

Majalah Ilmiah Globe diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) bekerja sama dengan Masyarakat Ahli Penginderaan jauh Indonesia (MAPIN). Majalah Ilmiah Globe sebagai media komunikasi ilmiah, riset dan teknologi terkait pengumpulan, pengolahan dan analisis data menghasilkan informasi Geospasial Tematik, antara lain mencakup Analisis Tematik (Hidrologi, Geomorfologi, Penginderaan Jauh, Kartografi, dan Geografi Fisik), dan Aplikasi Sistem Informasi Geografi. Pernyataan penulis dalam artikel yang dimuat pada majalah ini merupakan pendapat individu penulis bukan pendapat penerbit.

Jurnal terbit 2 kali setiap tahun, 2 nomor 1 volume, bulan **April** dan **Oktober**.

Pengarah:

Kepala Badan Informasi Geospasial

Penanggung Jawab:

Kepala Pusat Penelitian Promosi dan Kerja Sama

Mitra Bestari :

Nama :

Prof. Dr. Sobar Sutisna
Prof. Junun Sartohadi
Prof. Bangun Mulyo Sukojo
Prof. Widiatmaka
Dr. Projo Danoedoro
Dr. Djati Mardiatno
Dr. Wikanti Asriningrum
Dr. Ibnu Sofian
Dr. Sri Hartini
Dr. Muhamad Buce Saleh

Kepakaran :

Geodesi Batas Wilayah
Geografi Fisik
Penginderaan Jauh
Evaluasi Sumberdaya Lahan
Sistem Informasi Geografis
Manajemen Kebencanaan
Geomorfologi
Oceanografi
Penginderaan Jauh - SIG
Penginderaan Jauh - SIG

Instansi :

Universitas Pertanian
Universitas Gadjah Mada
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Institut Pertanian Bogor
Universitas Gadjah Mada
Universitas Gadjah Mada
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Institut Pertanian Bogor

Dewan Editor:

Nama :

Prof Dewayany Sutrisno
Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar
Dr. Jonson Lumban-Gaol
Ir. Yatin Suwarno, M.Sc
Ir. Irmadi Nahib, M.Si
Ahmad Cahyadi, S.Si., M.Sc

Jabatan

Ketua Dewan Editor
Anggota
Anggota
Anggota
Anggota
Anggota

Instansi :

Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Institut Pertanian Bogor
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Universitas Gadjah Mada



Alamat Redaksi:

Sekretariat Redaksi Majalah Ilmiah Globe
Gedung S, Lt. 1 Badan Informasi Geospasial (BIG)
Jl. Jakarta-Bogor KM 46 Cibinong 16911
Telp/fax: +62-21- 87906041, E-mail: majalah.globe@big.go.id
Webs Jurnal: <http://jurnal.big.go.id/index.php/GL>

Redaktur Pelaksana:

Nama :

Dr. Yosef Prihanto
Agung Syetiawan, S.T
Nadya Oktaviani, S.T
Danang Budi Susetyo, S.T
Mochamad Irwan Hariyono, S.T
Nugroho Purwono, S. Si
Prayudha Hartanto, S.T
Intan Pujawati, S.Si
Munawaroh, S.Si
Tia Rizka Nuzula Rachma, S.T
Fahrul Hidayat, S.T
Ayu Nur Safii, S.T
Aninda Wisaksanti Rudiastuti, S.Pi
Ellen Suryanegara, S.Sos
Yustisi Ardhitasari, S.T
Rizka Windiastuti, B.Sc, M.IT
Utami Yulaila, S.E

Jabatan

Ketua Redaksi
Administrator
Copy Editor
Copy Editor
Copy Editor
Copy Editor
Copy Editor
Copy Editor
Copy Editor
Copy Editor
Copy Editor
Lay Out & Desain Grafis
Proof Reader
Proof Reader
Proof Reader
Proof Reader
Sirkulasi

