisi kebasahan tanaman. Hal tersebut ditunjukkan kenampakan tubuh air warna biru dan variasi pada citra RGB VV, VH, VV/VH. Fluktuasi nilai hamburan-balik yang lebih mirip dengan profil pertumbuhan tanaman padi ditunjukkan oleh rasio VH/VV (RPI), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.7 yang memiliki pola yang khas. Fenologi sebelum tanam hingga umur 20 terjadi penurunan drastis nilai RPI dari $>0,25$ hingga $0,05$ lalu meningkat teratur melewati fase vegetatif



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 6.7 Profil Pertumbuhan Tanaman Padi Berdasarkan Rasio Hamburan-balik (VH/VV) Sentinel-1A Multitemporal 12 Harian

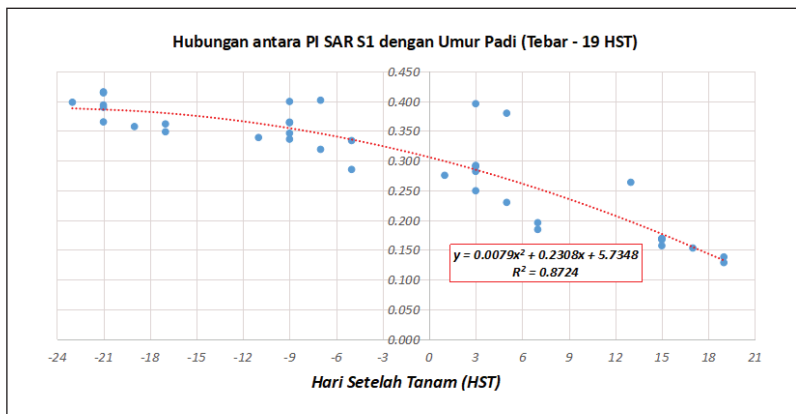
maksimum usia 60–64 HST hingga fase generatif 1 (96 HST) dengan nilai RPI 0,275, lalu menurun sedikit saat fase generatif hingga nilai RPI sebesar 0,25 pada masa panen (120 HST). Selanjutnya, nilai RPI meningkat pada fase bera dengan nilai RPI sekitar 0,3.

3. Hubungan Rasio Hamburan-balik VH/VV Sentinel-1 dengan Umur Padi

Profil pertumbuhan tanaman padi dari sebelum tanam saat tanam hingga panen dan bera secara detail dapat diketahui dengan cara mengekstraksi nilai hamburan-balik pada blok-blok lahan sawah yang diketahui kapan saat tanam dan panen di areal PT SHS, Subang. Pengambilan sampel dilakukan berdasarkan varietas dominan ditanam pada areal sawah di Pulau Jawa, Sumatra, Sulawesi, dan sebagian besar wilayah Indonesia adalah varietas Ciherang. Hasil ekstraksi setiap hamburan-balik polarisasi Rasio VH/VV disajikan pada Gambar 6.8. Selanjutnya, dapat dibuat model pertumbuhannya sehingga dapat diketahui lebih tepat saat usia berapa nilai RPI mulai meningkat kembali antara usia 12–24 HST, saat RPI mencapai nilai puncak, serta terjadi penurunan kembali sebelum panen pada fase generatif 2 seperti yang ditunjukkan oleh RPI Multitempoal pada Gambar 6.8.

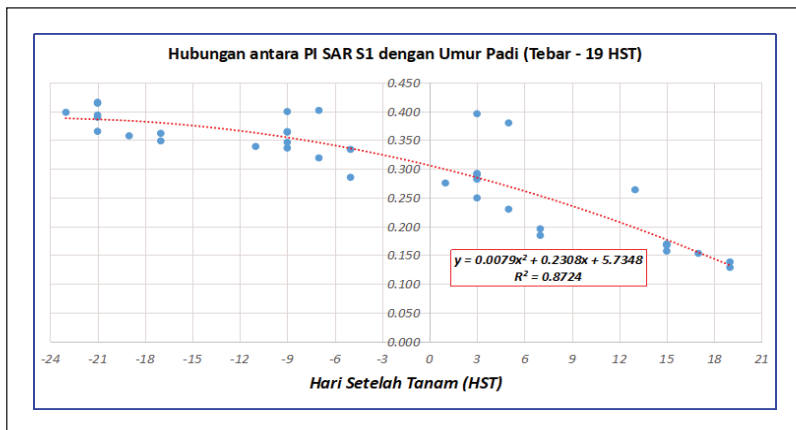
Untuk memisahkan kisaran RPI yang *overlap* di antara fase, dilakukan pemisahan model saat usia sebelum tanam hingga 24 HST dan setelahnya. Hasil analisis regresi hubungan antara RPI dengan umur tanaman padi ditunjukkan pada Gambar 6.9 dan Gambar 6.10. Identifikasi fase tanaman padi ini perlu dilakukan secara berkesinambungan untuk tujuan pemantauan pertumbuhan padi hingga panen apakah berlangsung baik/normal atau tidak. Jadi, bukan kegiatan sesaat seperti halnya klasifikasi biasa untuk pemetaan lahan sawahnya, seperti yang telah dilakukan penulis-penulis lain, antara lain Lam Dao dkk. (2007) menggunakan ENVISAT/ASAR data di Vietnam; Prachmayandini dan Trisasongko (2012) mengguna-

kan kanal L PALSAR di beberapa lokasi di Pantura Jawa Barat; Pazhanivelan dkk. (2013) menggunakan TerraSAR-X di India; Raviz dkk. (2016) menggunakan data SAR kanal X dan C di Filipina; Chuc, Anh, Thuy, Hung, dan Thanh. (2017) menggunakan data Landsat 8 di Vietnam; serta Fathoni, Chulafak, dan Kushardono. (2017) menggunakan Sentinel-1 di daerah Indramayu, Jawa Barat. Metode klasifikasi untuk tujuan operasional pemantauan fase tanaman padi secara berkesinambungan dan meliputi lahan yang luas tidak efektif jika tidak bisa dilakukan secara otomatis. Selain itu, respons spektral dari data optik maupun hamburan-balik radar yang dijadikan acuan *training area* bisa berubah kisaran nilainya pada periode atau musim yang berbeda. Identifikasi fase tanaman padi akan lebih mudah dan cepat dilakukan dengan parameter ageobiofisik menggunakan indeks yang sejalan dengan fenologi pertumbuhan tanaman padi itu sendiri. Pada fase sebelum tanam yang didominasi air hingga vegetatif awal saat 19 HST, fase vegetatif hingga maksimum, fase generatif dan bera tanaman padi memiliki karakteristik khusus yang dapat dideteksi oleh kisaran nilai indeks. Maspiyanti, Fanany, dan Arymurthy.



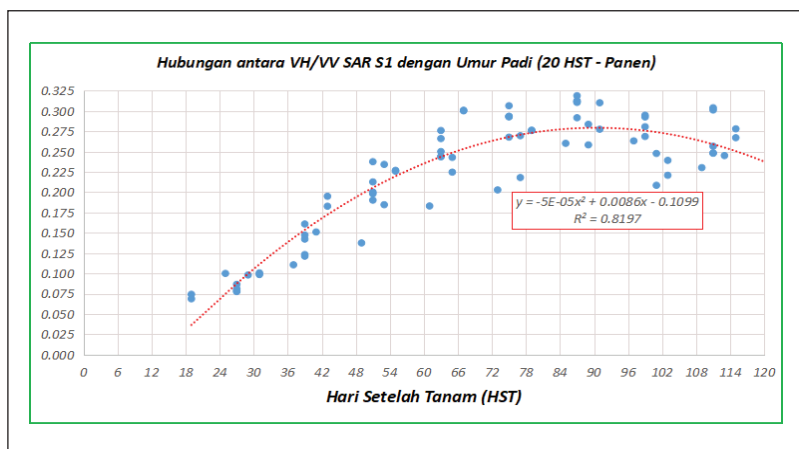
Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 6.8 Hamburan-balik Polarisasi VH/VV selama Pertumbuhan Padi Varietas Cihayang



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 6.9 Korelasi Hamburan-balik Polarisasi VH/VV dengan Umur Padi Varietas Ciherang dari Sebelum Tanam (Tebar) hingga Umur Vegetatif Awal (19 HT)

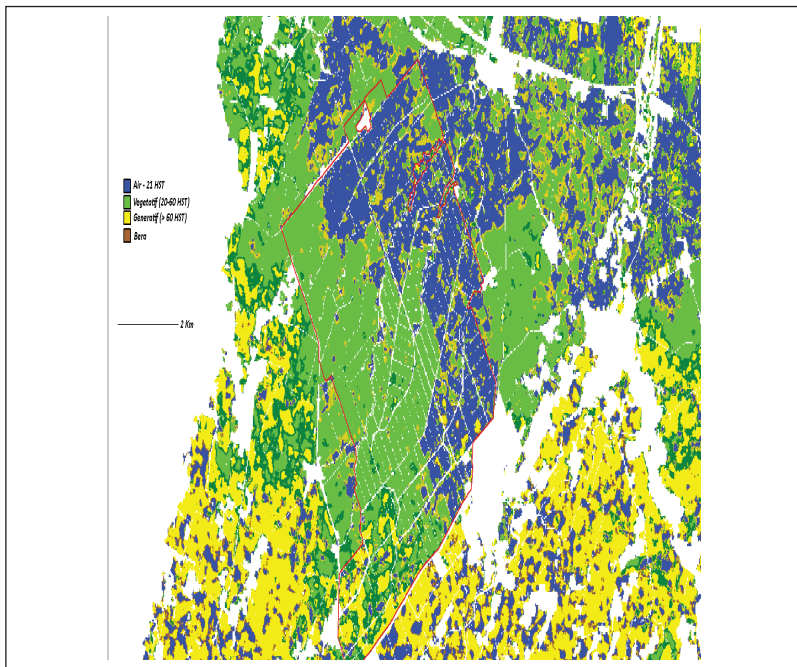


Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 6.10 Korelasi Hamburan-balik Polarisasi VH/VV dengan Umur Padi Varietas Ciherang dari Umur Vegetatif Awal (19 HT) hingga Panen

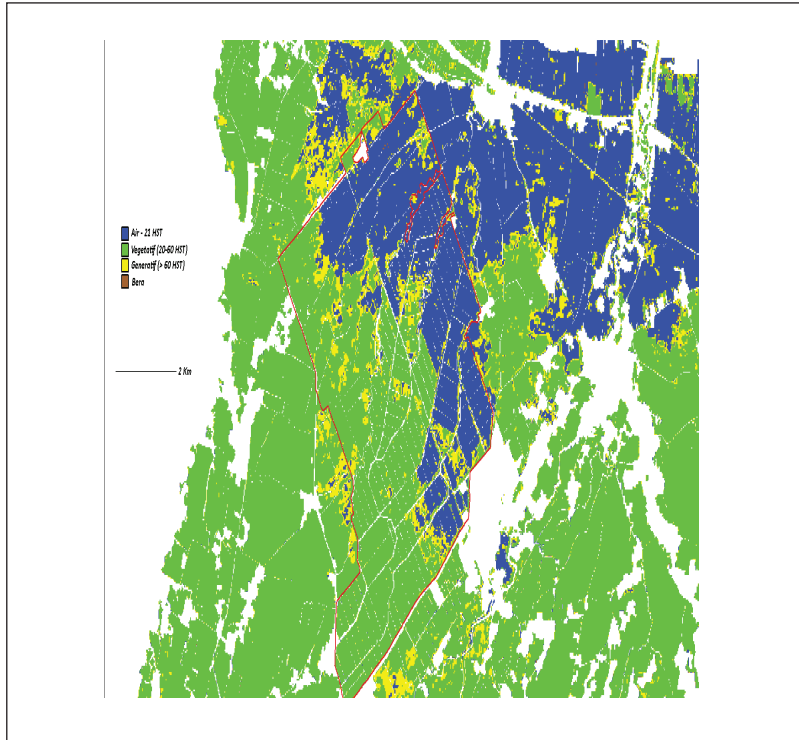
(2013) telah melakukan klasifikasi fase padi menggunakan data hiperspektral dengan hasil yang cukup baik. Kelangkaan data hiperspektral tidak memungkinkan metode tersebut dilakukan untuk tujuan operasional pemantauan fase tanaman padi.

Berdasarkan model yang dihasilkan pada masa tebar, persiapan awal yang didominasi air hingga 20 HST yang sudah bercampur, dapat diketahui nilai terendah RPI terjadi pada saat usia 19 HST, dan nilai maksimum terjadi pada umur 84–90 HST. Selanjutnya, fase tanaman maupun umur padi lebih detail dapat dihasilkan menggunakan nilai rasio hamburan-balik VH/VV data SAR Sentinel-1 berdasarkan dua model tersebut. Contoh hasilnya disajikan pada Gambar 6.11 untuk



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

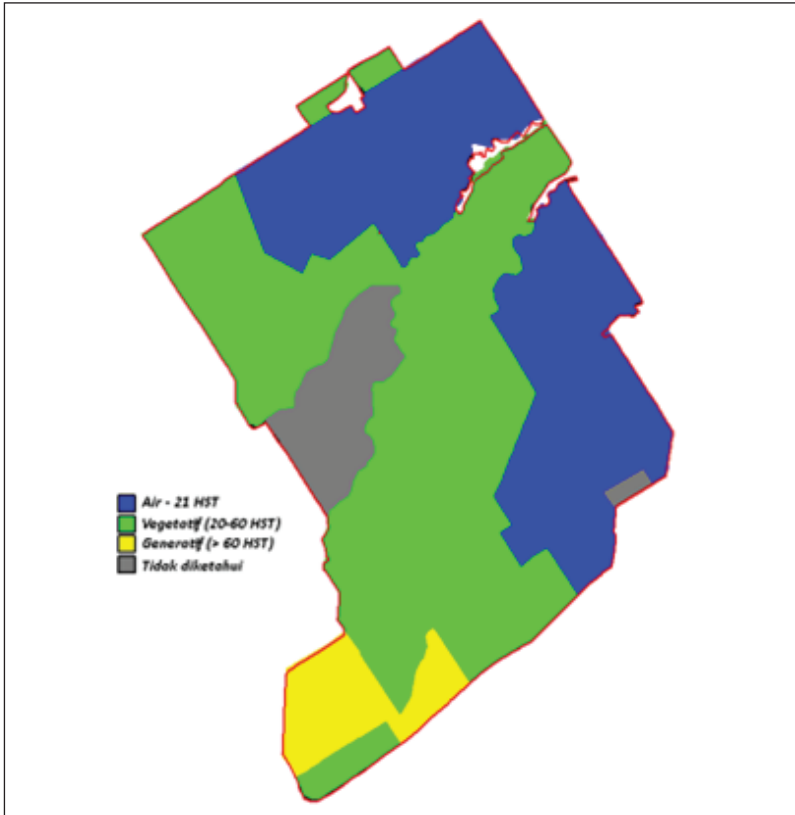
Gambar 6.11 Fase Tanaman Padi 19 Juli 2017, PT SHS dan Sekitarnya Berdasarkan Data SAR Sentinel-1



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 6.12 Citra Fase Tanaman 19 Juli 2017, (PT SHS), dan Sekitarnya Berdasarkan Landsat 8

data SAR dan sebagai pembandingnya hasil dari data Landsat-8 pada Gambar 6.12, di mana validasi hasil dari data SAR sebesar 68% dibandingkan informasi fase tanaman padi di blok sawah PT SHS (Gambar 6.13). Hasil uji menunjukkan masih banyak terjadi kesalahan deteksi pada fase generatif.



Sumber: PT SHS (2017)

Gambar 6.13 Referensi Fase Padi di PT SHS 19 Juli 2017

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kuantitatif nilai hamburan-balik terhadap tiap-tiap data Polarisasi SAR Sentinel-1, yaitu VH, VV, dan rasio VH/VV (RPI), parameter RPI lebih baik digunakan karena perubahannya selama pertumbuhan tanaman padi lebih mendekati fenologi pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi yang dipisah menjadi dua model sebelum dan sesudah umur 19 HST. Perlu dikaji lebih lanjut untuk verifikasi dan validasi model menggunakan

tanggal dan varietas tanaman padi yang berbeda serta dilaksanakan di area yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS, BPPT. (2018). Luas panen dan produksi beras 2018. Jakarta, BPS.
- Chuc, M. D., Anh, N. H., Thuy, N. T., Hung, B. Q., & Thanh, N. T. N. (2017). Paddy rice mapping in Red River Delta region using Landsat 8 images: preliminary results. *Proceedings of IEEE The 9th International Conference on Knowledge and Systems Engineering*, 209–214, DOI: 10.1109_kse.2017.8119460
- Dirgahayu, D., Parsa, I. M., & Harini, S. (2016). Kegiatan penelitian dan pengembangan pemanfaatan data penginderaan jauh untuk pemantauan fase padi. *Laporan Teknis Internal Kegiatan Tahun Anggaran 2016*. Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN.
- Dirgahayu, D. (2017). The method for detecting biological parameter of rice growth and early planting of paddy crop by using multi temporal remote sensing data. *Proceedings of IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol 54.
- Eastman, R., Warren, S. G., & Hahn, C. J. (2011). Variations in cloud cover and cloud types over the ocean from surface observations, 1954–2008. *Journal of Climate*, 24: 5914–5934; DOI :10.1175/2011JCLI3972.1
- Fathoni, M. N., Chulafak, G. A., & Kushardono, D. (2017). Kajian awal pemanfaatan data radar Sentinel-1 untuk pemetaan lahan baku sawah di Kabupaten Indramayu Jawa Barat. *Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2017*.
- Hafizh, A. S. (2013). *Analisa Pertumbuhan Padi Menggunakan Algorithma EVI dan NDVI pada Citra Multispektral*. Jurusan Teknik Geomatika. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Lam Dao, N., Apan, A., Young, F., Le Van, T., Le Toan, T., & Bouvet, A. (2007). Rice monitoring using ENVISAT-ASAR data: Preliminary results of acase study in the Mekong River Delta, Vietnam. *Proceedings of The 28th Asian Conference on Remote Sensing 2007*, ISBN 978-983-43550-0-5.

- Le Toan, T., Ribbes, F., Wang, Li-Fang., Flourey, N., Ding, Kung-Hau., Au Kong, J., Fujita, M., & Kurosu, T. (1997). Rice crop mapping and monitoring using ERS-1 data based on experiment and modeling results. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35(1): 41–56; DOI:10.1109/36.551933.
- Maspiyanti F., Fanany, M. I., & Arymurthy, A. M. (2013). Klasifikasi fase pertumbuhan padi berdasarkan citra hiperspektral dengan modifikasi logika fuzzy. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Citra Digital*, 10(1): 39–46.
- Parsa, I. M. (2015). Pemanfaatan citra penginderaan jauh resolusi menengah Landsat untuk uji ketelitian informasi spasial fase pertumbuhan padi berbasis citra MODIS. *Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh*. Bogor, 13 November 2015. ISBN: 978-979-1458-95-5: 425–432.
- Pazhanivelan, S., Kannana, P., Marya, P. Christy N., Subramaniana, E., Jeyaramana, S., Nelson, A., Setiyono, T., Holeczc, F., Barbieri, M., & Yadav, M. (2013). Rice crop monitoring and yield estimation through Cosmo Skymed and TerraSAR-X : a SAR-based experience in India. *Proceedings of The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Volume XL-7/W3*, 85–92; DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-85-2015.
- Prachmayandini, R., & Trisasongko, B. H. (2012). Monitoring paddy fields using backscatter properties of ALOS PALSAR scanSAR. *Majalah Ilmiah Globe*, 14(1): 70–77.
- Raviz, J., Laborte, A., Barbieri, M., Mabalay, M. R., Gracia, C., Bibar, J. E. A., Mabalot, P., & Gonzaga, H. (2016). Mapping and monitoring rice areas in Central Luzon Philippines using X and C-band SAR imagery. *Proceedings of Asian Association on Remote Sensing 2016*.
- Sumarno. (2016). Periodisasi musim tanam padi sebagai landasan manajemen produksi beras nasional. *Sinar Tani No. 3136*.
- Syhabuddin, H. (2015). Sistem informasi katam terpadu versi 2.1 dan standing crop. *Verifikasi Standing Crop di Empat Kabupaten Jawa Barat*. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi. Kementerian Pertanian.

BAB 7



Model Pertumbuhan Kelapa Sawit Menggunakan Data Terrasar-X Polarisasi HH

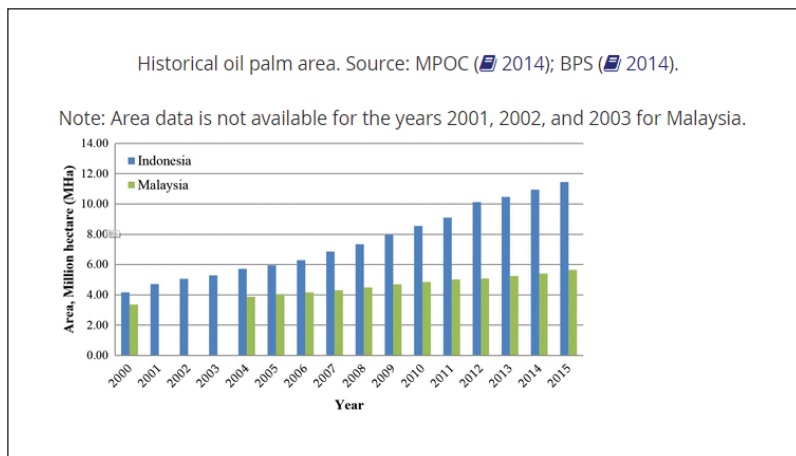
Ita Carolita, Dede Dirgahayu, Tatik Kartika,
Johanes Manalu, dan Heru Noviar

Produktivitas kelapa sawit sangat tergantung pada usianya. Hasil penelitian Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) menunjukkan bahwa produktivitas meningkat mulai dari usia menghasilkan sampai dengan usia sekitar 13 tahun, kemudian terjadi penurunan. Oleh karena itu, pemetaan kelapa sawit berdasarkan usia akan bermanfaat untuk mengetahui produksi minyak kelapa sawit, di mana data dari satelit penginderaan jauh diharapkan dapat diaplikasikan untuk melakukan pemetaan umur kelapa sawit.

A. PEMETAAN PERKEBUNAN KELAPA SAWIT

Kelapa sawit adalah spesies pohon palem yang ditanam secara luas di Asia Tenggara, terutama di Indonesia, Malaysia, dan Thailand. Pohon ini memiliki kemampuan menghasilkan minyak tertinggi di antara tanaman minyak lain, seperti kedelai, *rapeseed*, dan bunga matahari. Minyak kelapa sawit telah menjadi minyak nabati yang paling banyak dikonsumsi di dunia (35% pada 2016) (Statista, 2017). Dengan meningkatnya permintaan minyak nabati, banyak

lahan dikonversi menjadi perkebunan kelapa sawit termasuk lahan pertanian yang ada, terutama di dua negara penghasil kelapa sawit utama, yaitu Indonesia dan Malaysia. Wilayah gabungan dari negara-negara ini mencakup 17,0 Mha tanah pada 2015 (lihat Gambar 7.1) (Chong, Kanniah, Pohl, & Tan, 2017).



Sumber: Chong dkk. (2017)

Gambar 7.1 Luas Area Perkebunan Kelapa Sawit di Indonesia dan Malaysia

Data umur pohon kelapa sawit dapat digunakan dalam pertanian presisi. Informasi tentang usia pohon kelapa sawit dan distribusi spasialnya sangat berguna dalam organisasi atau pengelolaan minyak perkebunan kelapa sawit dan salah satu variabel penting yang memengaruhi laba. (Tan, Kanniah, & Cracknell, 2015).

Penginderaan jauh memiliki potensi signifikan untuk membantu upaya pemetaan dan pemantauan perkebunan kelapa sawit. Karena banyak perkebunan kelapa sawit berada di daerah tropis, data dari satelit *Synthetic Aperture Radar* (SAR) sangat penting untuk mengatasi masalah awan yang sering timbul. SAR adalah sensor aktif yang beroperasi dalam segala kondisi cuaca sehingga informasi siang hari sepanjang tahun yang dibutuhkan dapat diperoleh. SAR sensitif

terhadap tekstur, ukuran dan orientasi benda struktural, kadar air dan kondisi tanah (Pohl & Loong, 2016). Penggunaan SAR dengan polarisasi lengkap dapat memperlihatkan hubungan yang jelas antara nilai hamburan-balik, tekstur permukaan, dan kondisi tanaman. (Darmawan, Takeuchi, Haryati, Najib, & Na'aim, 2016).

TerraSAR-X adalah satelit pengamat pencitraan radar Bumi, adalah usaha patungan yang dilakukan di bawah kemitraan publik-swasta antara *German Aerospace Centre* (DLR) dan EADS Astrium. Pada tahun 2017, Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh LAPAN melakukan *upgrading* stasiun bumi untuk menerima data satelit Pleiades (resolusi spasial 0,5 m) dan data satelit TerraSAR-X (resolusi spasial sampai dengan 3 m). Data kedua satelit ini diterima di Stasiun Bumi Penginderaan Jauh Parepare, Sulawesi Selatan. Dengan *array* bertahap antena apertur sintetis (SAR) (panjang gelombang pita X 31 mm, frekuensi 9,6 GHz), TerraSAR-X mengakuisisi citra radar berkualitas tinggi baru dari seluruh planet sementara mengelilingi Bumi dalam orbit kutub di ketinggian 514 km (Buckreuss, 2010).

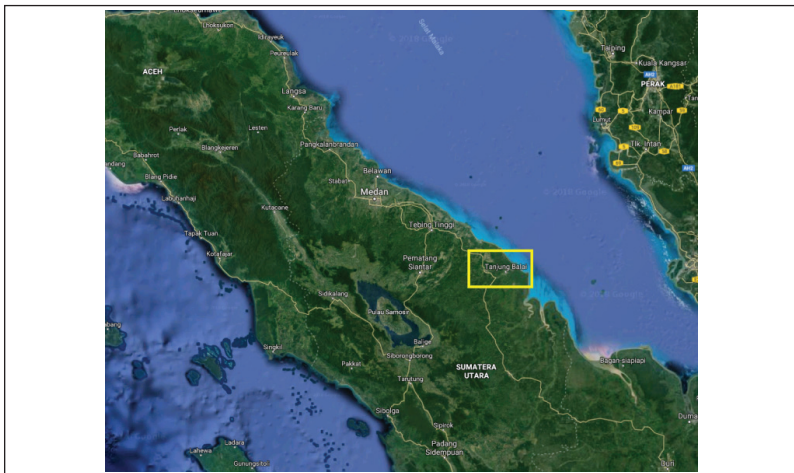
Penelitian sebelumnya dengan menggunakan data SAR ALOS, yaitu dengan kanal L, memperlihatkan pertumbuhan kelapa sawit di Kabupaten Landak Kalimantan Barat dapat direpresentasikan dalam persamaan logaritmik dengan $R^2 = 60\%$ (Carolita, Kartika, Darmawan, Dirgahayu, & Manalu, 2016), dan dari penelitian pada perkebunan rakyat di Kotawaringin Barat Kalimantan Tengah dengan menggunakan data SAR ALOS, diketahui bahwa hubungan antara umur dan nilai hamburan-balik cukup kuat, dengan R^2 bernilai 0,55 untuk polarisasi HH (Okarda, Carolita, Kartika, & Komarudin, 2018). Suatu studi di perkebunan skala besar di Malaysia telah menemukan korelasi hamburan-balik ALOS-2 PALSAR-2 dengan usia (Darmawan dkk., 2016). Studi lain menemukan kanal inframerah-dekat UK-DMC 2, fraksi bayangan, dan filter rata-rata dari Grey-Level Co-occurrence Matrix (GLCM) menunjukkan korelasi kuat dalam memperkirakan usia pohon kelapa sawit (Tan dkk., 2013).

Pada bab ini, dibahas model pertumbuhan kelapa sawit dengan menggunakan SAR kanal X, di mana model ini selanjutnya dapat digunakan untuk pemetaan perkebunan kelapa sawit berdasarkan usianya.

B. PENGOLAHAN DATA SAR

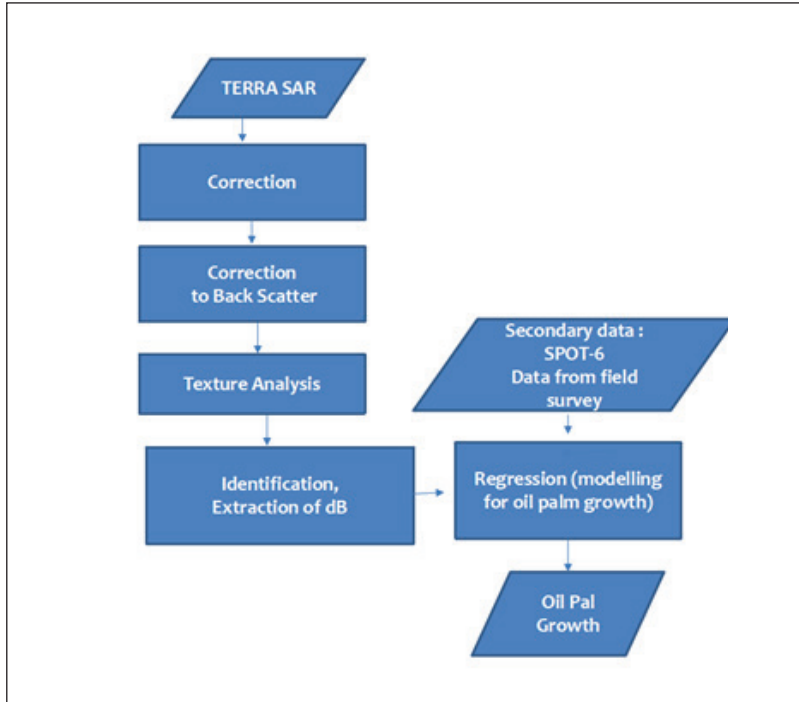
Uji coba pengolahan data SAR dilakukan di Kabupaten Asahan Sumatra Utara (Gambar 7.2). Daerah perkebunan terletak pada posisi 2,98 BT; 99,67 LU dan 2,92 BT; 99,75 LU. Jenis tanah di area ini adalah tanah aluvial, *glay* humus, regosol, dan podsolik merah kuning. Data primer yang digunakan adalah data TerraSAR-X polarisasi HH Juli 2017 yang diperoleh Pustekdata LAPAN. Data pendukung adalah data SPOT 6 tahun 2015 dan data kalender tanam yang diperoleh dari PPKS. Pengolahan data SAR dilakukan mengikuti diagram alir seperti pada Gambar 7.3.