Instansi

Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial

DAFTAR ISI

SUSUNAN DEWAN REDAKSI	ii
DAFTAR ISI	iv
LEMBAR ABSTRAK (ID)	v
LEMBAR ABSTRAK (EN)	vii
PENGANTAR REDAKSI	ix
KARAKTERISTIK POLA SPEKTRAL PADA LAHAN BEKAS TAMBANG TIMAH BERBASIS CITRA <i>(Characteristic of Spectral Pattern on Former Tin Mining Land Based on Image)</i> Nanik Suryo Haryani, Hana Listi Fitriana, dan Iskandar Effendy Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional	1-8
ANALISIS POTENSI RAMBATAN TSUNAMI DI PANTAI UTARA DESA DULUKAPA DAN DEME 1 KABUPATEN GORONTALO UTARA UNTUK MITIGASI BENCANA TSUNAMI <i>(Web Map Application in Physical Waters Suitability Mapping for Floating Net Cages Cultivation in Lampung Coastal Bay)</i> Andiyanti Putri Estigade, Ariani Puji Astuti, Arief Wicaksono, Tika Maitela, dan Wirastuti Widyatmanti Departemen Sains Informasi Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada	9-16
ANALISIS IMPLEMENTASI 30% RUANG TERBUKA HIJAU DI DKI JAKARTA <i>(Analysis of 30% Green Open Space Implementation in DKI Jakarta)</i> Panji Prakoso dan Herdis Herdiansyah Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia.....	17-26
PERANCANGAN POTENSI LOKASI JEJARING STASIUN PEMANTAU KUALITAS UDARA DI DAERAH URBAN BERBASIS DATA SPASIAL: Studi Kasus di DKI Jakarta <i>(Design of Potential Location for Air Quality Monitoring Stations Network in Urban Area based on Spatial Data: Case Study DKI Jakarta)</i> Akhmad Riqqi, Ahmad Fawaid dan Driejana Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung	27-34
TEKNIK GEOVISUALISASI UNTUK PERCEPATAN PEMETAAN BATAS DESA DI DAERAH BERBUKIT: Studi Kasus di Desa Terong, Kecamatan Dlingo <i>(Geovisualization technique for acceleration of village boundary mapping in hilly areas, a case study in Terong Village, Dlingo Sub-district)</i> Totok W. Wibowo, Nafian Ambhika dan Abimanyu P. Pratama Departemen Sains Informasi Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.....	35-44
DETEKSI TUMPAHAN MINYAK MENGGUNAKAN METODE ADAPTIVE THRESHOLD DAN ANALISIS TEKSTUR PADA DATA SAR <i>(Oil Spill Detection using Adaptive Threshold and Texture Analysis Methode on SAR Data)</i> Fikri Firmansyah, Estradivari, Christian N. Handayani, Nils Krueck, Adib Mustofa, dan Dirga Daniel Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.....	45-52
PEMETAAN PERKEBUNAN SAWIT RAKYAT DARI FOTO UDARA NON METRIK MENGGUNAKAN ANALISIS BERBASIS OBJEK <i>(Smallholder Oil Palm Plantation Mapping from Non-metric Aerial Photography using Object-based Analysis)</i> Agung Syetiawan dan Muhammad Haidar Badan Informasi Geospasial.....	53-62

LEMBAR ABSTRAK (ID)