Identifikasi dan klasifikasi penggunaan lahan untuk mengidentifikasi perkebunan kelapa sawit dilakukan dengan menggunakan



Sumber: Google Maps (2018)

Gambar 7.2 Lokasi Penelitian, Kabupaten Asahan Sumatra Utara



Sumber: Hasil Pemikiran Penulis (2018)

Gambar 7.3 Diagram Alir Pengolahan Data

hasil analisis tekstur. Koreksi nilai hamburan-balik juga dilakukan pada polarisasi HH, kemudian dilakukan tekstur analisis dengan *filter correlation* dari *Grey-Level Co-occurrence Matrix (GLCM)* pada setiap umur kelapa sawit dengan menggunakan persamaan 1.

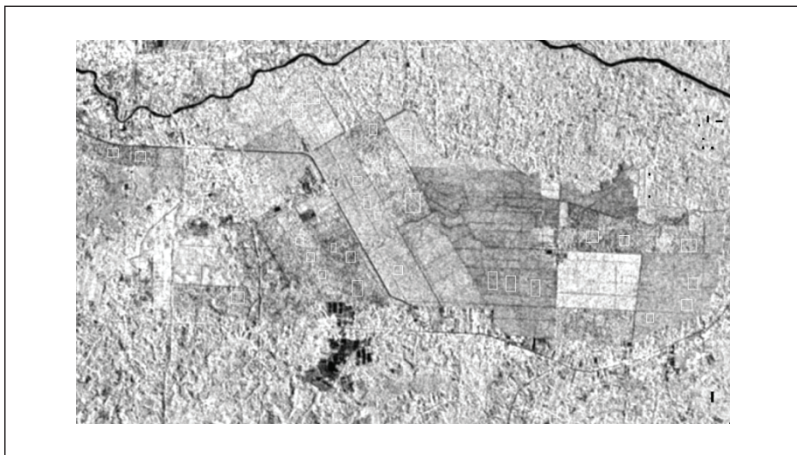
$$f_3 = \frac{\sum_i \sum_j (ij)p(i,j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

di mana μ_x , μ_y , σ_x dan σ_y adalah nilai rata-rata dan standar deviasi dari p_x dan p_y , (Harallick dkk., 1973).

C. MODEL PERTUMBUHAN KELAPA SAWIT DARI DATA SAR

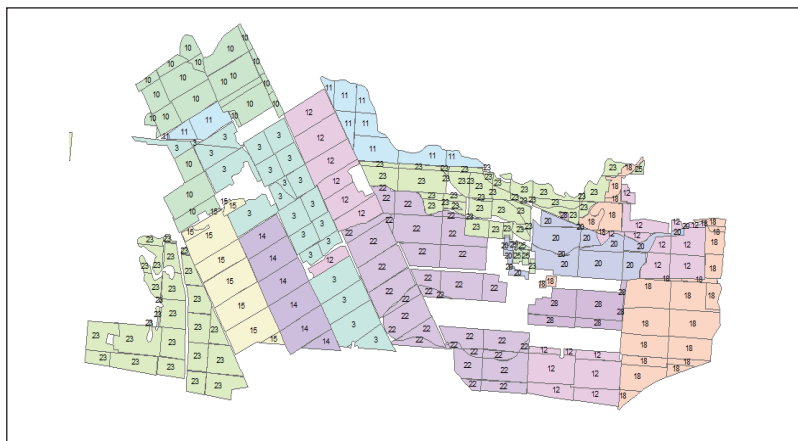
Data TerraSAR-X yang digunakan memiliki polarisasi tunggal, yakni polarisasi HH. Gambar 7.4 adalah citra TerraSAR-X area perkebunan kelapa sawit Kabupaten Asahan yang telah dikoreksi menjadi nilai hamburan-balik dan tekstur analisis dengan *filter correlation*. Sementara, Gambar 7.5 adalah data usia tanaman kelapa sawit (kalender tanam) untuk setiap blok untuk perkebunan tersebut yang digunakan untuk membuat model pertumbuhan. Informasi usia terdapat di setiap blok tersebut.

Jika dibandingkan antara kenampakan dari citra optik resolusi tinggi dan citra TerraSAR-X (Gambar 7.6), terlihat bahwa data TerraSAR-X menunjukkan nilai hamburan -balik yang tinggi pada kelapa sawit dengan usia muda, hamburan-baliksedangkan kelapa sawit yang tua memberikan nilai hamburan-balik yang rendah. Hal ini disebabkan kerapatan mahkota daun lebih tinggi pada kelapa sawit usia tua.



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 7.4 Citra TerraSAR-X Daerah Perkebunan Kelapa Sawit, Asahan Sumatra Utara



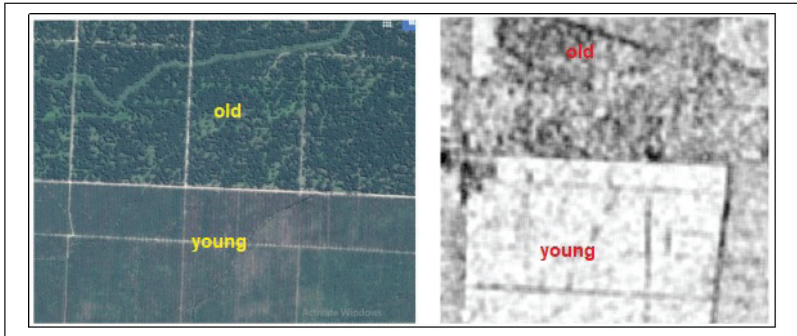
Sumber: Pusat Penelitian Kelapa Sawit (2017)

Gambar 7.5 Kalender Tanam Perkebunan Kelapa Sawit di Asahan Sumatra Utara dengan Informasi Usia (Dalam Tahun)

Analisis hamburan-balik SAR di setiap tingkat usia dilakukan dengan menggunakan analisis regresi dan menggunakan data yang diperoleh dari setiap polarisasi dilakukan untuk mengetahui hubungan ini, di mana sebagai variabel bebas adalah usia dan variable tidak bebas adalah nilai hamburan-balik. Tujuan pembuatan model ini untuk membuat model pertumbuhan kelapa sawit. Dari plot setiap data (nilai hamburan-balik pada suatu usia) menunjukkan nilai hamburan-balik TerraSAR-X tanaman kelapa sawit menurun dari usia 2 tahun sampai sekitar 24 tahun (Gambar 7.7).

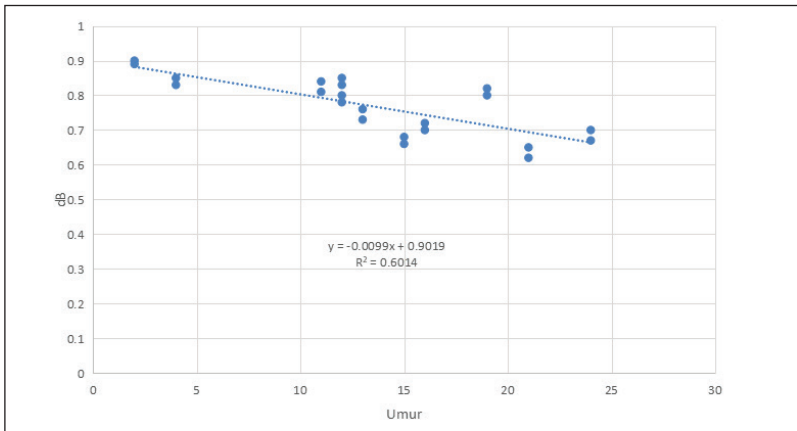
Penurunan nilai ini disebabkan jarak mahkota daun kelapa sawit muda berjauhan sehingga memberikan kekasaran permukaan yang tinggi (kombinasi lahan dengan permukaan tanah dan tanaman) dan sinyal gelombang X memberikan nilai yang tinggi. Semakin bertambah usianya, jarak mahkota daunnya semakin rapat (Gambar 7.8). Kerapatan yang tinggi ini menyebabkan permukaan objek menjadi relatif lebih halus daripada kerapatan rendah sehingga nilai hamburan-balik menjadi rendah. Hal ini juga disebabkan

tinggi pohon kelapa sawit di blok yang sama mempunyai ketinggian yang sama. Penelitian yang dilakukan oleh Rauste (2008) menemukan korelasi negatif antara nilai hamburan-balik dari kanal X citra TerraSAR-X dengan biomassa tanaman, sedangkan biomassa mempunyai korelasi positif dengan usia tanaman.



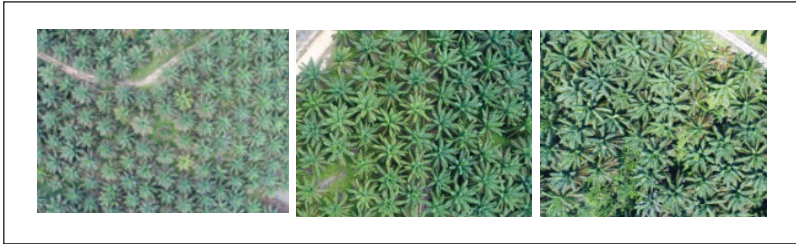
Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 7.6 Perbandingan Penampakan pada Citra Optik Resolusi Tinggi (kiri) dan Citra TerraSAR-X (kanan) pada Usia Muda dan Tua



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 7.7 Hubungan Antara Umur Kelapa Sawit dan Nilai Hamburan-balik TerraSAR-X



Sumber: Carolita, Kartika, dan Darmawan (2018)

Gambar 7.8 Kerapatan Mahkota Daun Kelapa Sawit pada Usia 8 Tahun, 19 Tahun, dan 23 Tahun

Model yang diperoleh adalah model pertumbuhan tanaman kelapa sawit sebagai berikut:

$y = -0.01X + 0.002$, dengan $R^2 = 0.6834$ di mana x adalah umur kelapa sawit dan y adalah nilai hamburan-balik TerraSAR-X. Pemetaan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan ini, baik dengan satu tanggal maupun dua tanggal, sehingga diperoleh peta kelapa sawit berdasarkan usianya.

D. KESIMPULAN

Dari penelitian ini, diperoleh profil pertumbuhan kelapa sawit berdasarkan nilai hamburan-balik SAR dari TerraSAR-X. Pertumbuhan kelapa sawit mulai dari usia muda (0 tahun) sampai usia sekitar 25 tahun diindikasikan dengan menurunnya nilai hamburan-balik. Persamaan regresi untuk model pertumbuhan yang diperoleh adalah $y = -0.01x + 0.002$ untuk polarisasi HH, dengan nilai $R^2 = 0.6834$, di mana $y =$ nilai hamburan-balik (dB) dan $x =$ usia kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

Buckreuss, S. (2010), The TerraSAR-X mission and system design. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(2): 606–614.

- Carolita, I., Arifin, S., & Setiawan, P. (2018). *Pengembangan model klasifikasi lahan kelapa sawit berbasis data penginderaan jauh resolusi menengah optik dan SAR*, LAPAN (laporan survei lapangan, tidak dipublikasikan).
- Carolita, I., Kartika, T., Darmawan, S., Dirgahayu, D., & Manalu, J. (2016). Estimation the age of oil palm using PALSAR ALOS (Case Study: Landak, West Kalimantan), Yogyakarta, 2nd ICOIRS Proceeding, Yogyakarta.
- Darmawan, S., Takeuchi, W., Haryati, A., Najib, A.M.R., & Na'aim, M. (2016). An investigation of age and yield of fresh fruit bunches of oil palm based on ALOS PALSAR-2. 8th IGRSM International Conference and Exhibition on Remote Sensing & GIS (IGRSM 2016) IOP Publishing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 37: 012037. DOI:10.1088/1755-1315/37/1/012037.
- Chong, K. L., Kanniah, K. D., Pohl, C., & Tan, K. P. (2017). A review of remote sensing application for oil palm studies. *Geo Spatial Information Science* (20-2).
- Google Maps. (2018). <https://www.google.com/maps/@3.1769745,97.5649896,431469m/data=!3m1!1e3!5m1!1e2>
- LAPAN. (2018). Data Satelit resolusi sangat tinggi sudah bisa diterima stasiun bumi LAPAN. Diakses 15 Maret 2018 dari inderaja.lapan.go.id/index.php/subblog/read/2018/315/Data-Satelit-Resolusi-Sangat-Tinggi-Sudah-Bisa-diterima-Stasiun-Bumi-LAPAN.
- Okarda, B., Carolita, I., Kartika, T., & Komarudin, H. (2018). *Mapping of smallholder oil palm plantation and development of a growth mode*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing.
- Pohl, C., & Loong, C.K. (2016). *In-situ data collection for oil palm tree height determination using synthetic aperture Radar*. 9th Symposium of the International Society for Digital Earth (ISDE) IOP Publishing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 34: 012027.
- Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS). (2009). *Standard Produksi Kelapa Sawi*. Buku Product Knowledge. Medan, Indonesia.
- Rauste, Y. (2008). *Mapping boreal forest biomass with imagery from polarimetric and semi-polarimetric SAR sensors*. VIII Seminário de

Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Floresta.

- Statista (2017). Consumption of vegetable oils worldwide from 2013/14 to 2017/2018, by oil type (in million metric tons), US Department of Agriculture; USDA Foreign Agricultural Service. Diakses dari <https://www.statista.com/statistics/263937/vegetable-oils-global-consumption/> tanggal 5 Maret 2018.
- Tan, K. P., Kanniah, K. D., & Cracknell, A. P. (2013). Use of UK-DMC 2 and ALOS PALSAR for studying the age of oil palm trees in Southern Peninsular Malaysia. *Remote Sensing*, 34: 7424–46. DOI :10.1080/01431161.2013.822601.
- Tan, K. P., Kanniah K. D., & Cracknell, A. P. (2015) Use of UK-DMC 2 and ALOS PALSAR for studying the age of oil palm trees in southern peninsular Malaysia, *International Journal of Remote Sensing*, February 2015, pp. 37–41.

BAB 8



Identifikasi *Standing Crop* Tanaman Tebu Menggunakan Data Radar SAR Sentinel-1

Sharfina Puteri dan Rizhatus Shofiyati

Penginderaan jauh adalah solusi ideal untuk lahan luas yang terkait dengan pertanian karena menyediakan cakupan yang memadai dengan resolusi spasial yang tinggi. Penggunaan pengindraan jarak jauh dalam pemetaan dan pemantauan tebu memberikan solusi terhadap praktik padat karya serta memakan waktu dan biaya yang terkait dengan pemantauan tanaman secara manual.

Standing Crop (SC) merupakan model performa suatu tanaman yang mencakup beberapa fase pertumbuhannya yang dapat diamati pada luasan tertentu dan pada setiap titik waktu tertentu. *Standing Crop* menitikberatkan pada pemantauan pertanaman yang masih tegak atau tumbuh di lapangan yang terdiri dari beberapa fase tumbuh tanaman tersebut. Pemantauan *Standing Crop* sangat bermanfaat untuk menyajikan informasi terkini secara *real time* yang berkaitan dengan pertanaman tebu dan jagung pada suatu wilayah atau lokasi tertentu (BPTP Kalimantan Tengah, 2016).

A. STANDING CROP TEBU DARI DATA SATELIT

Lahan pertanian memiliki fungsi strategis sebagai penyedia bahan pangan utama. Tebu merupakan salah satu komoditas pangan yang menjadi sasaran swasembada yang dicanangkan pemerintah saat ini. Namun, perubahan iklim menjadi ancaman serius bagi keberlanjutan produksi pangan, seperti kekeringan yang terjadi lebih sering dalam beberapa tahun terakhir. Oleh karena itu, diperlukan data dan informasi yang baik dan benar dalam sistem informasi yang terintegrasi (Balai Penelitian & Pengembangan Pertanian, 2014).

Fase pertumbuhan tanaman dapat membantu menentukan tindakan apa yang perlu dilakukan sehingga pengambil kebijakan mengetahui jumlah, distribusi, dan penggunaan pupuk, pestisida, serta membantu penanganan wilayah-wilayah yang terdampak bencana, terutama kekeringan dan banjir.

Penggunaan penginderaan jauh (indraja) telah banyak digunakan dalam sistem berskala besar untuk memprediksi dan memantau panen tanaman industri dan dalam jasa pertanian presisi (Todoroff & Kemp, 2016). Penggunaan indraja untuk memantau area pertanian dan mencirikan praktik tanaman memberikan dasar untuk manajemen dan pengoptimalannya (Baghdadi, Boyer, Todoroff, Hagg, & Begue, 2009). Data satelit dan teknologi indraja mampu memberikan informasi multispasial, multiwaktu, multispektral, dan multi-sensor. Kemampuan tersebut memungkinkan data dan teknologi indera dapat menjadi alternatif mendukung pemantauan di lapangan, terutama perubahan kondisi tutupan lahan, termasuk masa tanam di lahan sawah (Shofiyati, 2011). Citra optik seperti Landsat ETM telah dimanfaatkan dalam pemetaan lahan sawah (Septiana, Iswati, & Panuju, 2011; Nuarsa, Nishio, & Hongo, 2011). Namun, pemanfaatan citra optik ini kadang terbatas karena kondisi atmosfer dan tutupan awan (Davidse, 2015). Dengan kendala tersebut, saat ini banyak dikembangkan kajian mengenai pemantauan lahan sawah dengan menggunakan *Synthetic Aperture Radar* (SAR)

(Prachmayandini & Trisasongko, 2012). Penggunaan data SAR untuk aplikasi pemantauan tanaman tebu juga memberikan keuntungan dibandingkan citra optik. SAR yang memiliki kemampuan untuk memperoleh citra dengan variabilitas spasial dan temporal yang besar tanpa memperhatikan kondisi atmosfer, dan dengan demikian mampu menghasilkan dataset yang lengkap dan konsisten (McNairn, Soria-Ruiz, & Fernandez, 2009).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas penggunaan SAR untuk aplikasi pemantauan tanaman tebu dengan menganalisis hasil klasifikasi dan nilai hamburan-balik tebu Citra Radar Sentinel-1.

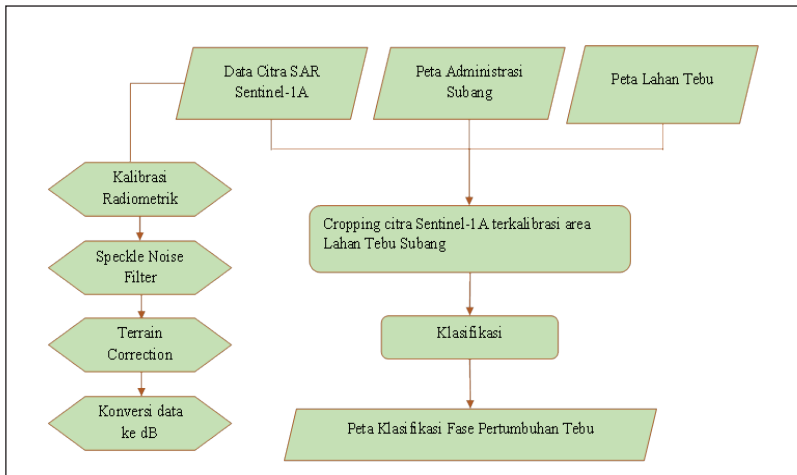
B. STUDI DATA SAR UNTUK MONITORING PERTUMBUHAN TEBU

Data yang digunakan dalam studi monitoring pertumbuhan tebu adalah citra Sentinel-1A yang diperoleh dari pihak LAPAN. Citra Sentinel-1A yang digunakan memiliki waktu akuisisi citra mulai 25 Mei 2016 hingga 17 Juni 2018 sebanyak 25 tanggal data.

Pada studi ini digunakan juga data peta vektor Kabupaten Subang dan data peta vektor lahan tebu PG Subang sebagai referensi dalam proses subset data. Kabupaten Subang dipilih sebagai lokasi kajian terkait dengan peranannya sebagai salah satu sentra produksi tebu di Indonesia. Secara detail, titik contoh pada lokasi penelitian tersebar di wilayah Kabupaten Subang, di mana terdapat perkebunan tebu PG Subang.

Tahapan pengolahan data diawali dengan melakukan koreksi, kalibrasi, dan subset atau *cropping* daerah Kabupaten Subang pada citra Sentinel-1A menggunakan perangkat lunak *The Sentinel Application Platform* (SNAP). Tahap proses kalibrasi yang dilalui, yaitu kalibrasi radiometrik, koreksi *speckle*, koreksi geometrik, serta konversi nilai koefisien hamburan-balik ke besaran *decibel* (dB). Kemudian, citra yang telah dikoreksi tersebut dijadikan satu (*di-stack*) dalam suatu basis data spasial.

Citra hasil proses koreksi tersebut dibuat menjadi citra komposit yang dibangun dari kombinasi band VV, VH, dan VH/VV. Setelah itu, dilakukan klasifikasi dari citra hasil komposit RGB tersebut. Proses klasifikasi ini membagi lahan tebu menjadi empat kelas yang diidentifikasi sebagai perbedaan fase pertumbuhan tanaman tebu. Keempat kelas tersebut adalah kelas umur 0–2 bulan, 2–3 bulan, 3–9 bulan, dan 9–12 bulan. Setelah itu, fase pertumbuhan tebu dianalisis berdasarkan grafik hamburan-balik *time series*-nya. Secara ringkas, tahapan metode identifikasi SC tanaman tebu disajikan pada Gambar 8.1.



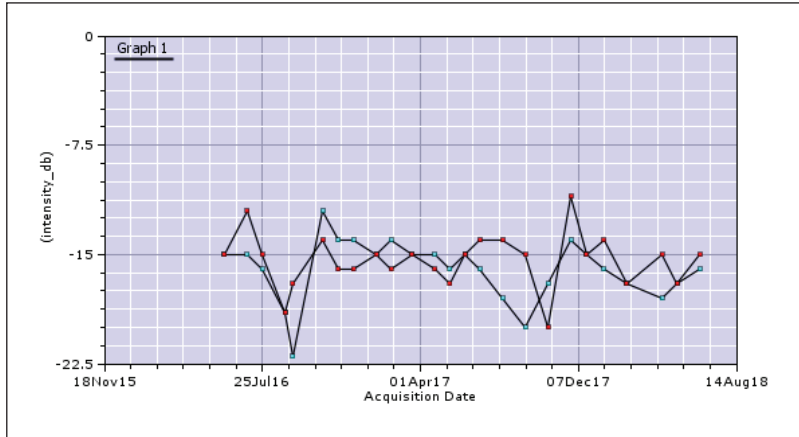
Sumber: Hasil Pemikiran Penulis (2017)

Gambar 8.1 Diagram Alir Identifikasi Umur Tanaman Tebu

C. HASIL STUDI PEMANTAUAN PERTUMBUHAN TEBU DI SUBANG DENGAN DATA SAR

1. Analisis Hasil Pengolahan Data Tebu

Selanjutnya, hasil klasifikasi menjadi empat kelas fase pertumbuhan tanaman tebu tersebut dianalisis fase pertumbuhannya yang sedang terjadi pada kelas-kelas tersebut. Dari satu citra tertanggal 14 Septem-



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 8.2 Grafik Hamburan-balik dari Dua Titik Sampel Berdasarkan *Time Series*

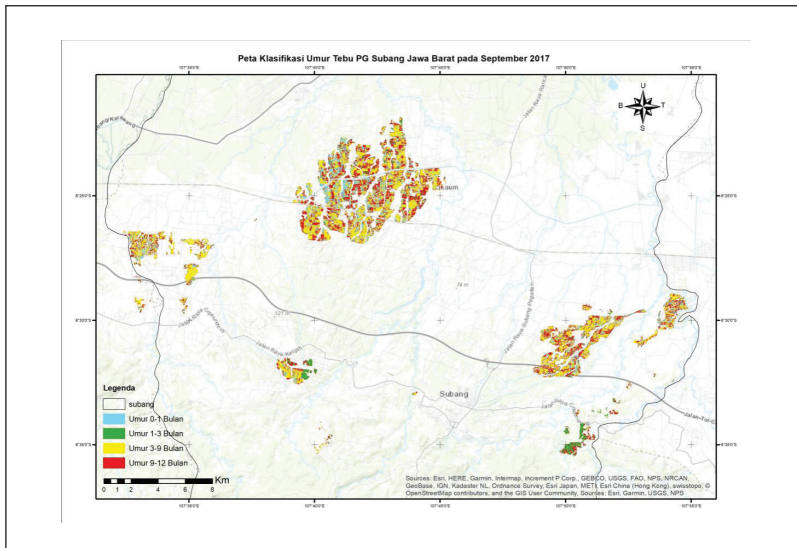
ber 2017 yang sudah diklasifikasi, dianalisis grafik hamburan-baliknya dari empat titik yang diambil dari tiap-tiap keempat kelas berdasarkan *time series* dari Mei 2016 sampai Juni 2018.

Gambar 8.2 menyajikan grafik hamburan-balik dari titik sampel kelas berwarna biru muda dan merah. Awal pertumbuhan tanaman tebu terjadi saat grafik hamburan-baliknya naik jauh atau drastis dari titik terendahnya. Sebaliknya, fase matang saat grafik hamburan-baliknya turun drastis ke titik terendahnya (Baghdadi, Cresson, & Todoroff, 2010). Pada grafik di atas, daerah kelas yang berwarna biru muda sedang pada fase awal pertumbuhan atau perkecambahannya pada awal September sampai akhir Oktober 2016 dan pertengahan September sampai akhir November 2017. Sementara, daerah kelas yang berwarna merah fase awal pertumbuhan atau perkecambahannya terjadi pada akhir Agustus sampai akhir Oktober 2016 dan pertengahan Oktober sampai akhir November 2017. Dari hal tersebut, kita dapat mengetahui bahwa pada September 2017, ketika kelas yang berwarna biru muda sedang mengalami fase

perkecambahan, kelas yang berwarna merah sedang dalam fase matang, yaitu sebelum dipotong dan memulai fase perkecambahan barunya.

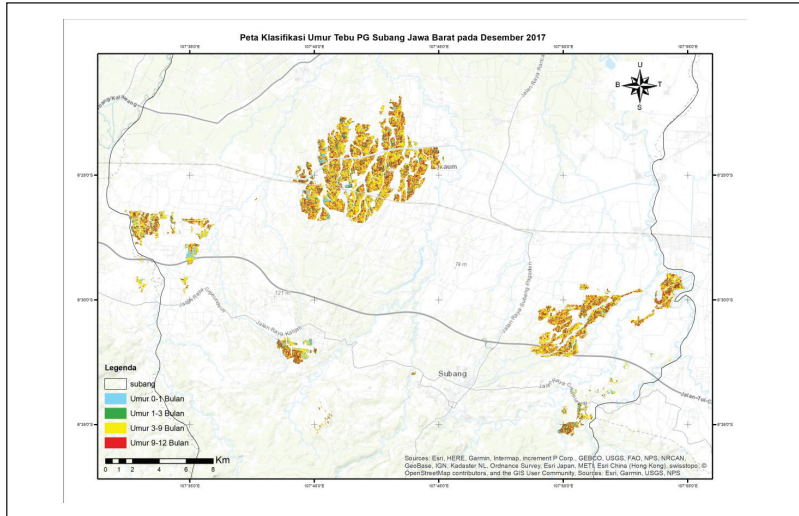
2. Klasifikasi Fase Tanaman Tebu

Pengamatan perbedaan dan analisis pola perubahan warna hasil klasifikasi pada bulan September 2017, Desember 2017, April 2018, dan Juni 2018 dikelaskan berdasarkan warna, yaitu oranye dengan fase pemanjangan batang atau berumur 3–9 bulan dan kuning, yaitu fase anakan atau berumur sekitar 2–3 bulan. Pada September 2017, hasil klasifikasi menunjukkan warna yang beragam antara biru muda, merah dan oranye, serta kuning. Dari hasil analisis, diketahui bahwa pada bulan ini, kelas biru muda adalah fase perkecambahan (berumur 1–2 bulan) dan kelas warna merah adalah fase pematangan (berumur 9–12 bulan).



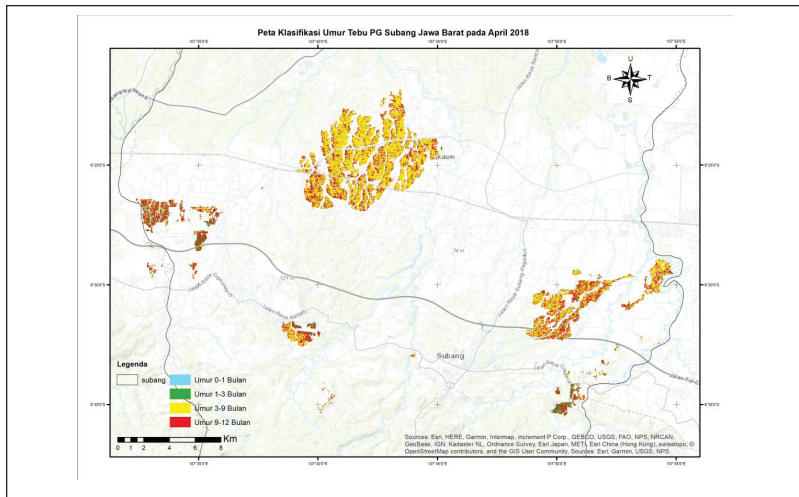
Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 8.3 Peta Klasifikasi Tanaman Tebu September 2017



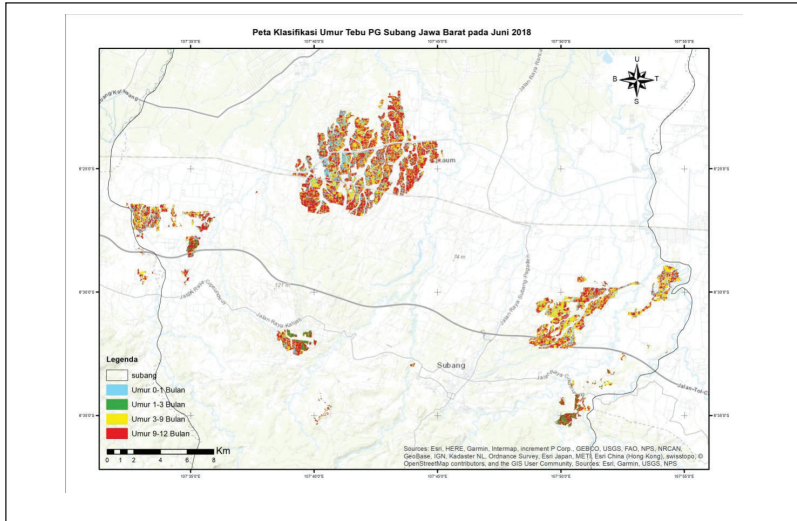
Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 8.4 Peta Klasifikasi Tanaman Tebu Desember 2017



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 8.5 Peta Klasifikasi Tanaman Tebu April 2018



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 8.6 Peta Klasifikasi Tanaman Tebu Juni 2018

Pada Desember 2017, secara visual warna yang dominan adalah kuning dan oranye sehingga dapat diindikasikan telah terjadi perubahan fase dari merah ke kuning dan dari biru muda ke oranye. Selanjutnya, pada April 2018, keseluruhan berwarna oranye dan sedikit telah berwarna merah sehingga dapat mengindikasikan bahwa tanaman tebu yang pada September dan Desember 2017 berada dalam fase yang berbeda-beda, sedang dalam fase yang sama pada bulan ini, yaitu fase pemanjangan batang atau berumur sekitar 3–9 bulan. Pada Juni 2018, terlihat bahwa warna yang dominan adalah merah. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar tanaman tebu telah memasuki fase matang atau masa pematangan, yakni berumur sekitar 9–12 bulan. Lalu, warna kuning kami indikasikan sebagai fase anakan atau berumur 2–3 bulan karena warna ini banyak terlihat pada September dan Desember 2017, dan hanya terlihat sekilas di antara warna biru muda dan oranye.

D. KESIMPULAN

Tanaman tebu memiliki periode pertumbuhan cukup lama, yaitu kurang lebih satu tahun. Selama satu tahun tersebut, pertumbuhan tanaman tebu akan melewati musim dan cuaca yang berbeda-beda. Kemampuan data SAR yang bebas kendala awan dan dapat memantau pada segala kondisi cuaca dan tidak bergantung pada sinar matahari sangat sesuai digunakan untuk memantau pertumbuhan tanaman tebu tersebut. Dari hasil studi tersebut di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa pemantauan fase pertumbuhan atau umur tanaman tebu dapat dilakukan dengan menggunakan data radar SAR Sentinel-1. Dengan akuisisi temporal tiap 12 hari dan dataset yang lengkap selama dua tahun, data radar SAR Sentinel-1 ini sangat cukup untuk mengidentifikasi tanaman tebu dan pertumbuhannya.

Pada tanaman tebu, yang memiliki periode pertumbuhan cukup lama, yaitu kurang lebih satu tahun, perbedaan fase pertumbuhan cukup terlihat pada hasil klasifikasi citra dengan beberapa akuisisi bulan yang berbeda. Analisis grafik hamburan-balik berdasarkan *time series* selama dua tahun (Mei 2016–Juni 2018) dapat mengetahui fase awal pertumbuhan dan pematangan atau siap panen.

DAFTAR PUSTAKA

- Baghdadi, N., Boyer N., Todoroff P., Hajj M.E., & Begue A. (2009). Potential of SAR sensors TerraSAR-X, ASAR/ENVISAT and PALSAR/ALOS for monitoring sugarcane crops on reunion island. *Remote Sensing Environment*, 113 : 1724–1738.
- Baghdadi, N., Cresson, R., & Todoroff, P. (2010). Multitemporal observations of sugarcane by TerraSAR-X Images. *Sensors*, 10: 8899–8919. Prancis.
- Balai Penelitian & Pengembangan Pertanian, (2014). *Inovasi pertanian untuk kemandirian pangan dan energi: Laporan tahunan 2014*. Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta.

- BPTP Kalimantan Tengah. (2016). *Verifikasi lapangan untuk menilai akurasi model standing crop padi sawah melalui integrasi data satelit resolusi tinggi dan menengah*. Diunduh 15 Februari 2018 dari <http://kalteng.litbang.pertanian.go.id/ind/index.php/publikasi-mainmenu-47-47/teknologi/576-verifikasi-lapangan-untuk-menilai-akurasi-model-standing-crop-padi-sawah-melalui-integrasi-data-satelit-resolusi-tinggi-dan-menengah>.
- Davidse, J. (2015). *The relation between the NDVI and backscatter of Sentinel-1 for sugarcane monitoring (case study in South Africa)*. Geo-Information for Science Internship Report GRS-70424. Wageningen University. Wageningen.
- McNairn, H., Soria-Ruiz, J., & Fernandez, Y. (2009). *Corn monitoring and crop yield using optical and microwave remote sensing*. Meksiko.
- Nuarsa, I. W., Nishio, F., & Hongo, C. (2011). Spectral characteristics and mapping of rice plants using multi-temporal Landsat Data. *Journal of Agricultural Science*, 3 (1).
- Prachmayandini, R., & Trisasongko. B. H. (2012). Pemantauan pola penanaman padi melalui analisis hamburan balik citra ALOS PALSAR ScanSAR. *Majalah Ilmiah Globe*, 14(1): 70–77.
- Septiana A, Iswati, A, & Panuju, D. R. (2011). Dinamika perubahan lahan sawah Kabupaten Karawang dan keterkaitannya dengan rencana tata ruang wilayah. *Prosiding PIT MAPIN XVIII*. Semarang.
- Shofiyati, R. (2011). *Teknologi pesawat tanpa awak untuk pemetaan dan pemantauan tanaman dan lahan pertanian*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian, BBSDLP. Bogor.
- Todoroff, P., & Kemp J. (2016). Contribution of remote sensing to crop monitoring in tropical zones. *Land Surface Remote Sensing in Agriculture and Forest*. Elsevier.

BAB 9



Identifikasi *Standing Crop* Jagung Menggunakan Citra SAR Sentinel-1A

Baiq Arasya Wulandari dan Rizatus Shofiyati

Jagung merupakan komoditas yang diperlukan untuk pangan dan bahan industri. Kesenjangan antara ketersediaan dan kebutuhan jagung masih cukup besar karena semakin tingginya permintaan komoditas jagung di berbagai industri dari waktu ke waktu. Identifikasi lahan jagung diperlukan untuk memantau fase pertumbuhan jagung guna meningkatkan efisiensi pengelolaan, produktivitas, hasil, dan mutu dari produksi jagung di Indonesia.

A. POTENSI DATA SAR UNTUK *STANDING CROP* JAGUNG

Lahan pertanian memiliki fungsi strategis sebagai penyedia bahan pangan utama. Beras, tebu, dan jagung merupakan komoditas pangan yang menjadi sasaran swasembada yang dicanangkan pemerintah saat ini. Namun, pemanasan global dan anomali iklim menjadi ancaman serius bagi keberlanjutan produksi pangan, seperti kekeringan yang terjadi lebih sering dalam beberapa tahun terakhir. Oleh karena itu, diperlukan data dan informasi yang baik dan benar dalam

sistem informasi yang terintegrasi (Balai Penelitian & Pengembangan Pertanian, 2014).

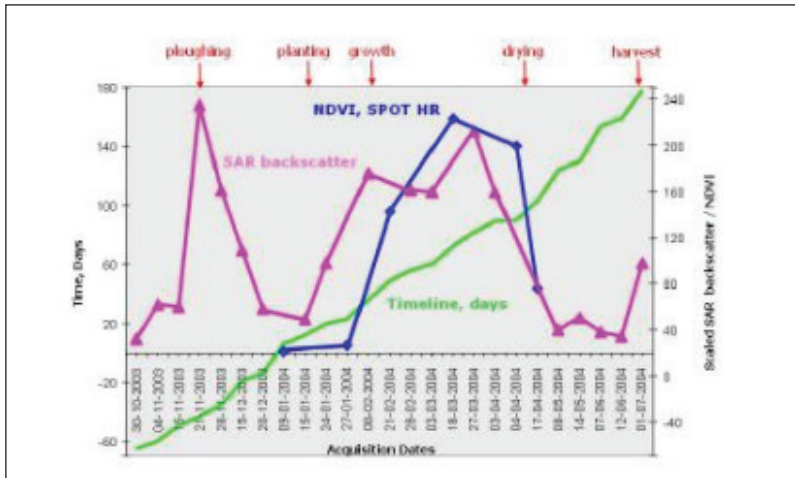
Jagung (*Zea mays L.*) adalah tanaman serealia yang berasal dari Benua Amerika, tepatnya dari negara Meksiko. Tanaman ini merupakan salah satu jenis tanaman rumput-rumputan dengan tipe biji monokotil (Rooney dan Serna-Saldivar, 1987). Selain itu, jagung merupakan komoditas yang sangat dibutuhkan, baik untuk pangan maupun bahan industri. Permintaan jagung sangat tinggi, tetapi hasil produksi petani belum mampu memenuhi permintaan tersebut. Luas panen jagung pada periode 2005–2015 mengalami perlambatan dengan rata-rata pertumbuhan sekitar 1,76%. Hal ini menunjukkan semakin terbatasnya lahan untuk perluasan jagung. Data Kementerian Pertanian menyebutkan bahwa penurunan luas panen terendah terjadi pada tahun 2006, yaitu sebesar 7,72% dan tahun 2011 sebesar 6,46%. Peningkatan luas panen tertinggi terjadi pada tahun 2008, yaitu sebesar 10,24%. Luas panen jagung pada tahun 2012 mengalami peningkatan sebesar 2,40% dibandingkan tahun 2011, sedangkan pada tahun 2013 luas panen jagung menurun sebesar 3,44% dan pada tahun 2014 meningkat sebesar 0,41%. Untuk lima tahun terakhir, yaitu dari tahun 2013–2017 produksi jagung nasional terus mengalami peningkatan. Pada tahun 2013, Indonesia mampu memproduksi jagung sebesar 18,51 juta ton dan pada tahun 2017 produksinya sudah mencapai 27,95 juta ton (BPS, 2018).

Dengan memanfaatkan penginderaan jauh (*remote sensing*), informasi kondisi dan sebaran lahan pertanian secara kuantitatif dan kualitatif dapat diamati secara regional dan keruangan. Hal ini dikarenakan terkait langsung dengan kelebihan yang mampu mengobservasi daerah cakupan yang luas secara cepat. Dengan memanfaatkan kelebihan cakupan ini secara berkala, diperoleh suatu sistem pemantauan yang andal, teratur secara temporal dan bersifat regional sehingga analisis tentang kondisi tanaman, lingkungan sekitar, dan perkiraan produktivitas dapat lebih komprehensif. Salah satu teknik

dalam penginderaan jauh adalah dengan menggunakan gelombang elektromagnetik atau lebih populer dengan istilah radar (McNairn & Brisco, 2004).

SAR merupakan metode pengambilan citra melalui satelit atau wahana lainnya dengan menggunakan sensor aktif seperti radar. SAR menggunakan gelombang mikro atau *microwave*, yang mempunyai kelebihan dapat menembus atmosfer hingga mendekati 100% sehingga tidak terlalu dipengaruhi dengan kandungan uap air di atmosfer dan bisa menembus awan. Berada pada rentang 1 mm–1 m. Gelombang mikro juga tidak dipengaruhi sinar matahari sehingga dapat digunakan pada siang atau malam hari. Citra Sentinel-1A mempunyai pita C, di mana nilai-nilai *sigma nought* harus dipengaruhi oleh beberapa elemen pada kondisi permukaan lahan. Pada awal musim, sinyal hanya berinteraksi dengan tanah kosong maka nilai dipengaruhi oleh kelembapan tanah atau kekasarannya. Ketika tanaman terlihat di permukaan, sinyal mulai berinteraksi dengan tanaman dan hamburan-balik menjadi lebih tinggi. Dalam kombinasi dengan hujan, nilai akan menjadi lebih tinggi. Periode pertumbuhan tanaman terlihat sebagai peningkatan reflektivitas dalam *band* VH. VH mewakili volume hamburan yang disebabkan oleh vegetasi. Fase pematangan, ketika kelembapan kanopi menurun, nilai *sigma nought* berkurang. Ketika tanaman dipanen, sinyal VH tidak ada yang berinteraksi sehingga nilainya menjadi rendah. Di sisi lain, permukaan tanah tetap datar dan kosong sehingga peningkatan energi hamburan-balik tunggal dapat dideteksi dalam *band* VV (Jensen, 2000).

Gambar 9.1 menunjukkan bahwa polarisasi HH pada pita C sesuai dengan reflektansi selama penanaman untuk pengamatan pertanian adalah karakteristik variabilitas nilai intensitas sepanjang tahun. Pertumbuhan nilai selama pembajakan disebabkan oleh kekasaran tanah setelah itu. Permukaan menjadi datar secara alami dan intensitasnya menjadi lebih rendah. Ketika mulai tumbuh,



Sumber: Oleggini (2008)

Gambar 9.1 Perbandingan Hamburan-balik dengan Fase Vegetatif Pertumbuhan

tanaman menyebabkan permukaan kasar dan nilai-nilainya menjadi lebih tinggi. Setelah tanaman benar-benar tumbuh dan berada dalam fase pematangan, permukaan menjadi kering dan intensitas nilai-nilai hamburan-balik menjadi rendah. Saat penting terakhir adalah pada akhir setelah panen ketika ada kekasaran permukaan yang lebih tinggi (Oleggini, 2008). Teknik ini mampu membedakan objek berdasarkan perbedaan fisiologi yang memengaruhi arah dan pola penalaran gelombang sehingga cocok digunakan pada sektor pertanian (Lopez-Sanchez & Ballester-Berman, 2009; Yonezawa dkk., 2012) dan umumnya terhadap karakteristik fisik tanaman dan lahan (McNairn & Brisco, 2004).

Pengolahan data SAR Sentinel-1A digunakan untuk mengidentifikasi fase pertumbuhan jagung terkait usia tumbuh pada lahan sawah. Sebagai lokasi studi dipilih daerah Kabupaten Garut, Provinsi Jawa Barat.

B. STUDI PENGOLAHAN DATA SAR UNTUK PERTANAMAN JAGUNG

Data yang digunakan dalam kajian ini adalah data *time-series* citra Sentinel-1A pada tahun 2017. Data citra yang digunakan mulai dari tanggal akuisisi 8 Januari 2017 hingga 31 Desember 2017, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 9.1. Data tersebut diolah menggunakan SNAP yang disediakan oleh European Space Agency (ESA).

Tabel 9.1 Data Citra Radar Sentinel-1 Daerah Garut Tahun 2017

Tanggal Akuisisi Data	Orbit	Tanggal Akuisisi Data	Orbit
8 Januari 2017	14746	9 Agustus 2017	17845
6 Maret 2017	15570	21 Agustus 2017	18020
18 Maret 2017	15745	2 September 2017	18195
30 Maret 2017	15920	14 September 2017	18370
11 April 2017	16095	8 Oktober 2017	18720
23 April 2017	16270	20 Oktober 2017	18895
5 Mei 2017	16445	1 November 2017	19070
17 Mei 2017	16620	13 November 2017	19245
29 Mei 2017	16795	25 November 2017	19420
10 Juni 2017	16970	7 Desember 2017	19595
22 Juni 2017	17145	19 Desember 2017	19770
4 Juli 2017	17320	31 Desember 2017	19945

Sumber: European Space Agency (2018)

Citra yang digunakan adalah Ground Range Detected (GRD) level 1. Citra GRD level 1 digunakan pada penelitian ini karena membutuhkan proses pengolahan yang tidak terlalu banyak. Citra GRD sudah melalui beberapa proses pengolahan awal SAR, seperti *multilook* dan proyeksi ke model *ellipsoid* WGS84.

Alur pengolahan data dimulai dari kalibrasi. Kalibrasi adalah tahap paling penting yang harus selalu dilakukan di awal (Veci, 2016).

Kalibrasi mengubah nilai-nilai yang diterima instrumen menjadi nilai-nilai *sigma nought*. Nilai-nilai tersebut mewakili sifat reflektif nyata dari permukaan. Citra SAR yang telah dikalibrasi sangat penting dalam penggunaan data SAR secara kuantitatif (ESA, 2013). Tahap selanjutnya adalah mengurangi *speckle noise*. Pada penelitian ini, digunakan *speckle filter* Lee 3×3 .

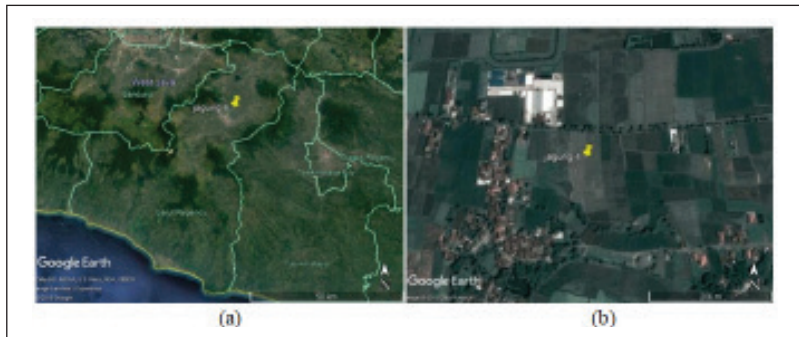
Geometric Range-Doppler Terrain Correction adalah proses selanjutnya. Karena variasi topografi suatu *scene* dan kemiringan sensor satelit, jarak dapat terdistorsi dalam citra SAR. Data citra yang tidak langsung di titik sensor lokasi nadir memiliki beberapa distorsi. Koreksi *terrain* dimaksudkan untuk mengimbangi distorsi ini sehingga representasi geometrik citra akan sepersis-persisnyasemirip dengan dunia nyata (NEST, 2017). Kemudian, untuk visualisasi dan analisis, intensitas *sigma nought* dikonversi dari skala linier ke nilai desibel (dB).

Uji coba pengolahan dilakukan di area lahan sawah di daerah Garut. Lahan jagung di sebagian besar wilayah Garut memiliki tempat penanaman yang sama dengan lahan sawah padi sehingga masa tanam jagung bergantung dari masa tanam padi. Musim tanam padi dilakukan pada musim penghujan, yaitu Oktober sampai Maret. Sementara, masa tanam jagung biasanya dilakukan setelah masa tanam padi selesai, yaitu masa tanam kedua yang dimulai dari April hingga Oktober.

Kemudian, titik-titik sampel tersebut dianalisis untuk melihat nilai koefisien hamburan-balik atau *sigma nought* dan pola yang menunjukkan fase perkembangan tanaman jagung di lahan sawah. Proses pengolahan data selanjutnya ditunjukkan diagram alir pada dalam Gambar 9.3.

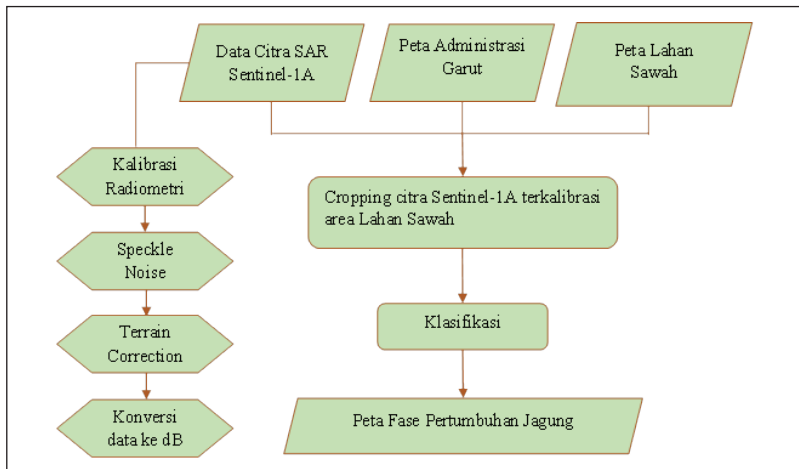
Kemudian, data citra Sentinel-1A yang sudah dikalibrasi radiometrik dan geometrik di-subset untuk mendapatkan area lahan sawah yang akan diidentifikasi. Komposit RGB yang digunakan, yaitu VV, VH, dan VH/VV dan diekspor dalam bentuk .tiff agar dapat

dibuka di dalam perangkat lunak ENVI. Proses selanjutnya adalah melakukan klasifikasi secara terbimbing dengan membuat *training data* sebanyak lima kelas untuk tiap kelas dilihat dari karakteristik citra tersebut dan dibantu dengan interpretasi dari citra optik Landsat 8 pada tanggal yang mendekati. Metode klasifikasi terbimbing yang digunakan adalah metode *Maximum Likelihood Classification*.



Sumber: Google Maps (2018)

Gambar 9.2 Lokasi Uji Coba a) Daerah Kabupaten Garut b) Salah Satu Titik Sampel Lahan Sawah di Garut



Sumber: Hasil Pemikiran Penulis (2018)

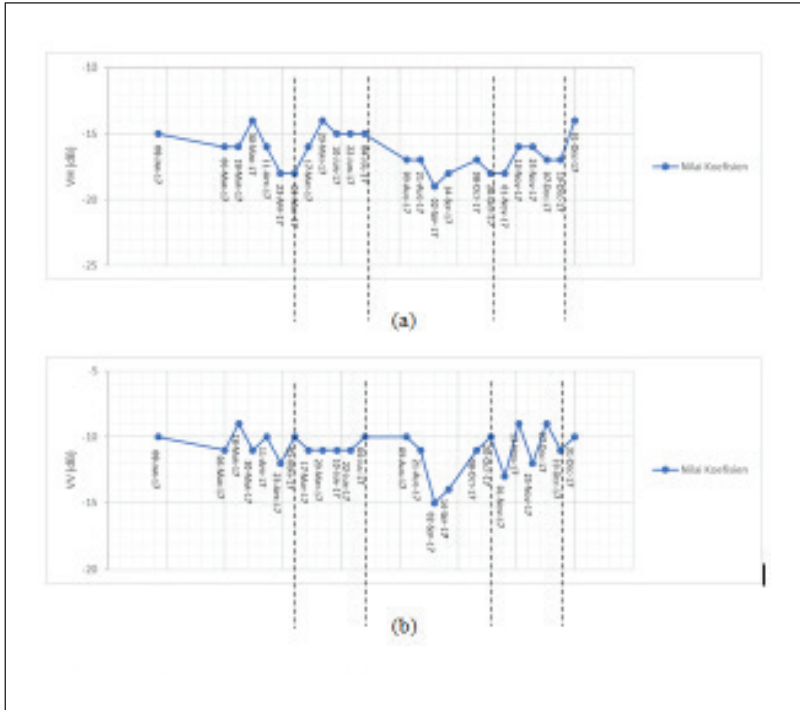
Gambar 9.3 Diagram Alir Metodologi Pengolahan Data

C. HASIL STUDI DATA SAR UNTUK KLASIFIKASI PERTUMBUHAN JAGUNG

Nilai koefisien hamburan-balik *sigma nought* dapat dilihat menggunakan perangkat lunak SNAP dengan melihat grafik nilai koefisien untuk semua dataset *time-series* Sentinel-1A pada tahun 2017 di setiap titik sampel. Gambar 9.4 merupakan salah satu representasi grafik nilai koefisien hamburan-balik VH dan VV lahan jagung. Dari grafik tersebut terlihat pola fase pertumbuhan tanaman dari mulai awal pertumbuhan hingga panen.

Berdasarkan grafik tanaman pada Gambar 9.4, tanaman jagung berada pada rentang nilai koefisien hamburan-balik (σ^0) -14 hingga -19 dB untuk VH dan -9 hingga -15 dB untuk VV. Masa tanam jagung diawali dengan pengemburan tanah, di mana tanah terlihat halus dan nilai pantulan semakin kecil. Setelah masa penyemaian pada bulan April dan Mei, terjadi sedikit penurunan nilai VV dan VH, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.5 karena pada masa itu mulai terjadi perkecambahan jagung sehingga tanah menjadi lebih kering dan lebih halus. Kenaikan nilai pantulan VV dan VH pada bulan Juni dan Juli berhubungan dengan pertumbuhan tanaman. Peningkatan *volume scattering* menunjukkan tanaman memiliki nilai pantulan VH yang lebih tinggi.

Masa panen jagung dilakukan pada akhir bulan Agustus yang terlihat dari penurunan nilai VV dan VH pada 21 Agustus hingga 14 September. Kemudian, diikuti dengan kenaikan nilai VV dan VH pada awal Oktober. Hal ini bisa jadi disebabkan oleh tanaman tegak lainnya, seperti ilalang, yang masih berada di lahan dan mengering dengan sendirinya. Pada masa ini, VH meningkat karena vegetasi memberikan kontribusi utama pada *volume scattering* untuk sinyal hamburan-balik. Pada Oktober, persiapan lahan tanam kembali dilakukan untuk masa tanam selanjutnya. Hal tersebut menyebabkan permukaan tanah lebih halus dan berakibat pada penurunan nilai VV.



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 9.4 Grafik Nilai Koefisien Hamburan-balik: (a) VH dan (b) VV

Hasil pengamatan dan analisis di atas berdasarkan satu lahan jagung dan mungkin tidak merepresentasikan karakteristik tanaman jagung walaupun setara dengan hasil yang disajikan pada beberapa lahan jagung. Lahan jagung sering berupa tegalan, di mana terdapat sedikit atau tidak ada air sehingga VV dan VH tidak bisa digunakan untuk memantau perubahan air di lahan tersebut. Kerapatan vegetasi berubah pada tiap fase jagung (4 fase) dan hamburan-balik VV/VH dan rasio VH/VV mempunyai potensi untuk mendeteksi perubahan vegetasi pada tiap fase.

Kelas pertama, yaitu padi, dilihat dari karakteristiknya yang memiliki warna biru yang menandakan bahwa area tersebut digenangi air. Kelas kedua adalah fase vegetatif jagung, di mana karakteristik yang ditunjukkan di citra berwarna cokelat kemerah-merahan. Kelas ketiga adalah fase generatif jagung dengan karakteristik berwarna oranye dan hijau. Kelas keempat adalah fase masak atau bera yang memiliki karakteristik warna oranye hingga kuning. Kelas terakhir adalah fase perkecambahan dengan karakteristik berwarna merah kehitaman.

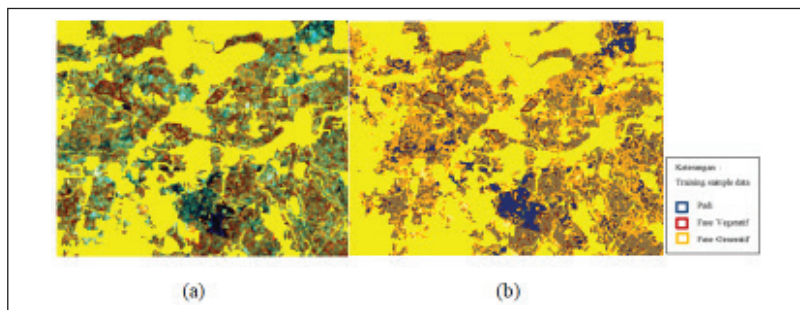
Penentuan klasifikasi fase dilakukan dengan membuat titik sampel pada citra di perangkat lunak SNAP untuk setiap kelas dan melihat dari grafik *time series* nilai koefisien hamburan-balik jagung. Pola tanaman jagung untuk setiap kelas dicocokkan dengan pola dari grafik titik sampel lahan jagung yang sudah didapatkan dan juga dengan bantuan interpretasi citra Landsat 8.

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa area berwarna biru tersebut adalah tanaman padi yang masih digenangi air; area berwarna merah kehitaman merupakan lahan yang belum ada vegetasi atau lahan yang baru ditanami; area berwarna cokelat kemerahan adalah lahan yang ditanami tanaman, tetapi tidak terlalu tinggi dan masih kelihatan tanah diselilingnya; area berwarna oranye dan hijau mengartikan bahwa tanaman sudah memiliki banyak daun yang lebar dan nilai koefisien hamburan-balik berada di puncak atau masuk ke fase generatif, yaitu fase sebelum masa panen; area berwarna oranye hingga kuning menunjukkan bahwa tanaman memasuki fase masak ketika biasanya tanaman mengering.