MAJALAH ILMIAH GLOBë (Globë Scientific Magazine)	
P-ISSN 1411-0512/E-ISSN 2502-2172	Cibinong, April 2019
Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa izin dan biaya	
<p>DDC 622.526 Haryani (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional) Karakteristik Pola Spektral pada Lahan Bekas Tambang Timah Berbasis Citra <i>Majalah Ilmiah Globë April, Vol 21 No 1, Hal 1-8</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik spektral pada lahan bekas tambang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dengan menggunakan data citra Landsat tahun 2005, 2010, dan 2015, dengan mengkonversi nilai digital menjadi nilai reflektansi, selanjutnya melakukan konversi ke spektral radiansi Top of Atmosphere (ToA), konversi ke reflektansi ToA, dan konversi spektral radiansi ke temperatur kecerahan.</p> <p style="text-align: right;">(Haryani)</p> <p>Kata kunci: Karakteristik, spektral, penginderaan jauh, lahan tambang</p>	<p>DDC 620.4285 Estigade (Universitas Gadjah Mada) Aplikasi Web Map dalam Pemetaan Kesesuaian Fisik Perairan Untuk Budidaya Keramba Jaring Apung di Teluk Lampung <i>Majalah Ilmiah Globë April, Vol 21 No 1, Hal 9-16</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis spasial untuk menentukan lokasi potensial budidaya keramba jaring apung menggunakan citra Landsat 8 OLI dan SIG; dan menyajikan peta kesesuaian fisik perairan untuk budidaya keramba jaring apung ke dalam Web Map.</p> <p style="text-align: right;">(Estigade)</p> <p>Kata kunci: <i>Web map</i>, kesesuaian fisik perairan, keramba jaring apung, Teluk Lampung, ArcGIS <i>online</i></p>
<p>DDC 690.0285 Prakoso (Universitas Indonesia) Analisis Implementasi 30% Ruang Terbuka Hijau di DKI Jakarta <i>Majalah Ilmiah Globë April, Vol 21 No 1, Hal 17-26</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan kebutuhan RTH DKI Jakarta secara kualitatif melalui pendekatan luas wilayah administrasi dan jumlah penduduk. Penelitian ini juga menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) untuk merumuskan prioritas solusi kebijakan yang lebih tepat untuk dapat dilakukan oleh pengambil kebijakan terkait.</p> <p style="text-align: right;">(Prakoso)</p> <p>Kata kunci: Penduduk, Ruang Terbuka Hijau, AHP</p>	<p>DDC 771.526 Riqqi (Institut Teknologi Bandung) Perancangan Potensi Lokasi Jejaring Stasiun Pemantau Kualitas Udara di Daerah Urban Berbasis Data Spasial Studi Kasus di DKI Jakarta <i>Majalah Ilmiah Globë April, Vol 21 No 1, Hal 27-34</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk mencari lokasi yang potensial bagi stasiun pengamatan kualitas udara yang didasarkan pada model densitas populasi penduduk dan variasi spasial sumber pencemar di wilayah Jakarta.</p> <p style="text-align: right;">(Riqqi)</p> <p>Kata kunci: Pencemaran udara, model jaringan pemantau kualitas udara, pemilihan lokasi</p>

<p>DDC 526.8 Wibowo (Universitas Gadjah Mada) Teknik Geovisualisasi Untuk Percepatan Pemetaan Batas Desa Di Daerah Berbukit Studi Kasus di Desa Terong, Kecamatan Dlingo <i>Majalah Ilmiah Globè April, Vol 21 No 1, Hal 35-44</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimalisasi peta kerja dengan memanfaatkan kombinasi geovisualisasi 2D, 2,5D, dan 3D untuk penarikan garis batas desa pada daerah berbukit. Geovisualisasi tersebut didukung dengan menggunakan data DEMNAS untuk menghasilkan hillshade yang disajikan dengan teknik multi hillshade. DEMNAS digunakan karena memiliki resolusi spasial yang cukup tinggi (0.27-arcsecond) dan bersifat open access. (Wibowo)</p> <p>Kata kunci: Batas desa, CSRT, geovisualisasi, DEMNAS, hillshade</p>	<p>DDC 551.456 Sulma (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional) Deteksi Tumpahan Minyak Menggunakan Metode Adaptive Threshold dan Analisis Tekstur pada Data SAR <i>Majalah Ilmiah Globè April, Vol 21 No 1, Hal 45-52</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan metode analisis tekstur dan adaptive threshold untuk deteksi tumpahan minyak menggunakan citra SAR Sentinel 1. Wilayah kajian meliputi perairan utara Bintang yang hampir rutin terjadi kasus tumpahan minyak khususnya pada musim barat/utara, serta perairan Teluk Balikpapan yang mengalami kejadian tumpahan minyak yang cukup besar pada akhir Maret 2018. (Sulma)</p> <p>Kata kunci: Tumpahan minyak, SAR, adaptive threshold, analisis tekstur</p>
<p>DDC 526.285 Syetiawan (Badan Informasi Geospasial) Pemetaan Perkebunan Sawit Rakyat dari Foto Udara Non Metrik Menggunakan Analisis Berbasis Objek <i>Majalah Ilmiah Globè April, Vol 21 No 1, Hal 53-62</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan pemetaan udara menggunakan kamera non-metrik untuk pembuatan peta sawit rakyat. Proses akuisisi pemetaan sawit rakyat dilakukan di daerah Labanan Makmur Kalimantan Timur. Proses pemetaan udara menggunakan wahana tanpa awak (WTA) fixed wing dengan ketinggian terbang 420 meter diatas permukaan tanah menghasilkan 186 foto dengan sidalap dan overlap foto sebesar 70% dan 80%. (Syetiawan)</p> <p>Kata kunci: STD-B, pemetaan udara, kamera non metrik, sawit rakyat, OBIA, GCP</p>	