Proses klasifikasi jagung di lahan sawah sulit ditentukan karena kurangnya data tanggal mulai penanaman jagung. Karena letak wilayah lahan jagung yang berada di dalam lahan sawah serta jagung

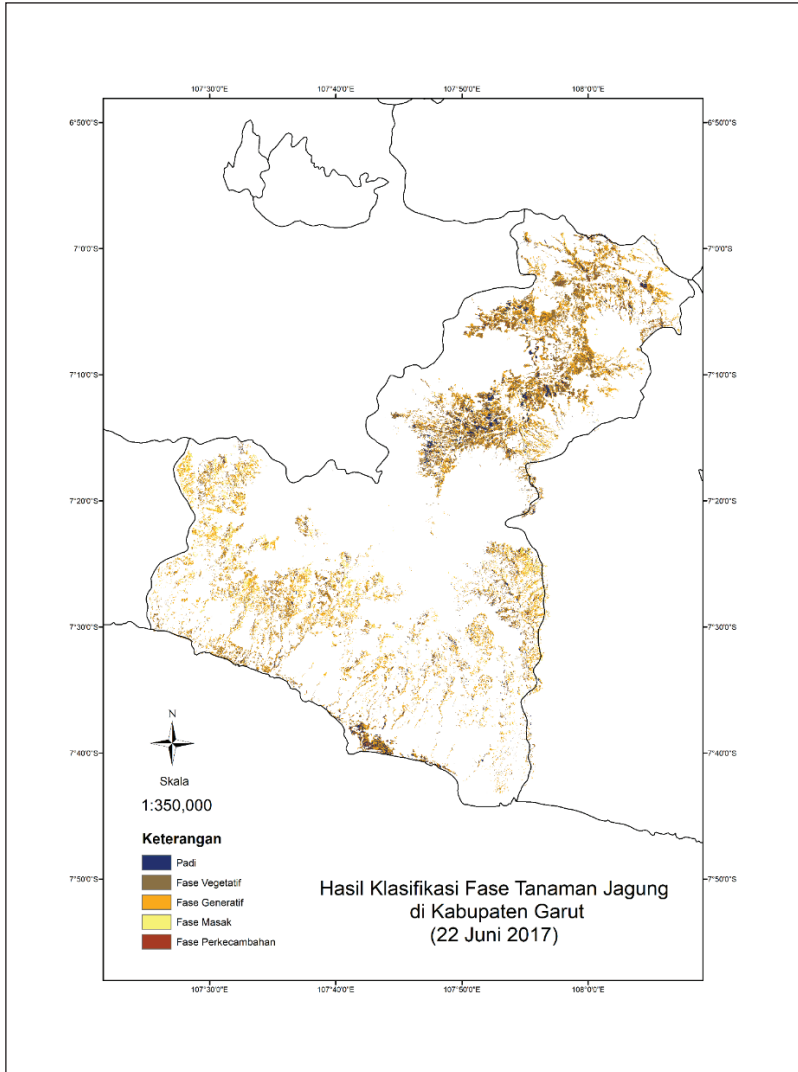
dan padi memiliki karakteristik pertumbuhan yang hampir sama, hasil klasifikasi masih merupakan campuran dari kedua tanaman padi dan jagung.

Solusi yang dapat mengurangi galat dan meningkatkan hasil klasifikasi adalah dengan menggunakan lebih banyak *ground truth* sampel data lahan jagung dan informasi mengenai masa tanam jagung di daerah tersebut. Sampel data yang banyak dapat menyeleksi anomali-anomali dan menjadikan seluruh dataset lebih baik. Perbedaan pada setiap kelas juga akan lebih mudah diobservasi. Data curah hujan juga dibutuhkan untuk mengurangi kesalahan identifikasi akibat hujan karena nilai koefisien hamburan-balik radar mudah terpengaruh oleh air.



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 9.5 Klasifikasi Terbimbing pada Citra Sentinel-1A Akuisisi 22 Juni 2017 pada Koordinat 7°10'-7°11' S dan 107°55'-107°56' E: (a) Training Data Klasifikasi Terbimbing, (b) Hasil Klasifikasi Terbimbing



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 9.6 Peta Klasifikasi Fase Tanaman Jagung Bulan Juni 2017 di Daerah Garut

D. KESIMPULAN

Kemampuan data SAR yang bebas kendala awan dan dapat memantau pada segala kondisi cuaca dan tidak bergantung pada sinar matahari sangat sesuai digunakan di Indonesia yang beriklim tropis. Kajian ini menunjukkan bahwa pemantauan fase pertumbuhan dan masa panen tanaman pada pertanian dapat dilakukan dengan menggunakan data radar SAR Sentinel-1A. Dengan akuisisi temporal tiap 12 hari dan dataset yang lengkap selama satu tahun, data radar SAR Sentinel-1A ini sangat cukup untuk memberikan informasi tentang pertumbuhan tanaman.

Tanaman jagung memiliki periode pertumbuhan cukup singkat, yaitu kurang lebih 3–4 bulan, sehingga penggunaan citra satelit yang memiliki resolusi spasial dan temporal tinggi menjadi solusi untuk mengetahui fase pertumbuhan tanaman. Hal tersebut cukup terlihat pada hasil analisis grafik hamburan-balik berdasarkan *time series* selama satu tahun atau satu masa tanam, fase pematangan atau siap panen dan fase awal pertumbuhan dapat diketahui. Namun, pada tanaman jagung, proses klasifikasi fase pertumbuhan masih sulit ditentukan. Hal ini karena letak wilayah lahan jagung yang berada di dalam lahan sawah serta jagung dan padi memiliki karakteristik pertumbuhan yang hampir sama sehingga mengalami kesulitan untuk membedakan tanaman lainnya yang ada di lahan sawah.

DAFTAR PUSTAKA

- Balai Penelitian & Pengembangan Pertanian. (2014). *Laporan tahunan 2014: Inovasi pertanian untuk kemandirian pangan dan energi*. Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta.
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2018). *Luas panen jagung menurut provinsi*. Diunduh 25 Juli 2018 dari [http://www.pertanian.go.id/Data5tahun/TPATAP-2017\(pdf\)/13-LPJagung.pdf](http://www.pertanian.go.id/Data5tahun/TPATAP-2017(pdf)/13-LPJagung.pdf).

- European Space Agency (ESA). (2013). *Sentinel-1 user handbook* (pp. 80). Diunduh 20 Juli 2018 dari https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/Sentinel-1_User_Handbook.
- European Space Agency (2018). *Copernicus Open Access Hub*. Diakses dari <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> tanggal 7 Maret 2018.
- Jensen, J. R. (2000). *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective* (pp. 608), Pearson Prentice-Hall Upper Saddle River.
- Lopez-Sanchez, J. M., & Ballester-Berman, J. D. (2009). Potentials of polarimetric SAR interferometry for agriculture monitoring. *Radio Science*, 44 RS2010. DOI: 10.1029/2008RS004078.
- McNairn, H., & Brisco, B. (2004). The application of C-band polarimetric SAR for agriculture: A review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 30(3).
- NEST. (2017). *Next ESA SAR toolbox overview, orthorectification*. Diunduh 20 Juli 2018 dari <http://corp.array.ca/nestweb/help/operators/RangeDopplerGeocodingOp.html>.
- Oleggini, L. (2008). *Rule-based crop area classification using multi-temporal, multisource data* (pp. 99). Zurich.
- Rooney, L. W., and Serna-Saldivar, S. O. (1987). *Food used of whole corn and dry milled fractions*. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA.
- Veci, L. (2016). *SAR basics tutorial, ESA* (pp. 19), Array Systems Computing Inc.
- Yonezawa, C., Negishi, M., Azuma, K., Watanabe, M., Ishitsuka, N., Ogawa, S., & Saito, G. (2012). Growth monitoring and classification of rice fields using multitemporal RADARSAT-2 full-polarimetric data. *Remote Sensing*, 33(18): 5696–5711. DOI:10.1080/01431161.2012.665194.

BAB 10



Pemetaan Gambut Tropis Menggunakan Data SAR Sentinel-1A

Fiolenta Marpaung, Sepanie Putiamini,
Doni Fernando, dan Lena Sumargana

Sebagian besar gambut Indonesia yang terakumulasi di bawah hutan hujan tropis telah mengalami kerusakan. Kondisi ini disebabkan oleh berbagai hal, seperti pembukaan hutan, drainase lahan gambut, kebakaran hutan, dan konversi lahan gambut yang tidak disertai dengan sistem pengelolaan gambut yang baik. Untuk memperbaiki lahan tersebut, pemantauan lahan gambut Indonesia sangat dibutuhkan.

A. MONITORING LAHAN GAMBUT

Lahan gambut memiliki peranan yang sangat penting dalam siklus iklim global. Lahan gambut tersebut tersebar sebagian besar di daerah tropis dan daerah lintang tinggi dengan total sebaran sebesar 3% dari seluruh total daratan Bumi. Walaupun hanya mencakup 3% dari total daratan bumi, lahan gambut menyimpan karbon lebih banyak dibandingkan total biomassa di seluruh dunia. Di daerah tropis, Indonesia menduduki peringkat kedua setelah Republik Demokrasi

Kongo (Dargie dkk., 2017) yang memiliki lahan gambut tropis yang luas dan menyimpan total karbon di dalamnya sekitar 57,4 Pg. (Page, Rieley, & Banks, 2011). Namun, sejak proyek *Mega Rice Project* (MRP) pada tahun 1998, lahan gambut Indonesia mengalami kerusakan yang sangat besar. Kondisi ini sebagian besar disebabkan oleh kegiatan pembukaan lahan gambut dalam skala besar, pengelolaan lahan gambut yang masih rendah, peningkatan ahli fungsi lahan gambut menjadi lahan pertanian dan perkebunan, serta pengeringan atau drainase lahan gambut dalam skala besar (Miettinen, Shi, & Liew, 2011). Kegiatan pembukaan lahan dan rendahnya tinggi muka air lahan gambut pada puncak musim kering, terutama pada musim *El Niño* memicu dan menyebabkan kebakaran lahan gambut secara berulang-ulang (Langner & Siegert, 2009; Murdiyarto & Adiningsih, 2007). Sejak satu dekade ini, pemerintah Indonesia berusaha untuk mengembalikan ekosistem lahan gambut yang telah rusak (Presiden Indonesia, 2016, 2014, 2011). Kegiatan ini sangat membutuhkan informasi mengenai sebaran lahan gambut yang akurat dan detail.

Data SAR sering digunakan untuk investigasi karakteristik tutupan lahan (Balzter, Cole, Thiel, & Schmullius, 2015; Niu & Ban, 2013), khususnya ketika kondisi cuaca yang tidak cocok untuk analisis data satelit optik. Berbeda dengan data satelit optik, data SAR dapat memberikan kondisi tutupan lahan tanpa mengalami gangguan dari atmosfer, seperti awan, bayangan awan, dan asap. SAR juga mampu mendeteksi lahan gambut di daerah pesisir, di mana polarisasi VV mampu mengenali morfologi daerah pasang surut (Souza & Ramos e Silva, 2011). Identifikasi lahan gambut juga dapat dilihat dengan menganalisis nilai konstanta dielektrik dan kelembapan tanah menggunakan data SAR ALOS-2 PALSAR-2 (Marpaung dkk., 2018).

Sebaran lahan gambut di Kabupaten Ogan Komering Ilir (OKI) merupakan sebaran gambut paling luas di Provinsi Sumatra Selatan. Namun, sebagian besar lahan gambut tersebut telah rusak akibat kebakaran hutan pada musim kemarau panjang tahun 2015

(Wijaya, 2017). Oleh karena itu, pada tulisan ini dilakukan investigasi sebaran lahan gambut di Kabupaten OKI dengan menggunakan data Sentinel-1A.

B. UJI COBA PEMETAAN LAHAN GAMBUT

1. Lokasi Uji Coba

Lokasi uji coba terletak pada koordinat 2.30° Lintang Selatan dan 104.20° Bujur Timur. Lokasi studi terletak pada dua tipe Kesatuan Hidrologi Gambut (KHG) dengan dua dominan tipe tutupan lahan, yaitu kelapa sawit dan akasia (Tabel 10.1) di Kabupaten OKI, Provinsi Sumatra Selatan. Total luas wilayah administrasi Kabupaten OKI sebesar 17.058,32 km² dan termasuk pada zona iklim hutan hujan tropis. Suhu udara tahunan di Kabupaten OKI berkisar antara 25 °C dan 32°C, dengan suhu udara rata-rata adalah 28 °C. Di daerah ini, puncak musim kering terjadi pada bulan Oktober dan puncak musim hujan terjadi pada bulan Februari–Maret. Pola iklim ini mengikuti pola *inter-tropical convergence zone* (ITCZ) dari pergerakan angin dari utara maupun selatan (Aldrian & Dwi Susanto, 2003).



Sumber: Google Maps (2018)

Gambar 10.1 (a) Lokasi Studi di Kabupaten OKI dan (b) Provinsi Sumatra Selatan

Tabel 10.1 Lokasi Studi dan Tutupan Lahan di Kabupaten OKI

Kode	Lokasi Studi	Bujur Timur (DD)	Lintang Selatan (DD)	Kesatuan Hidrologi Gambut (KHG)	Tutupan Lahan
PYB1	Penyabungan	105,43	-3.02	Sungai Burnai-Sungai Sebungbung	Akasia
PYB2	Penyabungan	105,37	-3.05	Sungai Burnai-Sungai Sebungbung	Akasia
PYB3	Penyabungan	105,32	-3.03	Sungai Burnai-Sungai Sebungbung	Akasia
PYB4	Penyabungan	105,39	-3.10	Sungai Burnai-Sungai Sebungbung	Akasia
KYG1	Kayu Agung	104,86	-3.41	Sungai Sugihan-Sungai Lumpur	Kelapa Sawit dan Semak Belukar
KYG2	Kayu Agung	104,86	-3.44	Sungai Sugihan-Sungai Lumpur	Kelapa Sawit dan Semak Belukar
KYG3	Kayu Agung	104,92	-3.46	Sungai Sugihan-Sungai Lumpur	Kelapa Sawit dan Semak Belukar
KYG4	Kayu Agung	104,95	-3.50	Sungai Sugihan-Sungai Lumpur	Kelapa Sawit dan Semak Belukar
KYG5	Kayu Agung	104,97	-3.56	Sungai Sugihan-Sungai Lumpur	Kelapa Sawit dan Semak Belukar

Sumber: Hasil Survei oleh Penulis (2018)

2. Data SAR Sentinel-1A

Pada kajian ini digunakan empat tanggal data SAR Sentinel-1A Level 1 dari *Ground Range Detected* (GRD), masing-masing diakuisisi pada 11 Juni 2017, 3 September 2017, 8 Desember 2017, dan 1 Mei 2018 di sekitar wilayah Kabupaten OKI. Data SAR tipe GRD ini telah diproses dengan *multilook* dan diproyeksikan ke koordinat permukaan bumi dengan koordinat WGS 84. Citra komposit dari daerah kajian dapat dilihat pada Gambar 10.2, di mana komposit citra SAR yang digunakan adalah polarisasi VV, polarisasi VH, dan perbedaan dari nilai hamburan-balik antara polarisasi VV dan VH. Spesifikasi data yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 10.2.

Tabel 10.2 Spesifikasi Data SAR Sentinel-1A yang Dipergunakan

Spesifikasi	Data Sentinel-1A
Waktu akuisisi	11 Juni 2017
	3 September 2017
	8 Desember 2017
	1 Mei 2018
Orbit	<i>Descending</i>
<i>Image Mode</i>	IW
Frekuensi <i>Image</i>	Pita C (5.4 GHz)
Polarisasi	VV-VH
Produk Data	Level 1 GRD
Mode Resolusi	30 m

Sumber: European Space Agency (2018)

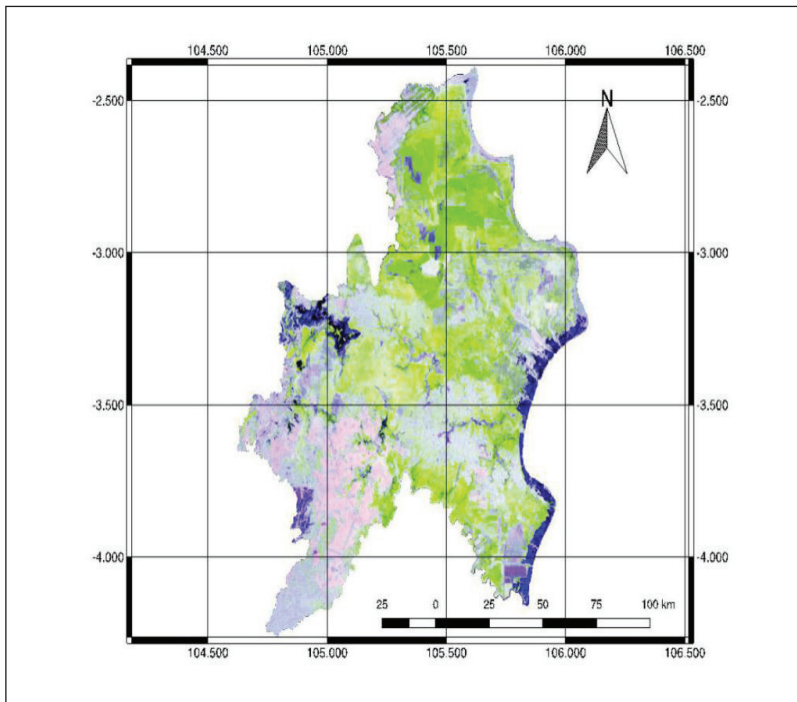
3. Analisis data

Pada kajian ini, data Sentinel-1A tersebut diproses dengan menggunakan perangkat lunak *Sentinel Application Platform* (SNAP) (Versi 6.0). SNAP adalah sebuah perangkat lunak *open source* yang dikembangkan oleh ESA untuk membantu para pengguna maupun peneliti mengolah data Sentinel. Sebelum proses analisis data, data Sentinel-1A tersebut dikalibrasi, disaringditapis dengan menggunakan 7×7 *Lee Refined Filter*, 3×3 *multi-looking*, dan dikoreksi dengan menggunakan *Terrain Correction*. Selanjutnya, nilai *Digital Number* (DN) dari tiap-tiap piksel citra Sentinel, ditransformasikan menjadi nilai koefisien hamburan-balik yang dinormalisasikan, seperti pada persamaan di bawah ini:

$$\text{Koefisien hamburan-balik} = 10 * \log_{10}(\text{DN}^2)$$

di mana adalah nilai normalisasi dari koefisien *backscattering* hamburan-balik. Seluruh proses tersebut dilakukan dengan menggunakan *toolbox* S1TBX Sentinel-1 yang dikembangkan oleh ESA.

Analisis lahan gambut di Kabupaten OKI didasarkan pada analisis eksperimental dari profil kelembapan tanah, konstanta dielektrik, dan nilai koefisien *backscattering* hamburan-balik di Kabupaten Siak, Provinsi Riau (Marpaung dkk., 2018). Profil hamburan-balik dari polarisasi VV dan polarisasi VH dianalisis selama 1 tahun. Kemudian, rasio antara nilai VV dan VH dan tekstur dari VV dan VH dianalisis untuk mengidentifikasi sebaran lahan gambut di Kabupaten OKI.



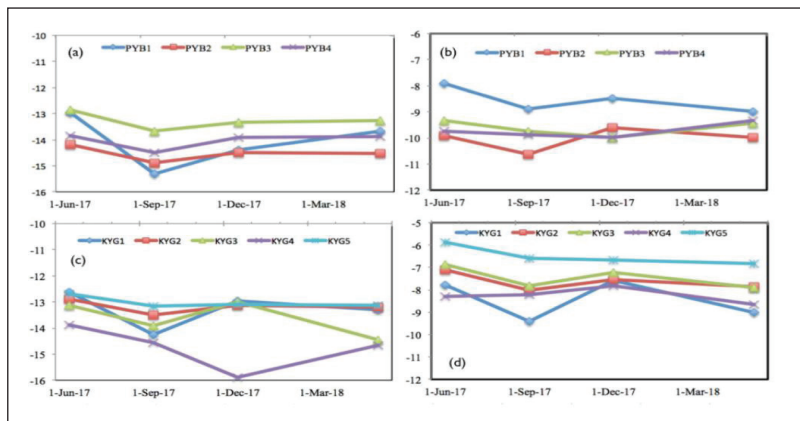
Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 10.2 Komposit Citra SAR Sentinel-1A (VV, VH, VV-VH) di Kabupaten Ogan Komering Ilir

C. HASIL STUDI PEMANFAATAN DATA SENTINEL-1 UNTUK IDENTIFIKASI GAMBUT

1. Pola Hamburan-balik dari Polarisasi VV dan VH

Gambar 10.3 memperlihatkan pola nilai *backscatter* hamburan-balik dari polarisasi VV dan VH selama satu tahun dari 6 Juni 2017 hingga 1 Mei 2018. Pola tersebut menunjukkan profil hamburan-balik VV dan VH pada 10 lokasi pengamatan di 2 KHG Kabupaten OKI, Provinsi Sumatra Selatan. Profil VH dan VV di lokasi Penyambungan (Gambar 10.3a, dan 10.3b) memiliki pola yang relatif sama. δ VH dan δ VV menurun pada September 2017, kemudian mengalami peningkatan pada Desember 2017 dan Mei 2018. Variasi nilai VH dan VV tersebut relatif rendah dengan nilai VH berkisar antara -15,3 dB dan -12.9 dB, sedangkan nilai VV antara -10.6 dB dan -7.9 dB. Pola nilai VH dan VV di Kayu Agung (KYG) hampir sama dengan pola nilai VH dan VV di Penyambungan (Gambar 10.3c dan Gambar 10.3d). Namun, VH di KYG4 memiliki pola yang berbeda. Nilai VH mengalami penurunan hingga Desember 2017 dan kemudian meningkat hingga bulan Mei 2018.

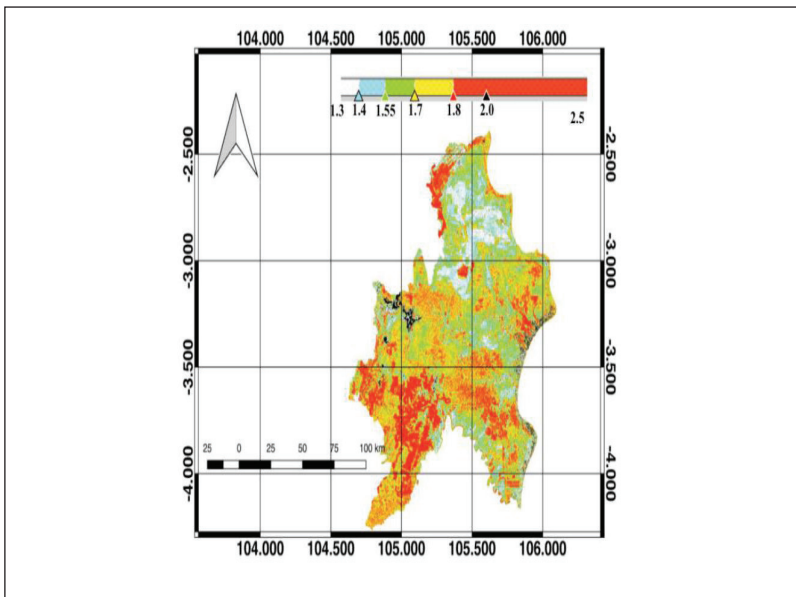


Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 10.3 Profil Nilai Hamburan-balik dari Polarisasi VH (Panel Kiri), dan VV (Panel Kanan) di 10 Lokasi Studi Kajian, yaitu di Lokasi Penyambungan (PYB) (a dan b); dan Lokasi Kayu Agung (KYG) (c dan d) di Kabupaten Ogan Komering Ilir.

2. Rasio Hamburan-balik antara Polarisasi VH dan VV

Gambar 10.4 menunjukkan rasio perbandingan antara nilai VH dan VV ($\delta VH/\delta VV$) di Kabupaten OKI, Provinsi Sumatra Selatan pada 1 Mei 2018. Rasio VH/VV yang tinggi terkonsentrasi sebagian besar di sebelah selatan Kabupaten OKI, Provinsi Sumatra Selatan. Daerah tersebut sebagian besar merupakan daerah permukiman dan daerah perbukitan dengan nilai rasio >2 (Gambar 10.2). Rasio VH/VV yang rendah ($<1,6$) terkonsentrasi sebagian besar di sebelah utara Kabupaten OKI, Provinsi Sumatra Selatan. Daerah ini sebagian besar merupakan daerah perkebunan akasia. Nilai rasio (VH/VV) di Kabupaten OKI relatif sama setiap tahunnya dengan nilai variasi yang kecil (Gambar 10.3).

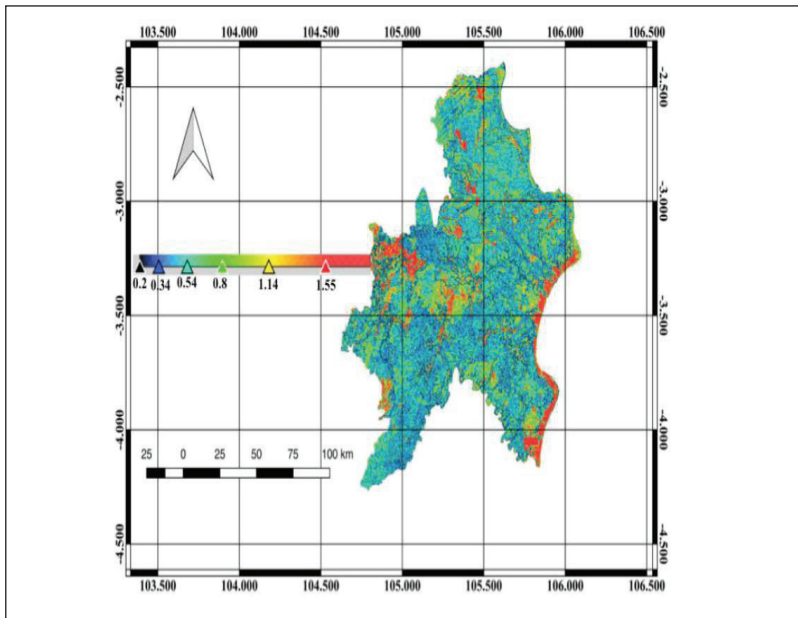


Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 10.4 Sebaran Rasio Nilai Polarisasi VH dan Polarisasi VV di Kabupaten OKI, Provinsi Sumatra Selatan, pada Tanggal Akuisisi 1 Mei 2018

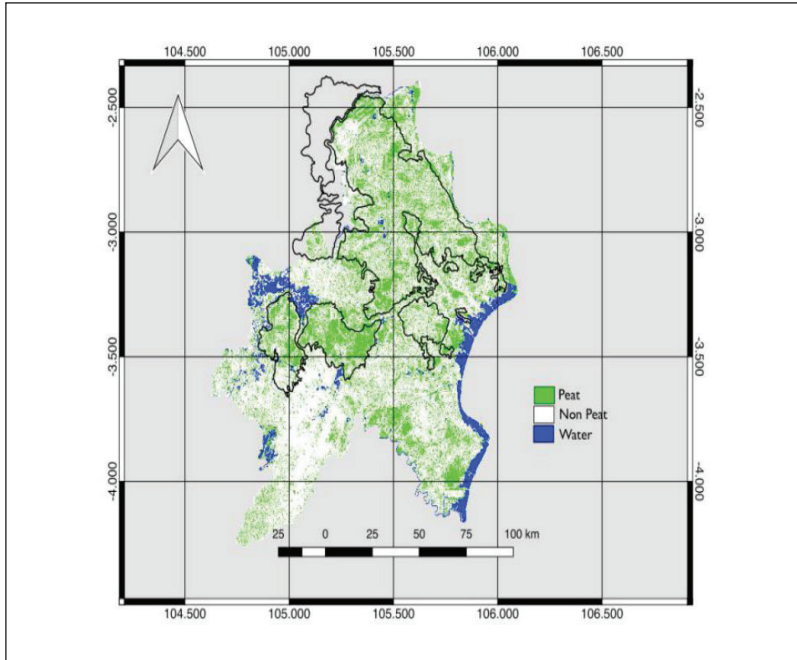
3. Pola Homogenitas dari Polarisasi VH

Homogenitas nilai hamburan-balik dari polarisasi VV di Kabupaten OKI berkisar antara 0,75 dan 2,0 (Gambar 10.5). Sebaran nilai tertinggi (VV) berkonsentrasi di seluruh wilayah Kabupaten OKI. Namun, nilai tersebut sangat rendah (VV <1,1) di badan air dan pesisir pantai (gambar tidak ditampilkan). Sebaran nilai hamburan-balik dari polarisasi VH dapat dilihat pada Gambar 10.5. Nilai homogenitas VV di badan air dan pesisir pantai relatif lebih tinggi dengan nilai lebih dari 1,55, sedangkan nilai homogenitas VV di daerah kajian relatif rendah, dengan nilai berkisar antara 0,4 dan 0,8.



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 10.5 Sebaran Homogenitas Nilai Hamburan-balik Polarisasi VH di Kabupaten OKI, Provinsi Sumatra Selatan, pada Tanggal Akuisisi 1 Mei 2018



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 10.6 Perkiraan Sebaran Lahan Gambut di Kabupaten OKI, Provinsi Sumatra Selatan

4. Sebaran Lahan Gambut di Kabupaten OKI

Pada kajian ini, pola sebaran rasio VV/VH , pola sebaran homogenitas δVV dan δVH didefinisikan untuk memperkirakan sebaran lahan gambut di Kabupaten OKI, Provinsi Sumatra Selatan. Setiap pola tersebut diklasifikasi sebagai variabel tunggal dan Gambar 10.6 menunjukkan perkiraan sebaran lahan gambut. Lahan gambut dengan tutupan lahan perkebunan akasia memiliki nilai homogenitas VH yang rendah dengan rasio VH/VV berada antara 1,3 dan 1,6 di KHG Sungai Burnai–Sungai Sebungbung, sedangkan lahan gambut dengan tutupan kelapa sawit memiliki nilai homogenitas VH yang rendah

dengan rasio VH/VV berada antara 1,55 dan 1,8 di KHG Sungai Sugihan–Sungai Lumpur. Lahan gambut dengan tutupan lahan hutan memiliki tekstur homogenitas VH yang rendah dan rasio VH/VV yang lebih tinggi, yaitu antara 0,17 dan 2,0. Klasifikasi ini sebagian besar sesuai dengan pola KHG di Kabupaten OKI dan *ground check* di lapangan. Akan tetapi, sebaran ini tidak valid untuk tutupan lahan hutan yang lebat. Kondisi ini disebabkan oleh tinggi dan rapatnya pohon-pohon di hutan di KHG Sungai Burnai–Sungai Sebungung.