LEMBAR ABSTRAK (EN)

Globë Scientific Magazine (MAJALAH ILMIAH GLOBë)	
P-ISSN 1411-0512/E-ISSN 2502-2172	Cibinong, April 2019
The keywords given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge	
<p>DDC 622.526 Haryani (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional) <i>Characteristic of Spectral Pattern on Former Tin Mining Land Based on Image</i> <i>Majalah Ilmiah Globë April, Vol 21 No 1, pp 1-8</i></p> <p><i>The goal of this research is analyzing the spectral pattern characteristic on former mining area. This research used method with stage: geometric correction, radiometric correction, convert to spectral radiance Top of Atmosphere (ToA), convert to reflectance ToA, and convert spectral radiance to brightness temperature.</i></p> <p style="text-align: right;">(Haryani)</p> <p><i>Keywords: Characteristic, spectral, remote sensing, mining area</i></p>	<p>DDC 620.4285 Estigade (Universitas Gadjah Mada) <i>Web Map Application in Physical Waters Suitability Mapping for Floating Net Cages Cultivation in Lampung Coastal Bay</i> <i>Majalah Ilmiah Globë April, Vol 21 No 1, pp 9-16</i></p> <p><i>This research aims to perform spatial analysis to determine the suitable area for floating net cages using remote sensing and GIS; and to present physical waters suitability of floating net cages cultivation map into the Web Map.</i></p> <p style="text-align: right;">(Estigade)</p> <p><i>Keywords: Web map, physical suitability of waters, floating net cages, Lampung Bay, ArcGIS online</i></p>
<p>DDC 690.0285 Prakoso (Universitas Indonesia) <i>Analysis of 30% Green Open Space Implementation in DKI Jakarta</i> <i>Majalah Ilmiah Globë April, Vol 21 No 1, pp 17-26</i></p> <p><i>This study aims to explain the needs of DKI Jakarta's RTH in a qualitative manner through the approach of administrative area and population. This study also uses the Analytical Hierarchy Process (AHP) method to formulate priority policy solutions that are more appropriate for relevant policy makers.</i></p> <p style="text-align: right;">(Prakoso)</p> <p><i>Keywords: Population, Green Open Space, AHP</i></p>	<p>DDC 771.526 Riqqi (Institut Teknologi Bandung) <i>Design of Potential Location for Air Quality Monitoring Stations Network in Urban Area based on Spatial Data: Case Study DKI Jakarta</i> <i>Majalah Ilmiah Globë April, Vol 21 No 1, pp 27-34</i></p> <p><i>This study aims to find potential locations for air quality observation stations based on population density models and spatial variations of pollutant sources in the Jakarta area</i></p> <p style="text-align: right;">(Riqqi)</p> <p><i>Keywords: Air pollution, air quality monitoring network model, site selection</i></p>

<p>DDC 526.8 Wibowo (Universitas Gadjah Mada) <i>Geovisualization Technique for Acceleration of Village Boundary Mapping in Hilly Areas, A Case Study in Terong Village, Dlingo Sub-district</i> <i>Majalah Ilmiah Globè April, Vol 21 No 1, pp 35-44</i></p> <p><i>This study aims to optimize work maps by utilizing 2D, 2.5D, and 3D geovisualization combinations to draw hilly village boundaries. The geovisualization assisted by using DEMNAS data to generate hillshade which has presented with multi hillshade techniques. DEMNAS is used as the primary data because it has a fairly high spatial resolution (0.27-arcsecond) and is open access.</i></p> <p style="text-align: right;">(Wibowo)</p> <p>Keywords: <i>Village boundary, CSRT, geovisualization, DEMNAS, hillshade</i></p>	<p>DDC 551.456 Sulma (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional) <i>Oil Spill Detection using Adaptive Threshold and Texture Analysis Methode on SAR Data</i> <i>Majalah Ilmiah Globè April, Vol 21 No 1, pp 45-52</i></p> <p><i>This study aims to compare the method of oil spill detection with adaptive threshold method and texture analysis using SAR Sentinel 1 image. The study area covers the waters of the north of Bintan which are almost routinely oil spilly, especially in the west/north season, and Balikpapan Bay waters which occur oil spills quite large at the end of March 2018.</i></p> <p style="text-align: right;">(Sulma)</p> <p>Keywords: <i>Oil spill, SAR, adaptive threshold, texture analysis</i></p>
<p>DDC 526.285 Syetiawan (Badan Informasi Geospasial) <i>Carbon Mapping in the Seagrass Beds at Prawean Beach Bandengan Jepara</i> <i>Majalah Ilmiah Globè April, Vol 21 No 1, Hal 117-124</i></p> <p><i>The aim of the study is to examine the ability of aerial photo using non-metric cameras to map smallholder oil palm plantation. The acquisition of oil palm plantation mapping is carried out in Labanan Makmur, East Kalimantan. Aerial photos acquisition used fixed-wing UAV with flight altitude of 420 meters above ground and produced 186 photos with sidelap and overlap of 70% and 80%.</i></p> <p style="text-align: right;">(Syetiawan)</p> <p>Keywords: <i>STD-B, aerial photo, non-metric camera, smallholder oil palm, OBIA, GCP</i></p>	