D. KESIMPULAN

Perkiraan lahan gambut dengan menggunakan pola sebaran rasio VV/VH, tekstur nilai hamburan-balik dari polarisasi VV dan VH (homogenitas VV dan homogenitas VH) hanya dapat memperkirakan sebaran lahan gambut pada tutupan lahan perkebunan di Kabupaten OKI, Provinsi Sumatra Selatan. Lahan gambut dengan tutupan lahan perkebunan akasia dan perkebunan kelapa sawit memiliki nilai homogenitas VH yang rendah dengan rasio VH/VV berada antara 1,3 dan 1,8, sedangkan lahan gambut di hutan memiliki nilai homogenitas VH rendah dengan rasio VH/VV yang tinggi. Namun, analisis pola sebaran rasio dan tekstur nilai hamburan-balik untuk tutupan lahan hutan yang lebat sangat rendah. Oleh karena itu, dibutuhkan studi lanjutan mengenai estimasi lahan gambut untuk hutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E., & Dwi Susanto, R. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, 23(12): 1435–1452. DOI:10.1002/joc.950.
- Balzter, H., Cole, B., Thiel, C., & Schnullius, C. (2015). Mapping CORINE land cover from Sentinel-1A SAR and SRTM digital elevation model data using random forests. *Remote Sensing*, 7(11): 14876–14898. DOI: 10.3390/rs71114876.

- Dargie, G. C., Lewis, S. L., Lawson, I. T., Mitchard, E. T. A., Page, S. E., Bocko, Y. E., & Ifo, S. A. (2017). Age, extent and carbon storage of the Central Congo Basin Peatland Complex. *Nature*, 542(7639): 86–90. DOI: 10.1038/nature21048.
- European Space Agency (2018). *Copernicus Open Access Hub*. Diakses dari <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> tanggal 3 Juni 2018.
- Langner, A., & Siegert, F. (2009). Spatiotemporal fire occurrence in Borneo over a period of 10 years. *Global Change Biology*, 15(1): 48–62. DOI:10.1111/j.1365-2486.2008.01828.x.
- Marpaung, F., Putiamini, S., Fernando, D., Avianti, E., Priyadi, H., & Darmawan, A. (2018). Identification of tropical peatland using ALOS-2 PALSAR-2. *Earth and Environmental Science* (p. 165). DOI:10.1088/1755-1315/165/1/012014.
- Miettinen, J., Shi, C., & Liew, S. C. (2011). Deforestation rates in insular Southeast Asia between 2000 and 2010. *Global Change Biology*, 17(7): 2261–2270. DOI:10.1111/j.1365-2486.2011.02398.x.
- Murdiyarso, D., & Adiningsih, E. S. (2007). Climate anomalies, Indonesian vegetation fires and terrestrial carbon emissions. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Springer, 12(1): 101–112. DOI: 10.1007/s11027-006-9047-4.
- Niu, X., & Ban, Y. (2013). Multi-temporal RADARSAT-2 polarimetric SAR data for urban land-cover classification using an object-based support vector machine and a rule-based approach. *International Journal of Remote Sensing*, 34(1): 1–26. DOI:10.1080/01431161.2012.700133
- Page, S. E., Rieley, J. O., & Banks, C. J. (2011). Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Global Change Biology*, 17(2): 798–818. DOI:10.1111/j.1365-2486.2010.02279.x.
- Souza, F. E. S., & Ramos e Silva, C. A. (2011). Ecological and economic valuation of the potengi estuary mangrove wetlands (NE, Brazil) using ancillary spatial data. *Journal of Coastal Conservation*, 15(1): 195–206. DOI: 10.1007/s11852-010-0133-0.

- Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 2011. (2011).
Tentang penundaan pemberian izin baru dan penyempurnaan tata
kelola hutan alam primer dan lahan gambut. Republik Indonesia.
- Peraturan Pemerintah Nomor 71 Tahun 2014. (2014). Perlindungan dan
pengelolaan ekosistem gambut. Republik Indonesia.
- Peraturan Presiden Nomor 1 Tahun 2016. (2016). Tentang Badan
Restorasi Gambut. Republik Indonesia.
- Wijaya, T. (2017). *Luas gambut yang direstorasi di Sumatera Selatan
kemungkinan berkurang. Mengapa?*. Diunduh pada 18 Agustus
2018 dari <http://mongabay.co.id>.

BAB 11



Estimasi Parameter Gempa dengan Citra Satelit Sentinel-1A

Agustan dan Muhamad Sadly

A. GEMPA BUMI

Gempa yang terjadi pada 29 Mei 2017 di wilayah Poso, Sulawesi Tengah, menyebabkan bangunan roboh dan beberapa infrastruktur rusak. Kerusakan yang terjadi disebabkan oleh guncangan akibat penjalaran gelombang seismik atau juga akibat perubahan bentuk permukaan atau deformasi. Deformasi permukaan yang disebabkan oleh gempa yang tercatat oleh jaringan pemantau Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) mempunyai kekuatan skala Mw 6,6 yang berpusat pada kedalaman 11 km dengan koordinat sekitar 1.28° LS dan 120.48° BT dikenal dengan istilah *co-seismic deformation*.

Deformasi permukaan akibat gempa tersebut dapat diketahui dengan memanfaatkan metode penginderaan jauh berbasis satelit radar. Penginderaan jauh berbasis satelit radar mempunyai beberapa keunggulan, yaitu efisiensi dengan cakupan yang luas untuk wilayah yang diamati dan bebas awan. Selain itu, sistem satelit radar yang menggunakan penjalaran gelombang elektromagnetik mempunyai

komponen fase (*phase*) yang dapat dimanfaatkan untuk membuat bentuk model permukaan secara digital dengan menginterferensikan gelombang fase dari dua waktu pengamatan yang berbeda. Teknik ini dikenal dengan interferometri yang lebih dikenal dengan InSAR (*interferometric synthetic aperture radar*).

Pemanfaatan teknik InSAR untuk melihat deformasi terkait gempa, pertama kali dipublikasikan oleh Massonnet dan Rabaute (1993) terkait gempa Landers California yang terjadi pada 28 Juni 1992. Setelah itu, beberapa kajian terkait parameter gempa yang diturunkan dari deformasi yang terjadi melalui pemodelan dilakukan, misalnya, kajian oleh Delouis, Giardini, Lundgren, dan Salichon (2002), Feigl dkk., (2002), dan Arnadottir, Jonsson, Pollitz, Jiang, dan Feigl (2005).

Pemodelan untuk memperkirakan parameter bidang gempa berupa geometri dan arah gerakan gempa berdasarkan deformasi permukaan menggunakan prinsip dislokasi pada *elastic half-space* (Okada, 1985, 1992) yang dapat dilakukan menggunakan *forward* atau *backward modeling*. Artikel ini menjelaskan tentang perkiraan parameter gempa Poso menggunakan data deformasi permukaan yang ditentukan dari pengolahan secara interferometri data radar yang direkam oleh satelit Sentinel-1A.

B. DATA SAR UNTUK IDENTIFIKASI PARAMETER GEMPA

Jenis dan parameter gempa yang dapat menyebabkan deformasi permukaan diilustrasikan pada Gambar 11.1. Di gambar itu terlihat bahwa ada tiga parameter dari geometri bidang gempa yang dapat diperkirakan, yaitu posisi kedalaman gempa, panjang bidang gempa, lebar bidang gempa, dan empat parameter untuk arah gerakan (dislokasi) gempa, yaitu arah patahan atau *strike* (dalam satuan derajat dihitung dari arah utara searah jarum jam), sudut kemiringan patahan atau *dip* (dalam satuan derajat dihitung dari sumbu

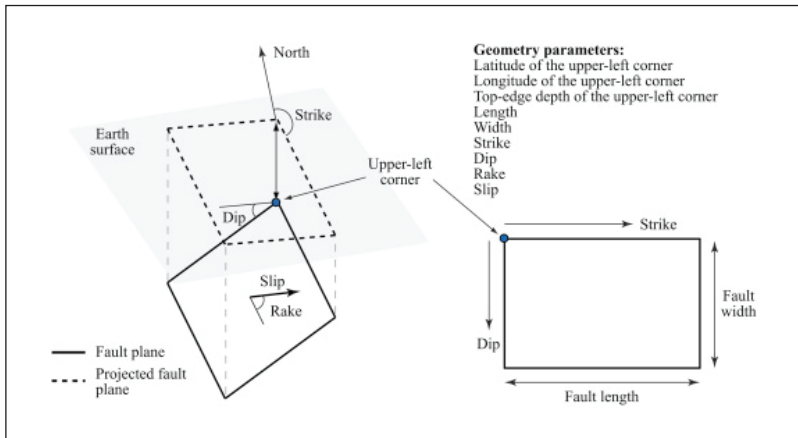
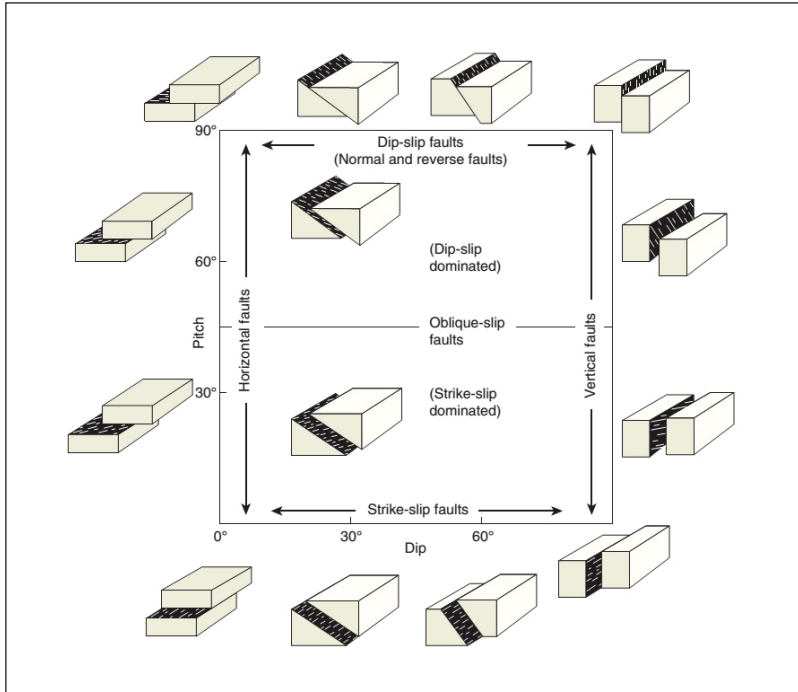
horizontal), dan arah bidang relatif arah patahan atau *rake* yang menentukan jenis patahan apakah *strike-slip*, *dip-slip*, *tensile*, atau *inflation* (dalam satuan derajat) dan besarnya pergeseran atau *slip* (dalam satuan meter).

Deformasi permukaan yang terjadi akibat gempa Poso ditentukan dari mengolah data satelit Sentinel-1A 19 Mei 2018 dan 31 Mei 2018 orbit menurun (*descending orbit*). Data ini diakuisisi dengan mode *Interferometric Wide Swath* (IW) dengan teknik *Terrain Observation with Progressive Scans SAR* (TOPSAR). Data ini diolah menggunakan perangkat lunak GAMMA SAR dengan lisensi dari Research Center for Seismology Volcanology and Disaster Mitigation, Nagoya University, Jepang.

Komponen fase (ϕ) yang terdapat pada hasil pengolahan interferometri dari dua data satelit radar terdiri dari fase bentuk permukaan bumi (topographic phase— ϕ_{topo}), orbit satelit (orbital phase— ϕ_{orb}), kelengkungan bumi (earth curvature phase— ϕ_{curv}), kemungkinan deformasi (deformation phase— ϕ_{defo}), sinyal atmosfer (atmospheric phase— ϕ_{atm}) dan gangguan lain yang diterima saat penjarangan gelombang dari satelit ke permukaan bumi dan kembali ke satelit.

Untuk mendapatkan sinyal deformasi, komponen lain harus dieliminasi dengan menggunakan teknik diferensial. Teknik ini menggunakan model bentuk permukaan yang sudah ada sebagai referensi dan diperkurangkan. Dalam kajian ini, data *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) dimodelkan untuk mendapatkan fase bentuk permukaan bumi, dan juga teknik pengolahan lain untuk menghilangkan komponen fase lain. Hasil akhir dari pengolahan dengan teknik differensiasi InSAR ini adalah sebaran *line of sight* (LOS) *displacement*, yaitu beda fase akibat deformasi yang ditampilkan dalam bentuk interferogram.

LOS *displacement* dapat dikonversi ke bentuk perubahan vertikal atau horizontal dengan persamaan trigonometri. Dalam kajian



Sumber: Dimodifikasi dari *website Learning Geology* dan Artikel dari Goda (2017)
Gambar 11.1 Ilustrasi Bidang dan Parameter Gempa

ini, parameter bidang gempa diperkirakan berdasarkan bentuk interferogram yang dihasilkan dari pengolahan data satelit Sentinel-1A yang kemudian didekati dengan *forward modeling* menggunakan Miron Tools (Luis, 2007). Untuk validasi model, digunakan satu parameter deformasi, yaitu perubahan vertikal yang mungkin terjadi akibat gempa.

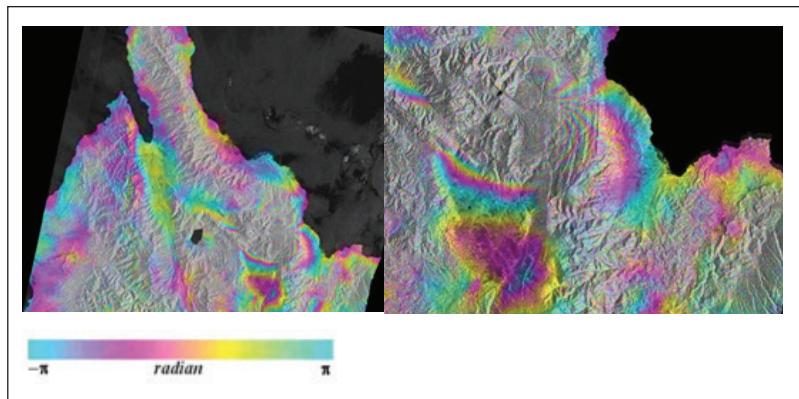
Besaran perubahan secara vertikal (V_{disp}) dapat dinyatakan sebagai LOS dibagi dengan kosinus sudut datang sinyal gelombang radar atau *incidence angle* (θ).

$$\underline{LOS} = \frac{LOS}{\cos\theta} \quad (1)$$

Selanjutnya, parameter gempa Poso 29 Mei 2017 yang dihasilkan berdasarkan perkiraan pengolahan InSAR dibandingkan parameter gempa yang dihasilkan oleh hasil kajian lain.

C. HASIL STUDI PARAMETER GEMPA DI PALU

Hasil pengolahan satelit radar Sentinel-1A dari sebelum dan sesudah gempa Poso menghasilkan interferogram yang diilustrasikan pada Gambar 11.2.



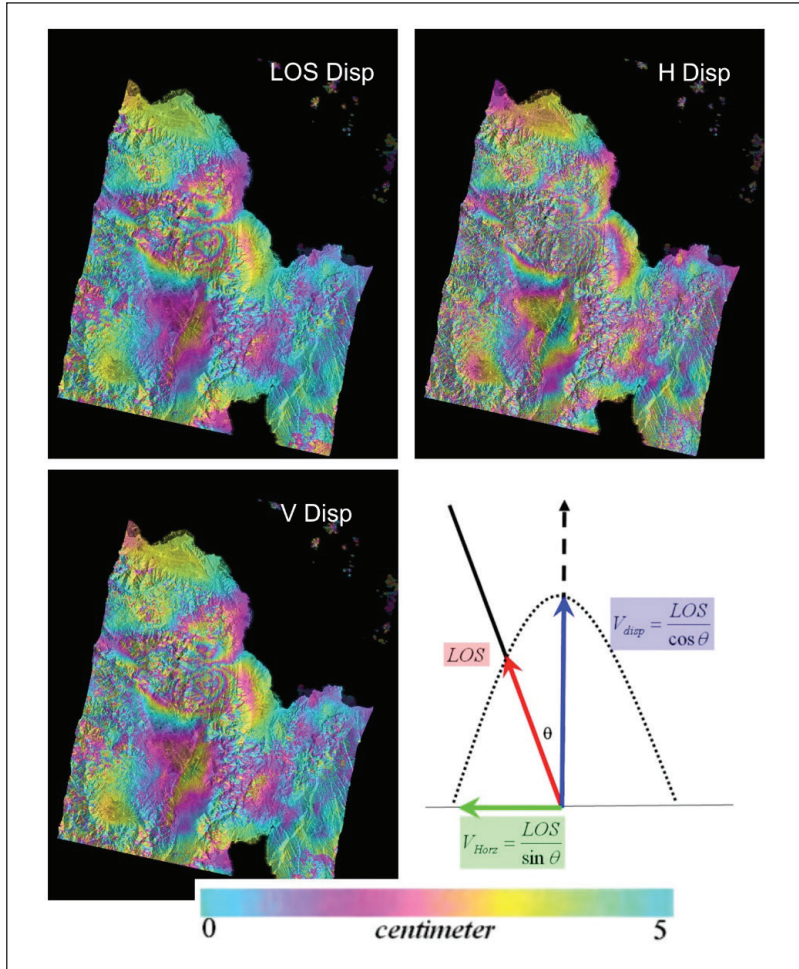
Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 11.2 Interferogram Hasil Pengolahan Diferensial InSAR Dua Data Sentinel-1A untuk Wilayah Poso

Gambar 11.2 memperlihatkan adanya lingkaran warna (*fringes*) yang berasosiasi dengan sinyal deformasi yang disebabkan oleh gempa Poso. Lingkaran warna tersebut merepresentasikan perubahan bentuk permukaan atau deformasi dalam bentuk siklus beda fase (*wrapped phase*) dan dapat diinterpretasikan sebagai *line of sight displacement*. Besaran perubahan bentuk permukaan berdasarkan beda fase dapat diturunkan dari panjang gelombang satelit Sentinel-1A, yaitu sekitar 5,6 cm (*Pita C radar*), yang merambat dari satelit-permukaan bumi-satelit. Untuk itu, satu lingkaran warna yang sempurna (misal dari merah ke merah atau dari biru ke biru) merepresentasikan perubahan jarak satelit-permukaan bumi sekitar 2,8 cm. Jika urutan warna yang ditentukan dari arah terbang satelit adalah merah-kuning, itu mengindikasikan adanya pemendekan jarak atau permukaan bumi mengalami gerakan relatif mendekat ke satelit. Sebaliknya, jika urutan warna adalah merah-biru, itu mengindikasikan adanya penambahan jarak atau permukaan bumi mengalami gerakan relatif menjauh dari satelit. Terlihat bahwa pada sekitar daerah bagian selatan dari lingkaran warna, teridentifikasi sekitar enam lingkaran warna, yang jika dikalikan dengan 2,8 cm, terdapat perubahan jarak (beda fase) dari satelit ke permukaan bumi dengan gerakan relatif mendekat ke satelit (jarak memendek) sekitar 17 cm.

Selain itu, setelah dilakukan *phase unwrapping*, dapat diperoleh deformasi permukaan yang dapat diproyeksikan pada perubahan vertikal atau horizontal (Gambar 11.3).

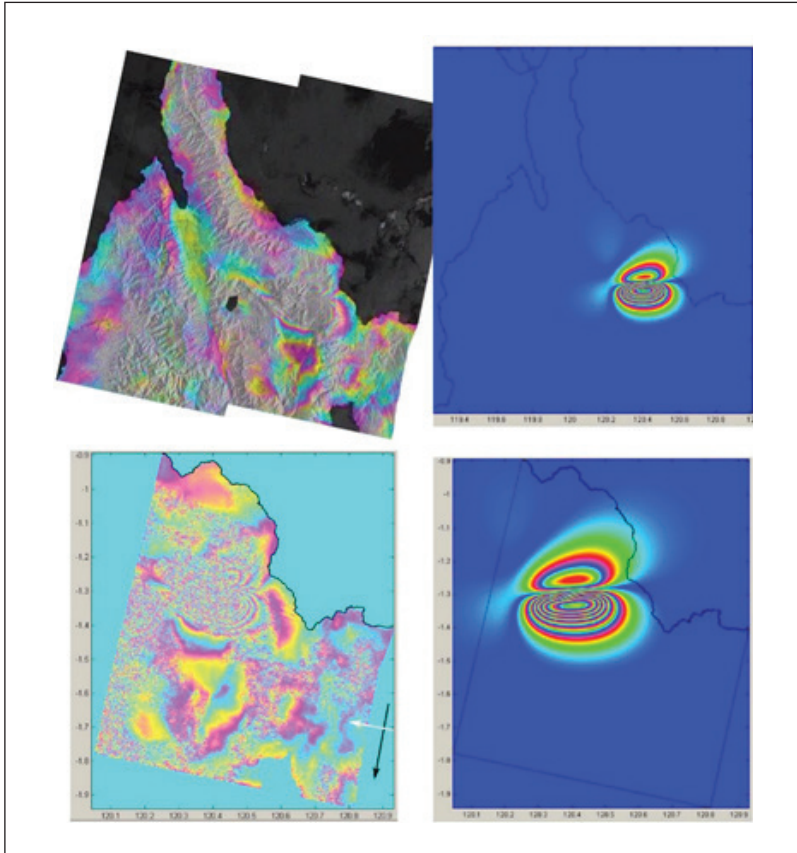
Selanjutnya, dilakukan simulasi pemodelan interferogram berdasarkan jumlah lingkaran warna yang teridentifikasi dengan merancang bidang gempa dan mencari parameter yang paling mendekati dengan hasil pengolahan InSAR tersebut. Berdasarkan *forward modeling* dari model dislokasi Okada di Mirone Tools, diperoleh parameter gempa Poso, yaitu panjang bidang patahan (*length*) sekitar 20 km, lebar bidang patahan (*width*) sekitar 5 km,



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

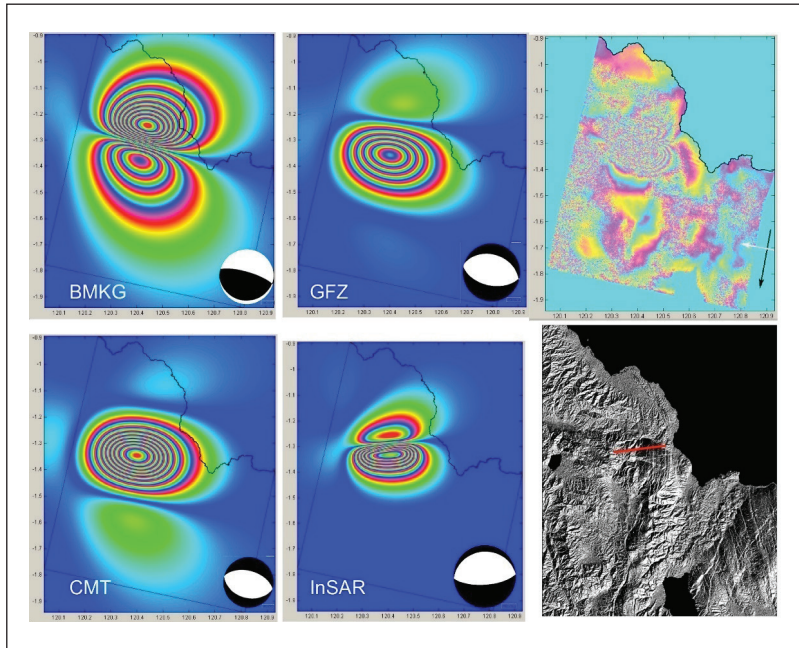
Gambar 11.3 Deformasi Permukaan yang Digambarkan dalam Lingkaran Warna untuk Komponen Vertikal dan Horizontal Berdasarkan Persamaan Trigonometri

dengan letak kedalaman (*depth*) sekitar 5 km, dengan besaran sudut *strike* sekitar 86 derajat, sudut *dip* sekitar 68 derajat, sudut *rake* -90, dan besaran *slip* sekitar 1 m. Hasil simulasi interferogram berdasarkan parameter gempa tersebut dapat dilihat pada Gambar 11.4.



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 11.4 Interferogram Hasil Pengolahan InSAR dan Hasil Simulasi dari Pemodelan Parameter Gempa yang Paling Mendekati



Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Gambar 11.5 Interferogram Hasil Simulasi dari Pemodelan Parameter Gempa dari Kajian Lain, juga Perkiraan Lokasi Patahan dari Estimasi InSAR

Parameter gempa yang dihasilkan dibandingkan hasil dari kajian lain dan dirangkum pada Tabel 11.1.

Tabel 11.1 Parameter Gempa Hasil Perkiraan InSAR dan Kajian Lain

	Length (km)	Width (km)	Depth (km)	Strike (deg)	Dip (deg)	Rake (deg)	Slip (m)	Mw
BMKG	20	10	10	286	76	94	2	6,7
GFZ (Jerman)	20	10	12	101	52	-94	1	6,5
CMT (Columbia Uni)	20	10	12	104	38	-91	1.5	6,6
InSAR (Hasil kajian ini)	20	5	5	86	68	-90	1	6,3

Sumber: Hasil Pengolahan Data oleh Penulis (2018)

Parameter gempa dari kajian di atas jika disimulasikan untuk menghasilkan interferogram, dapat memberikan gambaran tentang kemungkinan yang paling mendekati. Hasil simulasi dari parameter-parameter tersebut dapat dilihat pada Gambar 11.5. Terlihat bahwa interferogram yang dihasilkan dari tiga hasil kajian lain, yaitu dari BMKG, GFZ Jerman, dan CMT Columbia University tidak memberikan interferogram yang mendekati hasil pengolahan data satelit Sentinel-1A.

Gambar 11.5 juga memperlihatkan perkiraan letak patahan yang menyebabkan gempa Poso 29 Mei 2017. Jika dibandingkan sebaran patahan daerah Sulawesi yang telah dikaji sebelumnya, misalnya oleh Pusat Studi Gempa Nasional (2017) yang menyebutkan terdapat 48 patahan aktif di Sulawesi, kajian yang dilakukan oleh Haris dan Major (2016) serta oleh Cipta dkk., (2016), lokasi patahan gempa ini belum termasuk dari daftar tersebut.

D. KESIMPULAN

Kajian ini memperlihatkan kemampuan metode penginderaan jauh berbasis satelit radar dengan teknik interferometri untuk mendeteksi perubahan permukaan yang disebabkan oleh gempa. Dengan metode ini, sebaran spasial yang luas (skala regional) dapat diperkirakan secara cepat. Saat ini, sistem satelit radar seri Sentinel-1 mempunyai resolusi temporal enam hari sehingga sangat membantu dalam kajian deformasi.

Pemodelan parameter gempa Poso yang dihasilkan dari hasil perkiraan InSAR, memperlihatkan nilai kekuatan gempa yang lebih kecil, yaitu Mw 6,3, dibandingkan dengan estimasi dari kajian lain yang menggunakan gelombang seismik (metode baku), misalnya Mw 6,7 yang dihitung oleh BMKG. Hal ini terjadi karena kajian ini menggunakan model parameter yang diturunkan dari perkiraan *LOS displacement*, yaitu deformasi satu dimensi (perubahan jarak satelit ke permukaan) yang diproyeksikan menjadi vektor 3 dimensi sehingga perkiraan yang dihasilkan biasanya lebih kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnadottir, T., Jonsson, S., Pollitz, F. F., Jiang, W., & Feigl, K. L. (2005). Postseismic deformation following the June 2000 earthquake sequence in the South Iceland Seismic Zone. *Journal of Geophysical Research*, 110(B12308).
- Cipta, A., Robiana, R., Griffin, J. D., Horspool, N., Hidayati, S., & Cummins, P. R. (2016). A probabilistic seismic hazard assessment for Sulawesi, Indonesia. *Geological Society, Special Publications*, 441: 133–152. London, DOI:10.1144/SP441.6.
- Delouis, B., Giardini, D., Lundgren, P., & Salichon, J. (2002). Joint inversion of InSAR, GPS, Teleseismic, and Strong-Motion data for the spatial and temporal distribution of earthquake slip: Application to the 1999 Izmit mainshock. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(1): 278–299.
- Feigl, K. L., Sarti, F., Vadon, H., McClusky, S., Ergintav, S., Durand, P., Burgmann, R., Rigo, A., Massonnet, D., & Reilinger, R. (2002). Estimating slip distribution for the Izmit mainshock from coseismic GPS, ERS-1, Radarsat, and Spot measurements. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(1): 138–160.
- Goda, K. (2017). Probabilistic characterization of seismic ground deformation due to tectonic fault movements. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 100: 316–329.
- Haris, R., & Major, J. (2016). Waves of destruction in the East Indies: the Wichmann catalogue of earthquakes and tsunamis in the Indonesian region from 1538 to 1877. *Geological Society, London, Special Publications*, 441, 9–46, DOI:10.1144/SP441.2
- Luis, J. F. (2007). Mirone: A multi-purpose tool for exploring grid data. *Computers and Geosciences*, 33(1): 31–41.
- Massonnet, D., & Rabaute, T. (1993). Radar interferometry: Limits and potential. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 31(2): 455–464.
- Okada Y., (1985). Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75:1135–54.

Okada, Y. (1992). Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82(2): 1018–1040.

Pusat Studi Gempa Nasional. (2017) *Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum, ISBN 9786025489013.

BAB 12



Pemetaan Geologi Interpretasi Penginderaan Jauh Skala 1:50.000 di Indonesia

Fitriani Agustin, Sonny Mawardi, Immaculata,
Sonia Rijani, Sidarto, dan Akbar Cita

Pemanfaatan data citra radar untuk pemetaan geologi regional telah dilakukan oleh Pusat Survei Geologi, Badan Geologi (dahulu bernama Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G), Direktorat Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral) sejak tahun '80-an. Saat ini, data citra radar digunakan untuk memperbarui informasi geologi pada skala yang lebih besar, yaitu skala 1:50.000.