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, Majalah Ilmiah Globe Volume 21 No. 1 April 2019 dapat kembali terbit. Dengan semangat untuk selalu memberikan yang terbaik, redaksi berharap agar setiap edisinya semakin berkualitas dengan memuat hasil penelitian yang berguna dan sesuai perkembangan di bidang Informasi Geospasial Tematik, antara lain mencakup Analisis Tematik (Hidrologi, Geomorfologi, Penginderaan Jauh, Kartografi, dan Geografi Fisik), dan Aplikasi Sistem Informasi Geografi.

Majalah Ilmiah Globe Volume 21 No. 1 April 2019 ini menyajikan berbagai tulisan penelitian yang terdiri dari tujuh karya tulis ilmiah oleh penulis dari beberapa instansi yaitu Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Universitas Gadjah Mada, Universitas Indonesia, Institut Teknologi Bandung dan Badan Informasi Geospasial. Karya tulis ilmiah yang dimuat pada edisi ini yang pertama bertujuan untuk menganalisis karakteristik spektral pada lahan bekas tambang. Naskah kedua bertujuan untuk melakukan analisis spasial untuk menentukan lokasi potensial budidaya keramba jaring apung menggunakan citra Landsat 8 OLI dan SIG; dan menyajikan peta kesesuaian fisik perairan untuk budidaya keramba jaring apung ke dalam Web Map. Naskah ketiga bertujuan untuk menjelaskan kebutuhan RTH DKI Jakarta secara kualitatif melalui pendekatan luas wilayah administrasi dan jumlah penduduk. Penelitian ini juga menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk merumuskan prioritas solusi kebijakan yang lebih tepat untuk dapat dilakukan oleh pengambil kebijakan terkait. Naskah keempat bertujuan untuk mencari lokasi yang potensial bagi stasiun pengamatan kualitas udara yang didasarkan pada model densitas populasi penduduk dan variasi spasial sumber pencemar di wilayah Jakarta. Naskah kelima bertujuan untuk melakukan optimalisasi peta kerja dengan memanfaatkan kombinasi geovisualisasi 2D, 2,5D, dan 3D untuk penarikan garis batas desa pada daerah berbukit. Naskah keenam bertujuan untuk membandingkan metode analisis tekstur dan *adaptive threshold* untuk deteksi tumpahan minyak menggunakan citra SAR Sentinel 1. Naskah ketujuh bertujuan untuk mengkaji kemampuan pemetaan udara menggunakan kamera non-metrik untuk pembuatan peta sawit rakyat. Proses akuisisi pemetaan sawit rakyat dilakukan di daerah Labanan Makmur Kalimantan Timur.

Redaksi mengucapkan terima kasih atas kontribusi para penulis, editor, mitra bestari, dan berbagai pihak sehingga edisi ini dapat diterbitkan. Juga kepada pembaca yang budiman, kami harapkan saran dan kritik serta sumbangan pemikiran untuk perbaikan dan kemajuan Majalah Ilmiah Globe ini kedepan. Semoga terbitan ini bermanfaat bagi pembaca.

Cibinong, 30 April 2019

Redaksi

KARAKTERISTIK POLA SPEKTRAL PADA LAHAN BEKAS TAMBANG TIMAH BERBASIS CITRA

(Characteristic of Spectral Pattern on Former Tin Mining Land Based on Image)

Nanik Suryo Haryani, Hana Listi Fitriana, dan Iskandar Effendy

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Kalisari Lapan No. 8, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur 13710, Indonesia

E-mail: naniksuryo@yahoo.com

Diterima : 19 Juli 2018; Direvisi: 09 November 2018; Ditetapkan untuk dipublikasikan: 03 Januari 2019

ABSTRAK

Obyek yang berada di permukaan bumi mempunyai nilai spektral yang berbeda, sehingga setiap obyek yang terekam dalam citra satelit pada setiap panjang gelombang elektromagnetik akan mempunyai nilai spektral yang berbeda pula. Permasalahan yang muncul pada lahan bekas tambang ini adanya lahan terbuka yang secara visual terlihat adanya beraneka ragam kenampakan. Kondisi ini menarik untuk dilakukan penelitian masalah karakteristik spektral pada obyek tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik spektral pada lahan bekas tambang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini dengan menggunakan data citra Landsat tahun 2005, 2010, dan 2015, dengan mengkonversi nilai digital menjadi nilai reflektansi, selanjutnya melakukan konversi ke spektral radiansi *Top of Atmosphere* (ToA), konversi ke reflektansi ToA, dan konversi spektral radiansi ke temperatur kecerahan. Karakteristik pola spektral pada lahan bekas tambang yang dihasilkan berdasarkan reflektansi yang diperoleh dari citra tersebut. Hasil karakteristik pola spektral yang diteliti dari obyek pada lahan bekas tambang yang dikelaskan menjadi 4 kelas yaitu daerah terbuka secara visual berwarna abu-abu, putih terang, coklat dan kolong (bekas lahan tambang berbentuk cekung yang terisi air) yang secara visual berwarna biru. Perbedaan spektral yang terlihat jelas adalah pola spektral pada band 1, band 2, dan band 5, sedangkan band 3 dan band 4 mempunyai pola yang hampir sama. Korelasi antara nilai spektral hasil pengolahan citra terhadap nilai spektral hasil pengukuran di lapangan pada lahan terbuka bekas tambang timah mempunyai nilai korelasi terbesar pada obyek timah coklat dengan nilai korelasi sebesar 83,70%, sedangkan nilai korelasi terkecil pada obyek kolong dengan nilai korelasi sebesar 67,90%.

Kata Kunci: Karakteristik, spektral, penginderaan jauh, lahan tambang

ABSTRACT

The objects over the earth have different spectral values, therefore each object will have a different spectral characteristic at every electromagnetic wave length recorded in remote sensing satellite image. The problem arises at open spaces on the former mining land with various appearance. This condition is an interesting point for the research of spectral characteristic on that object. The goal of this research is analyzing the spectral pattern characteristic on former mining area. This research used method with stage: geometric correction, radiometric correction, convert to spectral radiance Top of Atmosphere (ToA), convert to reflectance ToA, and convert spectral radiance to brightness temperature. Spectral pattern characteristic on former mining is analyzed based on obtained reflectancy from Landsat images. The result of spectral pattern characteristic which has been analyzed from the object on former mining area is classified into 4 classes, those are open space with visually yellow brownish, clear white, brown and under hole with visually blue. The clearly visible difference is the spectral pattern on band 1, band 2 and band 5, meanwhile band 3 and band 4 has an almost similar patten. The correlation between spectral values obtained from the analyzes of images and the site measurement on the former tin mining area has its maximum correlation on brown tin object with correlation value at 83.70%, while the minimum correlation on the under hole with 67.90% value.

Keywords: Characteristic, spectral, remote sensing, mining area

PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia memiliki banyak sumberdaya alam terutama pertambangan. Bahan tambang yang terkandung di bumi Indonesia, antara lain: minyak dan gas bumi, batu bara, timah, bijih besi, tembaga, mangan, bauksit, nikel, emas, perak, aspal, belerang, fosfat, batu gamping, batu

pualam, intan, dan bahan galian industri lainnya seperti kaolin dan pasir kuarsa. Indonesia adalah negara penghasil tambang timah terbesar keempat di dunia, setelah Malaysia, Bolivia, dan Thailand. Daerah penambangan timah terbesar di Indonesia terdapat di Provinsi Bangka Belitung.