A. PEMETAAN GEOLOGI SISTEMATIK DENGAN PENGINDERAAN JAUH

Pemetaan geologi sistematis dimulai sejak Repelita I pada tahun 1969 (Sukanto, 2012). Saat itu, data penginderaan jauh masih jauh dari lengkap. Citra penginderaan jauh yang digunakan saat pemetaan geologi regional adalah citra radar dan optik. Interpretasi dilakukan pada meja interpretasi dengan citra radar yang telah dicetak sebelumnya. Kemudian, garis-garis penafsiran ditarik berdasarkan kaidah-kaidah visual yang mempertimbangkan aspek, seperti rona, warna, tekstur, kelurusan. Saat itu, belum ada teknologi untuk meng-

gabungkan beberapa citra. Jadi, interpretasi citra dilakukan secara terpisah. Landsat 5 telah digunakan sekitar tahun '80-an, tetapi kemampuan *processing* citra saat itu masih berupa analog yang berisi simbol-simbol yang mencerminkan nilai *digital number* (DN) dari tiap-tiap piksel. Seorang interpreter harus pandai menerjemahkan nilai-nilai tersebut dan mengaplikasikannya ke dalam perubahan warna. Dengan keterbatasan tersebut, citra optik (saat itu digunakan citra Landsat), kurang optimal untuk dimanfaatkan. Selanjutnya, data-data radar yang meskipun dalam tampilan cetaknya tidak berwarna *grayscale*/hitam-putih), rekaman gelombang yang memantul dari variasi kekasaran objek-objek di permukaan bumi terekam dengan baik yang diperlihatkan dari perbedaan tekstur. Perbedaan tekstur inilah yang dijadikan salah satu faktor dalam menginterpretasikan variasi litologi dan indikasi struktur dipermukaan bumi (Agustin & Sidarto, 2015)

Selain citra optik dan radar, foto udara juga dipergunakan untuk menafsirkan geologi pada tahap awal pemetaan geologi. Hingga saat ini, data foto udara, khususnya wilayah Papua dan Kalimantan, masih tersimpan di ruang arsip foto udara dengan spesifikasi waktu perekaman pada tahun '40-an. Seiring dengan perkembangan teknologi penginderaan jauh, citra satelit yang telah banyak dimanfaatkan untuk kegiatan pemetaan dan analisis geologi adalah citra Satelit Landsat ETM+7. Citra ini hanya dapat digunakan untuk kegiatan pemetaan dan analisis geologi dalam skala menengah (1: 250.000–1: 100.000), tetapi masih memiliki kelemahan dengan keterdapatan liputan awan.

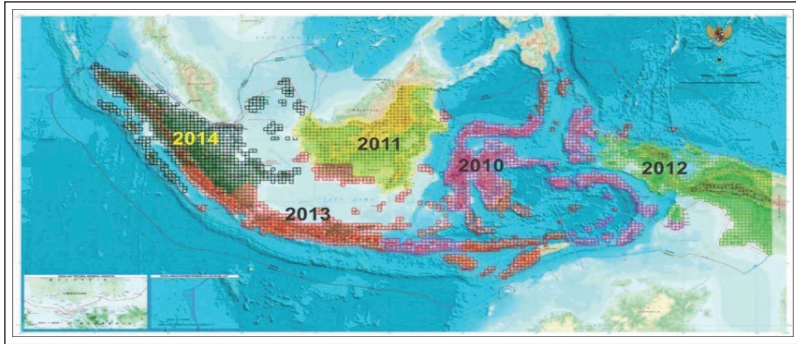
Selain citra optik seperti Landsat, terdapat citra dari foto udara dan citra radar. Foto udara masih tergantung pada kondisi cuaca dan memerlukan biaya tinggi dalam pemotretan, sedangkan citra radar mempunyai teknik perekaman data (*data acquisition*) dan kualitas (tingkat ketelitian) cukup baik untuk dimanfaatkan dalam kegiatan pemetaan geologi skala kecil hingga menengah.

Radar adalah sebuah perangkat penginderaan jauh (*remote sensing*) yang memiliki sumber energi internal di dalam sistemnya berupa gelombang elektromagnetik yang memancarkan energi untuk menerangi permukaan bumi. Sistem penginderaan jauh ini menghitung dengan satuan panjang gelombang dalam sentimeter yang sinyalnya mampu menembus hujan dan awan sehingga merupakan suatu kelebihan untuk penelitian/pemetaan di daerah tropis. Keunggulan lainnya adalah rekaman radar memungkinkan untuk merekam pada kondisi depresi rendah yang menghasilkan efek bayangan dan menguatkan fitur-fitur topografi. Fitur-fitur umumnya adalah ekspresi dari patahan, rekahan-rekahan, dan litologi. Citra radar daerah yang bervegetasi juga merekam permukaan atau bentuk vegetasi tersebut. Di daerah tropis seperti Indonesia, tutupan vegetasi berupa hutan mencerminkan bentuk permukaan bumi di bawahnya sehingga informasi geologi/geomorfologi dapat diinterpretasikan secara langsung dari citra radar (Drury, 2001).

Artikel ini bertujuan untuk menyosialisasikan penggunaan data citra radar dalam kegiatan pemetaan geologi, khususnya pemetaan geologi penginderaan jauh skala 1:50.000 di Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, KESDM. Pelaksanaan kegiatan pemetaan geologi penginderaan jauh skala 1:50.000 dilakukan pada periode 2010–2015 (Gambar 12.1).

B. TEKNIK INTERPRETASI CITRA SATELIT UNTUK PEMETAAN GEOLOGI

Salah satu teknologi radar penginderaan jauh yang saat ini sedang dikembangkan oleh Badan Antariksa Jerman (DLR) adalah TerraSAR-X (Nonaka, Hayakawa, Griffiths, & Mercer, 2009). Teknologi ini merupakan salah satu teknologi penginderaan jauh sistem aktif (*Active Remote Sensing*) yang dapat menghasilkan informasi spasial di permukaan bumi dalam sistem koordinat bumi secara 3 dimensi (X, Y, Z) dari wahana satelit. Citra radar tersebut memiliki resolusi



Sumber: Pusat Survei Geologi (2015)

Gambar 12.1 Peta Pelaksanaan Pemetaan Geologi Interpretasi Penginderaan Jauh Skala 1:50.000 Periode 2010–2015

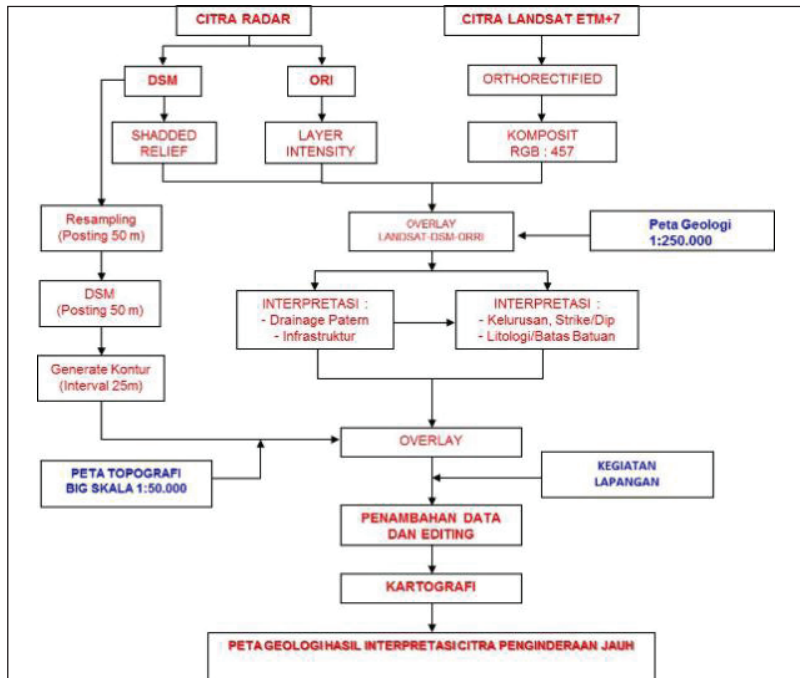
spasial, baik yaitu citra *orthorectified image* (ORI) dengan resolusi 5 meter maupun citra *Digital Surface Model* (DSM) yang beresolusi hingga 9–10 meter. Pada citra radar tidak terdapat liputan awan, tetapi masih memiliki keterbatasan dalam hal spektral yang hanya dapat menampilkan citra secara hitam putih (*grayscale*). Selain citra radar yang berasal dari TerraSAR-X, data citra radar lainnya yang digunakan dalam kegiatan interpretasi geologi untuk pemetaan geologi adalah citra radar yang berasal dari Radarsat (MDA Corporation, 2018), IFSAR (Intermap, 2018), dan SRTM (Farr dkk., 2007) dengan spesifikasi resolusi spasial yang hampir sama, kecuali untuk citra SRTM yang memiliki tingkat resolusi spasial lebih rendah.

Interpretasi geologi dilakukan melalui integrasi data Citra Radar dan Citra Landsat ETM+7. Integrasi data citra penginderaan jauh sistem pasif (Landsat ETM+7) dengan citra penginderaan jauh sistem aktif (RADAR) dimaksudkan untuk mendapatkan tampilan citra penginderaan jauh yang lebih informatif dan menghasilkan peta dalam skala sedang hingga besar, khususnya bagi kepentingan pemetaan geologi skala 1:50.000. Perbandingan spesifikasi data Landsat dengan data RADAR yang dapat dijadikan latar belakang sehingga dilakukan integrasi kedua data tersebut dapat dilihat pada Tabel 12.1.

Tabel 12.1 Perbandingan citra Landsat dengan RADAR

LANDSAT ETM+7	RADAR
Dimungkinkan Terdapat Liputan Awan	Bebas Liputan Awan
Sumber Energi : Matahari	Perekaman Data Dapat Siang/Malam
Multispektral (8 Band)	Tidak Multispektral
Grayscale & Color/RGB	Grayscale
Produk Citra : 2 Dimensi	Produk Citra 3 Dimensi (Ori dan Dsm)
Resolusi Spasial : H = 15 m, 30 m, & 60 m	Resolusi Spasial : H = 5 m ; V = 10 m
Pemetaan Skala Kecil - Menengah	Pemetaan Skala Menengah–Besar
Resolusi Radiometrik : 8 Bit	Resolusi Radiometrik : ORI=8 Bit ; DSM=32 Bit
Resolusi Temporal : 16 Hari	Resolusi Temporal : Order
Line Striping, dll.	Cacat Radar/Radar Artifact (<i>Shadow, Layover, Rain Shadow</i> , dll.)
Relatif Murah-Cakupan Luas (185 Km)	Relatif Mahal- Cakupan Kecil (25 Km)

(Sumber: Agustin & Sidarto, 2015)



Sumber: Hasil Pemikiran Penulis (2018)

Gambar 12.2 Tahapan Kegiatan Pemetaan Geologi Penginderaan Jauh Skala 1:50.000 di Indonesia

Tahapan pemrosesan data radar dan optik berikut dengan data lain pada kegiatan pemetaan geologi penginderaan jauh untuk seluruh wilayah NKRI pada periode tahun 2010–2015 dapat dilihat pada Gambar 12.2 yang terdiri atas:

1. Inventarisasi/Ketersediaan Data Citra

Inventarisasi data citra penginderaan jauh dilakukan melalui beberapa mekanisme, di antaranya: pembelian melalui lelang APBN, mengunduh gratis melalui internet, dan berbagi pakai dengan lembaga pemerintah lain melalui mekanisme *memorandum of understanding* (MoU) dengan Badan Informasi Geospasial (BIG).

Beberapa data citra penginderaan jauh yang dimanfaatkan untuk kegiatan pemetaan geologi penginderaan jauh skala 1:50.000 adalah sebagai berikut: IFSAR (Sulawesi), Radarsat (Papua, Kalimantan), TerraSAR-X (Jawa), SRTM 30 m (Sumatra, Jawa, Nusatenggara), Citra Landsat ETM+7 dan SRTM 90 m (seluruh wilayah Indonesia). Semua data citra radar DSM tersebut telah dikonversi ke dalam *Digital Elevation Model* (DEM) dan dapat diakses melalui portal DEMNas (<http://tides.big.go.id/DEMNAS/>).

2. Pengolahan Citra Penginderaan Jauh

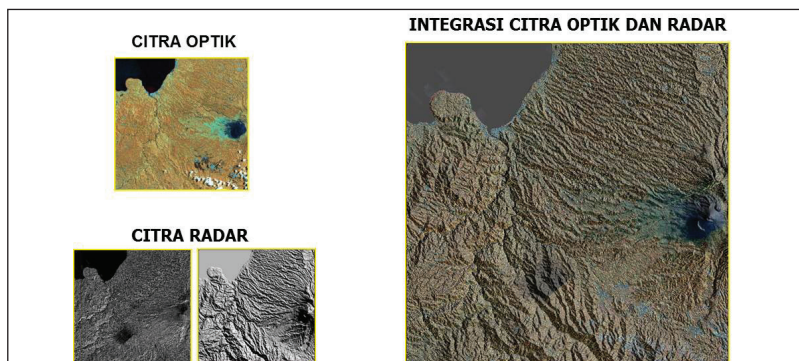
Pengolahan citra penginderaan jauh terdiri dari dua bagian, yaitu pengolahan citra radar dan pengolahan citra optik. Citra radar yang digunakan untuk pemetaan geologi berbeda-beda tiap pulaunya, tetapi spesifikasinya memenuhi untuk dilakukan pemetaan pada skala 1:50.000. Pengolahan citra radar meliputi pembuatan *shaded relief* dari data DSM (pemrosesan titik ketinggian dengan menggunakan metode radargrametri dan interferometri telah dilakukan oleh pihak ketiga), serta membuat citra *intensity layer* dari citra ORI menggunakan klasifikasi *grayscale* dengan skala tingkat kecerahan 0–255. Dari data DSM juga diturunkan produk berupa pola pengaliran sungai (*drainage pattern*) dan kontur dengan interval 25 m. Pengolahan citra optik landsat ETM+7 meliputi ortorektifikasi,

koreksi geometrik, konversi format data citra (format data ERMapper/ Geotiff), pembuatan citra komposit RGB 457, mosaik citra, dan penajaman citra. Fusi citra dilakukan pada ketiga data citra: DSM, ORI, dan Landsat RGB 457.

Melalui integrasi data tersebut, diharapkan liputan awan yang umumnya terdapat pada citra Landsat ETM+7 dapat dikurangi oleh citra TerraSAR-X dan tingkat ketelitian citra Landsat ETM+7 dapat ditingkatkan seiring dengan tingkat ketelitian data TerraSAR-X yang memenuhi syarat untuk digunakan dalam kegiatan pemetaan skala besar (1:50.000). Selain itu, citra yang dihasilkan dari penggabungan/integrasi kedua data tersebut dapat menghasilkan tampilan citra yang berwarna sehingga lebih bersifat informatif, khususnya bagi kepentingan pemetaan geologi skala 1:50.000. Metode penggabungan citra Landsat ETM+7 dan TerraSAR-X yang digunakan adalah metode *overlay* dengan susunan data/*layer* sebagai berikut:

- 1) Landsat ETM+7 dengan kombinasi RGB 457.
- 2) ORI (*Ortho Rectified Image*) sebagai citra *Intensity*.
- 3) DSM (*Digital Surface Model*) dalam model tampilan *shaded relief*.

Tampilan citra yang merupakan hasil penggabungan citra Landsat ETM+7 dan TerraSAR-X dapat dilihat pada Gambar 12.3.



Sumber: Pusat Survei Geologi (2010)

Gambar 12.3 Fusi Citra Optik dengan Citra Radar

3. Interpretasi Citra

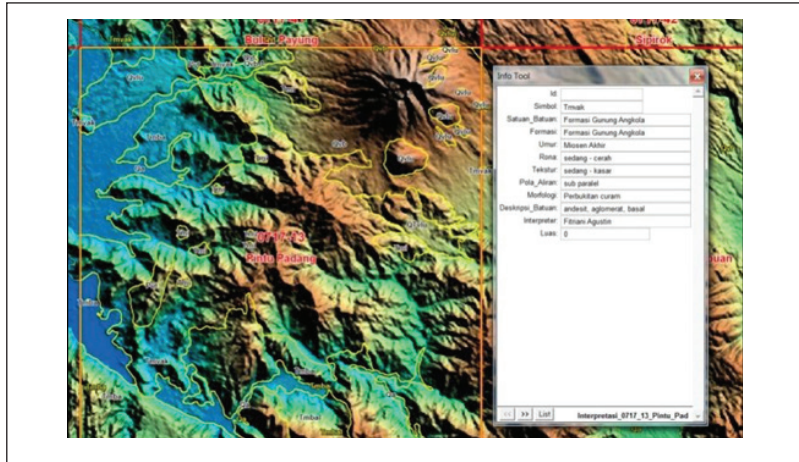
Selanjutnya, fusi citra dipakai sebagai citra dasar dalam melakukan interpretasi fitur-fitur geologi. Beberapa data sekunder di-*overlay* saat melakukan penafsiran di antaranya adalah peta geologi regional skala 1:250.000, data titik pengamatan, data keterdapatan mata air, lokasi sumur bor eksplorasi, lokasi mineral, lokasi fosil, termasuk di dalamnya peta dasar dari Badan Informasi Geospasial (sebelumnya disusun sebuah basis data geologi untuk menunjang informasi yang dijadikan basis data bagi para interpreter). Interpretasi geologi dilakukan secara manual *on screen* dan visual. Semua data di-*overlay* menggunakan bantuan perangkat lunak ErMapper/MapInf/ArcGis. Beberapa pertimbangan dalam melakukan interpretasi visual ini adalah rona, warna, tekstur, pola, dan asosiasi dengan objek di sekitarnya (Sidarto, 2010). Objek interpretasi terdiri dari dua unit, yakni unit satuan litologi (berupa poligon) dan unit struktur geologi (garis), serta morfologi (garis) disertai dengan atribut tabel dari tiap-tiap unit.

4. Pengisian Basis Data dan *Layout* Peta

Pengisian basis data dilakukan saat interpretasi dan *layouting* peta dilakukan setelah tahap interpretasi selesai. *Layouting* dilakukan secara *semi-automtic* dengan mempertimbangkan nomor indeks lembar peta yang disesuaikan dengan indeks peta skala 1:50.000 yang dikeluarkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) (Gambar 12.4).

5. Pengecekan Lapangan

Peta hasil interpretasi ini dijadikan peta dasar untuk melakukan pengecekan lapangan. Hal-hal yang dilakukan selama di lapangan adalah pengambilan sampel batuan, deskripsi batuan, pengecekan batas antar-satuan batuan (litologi), pengukuran struktur geologi



Sumber: Pusat Survei Geologi (2014)

Gambar 12.4 Contoh Pengisian Basis Data untuk Poligon Litologi saat Interpretasi (Tanpa Skala)

(*strike/dip*, kekar, sayap lipatan), pengecekan interpretasi struktur geologi dilapangan, dan pengisian data hasil pengamatan batuan (*field record*). Kemudian, dilakukan pemotretan dan pengambilan contoh pada batuan yang mewakili (jika diperlukan); sebagian akan disimpan di penyimpanan Batuan Museum Geologi PSG sebagai arsip.

6. Reinterpretasi

Setelah dilakukan pengecekan lapangan, dilakukan reinterpretasi yang bertujuan untuk memverifikasi hasil-hasil interpretasi pada peta sebelumnya dan dibuat *layout* peta yang baru, yaitu Peta Geologi Penginderaan Jauh skala 1:50.000. Mengenai tata cara kartografi, pengisian informasi serta basis data disesuaikan dengan Juknis Pemetaan Geologi Penginderaan Jauh skala 1:50.000 (PSG, 2016a).

C. KUALITAS INTERPRETASI GEOLOGI DENGAN DATA SAR

1. Unsur-Unsur Utama dalam Interpretasi Geologi

Di dalam penafsiran unsur-unsur geologi, setidaknya ada tiga unsur utama yang diinterpretasikan, yaitu:

a. Unsur Morfologi

Unsur morfologi di antaranya kawah, aliran lava, *scarps*, poton (lumpur sedimen), *cuesta*, dan morfologi yang khas di daerah karst. Gambar 12.5 memperlihatkan morfologi kawah gunung api dengan berbagai tingkatan periode vulkanisme yang berbeda. Di bagian barat laut aktivitas vulkanisme nya relatif lebih muda ditunjukkan dengan tingkat kekasaran objek yang rendah dibandingkan aktivitas vulkanisme di bagian tenggara. Kekasaran objek yang tinggi merupakan indikasi bahwa proses vulkanisme di wilayah ini sudah berjalan sejak lama.

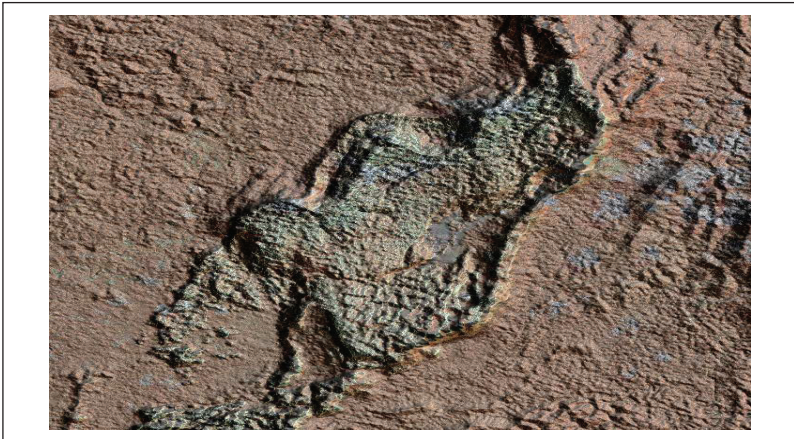


Sumber: Pusat Survei Geologi (2013)

Gambar 12.5 Tingkat kekasaran objek di wilayah gunung api terlihat jelas pada citra fusi landsat 457 dan IFSAR

b. Unsur Litologi

Litologi (batuan) yang dimaksud adalah batuan beku, batuan sedimen, batuan metamorf, dan batuan gunung api. Jenis batuan yang berbeda akan memperlihatkan kenampakan yang berbeda pada citra. Misalnya, batuan beku akan memperlihatkan tekstur yang relatif kasar hingga sedang karena tingkat kekerasan batuan yang relatif lebih tinggi dibandingkan jenis batuan lainnya. Sebuah tubuh intrusi, kenampakan morfologinya cenderung membentuk *semi-circular* yang tersebar secara *soliter* dan kadang berasosiasi dengan sistem pensesaran setempat. Batuan sedimen sesuai dengan genesanya akan memperlihatkan pola perlapisan yang memanjang, perbedaan kekerasan batuan dapat dilihat pada tingkat kekasaran objeknya. Batuan yang kasar (batupasir, konglomerat, dan breksi) cenderung memperlihatkan tekstur yang kasar dan pola aliran yang agak jarang, dibandingkan batuan fraksi halus seperti batulempung (tekstur halus, pola pengaliran rapat). Asosiasi batuan gunung api biasanya berhubungan dengan morfologi gunung api di sekitarnya. Keterdapatan bukaan kawah, aliran lava, danau freatik, kipas vul-



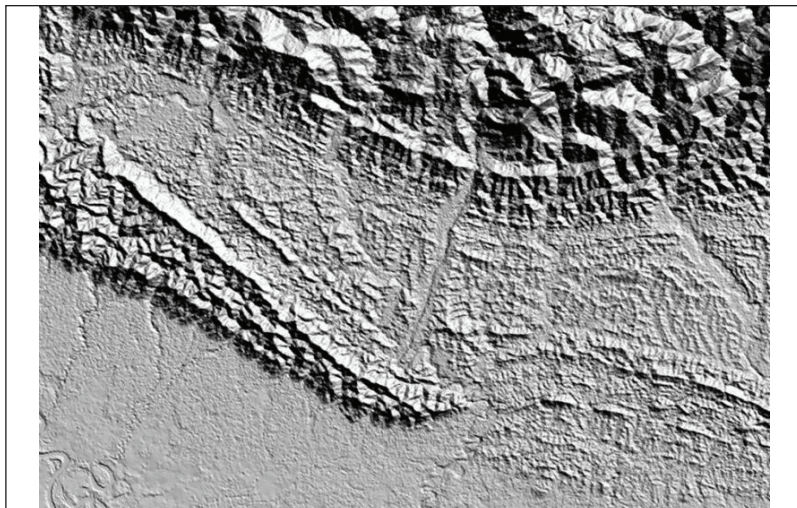
Sumber: Agustín dan Sidarto (2015)

Gambar 12.6 Batu gamping Berumur Oligosen yang Sebarannya Berada di Atas Formasi Batuan Sedimen yang Ada di Bawahnya

kanik yang membawa endapan longsoran (*debris avalanche*) adalah beberapa kenampakan morfologi yang bisa diasosiasikan dengan batuan gunung api.

Gambar 12.6 memperlihatkan formasi batu gamping berumur Oligosen yang menindih batuan sedimen berumur Eosen. Batu gamping memperlihatkan corak yang khas, adanya pola pengaliran yang setempat dan tiba-tiba menghilang, serta corak seperti titik-titik bulat menyebar. Hal ini disebabkan oleh batuan penyusun yang padat tetapi mudah larut, seperti batu gamping, *dolomite*, *gypsum*, *anhydrit*, dan beberapa batuan lain yang mudah larut (Agustin & Sidarto, 2015).

Gambar 12.7 memperlihatkan formasi batuan sedimen yang memanjang relatif berarah barat–timur. Perbedaan kekerasan batuan diperlihatkan pada citra di bawah ini yang menandakan batuan berfraksi kasar di bagian utara, fraksi halus (di tengah) dan fraksi sedang (di bagian selatan).

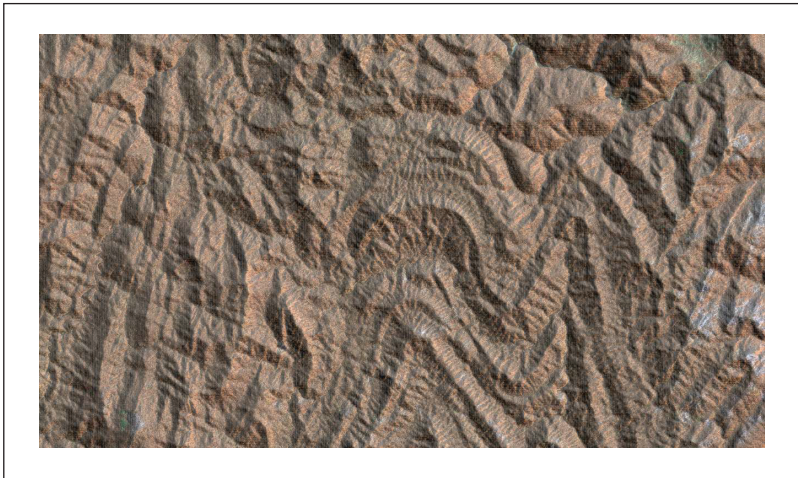


Sumber: MDA Corporation (2018)

Gambar 12.7 Formasi Batuan Sedimen di Daerah Sarmi, Bufareh, Papua, Dilihat pada Citra DSM Radarsat

c. Unsur Struktur Geologi

Struktur geologi yang dimaksud adalah kelurusan lembah/sungai/punggungan, pegunungan/lembah yang melengkung, *offset* danau, kelurusan perlapisan batuan. Gambar 12.8 memperlihatkan pola struktur lipatan dengan sudut yang tajam. Lipatan ini terjadi pada batuan yang relatif *ductile* (elastisitasnya tinggi) ditemukan pada formasi batuan sedimen berumur pre-Tersier kelompok Embaluh di Kalimantan. Kompleks lipatan ini berada pada jalur pensesaran dan perlipatan yang terjadi pada kala Oligosen. Jenis batuan berupa batuan sedimen turbidit yang telah terdeformasi sesar naik dengan kemiringan batuan yang relatif tajam (Darman & Sidi, 2000).



Sumber: Darman & Sidi (2000)

Gambar 12.8 Pola Struktur Lipatan pada Formasi Batuan Sedimen Kelompok Embaluh, Kalimantan

2. Faktor yang Memengaruhi Kualitas Interpretasi

Beberapa faktor yang memengaruhi hasil interpretasi geologi di suatu wilayah tergantung pada:

a) Kualitas citra selama tahap pemrosesan

Tahap pemrosesan citra berpengaruh terhadap kualitas citra yang dihasilkan. Waktu pengambilan data (akuisisi data), spesifikasi data citra. Waktu pengambilan data diusahakan pada musim kemarau atau setidaknya pengaruh hujan dan kelembapan dapat diminimalkan. Di Sulawesi, citra IFSAR diambil dengan menggunakan pesawat sekitar bulan Februari pada tahun 2002, sedangkan untuk data lainnya menggunakan wahana satelit, seperti Radarsat (wilayah Papua dan sebagian Kalimantan) dan TerraSAR- X di Pulau Jawa diambil pada rentang waktu sekitar bulan Juni–Juli berturut-turut pada tahun 2009, 2010, dan 2011. Pemetaan geologi penginderaan jauh dilakukan pada skala 1:50.000 maka data radar tersebut harus sesuai dengan spesifikasi tertentu.

b) Dukungan data sekunder dan penyelidikan geologi terdahulu

Kelengkapan data sekunder sangat penting sebagai data penunjang dalam tahap interpretasi geologi. Data peta geologi yang telah terbit sebelumnya pada skala yang lebih besar, data laboratorium, titik-titik pengamatan batuan pada penyelidikan geologi terdahulu, serta literatur-literatur lain yang membahas geologi daerah yang akan diinterpretasikan.

c) Tingkat pengalaman seorang ahli geologi dalam menginterpretasikan

Interpretasi geologi penginderaan jauh sangatlah subjektif. Hasil interpretasi geologi di antara para ahli geologi bisa saja berbeda pada daerah yang sama. Namun, secara prinsip bisa jadi sama. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan sebelum melakukan interpretasi: a) siapkan citra yang akan diinterpretasikan; b) pelajari kondisi geologi regional daerah yang akan diinterpretasikan (dipetakan); c) pahami prinsip-prinsip interpretasi secara visual; d) dalam menginterpretasikan batuan (litologi), mulailah dengan satuan batuan

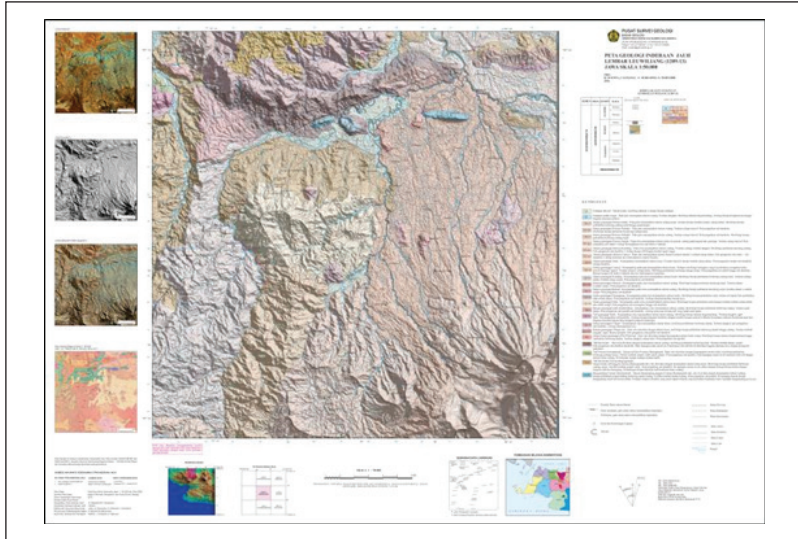
yang berumur paling muda; e) dalam menginterpretasikan struktur geologi, pelajari pola struktur/tektonik regionalnya, kemudian menginterpretasikan garis kelurusan sesar dan lipatan serta indikasi-indikasi struktur lainnya.

3. Layout Peta Penginderaan Jauh

Setelah dilakukan pengecekan lapangan dan reinterpretasi, tahapan selanjutnya adalah *layouting* peta. Gambar 12.9 memperlihatkan *layout* peta geologi penginderaan jauh skala 1:50.000 setelah dilakukan pengecekan lapangan. Format *layout* peta dan kaidah-kaidah penggambarannya disesuaikan dengan Juknis Pemetaan Geologi Penginderaan Jauh skala 1:50.000 (PSG, 2016a).

D. PELAYANAN PETA GEOLOGI PENGINDERAAN JAUH SKALA 1:50.000

Pelayanan peta geologi interpretasi penginderaan jauh skala 1:50.000 dapat di akses publik melalui layanan GEOMAP (PSG, 2016c) melalui situs web <http://psg.bgl.esdm.go.id/geomap>. Informasi yang disajikan pada situs web tersebut adalah tampilan interaktif produk peta digital dalam format kartografi (*pdf, low resolution*) berikut dengan metadata yang berisi informasi mengenai nomor lembar peta, nama lembar, penginterpretasi, dan sumber data. Pelayanan peta lainnya yang lebih detail dan resolusi lebih tinggi dapat dilakukan melalui surat resmi permohonan, baik melalui *fax* maupun formulir daring yang ada di situs web tersebut. Untuk pelayanan peta cetak, bisa menghubungi pihak Perpustakaan Geologi yang berlokasi satu kompleks dengan perkantoran Pusat Survei Geologi, Badan Geologi di Jln. Diponegoro No.57 Bandung. Pusat Survei Geologi telah menerbitkan Juknis Pemetaan Geologi Penginderaan Jauh skala 1:50.000 (PSG, 2016a) dan Juknis Pemetaan Geologi skala 1: 50.000 (PSG, 2016b). Kedua juknis ini bersisi tata cara dan prosedur untuk



Sumber: Pusat Survei Geologi (2015)

Gambar 12.9 Peta Geologi Penginderaan Jauh Skala 1:50.000 Setelah Pengecekan Lapangan

membuat peta geologi dan peta geologi penginderaan jauh pada skala 1:50.000.

Interaksi masyarakat terhadap pemanfaatan informasi geologi berbasis web geospasial mengalami perkembangan yang positif. Hal ini tecermin dari banyaknya permintaan pelayanan informasi geologi melalui layanan GEOMAP Pusat Survei Geologi. Pada tahun 2017, Pusat Survei Geologi telah melayani 1.162 lembar peta untuk publik.

E. KESIMPULAN

Pemetaan geologi penginderaan jauh skala 1:50.000 untuk seluruh wilayah Indonesia telah selesai dilaksanakan pada periode tahun 2010–2015. Peta ini merupakan sarana yang cepat untuk menyelesaikan pemetaan geologi pada skala tersebut dengan biaya yang terjangkau, waktu yang relatif singkat, dan informasi awal yang

signifikan. Namun, pengecekan lapangan belum dilakukan di semua daerah. Peta ini dapat dijadikan peta dasar oleh para ahli geologi sebelum melakukan pemetaan geologi di lapangan. Daerah-daerah terpilih yang menjadi prioritas pembangunan hendaknya didahulukan untuk dilakukan pemetaan geologi ke tahap yang lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, F., & Sidarto. (2015). Lithological imaging and structural geology features interpreted on remote sensing data in Kalimantan Island, Indonesia. *Geological Remote Sensing Group*, 11(2).
- Darman, H., & Sidi, F. H. (2000). *An outline of the geology of Indonesia*. Indonesian Assoc. of Geologists (IAGI), Jakarta.
- DEMNAS. (2018). *DEMNAS. Seamless Elevation Model (DEM) dan Batimetri Nasional*. diakses dari <http://tides.big.go.id/DEMNAS/> tanggal 2 April 2018.
- Drury, S. (2001). *Image interpretation in geology (3rd Edition)*. Blackwell Science Inc.
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., & Alsdorf, D. (2007). The shuttle radar topography mission. *Rev. Geophys.*, 45, RG2004, DOI:10.1029/2005RG000183.
- Intermap. (2018). *The high resolution nextmap 5 using intermap's advanced airborne IFSAR sensor*. Diakses 12 April 2018 dari <https://www.intermap.com/data/nextmap>.
- MDA Corporation (MDA). (2018). *RADARSAT-2. High resolution, operationally-focused SAR data for near-real time applications*. Diakses 15 Maret 2018 dari <https://mdacorporation.com/geospatial/international/satellites/RADARSAT-2>.
- Nonaka, T., Hayakawa, T., Griffiths, S., & Mercer, B. (2009). *DEM production utilizing stereo technology of Terrasar-X data*. Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE International, IGARSS 2009.

- Pusat Survei Geologi (PSG). (2010). *Interpretasi pemetaan geologi rinci daerah Sulawesi dan sekitarnya*. Laporan Akhir *In House Research*. Pusat Survei Geologi. Bandung. (Tidak diterbitkan).
- Pusat Survei Geologi (PSG). (2011). *Interpretasi pemetaan geologi rinci daerah Kalimantan dan sekitarnya*. Laporan Akhir *In House Research*. Pusat Survei Geologi. Bandung. (Tidak diterbitkan).
- Pusat Survei Geologi (PSG). (2012). *Interpretasi pemetaan geologi rinci daerah Papua dan sekitarnya*. Laporan Akhir *In House Research*. Pusat Survei Geologi, Bandung (Tidak diterbitkan).
- Pusat Survei Geologi (PSG). (2013). *Interpretasi pemetaan geologi rinci daerah Jawa dan sekitarnya*. Laporan Akhir *In House Research*. Pusat Survei Geologi, Bandung (Tidak diterbitkan).
- Pusat Survei Geologi (PSG). (2014). *Interpretasi pemetaan geologi rinci daerah Sumatera dan sekitarnya*. Laporan Akhir *In House Research*. Pusat Survei Geologi, Bandung (Tidak diterbitkan).
- Pusat Survei Geologi (PSG). (2015). *Laporan kegiatan pengecekan lapangan peta geologi penginderaan jauh lembar Leuwiliang skala 1:50.000*. Pusat Survei Geologi (tidak diterbitkan).
- Pusat Survei Geologi (PSG). (2016a). *Petunjuk teknis penyajian peta geologi penginderaan jauh skala 1:50.000*. Pusat Survei Geologi.
- Pusat Survei Geologi (PSG). (2016b). *Petunjuk teknis penyajian peta geologi skala 1:50.000*. Pusat Survei Geologi.
- Pusat Survei Geologi (PSG). (2016c). *Indeks peta geologi interpretasi inderaja skala 1:50.000*. Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. <https://psg.bgl.esdm.go.id/geomap/#5/-2.021/117.987>
- Sidarto. (2010). *Perkembangan teknologi penginderaan jauh dan pemanfaatannya untuk geologi di Indonesia*. Badan Geologi. Bandung.
- Sukamto, B. (2012). *Sejarah pemetaan geologi di Indonesia*. Lokakarya Pemetaan Geologi skala 1:50.000 untuk Optimalisasi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, 20–21 September 2011. Yogyakarta.

BAB 13



Peluang Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh SAR di Indonesia

Dony Kushardono dan Rahmat Arief

A. KEBUTUHAN DATA PENGINDERAAN JAUH SAR DI INDONESIA

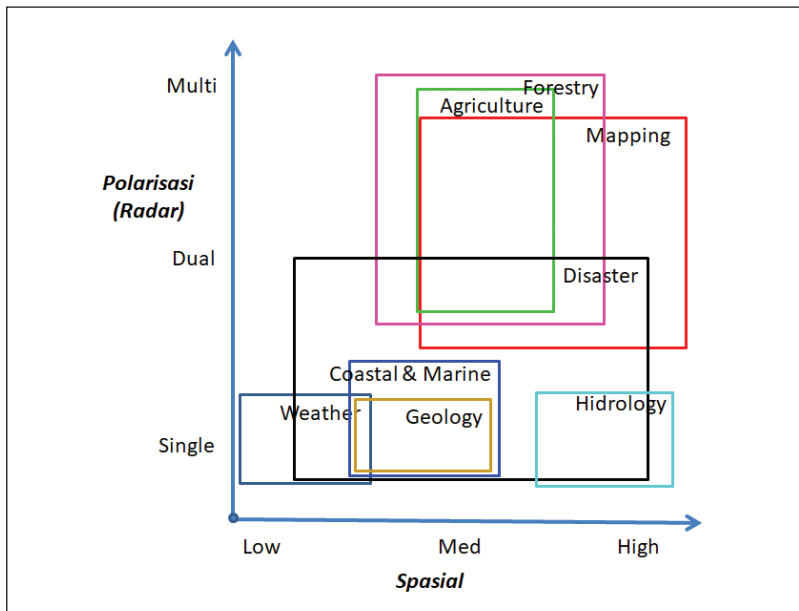
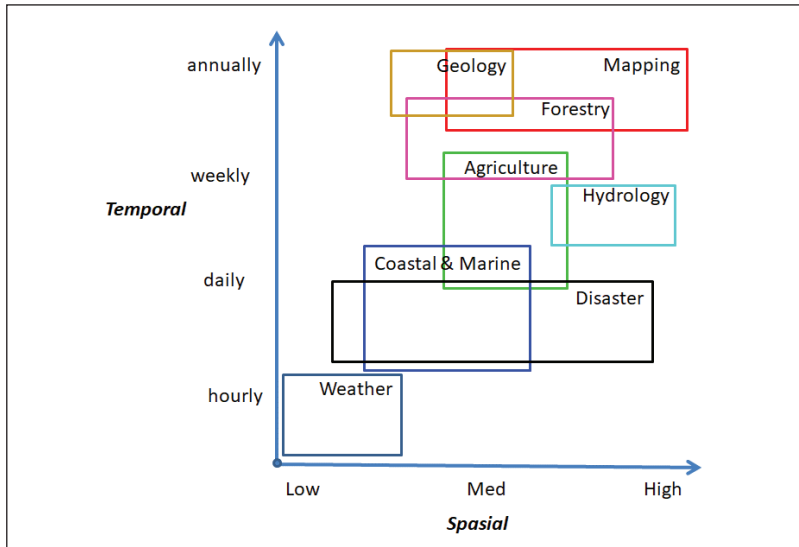
Pemanfaatan data satelit penginderaan jauh SAR untuk mendukung sektor pembangunan, kebencanaan, dan pelestarian lingkungan di Indonesia sudah mulai dilakukan. Selain karena sudah semakin berkembangnya teknologi penginderaan jauh radar yang sudah mampu menyediakan data multipolarisasi dan multitemporal, hal ini dipicu oleh banyaknya masalah gangguan liputan awan dalam pemantauan lahan di Indonesia mempergunakan data penginderaan jauh optik, seperti Landsat, SPOT, atau WorldView.

Berdasarkan hasil survei kebutuhan pengguna data SAR di Indonesia, telah dipetakan kebutuhannya berdasarkan resolusi temporal, spasial, dan polarisasinya pada berbagai sektor (Gambar 13.1), di mana tampak spesifikasi kebutuhannya cukup beragam. Dari hasil analisis informasi kebutuhan pengguna tersebut yang dikelompokkan menjadi bidang pertanian, kehutanan, kelautan, geologi, kebencanaan, dan pemetaan, diperoleh spesifikasi kebutuhan pengguna data penginderaan jauh SAR, yakni bidang sumber daya wilayah

darat membutuhkan resolusi temporal tinggi hingga rendah, resolusi spasial tinggi hingga menengah, dan membutuhkan multipolarisasi radar. Bidang sumber daya wilayah laut membutuhkan resolusi temporal tinggi, resolusi spasial menengah hingga rendah, dan cukup polarisasi tunggal radar. Untuk kebencanaan, membutuhkan resolusi temporal tinggi, resolusi spasial juga tinggi hingga menengah, dan cukup dual polarisasi radar.

Data penginderaan jauh SAR multitemporal berpotensi untuk dimanfaatkan dalam analisis pertumbuhan tanaman pertanian, seperti padi, jagung, dan tebu, serta umur tanaman kelapa sawit. Juga dalam kebencanaan dimungkinkan untuk dipergunakan dalam pemantauan objek yang bergerak dinamis, seperti distribusi tumpahan minyak di laut, genangan banjir saat musim hujan, dan deteksi keberadaan kapal di laut. Data SAR yang multipolarisasi berpotensi untuk dimanfaatkan dalam pemetaan, di antaranya untuk jenis hutan dan penggunaan lahan lain.

Saat ini semua satelit SAR diluncurkan dengan orbit *Sun and Dusk* (orbit polar *Sun-synchronous*) di ketinggian *low earth orbit* (LEO) untuk mendapatkan energi matahari terus-menerus sebagai sumber daya listrik dan dapat mengakuisisi semua area di Bumi (UNAVCO, 2019). Konsekuensinya satelit tersebut melintas di daerah yang sama dengan jarak waktu revisit yang cukup lama, seperti Sentinel-1 yaitu 12 harian (ESA, 2013). Oleh karena itu, orbit satelit ini tidak dapat digunakan untuk pemanfaatan data penginderaan jauh *real time* karena memerlukan akuisisi yang lama. Wilayah Indonesia terbentang luas di area khatulistiwa sehingga memungkinkan untuk diakuisisi lebih sering oleh satelit yang diorbitkan di orbit *near equatorial*. Pengalaman Indonesia melalui satelit LAPAN A2 dengan sensor kamera optik menunjukkan bahwa suatu area di wilayah Indonesia dapat diakuisisi sampai 10–14 dalam sehari (Nugroho, Chulafak, & Kushardono, 2017). Tidak seperti sensor optik yang mengalami perubahan intensitas matahari, ciri utama sensor SAR yang memiliki



Sumber: Kushardono dkk. (2016)

Gambar 13. 1 Peta Spesifikasi Kebutuhan Pengguna Data SAR pada Berbagai Sektor di Indonesia

energi sendiri dalam mengirim gelombang elektromagnetik adalah dapat digunakan secara optimal pada orbit *near equatorial*. Hal ini menjadi peluang bagi anak bangsa untuk memenuhi kebutuhan pemanfaatan penginderaan jauh di Indonesia dengan meluncurkan satelit SAR dengan orbit *near equatorial*. Selain kemampuan teknis yang dibutuhkan mulai dari mendefinisikan misi dan spesifikasi dari satelit hingga operasionalisasi data SAR, hal lain yang sangat penting adalah dukungan kebijakan dari Pemerintah Indonesia untuk menjadikan topik ini sebagai program prioritas nasional.

B. KESIMPULAN

Berdasarkan berbagai kajian di Indonesia yang sudah dipaparkan pada buku ini dari mulai aspek kebijakan, pengolahan data, hingga beberapa contoh pemanfaatannya, dapat disimpulkan bahwa tantangan dalam pengembangan teknologi satelit radar, khususnya dalam hal ini termasuk untuk misi SAR Hankam, memiliki kendala utama, yaitu kapasitas SDM di Indonesia, sementara industri penginderaan jauh sudah mulai memasuki era *Space 4.0*. Dari segi teknis, transfer teknologi sistem SAR masih minim ditambah lagi di bagian hulu kalibrasi SAR juga harus disiapkan sebelum satelit SAR nasional diorbitkan.

Tantangan lanjutan sekaligus peluang adalah ketersediaan data SAR dari satelit SAR dari orbit *sun and dusk* dan *near equatorial* dari sisi temporal dan jumlah data semakin meningkat. Hal ini perlu diimbangi dengan ketersediaan infrastruktur, kemampuan pemrosesan data SAR berskala besar yang terstandar, dan kemampuan analisis yang diperlukan untuk mendapatkan manfaat penuh dari satelit operasional SAR tersebut. Dengan tingginya liputan awan sepanjang tahun di wilayah Indonesia (Norris, 2005), akan meningkatkan jumlah data SAR. Ini menjadi peluang dalam pemanfaatan data penginderaan jauh satelit untuk mendukung penyediaan

informasi geospasial karena kemampuannya bisa mengobservasi lahan tembus awan.

Terkait teknologi ruas bumi mulai dari sistem penerimaan data hingga pengolahan data SAR sudah mulai dikuasai, utamanya di LAPAN, tetapi pada aplikasi pemanfaatan data untuk menghasilkan peta ketinggian atau DEM menggunakan teknik InSAR, akurasi informasi ketinggian yang dihasilkan masih perlu ditingkatkan.

Pada pemanfaatan data SAR, pemanfaatan data dual polarisasi, terutama dengan data multitemporal Sentinel-1 SAR yang memiliki panjang gelombang pita C, sangat berpotensi, khususnya untuk pemantauan dan pengukuran tanaman pertanian, seperti untuk fase pertumbuhan tanaman padi, jagung dan tebu. Selain itu, data Sentinel-1 SAR yang perolehan datanya relatif lebih mudah, juga dapat dimanfaatkan untuk mendukung pemetaan lahan gambut dan perkiraan parameter gempa. Di bidang geologi, data SAR juga diharapkan untuk mendukung pemetaan geologi skala 1:50.000, terutama pembuatan peta ketinggian lahan atau *Digital Surface Model* (DSM) sebagai komplemen data satelit optik Landsat. Model pertumbuhan kelapa sawit juga memungkinkan dibuat berdasarkan data penginderaan jauh TerraSAR-X walaupun korelasinya masih kurang baik.

Berdasarkan kesimpulan tersebut di atas, data satelit penginderaan jauh SAR yang datanya saat ini mudah diperoleh, baik dari Bank Data Penginderaan Jauh LAPAN maupun melalui internet, diharapkan dapat dipergunakan untuk mengatasi masalah pemantauan dan pemetaan lahan di Indonesia sebagai komplemen data penginderaan jauh optik yang memiliki banyak kendala liputan awan.

DAFTAR PUSTAKA

ESA. (2013). *Sentinel-1 user handbook*. Diunduh pada 20 Juli 2018 dari https://sentinel.esa.int/documents/247904/685163/Sentinel-1_User_Handbook.

- Nugroho, J. T., Chulafak, G. A., & Kushardono, D. (2017). Performance of LAPAN-A2 satellite data to classify land cover/land use in Semarang, Central Java. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 54(1): 012098., DOI:10.1088/1755-1315/54/1/012098.
- Kushardono, D., Dewanti, R., Sambodo, K. A., Arief, R., Maryanto, A., & Suhermanto. (2016). Kebutuhan pengguna data penginderaan jauh di Indonesia: Studi awal untuk conceptual design review satelit SAR ekuatorial Indonesia InaRSSat-1. *Proceedings of Int. Conf. the 2nd ICOIRS 2016*, 2: 510–520, Yogyakarta.
- Norris, J. R. (2005). Trends in upper-level cloud cover and surface divergence over the tropical Indo-Pacific Ocean between 1952 and 1997. *Journal of Geophysical Research*, 110, D21110; DOI:10.1029/2005JD006183.
- UNAVCO. (2019). *Synthetic aperture radar (SAR) Satellites*. Diunduh pada 2 Mei 2019 dari <https://www.unavco.org/instrumentation/geophysical/imaging/sar-satellites/sar-satellites.html>.



GLOSARIUM

Algoritma	metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah secara sistematis dan logis.
Alluvial	jenis tanah yang terbentuk karena endapan, hasil erosi ataupun pelapukan dari daerah hulu sungai yang terendapkan di daerah hilir yang reliefnya tergolong datar ataupun cekung melalui proses sedimentasi.
ALOS PALSAR	satelit yang diluncurkan oleh Japan Aerospace Exploration Agency dengan karakteristik memiliki sensor aktif SAR pada panjang gelombang pita L.
<i>Anhydrit</i>	mineral yang terbentuk dari hasil penguraian mineral pembentukan batu karang gipsium.
Antariksa	ruang beserta isinya yang terdapat di luar ruang udara yang mengelilingi dan melingkupi ruang udara.
<i>Backscatter</i>	sinyal radar yang kembali menuju antenna radar setelah mengenai objek.
<i>Band</i>	Rentang frekuensi pada gelombang elektromagnetik.
Bera	kondisi lahan panen hingga pascapanen.
<i>Beta naught</i>	koefisien hamburan-balik yang berkorelasi dengan area yang sejajar dengan sinyal radar yang datang.

Citra	salah satu jenis data hasil penginderaan jauh yang berupa data visual/gambar.
CP-SAR	sistem sensor radar yang menggunakan polarisasi sirkular.
<i>Cuesta</i>	bentuk lahan struktural dengan kemiringan antara kedua sisi lerengnya tidak simetris dengan sudut lereng yang searah perlapisan batuan kurang dari 30 derajat.
Deformasi	perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda.
Desibel	satuan yang digunakan untuk mengukur intensitas gelombang yang dipantulkan kembali dari suatu objek.
<i>Digital Elevation Model (DEM)</i>	data digital yang menggambarkan geometri dari bentuk permukaan bumi atau bagiannya yang terdiri dari himpunan titik-titik koordinat hasil sampling dari permukaan dengan algoritma yang mendefinisikan permukaan tersebut menggunakan himpunan koordinat.
<i>Digital number</i>	angka numerik dari setiap piksel yang merepresentasikan tingkat kecerahan suatu citra dan dimiliki oleh setiap posisi spasial.
<i>Digital Surface Model (DSM)</i>	model elevasi yang menampilkan ketinggian permukaan termasuk menampilkan bentuk permukaan yang ada, seperti ketinggian pohon, bangunan dan objek lain yang terdapat di atas tanah.
<i>Digital Terrain Model (DTM)</i>	model elevasi yang menampilkan ketinggian permukaan tanah tidak termasuk objek yang terdapat di atas tanah.
<i>Dip</i>	sudut kemiringan batuan, di mana sudut tersebut tegak lurus terhadap <i>strike</i> .

<i>Dolomite</i>	mineral yang berasal dari alam yang mengandung unsur hara magnesium dan kalsium.
<i>Double-bounce scattering</i>	mekanisme hamburan antara dua permukaan pada sudut tertentu.
<i>Enhanced Vegetation Index</i>	indeks vegetasi yang dikembangkan untuk meningkatkan <i>NDVI</i> dengan menggunakan <i>band</i> biru.
ENVISAT/ ASAR	satelit yang dioperasikan oleh European Space Agency (ESA) dengan karakteristik memiliki sensor aktif SAR pada panjang gelombang pita C.
<i>Eosen</i>	zaman pada skala waktu geologi yang berlangsung dari sekitar 60 hingga 40 juta tahun yang lalu.
<i>Extra Wide</i>	mode dalam akuisisi data citra SAR dengan lebar cakupan 400 km.
Fase generatif	fase pembentukan malai hingga berbunga serta pengisian bulir pada tanaman padi.
Fase vegetatif	awal fase perkecambahan hingga awal fase pembentukan malai pada tanaman padi.
Fenologi	ilmu mengenai hubungan timbal balik antara iklim dan fenomena biologis (misalnya pertumbuhan pada tanaman).
<i>Forward modeling</i>	metode yang digunakan untuk memperoleh parameter fisis dari model yang dibuat (model sintetik).
<i>Fringes</i>	pola gelap atau terang yang dihasilkan dari peristiwa interferensi.
Gambut	tanah lunak dan basah, terdiri atas lumut dan bahan tanaman lain yang membusuk.
<i>Gamma nought</i>	koefisien hamburan-balik yang berkorelasi dengan area yang tegak lurus dengan sinyal radar yang datang.

Geobiofisik	parameter ketampakan yang menjadi ciri dari objek permukaan bumi seperti koefisien pantulan, suhu permukaan, kandungan klorofil, kandungan air, dan kekasaran permukaan (surface roughness) objek
Gelombang elektromagnetik	gelombang yang dihasilkan dari getaran medan listrik dan medan magnet dan merambat tanpa medium.
Gelombang radio	jenis gelombang elektromagnetik dengan rentang frekuensi terluas (berkisar antara 3 Hz–3.000 GHz).
Geoid	bidang ekuipotensial yang berimpit dengan permukaan laut rata-rata (<i>mean sea level</i>).
Geologi	Ilmu yang mempelajari Bumi, komposisinya, struktur, sifat-sifat fisik, sejarah, dan proses pembentukannya.
<i>Grey-Level Co-occurrence Matrix</i>	metode analisis tekstur citra dengan menggunakan perhitungan statistik orde kedua.
<i>Ground Control Point</i>	titik lokasi dengan koordinat tertentu yang memiliki informasi spasial sesuai dengan sistem referensi dengan tujuan untuk memperbaiki citra.
<i>Ground Range Detected</i>	produk data Sentinel-1 tanpa informasi fase yang telah diproyeksi menggunakan model elipsoid bumi WGS84.
Hamburan-balik	sinyal radar yang kembali menuju antena radar setelah mengenai objek.
Hiperspektral	teknologi penginderaan jauh, di mana banyaknya jumlah <i>band</i> panjang gelombang yang digunakan sejumlah 100–500 dengan ukuran <i>bandwidth</i> yang sempit (5–10 nm).

INDESO	<i>Infrastructure Development of Space Oceanography</i> , proyek nasional yang diprakarsai oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia dengan tujuan untuk menyediakan pusat prakiraan dan manajemen sumber daya laut.
Interferometri	teknik yang menggunakan perbedaan fase dari sinyal balik antara dua citra satelit untuk mendeteksi perubahan di permukaan bumi.
<i>Interferometric Wide</i>	mode utama dalam akuisisi data citra SAR dengan lebar cakupan 250 km.
<i>Inter-tropical convergence zone</i>	zona pertemuan antara angin pasat dari belahan Bumi utara (BBU) dengan angin pasat dari belahan Bumi selatan (BBS).
Karst	daerah yang terdiri atas batuan kapur yang berpori sehingga air di permukaan tanah selalu merembes dan menghilang ke dalam tanah.
Kartografi	seni, ilmu pengetahuan, dan teknologi dalam pembuatan peta bersamaan dengan studi pembelajarannya sebagai dokumen ilmiah dan seni.
Kekar	struktur rekahan pada batuan yang relatif tidak mengalami pergeseran pada bidang rekahannya.
Klasifikasi terbimbing/ <i>supervised classification</i>	klasifikasi yang dilakukan dengan arahan analisis (<i>supervised</i>), di mana kriteria pengelompokan kelas ditetapkan berdasarkan penciri kelas (<i>class signature</i>) yang diperoleh melalui pembuatan area contoh (<i>training area</i>).
Konstanta dielektrik	permitivitas listrik relatif, perbandingan nilai kapasitansi kapasitor pada bahan dielektrik dengan nilai kapasitansi di ruang hampa.
Kookurensi	kejadian bersamaan, yang menunjukkan jumlah kejadian satu level nilai intensitas piksel berdampingan dengan satu level intensitas piksel lain dalam jarak dan orientasi sudut tertentu.

koregistrasi	penyelarasan terhadap beberapa citra radar karena terjadi distorsi yang menyebabkan pergeseran pada data citra.
Landsat 8	satelit sensor optik yang diluncurkan pada tahun 2013 dan merupakan bagian dari program kolaborasi antara U.S. Geological Survey (USGS) dan National Aeronautics and Space Administration (NASA).
Landsat ETM dan ETM+	jenis satelit optik yang diluncurkan atas kerja sama antara U.S. Geological Survey (USGS) dan National Aeronautics and Space Administration (NASA), satelit ini membawa sensor multispektral yang terdiri dari <i>band RGB, Near Infrared, thermal,</i> dan <i>Shortwave Infrared</i> , serta pankromatik.
Landsat TM	jenis satelit optik yang diluncurkan atas kerja sama antara U.S. Geological Survey (USGS) dan National Aeronautics and Space Administration (NASA), satelit ini membawa sensor multispektral yang terdiri dari <i>band RGB, Near Infrared, thermal,</i> dan <i>Shortwave Infrared</i> .
LAPAN-IPB-Sat/ LAPAN A3	satelit mikro dengan sensor optik yang diluncurkan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) dan Institut Pertanian Bogor (IPB) untuk mendukung ketahanan pangan dan pemantauan lingkungan wilayah Indonesia.
<i>Lee Refined Filter</i>	metode yang digunakan untuk menghilangkan <i>speckle noise</i> dengan menggunakan kriteria <i>minimum mean square error</i> .
Litologi	ilmu tentang batu-batuan yang berkenaan dengan sifat fisik, kimia, dan strukturnya.
<i>Low level cloud</i>	tipe awan yang ditemukan pada ketinggian di bawah 6.500 kaki.