Area bekas penambangan berupa lahan terbuka disinyalir telah mengakibatkan kerusakan

lingkungan dan melanggar Undang-undang (UU) Nomor 11 Tahun 1967 tentang Ketentuan-ketentuan Pokok Pertambangan Pasal 30. Oleh sebab itu, sesuai UU No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Pemerintah diamanatkan untuk melakukan pengendalian, pencemaran dan kerusakan lingkungan akibat kegiatan penambangan tersebut. Hal ini dilakukan agar dampak kerusakan lingkungan yang ditimbulkan tidak bertambah parah dan luas. Adanya kegiatan pertambangan akan berdampak terhadap kondisi lingkungan yang berada di sekitarnya.

Pemerintah telah berupaya untuk melakukan kegiatan guna merehabilitasi area bekas penambangan tersebut antara lain melalui inventarisasi area bekas penambangan, identifikasi dampak kerusakan lingkungan, serta rehabilitasi lahan bekas penambangan. Namun upaya-upaya yang telah dilakukan tersebut belum cukup efektif untuk menanggulangnya. Data satelit penginderaan jauh telah banyak digunakan dalam penelitian masalah pertambangan (Suresh & Jain, 2013). Petropoulos et al. (2013) telah melakukan penelitian identifikasi lahan area penambangan dengan menggunakan citra TM di mana wilayah eksplorasi penambangan yang intensif selama 23 tahun di Pulau Milos, Yunani. Penggunaan data citra Landsat-5 multi-temporal dan Landsat-7, SPOT Panchromatic, dan data ASTER telah digunakan untuk menilai dampak kegiatan penambangan dengan menunjukkan perubahan sumber daya tanah dan air di Yunani (Charou et al., 2010).

Penelitian di daerah penambangan dilakukan juga untuk pemetaan dan reklamasi area tambang daerah aliran sungai di kawasan Central Appalachian dari Virginia Barat, Maryland. Deteksi perubahan area penambangan dapat diketahui melalui citra dari tahun 1976 hingga 2006. Kariyawasam, Raval, & Shamsoddini (2014) melakukan penelitian pemantauan rehabilitasi lahan bekas penambangan di Australia Selatan. Data yang digunakan citra, hasil perhitungan NDVI bekas area penambangan, adalah tahun 1997-1998 NDVI >0,2; tahun 2001-2002 NDVI 0,35 – 0,4; tahun 2003-2005 NDVI 0,25-0,33. Santos Silva, Camara, Escada, & Souza (2008) mengadakan penelitian perubahan lahan dengan studi kasus deteksi perubahan lahan di Amazonia, dengan metode yang diusulkan untuk penelitian pertambangan menggunakan data penginderaan jauh dengan mengekstrak pola dari citra penginderaan jauh, dengan menggunakan algoritma segmentasi. Schroeter & GläÄer (2011) melakukan penelitian bahwa penggunaan cahaya tampak pada TM dan ETM *scenes* dengan menggunakan kanal visible dapat digunakan untuk evaluasi perairan danau wilayah penambangan. Fernández-Manso, Quintano, & Roberts (2012) mengadakan penelitian perubahan *landuse landcover* pada permukaan tambang dapat diestimasi dengan *Multiple End Member Spectral*

Mixture Analysis (MESMA) yang diterapkan pada data TM.

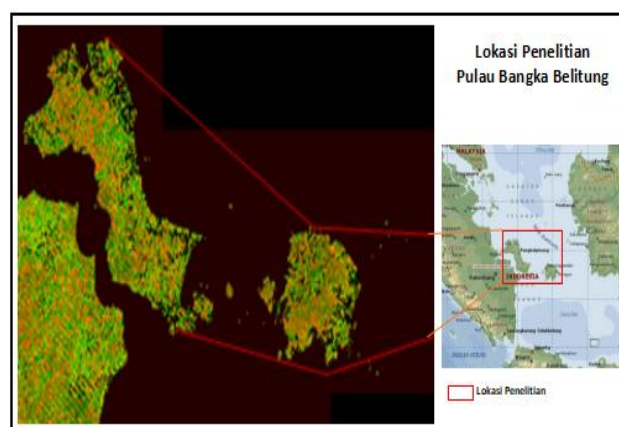
De Filho & Metzger (2006) membandingkan tiga pola deforestasi yang berbeda menggunakan data penginderaan jauh di Brasil Amazon. Hasil yang diperoleh peta penutup lahan pertambangan, dan klasifikasi penutup lahan serta analisis tren pola perubahan lahan secara spasial. Sedangkan Novera (2008) mengadakan penelitian Analisis vegetasi, karakteristik tanah dan kolonisasi fungi *mikoriza arbuskula* (FMA) pada lahan bekas tambang timah. Lahan bekas tambang yang sudah direvegetasi selama 3, 16 dan 28 tahun masih merupakan lahan marginal. Karakteristik lahan bekas tambang tidak mendukung untuk pertumbuhan tanaman. Analisis sifat tanah menunjukkan bahwa tanah pada lahan bekas tambang didominasi oleh fraksi pasir dengan fraksi liat yang sangat rendah.