<i>Master image</i>	citra yang dijadikan acuan dalam proses koregistrasi.
<i>Maximum likelihood</i>	metode yang digunakan untuk memperkirakan parameter suatu model dengan cara menentukan nilai parameter suatu model untuk memaksimalkan sebuah fungsi.
Model Lambertian	model yang mengasumsikan karakteristik permukaan tidak rata, di mana terjadi refleksi difusi sehingga menghasilkan kecerahan permukaan yang sama saat dilihat dari arah mana pun.
MODIS	sensor yang ditempatkan pada satelit Terra dengan resolusi rendah yang diluncurkan oleh National Aeronautics and Space Administration (NASA).
<i>Multi-looking</i>	proses yang dilakukan untuk mengurangi <i>speckle noise</i> pada citra radar dengan merata-ratakan piksel yang berdekatan.
Multispektral	teknologi penginderaan jauh, di mana banyaknya jumlah <i>band</i> panjang gelombang yang digunakan sejumlah 3–10 <i>band</i> .
<i>Neural network</i>	jenis <i>machine learning</i> terdiri dari serangkaian algoritma yang digunakan untuk memahami hubungan dalam suatu <i>dataset</i> melalui proses yang meniru cara kerja otak manusia.
<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	indeks vegetasi yang menggambarkan tingkat kehijauan suatu tanaman dan merupakan kombinasi matematis antara <i>band</i> merah dan <i>band Near Infrared (NIR)</i> .
<i>Oligosen</i>	zaman pada skala waktu geologi yang berlangsung dari sekitar 34 hingga 23 juta tahun yang lalu.

Optis/optik	jenis sensor dalam penginderaan jauh yang menggunakan panjang gelombang tampak, inframerah dekat, dan inframerah gelombang pendek untuk membentuk citra permukaan bumi.
Ortorektifikasi	proses pembuatan citra miring ke citra yang ekuivalen dengan citra tegak atau merupakan proses manipulasi citra untuk mengurangi/menghilangkan berbagai distorsi yang disebabkan oleh kemiringan kamera/sensor dan pergeseran relief.
Padat karya	pekerjaan yang berasaskan pemanfaatan tenaga kerja yang tersedia (dalam jumlah yang besar).
<i>Path</i>	nomor lintasan satelit Landsat dari arah timur ke barat secara berurutan.
Penginderaan jauh/ <i>remote sensing</i>	ilmu, teknik, dan seni untuk mendapatkan informasi tentang objek, wilayah, atau gejala dengan cara menganalisis data yang diperoleh dari suatu alat tanpa berhubungan langsung dengan objek, wilayah, atau gejala yang sedang dikaji.
Pita C	jenis gelombang mikro dengan rentang panjang gelombang 3,8–7,5 cm.
Pita L	jenis gelombang mikro dengan rentang panjang gelombang 15–30 cm.
Pita X	jenis gelombang mikro dengan rentang panjang gelombang 2,4–3,8 cm.
Podsolik	jenis tanah yang terbentuk di daerah yang memiliki curah hujan tinggi dan suhu udara rendah seperti di daerah pegunungan.
Polarisasi	orientasi vektor medan listrik pada gelombang elektromagnetik yang umumnya berupa vertikal atau horizontal dalam sistem radar.
Purwarupa	model yang mula-mula (model asli) yang menjadi contoh; contoh baku.

Quickbird	satelit pemantauan bumi dengan sensor optik beresolusi tinggi yang diluncurkan oleh Digital Globe.
Radargrammetri	metode yang digunakan untuk mengekstraksi informasi model 3D dengan memanfaatkan informasi intensitas dari dua citra radar yang memiliki perbedaan sudut datang.
Radarsat	satelit pemantauan bumi dengan sensor aktif radar pita C yang diluncurkan oleh Canadian Space Agency.
<i>Rake</i>	sudut yang dibentuk akibat pergeseran horizontal searah sesar pada bidang horizontal.
Regosol	jenis tanah yang memiliki tekstur pasir hingga lempung berdebu yang berasal dari material erupsi gunung berapi.
Resolusi Radiometrik	ukuran sensitivitas sensor untuk membedakan aliran radiasi yang dipantulkan atau diemisikan suatu objek oleh permukaan bumi.
Resolusi spasial	ukuran objek terkecil yang masih dapat dibedakan dan dikenali pada citra.
Resolusi Temporal	frekuensi suatu sistem sensor merekam suatu areal yang sama (<i>revisit</i>).
Riset Maju Manufaktur	riset rekayasa lanjut pendukung proses manufaktur dengan mengubah sifat asli materialnya.
Riset Teknologi Tinggi	riset yang bisa diaplikasikan namun membutuhkan penguasaan teknologi lintas disiplin.
<i>Root-mean-square-error (RMSE)</i>	besarnya kesalahan yang dihasilkan oleh suatu model sehingga diperoleh tingkat akurasi suatu model.
<i>Row</i>	nomor lintasan satelit Landsat dari arah utara ke selatan secara berurutan.

SAR	<i>Synthetic Aperture Radar.</i>
Satelit	benda langit yang diluncurkan dengan mengorbit Bumi yang dapat digunakan sebagai wahana penginderaan jauh.
Satelit mikro radar ekuatorial	satelit berukuran 10–200 kg dengan orbit sejajar khatulistiwa Bumi dan membawa sistem sensor radar.
<i>Sentinel-1</i>	konstelasi satelit dari Program Copernicus yang diprakarsai oleh European Space Agency dan diluncurkan sejak tahun 2014 dengan membawa sensor SAR pada pita C untuk pemantauan daratan dan laut.
Sesar naik	jenis patahan, di mana salah satu blok batuan bergeser ke arah atas dan blok bagian lainnya bergeser ke arah bawah di sepanjang bidang sesarnya.
<i>Side-Looking Airborne RADAR</i>	sistem radar di mana sensor radar dibawa oleh wahana (pesawat terbang atau satelit) dengan antena dipasang menghadap ke samping.
<i>Sigma nought</i>	koefisien hamburan-balik radar yang merupakan sinyal radar yang terefleksikan dari objek.
<i>Single Look Slant Range Complex single-bounce scattering</i>	produk data TerraSAR-X yang terdiri dari bilangan kompleks informasi fase dan amplitudo. mekanisme hamburan dari satu permukaan.
<i>Slant Range</i>	jarak dari satelit ke setiap objek di permukaan bumi dari arah pandang sensor radar.
<i>Slave image</i>	citra yang dijadikan <i>sampling</i> berulang dalam proses koregistrasi.
<i>Slip Slope</i>	gerakan relatif dari fitur geologi pada bidang sesar. kemiringan tanah rata-rata.

<i>Speckle filter</i>	teknik yang digunakan untuk mengurangi pengaruh <i>speckle noise</i> .
<i>Speckle noise</i>	derau/ <i>noise</i> yang umumnya terjadi pada radar aktif yang disebabkan oleh interferensi pada sinyal yang terefleksi dari suatu objek dan menurunkan kualitas citra.
SPOT	sistem satelit observasi bumi dengan sensor optik dan memiliki resolusi tinggi yang dioperasikan oleh Spot Image of Toulouse Prancis dan EADS Astrium.
SRTM	data citra satelit radar yang digunakan untuk model elevasi muka bumi.
<i>Standing Crop</i>	tanaman yang masih tegak atau tumbuh di lapangan yang terdiri dari beberapa fase pertumbuhan.
<i>Strike</i>	arah yang terbentuk dari perlapisan atau struktur batuan dengan bidang horizontal.
<i>StripMap</i>	mode dalam akuisisi data citra SAR dengan lebar cakupan 80 km.
<i>Swath</i>	lebar cakupan sensor yang tegak lurus terhadap arah wahana sensor
<i>Tajuk tanaman</i>	salah satu bagian pohon yang terdiri dari kumpulan daun, ranting, dan cabang pada suatu pohon berdiri yang terletak di bagian atas batang pohon.
Tandem-X	satelit kembar TerraSAR-X yang diimplementasikan atas kerja sama antara German Aerospace Centre dan EADS Astrium.
<i>Technology Readiness Level</i>	metode untuk mengukur seberapa siap atau matang suatu teknologi dapat diterapkan dan diadopsi oleh pengguna.

<i>Terrain Correction</i>	koreksi yang dilakukan untuk menghilangkan efek topografi.
TerraSAR-X	satelit observasi bumi dengan sensor SAR pita X yang dikelola oleh EADS Astrium.
<i>Upper level cloud</i>	tipe awan yang ditemukan pada ketinggian lebih dari 20.000 kaki.
VH	jenis dari polarisasi radar, di mana medan listrik memiliki orientasi vertikal sebagai sinyal transmisi dan medan listrik terpolarisasi horizontal sebagai sinyal yang diterima oleh antena radar.
<i>Volume scattering</i>	mekanisme hamburan pada bidang permukaan yang sangat kasar.
VV	jenis dari polarisasi radar, di mana medan listrik memiliki orientasi vertikal sebagai sinyal transmisi dan medan listrik terpolarisasi horizontal sebagai sinyal yang diterima oleh antena radar.



DAFTAR SINGKATAN

3D	3 Dimensi
AIS	Automatic Identification System
ALOS	Advanced Land Observing Satellite
AOR	Area of Responsibility
APBN	Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara
AU	Angkatan Udara
AW3D30	<i>ALOS World 3 Dimention-30m</i>
BIG	Badan Informasi Geospasial
BMKG	Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika
BPPT	Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
BPTP	Balai Pengkajian Teknologi Pertanian
CEReS	Center for Environmental Remote Sensing
CMT	<i>Centroid-Moment-Tensor</i>
Co-pol	<i>Co-polarization</i>
CP-SAR	<i>Circular Polarization-Synthetic Aperture Radar</i>
<i>cross-pol</i>	<i>Cross-polarization</i>
CSA	Canadian Space Agency
dB	desibel
DEM	<i>Digital Elevation Model</i>
DEMNAS	DEM Nasional

DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DN	<i>digital number</i>
DSM	<i>Digital Surface Model</i>
DTM	<i>Digital Terrain Model</i>
EADS	European Aeronautic Defence and Space Company
EECRA	<i>Extended Edited Cloud Report Archive</i>
ENVI	<i>The Environment For Visualizing Images</i>
Envisat/ASAR	<i>Environmental Satellite/ Advanced Synthetic Aperture Radar</i>
ERS-1	<i>European Remote Sensing Satellite-1</i>
ESA	European Space Agency
ETM	<i>Enhanced Thematic Mapper</i>
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i>
EW	<i>Extra Wide Swath</i>
G4Indo	<i>Geodata for Indonesia</i>
GCP	<i>Ground Control Point</i>
GFZ	<i>GeoForschungsZentrum</i>
GLCM	<i>Grey-Level Co-occurrence Matrix</i>
GMTI/ GMTIm	<i>Ground Motion Target Indicator/Imaging</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GRD	<i>Ground Range Detected</i>
Hankam	Pertahanan keamanan
HH	<i>Horizontal-Horizontal</i>
HRWS	<i>Hight Resolution Wide Swath</i>
HST	Hari Setelah Tanam
ID	<i>Identity</i>
Indraja	Penginderaan Jauh
INDESO	<i>Infrastructure Development of Space Oceanography</i>
InSAR/IFSAR	<i>Interferometry Synthetic Aperture Radar</i>

INSINAS	Insentif Riset Sistem Inovasi Nasional
ISCCP	<i>International Satellite Cloud Climatology Project</i>
ITCZ	<i>Inter-Tropical Convergence Zone</i>
IW	<i>Interferometric Wide</i>
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
Kal	Kalibrasi
	Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan
Kemristekdikti	Tinggi
KHG	Kesatuan Hidrologi Gambut
KYG	Kayu Agung
LACSAT	LAPAN-Chibadai-Satellite/LAPAN A5
Landsat	<i>Land Remote-Sensing Satellite (System)</i>
LAPAN	Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
LAPAN-	
TUBSat	LAPAN-Technical University Berlin <i>Satellite</i>
LISAT	LAPAN-IPB <i>Micro Satellite/</i> LAPAN A3
LL	<i>Left Left</i>
LOS	<i>Line of Sight</i>
LR	<i>Left Right</i>
MODIS	<i>Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MoU	<i>Memorandum of Understanding</i>
MRP	<i>Mega Rice Project</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NKRI	Negara Kesatuan Republik Indonesia
OKI	Ogan Komering Ilir
ORI	<i>Ortho Rectified Image</i>
P3G	Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi
P3GL	Kelautan
PALSAR	<i>Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar</i>

PENAS	<i>PN Aerial Survey</i>
PG	Pabrik Gula
POB	Prosedur Operasional Baku
Poklit	Kelompok penelitian
<i>PolSAR</i>	<i>Polarimetric SAR</i>
PPKS	Pusat Penelitian Kelapa Sawit
PSG	Pusat Survei Geologi
PT SHS	PT Sang Hyang Seri
Pusteksat	Pusat Teknologi Satelit
PYB	Penyabungan
QGIS	<i>Quantum Geographic Information System</i>
Quad-Pol	<i>Quad-polarization</i>
RADAR	<i>Radio Detection and Ranging</i>
Radarsat	<i>Radar Satellite</i>
RGB	<i>Red-Green-Blue</i>
RL	<i>Right Left</i>
RMM	Riset Maju Manufaktur
RM-SDA	Riset Maju Berbasis Sumber Daya Alam
RMSE	<i>Root-Mean-Square-Error</i>
RPI	<i>Rasio Polarisasi Index</i>
RR	<i>Right Right</i>
RTM	Riset Terapan Manufaktur
RT-SDA	Riset Terapan Berbasis Sumber Daya Alam
RTT	Riset Teknologi Tinggi
S1TBX	<i>Sentinel-1 Toolbox</i>
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
SC	<i>Standing Crop</i>
SLC	<i>Scan Line Corrector</i>
SM	<i>StripMap</i>

SMRE	Satelit Mikro RADAR Ekuatorial
SMSE	Satelite Mikro SAR Ekuatorial
SNAP	<i>Sentinel Application Platform</i>
SPOT	<i>Satellite Pour l'Observation de la Terre</i>
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
BBSDLP	Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian
SSC	<i>Single-look Slant-range Complex</i>
SWD	Sumber Daya Wilayah Darat
TM	<i>Thematic Mapper</i>
TNI	Tentara Nasional Indonesia
TOPSAR	<i>Terrain Observation with Progressive Scans SAR</i>
TRL	<i>Technology Readiness Level</i>
TSX	TerraSAR-X
UK-DMC	<i>United Kingdom-Disaster Monitoring Constellation</i>
Val	Validasi
VH	Vertikal-Horizontal
VV	Vertikal-Vertikal
WGS	World Geodetic System



INDEKS

- Algoritma, 179
Alluvial, 179
ALOS PALSAR, 5, 67, 73, 92, 102, 103, 114, 179
Anhidrit, 179
Antariksa, 1, 15, 17, 157, 179, 184
- Backscatter, 179
Band, 70, 71, 159, 179
Bera, 179
Beta naught, 179
- Citra, 2, 7–9, 11, 18, 20, 32, 34, 42–4, 47–9, 51, 77–80, 82, 89, 91, 92, 98, 100, 106–08, 115, 117, 119, 120, 125, 132, 134, 143, 155–62, 164, 180
CP-SAR, 20–4, 180
Cuesta, 180
- Deformasi, 143, 145, 149, 180
Desibel, 180
Digital Elevation Model (DEM), 28, 160, 180
Digital number, 180
Digital Surface Model (DSM), 28, 158, 177, 180
Digital Terrain Model (DTM), 28, 180
Dip, 151, 180
Dolomite, 181
Double-bounce scattering, 181
- Enhanced Vegetation Index, 77, 181
ENVISAT/ASAR, 85
Eosen, 166, 181
Extra Wide, 181
- Fase generatif, 181
Fase vegetatif, 181
Fenologi, 80, 84, 181
Forward modeling, 181
Fringes, 181
- Gambut, 129, 131, 138, 141, 181
Gamma nought, 182
Gelombang elektromagnetik, 182
Gelombang radio, 182
Geobiofisik, 182
Geoid, 182

Geologi, 155, 157–59, 161, 163,
 164, 167, 169–72, 182
 Glay humus, 96
 Grey-Level Co-occurrence
 Matrix, 95, 97, 182
 Ground Control Point, 182
 Ground Range Detected, 119,
 132, 182

 Hamburan-balik, 65, 66, 83–7,
 100, 109, 118, 123, 135–37,
 182
 HH, 3, 30–2, 44, 62, 67–70, 95–8,
 101, 117
 Hiperspektral, 182

 Interferometri, 39, 47, 52, 183
 Interferometric Wide, 145, 183
 Inter-tropical convergence zone,
 183

 Karst, 183
 Kartografi, 183
 Kekar, 183
 Klasifikasi terbimbing/ supervised
 classification, 183
 Konstanta dielektrik, 183
 Kookurensi, 183
 Koregistrasi, 31, 40, 45, 184, 185,
 188

 Landsat, 8, 70, 75–8, 81, 86, 89,
 91, 121, 124, 184
 Landsat ETM dan ETM+, 184
 Landsat TM, 184
 LAPAN-IPB-Sat/LAPAN A3, 184

 Lee Refined Filter, 133, 184
 Litologi, 163, 165, 184
 Low level cloud, 184

 Master image, 185
 Maximum likelihood, 185
 Model Lambertian, 185
 MODIS, 1, 2, 60, 70, 73, 75, 92,
 185
 Multispektral, 91, 159, 185

 Neural network, 185
 Normalized Difference Vegetation
 Index, 185

 Oligosen, 165–67, 185
 Optis/optik, 186
 Ortorektifikasi, 186

 Padat karya, 186
 Path, 186
 Pita C, 14, 20, 67, 133, 148, 186
 Pita L, 14, 186
 Pita X, 14, 27, 186
 Podsolik, 186
 Polarisasi, 7, 18, 32, 44, 62, 83, 86,
 87, 90, 93, 133, 135–37, 186
 Purwarupa, 76

 Quickbird, 187

 Radargrammetri, 27, 28, 34, 187
 Radarsat, 3, 14–7, 19, 153, 158,
 160, 166, 168, 187
 Rake, 151, 187

Regosol, 187
 Resolusi Radiometrik, 159, 187
 Resolusi spasial, 27, 187
 Resolusi Temporal, 159, 187
 Riset Maju Manufaktur, 22, 187
 Riset Teknologi Tinggi, 13, 22, 187
 Root-mean-square-error (RMSE), 187
 Row, 187

 Satelit, 1–4, 6–11, 13, 14, 18, 20, 27, 29, 41, 59, 102, 143, 156, 188
 Satelit mikro radar ekuatorial, 188
 Sentinel-1, 3, 5, 7, 8, 10, 62, 68, 71, 73, 75–7, 79, 80, 82, 85, 86, 88, 90, 91, 105, 107, 113, 114, 119, 128, 134, 152, 174, 177, 182, 188
 Sesar naik, 188
 Side-Looking Airborne RADAR, 14, 188
 Sigma nought, 188
 Single-bounce scattering, 67, 188
 Single Look Slant Range Complex, 188
 Slant Range, 188
 Slave image, 188
 Slip, 151, 188
 Slope, 188
 Speckle filter, 189
 Speckle noise, 189

 SPOT, 1, 14, 19, 21, 96, 173, 189
 SRTM, 45, 51–53, 56, 139, 145, 158, 160, 189
 Standing Crop, 92, 105, 115, 189
 Strike, 151, 189
 StripMap, 15, 27, 31, 32, 36, 44, 189
 Swath, 20, 145, 189

 Tajuk tanaman, 189
 Tandem-X, 10, 39, 56, 189
 Technology Readiness Level, 15, 18, 189
 Terrain Correction, 120, 133, 190
 TerraSAR-X, 3, 5, 8–11, 14, 17, 19, 27, 30–3, 36, 41, 44, 45, 48, 51, 52, 56, 67, 72, 86, 92, 95, 96, 98, 99–101, 113, 157, 158, 160, 161, 177, 188–190

 Upper level cloud, 190

 VH, 3, 62, 68–70, 79–81, 83, 84–8, 90, 108, 117, 120, 122, 123, 132–39, 190
 Volume scattering, 190
 VV, 3, 62, 65, 67–70, 79, 80, 83–8, 90, 108, 117, 120, 122, 123, 130, 132–39, 190



DAFTAR PENULIS

Nama Penulis	Afiliasi
Agnes Sondita	Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jln. Lapan No. 70, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Telp. 021-8710786
Agustan	Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Wilayah-Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jln. M.H Thamrin No. 8 Jakarta Pusat DKI Jakarta 10340, Telp. 021-316 9534; E-mail: agustan@bppt.go.id
Akbar Cita	Pusat Survei Geologi (PSG), Badan Geologi, KESDM, Jln. Diponegoro No.57, Gedung C, Bandung 40144, Telp. 022-7203205
Anugrah Indah Lestari	Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jln. Kalisari No. 8, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Telp. 021-8710065; E-mail: anugrah.indah@lapan.go.id
Baiq Arasya Wulandari	Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Telp. 031-5994251-54, 5947274, 5945472; E-mail: arassya@gmail.com

Nama Penulis	Afiliasi
Dede Dirgahayu	Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jln. Kalisari No. 8, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Telp. 021-8710065
Doni Fernando	Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Wilayah - Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jln. M. H. Thamrin No. 8 Jakarta Pusat DKI Jakarta 10340, Telp. 021-316 9534
Dony Kushardono	Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jln. Kalisari No. 8, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Telp. 021-8710065, E-mail: dony_kushardono@lapan.go.id
Fiolenta Marpaung	Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Wilayah-Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jln. M. H. Thamrin No. 8 Jakarta Pusat DKI Jakarta 10340, Telp. 021-316 9534; E-mail: fiolenta.marpaung@bppt.go.id
Fitriani Agustin	Pusat Survei Geologi (PSG), Badan Geologi, KESDM, Jln. Diponegoro No.57, Gedung C, Bandung 40144, Telp. 022-7203205; E-mail: fitriani.agustin@esdm.go.id
Haris Dyatmika	Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional' Jln. Lapan No. 70, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Telp. 021-8710786
Heru Noviar	Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jln. Kalisari No. 8, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Telp.021-8710065

Nama Penulis	Afiliasi
Immaculata	Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL), Balitbang, KESDM, Jln. Dr. Djunjunan No. 236, Bandung 40174, Telp. 022-6032020
Inggit Lolita Sari	Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jln. Lapan No. 70, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Telp. 021-8710786
Ita Carolita	Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jln. Kalisari No. 8, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Telp. 021-8710065
Johanes Manalu	Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jln. Kalisari No. 8, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Telp. 021-8710065
Lena Sumargana	Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Wilayah - Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jln. M. H. Thamrin No. 8 Jakarta Pusat DKI Jakarta 10340, Telp. 021-316 9534
Mahmud Raimadoya	Pusat Pengkajian Perencanaan Pengembangan Wilayah (P4W), LPPM-IPB, Jln. Raya Pajajaran, Kampus IPB Baranangsiang, Bogor 16144, Telp. 0251-8359072; Bagian Teknik Geomatika, Departemen Teknik Sipil & Lingkungan IPB, Jln. Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Telp. 0251-8627225

Nama Penulis	Afiliasi
Marendra E. Budiono	Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jln. Lapan No. 70, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Telp. 021-8710786
Muhamad Sadly	Kedeputian Bidang Geofisika - Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Jln. Angkasa I No. 2 Kemayoran, Jakarta Pusat, DKI Jakarta 10720, Telp. 021-4246321
Mulia Inda Rahayu	Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jln. Lapan No. 70, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Telp. 021-8710786
Novie Indriasari	Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jln. Lapan No. 70, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Telp. 021-8710786
Rachmat Maulana	Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jln. Lapan No. 70, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Telp. 021-8710786
Rahmat Arief	Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jln. Lapan No. 70, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Telp. 021-8710786
Rizhatus Shofiyati	Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP), Jln. Tentara Pelajar No.12, Bogor, 16114, Telp. 0251-8323012

Nama Penulis	Afiliasi
Sepanie Putiamini	Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Wilayah - Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jln. M. H. Thamrin No. 8 Jakarta Pusat DKI Jakarta 10340, Telp. 021-316 9534
Shadiq Ali	Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jln. Lapan No. 70, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Telp. 021-8710786
Sharfina Puteri	Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya-60111, Telp. 031-5994251-54, 5947274, 5945472; E-mail: psharfina@gmail.com
Sidarto	Pusat Survei Geologi (PSG), Badan Geologi, KESDM, Jln. Diponegoro No.57, Gedung C, Bandung 40144, Telp. 022-7203205
Sonia Rijani	Pusat Survei Geologi (PSG), Badan Geologi, KESDM, Jln. Diponegoro No.57, Gedung C, Bandung 40144, Telp. 022-7203205
Sonny Mawardi	Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL), Balitbang, KESDM, Jln. Dr. Djunjunan No. 236, Bandung 40174, Telp. 022-6032020
Tatik Kartika	Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jln. Kalisari No. 8, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Telp. 021-8710065



BIOGRAFI EDITOR

Dony Kushardono lahir di Malang, 27 November 1962, lulus S1 tahun 1985 dari Jurusan Agrometeorologi Institut Pertanian Bogor, lulus Master of Engineering tahun 1990 dari Departemen Elektro Photo Optik Tokai University, dan Pendidikan S3 (Ph.D.) dirampungkan pada tahun 1996 di Graduate School of Engineering Tokai University dengan disertasi berjudul *Study of High Accuracy of Land Cover Classification Methods in Remote Sensing*. Pendidikan lain di antaranya Diklat Reviewer Penelitian Indonesia Kementerian Ristekdikti. Bekerja di LAPAN sejak tahun 1986 dan saat ini adalah Profesor bidang teknologi penginderaan jauh. Jabatan struktural yang pernah diemban adalah Kepala Instalasi Lingkungan dan Cuaca tahun 2001–2006, Kepala Bidang Pengembangan Teknologi Penginderaan Jauh tahun 2007–2011, dan saat ini Kepala Kelompok Penelitian Pemanfaatan dan Diseminasi Informasi Penginderaan Jauh. Pernah menjadi *Reviewer* pada beberapa jurnal ilmiah yaitu, *Indonesian Journal of Remote Sensing* (MAPIN 2004–2005), *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* (IPB 2014–2016), dan hingga saat ini pada *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, *Majalah Ilmiah Semi Populer Inderaja*, *International Journal Remote Sensing and Earth Science*, dan *Majalah Ilmiah Globe* (BIG). Menjadi anggota Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN) sejak 1996, dan Perhimpunan Peneliti Indonesia hingga saat ini.

Rahmat Arief lahir di Surabaya pada tanggal 13 Juli 1974, lulus S1 tahun 2002 dari Jurusan Teknik Elektro di Georg Simon Ohm Fachhochschule Nuernberg, Jerman. Ijazah S2 Master of Science diperoleh tahun 2005 dari Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kassel, Jerman; dan pendidikan S3 (Dr.) dirampungkan pada tahun 2016 di Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia, dengan disertasi berjudul *Pengembangan Model Baru Akuisisi Data dan Algoritma Rekonstruksi Pembobotan Iterasi untuk Compressive Sensing pada Data Synthetic Aperture Radar Guna Meningkatkan Resolusi Citra dan Mereduksi Volume Data*. Bekerja di LAPAN menjadi peneliti sejak tahun 1993 dan saat ini jabatannya adalah Peneliti Ahli Madya bidang teknologi penginderaan jauh. Pernah menjadi *Reviewer* beberapa jurnal ilmiah, yaitu *International Journal Remote Sensing and Earth Science* dan hingga saat ini juga sebagai Pemimpin Redaksi *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*. Menjadi anggota asosiasi profesi Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN), Perhimpunan Peneliti Indonesia, dan *member* Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Pemanfaatan Data Satelit Radar

untuk Wilayah Darat di Indonesia: Peluang dan Tantangan

Peluang pemanfaatan data satelit radar atau *Synthetic Aperture Radar* (SAR) di Indonesia cukup tinggi karena kemampuan data satelit SAR yang dapat menembus awan, yang sering menjadi kendala dalam pemantauan permukaan bumi menggunakan data satelit optik. Selain itu, kelebihan data satelit radar ini dapat memantau permukaan tanpa gangguan cuaca serta dapat digunakan dalam kondisi siang dan malam. Untuk itu, pemanfaatan penginderaan jauh untuk berbagai kebutuhan dengan menggunakan data satelit SAR diperkirakan akan meningkat pada masa mendatang.

Dalam rangka meningkatkan minat pengguna data satelit SAR dan menggali metode pemanfaatan data SAR di Indonesia, melalui bunga rampai ini disusun buku pemanfaatan data SAR di Indonesia yang menjelaskan status teknologi hingga pemanfaatannya untuk pertanian, perkebunan, dan monitoring lingkungan. Dengan hadirnya buku ini, diharapkan bisa menjadi salah satu referensi terkait teknologi dan pemanfaatan data satelit radar bagi para pengguna dan peneliti atau perekayasa dalam memajukan dan memanfaatkan teknologi data penginderaan jauh satelit radar secara optimal.

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
Website: lipipress.lipi.go.id | penerbit.lipi.go.id

ISBN 978-602-496-139-8



9 786024 961398