Data penginderaan jauh mempunyai peranan yang sangat penting untuk inventarisasi potensi pertambangan, pemetaan kondisi penutup lahan pada lahan terbuka bekas pertambangan, perencanaan *site plan* pertambangan, inventarisasi lokasi pertambangan ilegal, pemantauan perubahan lahan akibat kegiatan pertambangan, dan pemantauan kegiatan rehabilitasi lahan. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik spektral di lokasi lahan bekas penambangan dari data satelit penginderaan jauh.

METODE

Data dan Lokasi

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Landsat yang meliputi citra perekaman tahun 2005, 2010, dan 2015, dengan *path row* 122/62, 123/062, 124/061. Lokasi penelitian karakteristik pola spektral pada lahan terbuka bekas lahan penambangan di Provinsi Bangka Belitung, ditunjukkan seperti pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi penelitian di Provinsi Bangka Belitung.

Metode Penelitian

Pada pengolahan data awal meliputi koreksi geometrik dan koreksi radiometrik. Koreksi geometrik merupakan koreksi yang berhubungan dengan distribusi keruangan. Geometrik meliputi informasi data *geo-referenced* yang berupa sistem koordinat lintang dan bujur, serta informasi yang ada di dalamnya. Koreksi geometrik yang dilakukan dalam citra satelit penginderaan jauh meliputi koreksi geometrik sistematis dan koreksi geometrik presisi. Koreksi geometrik sistematis adalah koreksi geometrik dengan menggunakan informasi karakteristik sensor yang meliputi orientasi internal yang meliputi informasi panjang fokus sistem optik, koordinat titik utama, distorsi sistem lensa dan difraksi atmosfer. Sedangkan orientasi eksternal berisi koordinat titik utama pada *ground space* dan tiga sudut relatif antara bidang citra dan bidang bumi. Koreksi presisi untuk meningkatkan ketelitian geometrik dengan menggunakan titik kontrol tanah atau *ground control point* (GCP).

Koreksi radiometrik dilakukan dengan mengkonversi nilai digital menjadi nilai reflektansi yang bertujuan untuk mengurangi kesalahan nilai piksel akibat sudut matahari dan jarak matahari bumi pada data yang berlainan waktu (Green et al., 2000). Hasil pengolahan data awal ini telah tersedia dalam produk standar 8 dengan format 16-bit integer, dimana konversi menjadi nilai radiansi dan reflektansi *Top of Atmosphere* (ToA) menggunakan koefisien *re-scaling* radiometrik yang tersedia dalam file metadata (file MTL) dengan tahapan seperti di bawah ini.

Konversi nilai digital ke spektral radiansi ToA

Nilai digital band OLI dan TIRS dikonversi menjadi spektral radiansi ToA dengan **Persamaan 1** sebagai berikut:

$$L_{\lambda} = M_L \cdot Q_{cal} + A_L \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

- L_{λ} = Spektral radiansi ToA (W/(m².sr.μm))
- M_L = Faktor rescaling perkalian setiap band (RADIANCE_MULT_BAND_x)
- A_L = Faktor rescaling aditif setiap band (RADIANCE_ADD_BAND_x)
- Q_{cal} = Nilai digital.

Konversi nilai digital ke reflektansi ToA

Nilai digital band OLI juga dapat langsung dikonversi menjadi nilai reflektansi ToA dengan **Persamaan 2** dan **Persamaan 3** sebagai berikut:

$$\rho_{\lambda} = (M_{\rho} \cdot Q_{cal} + A_{\rho}) / (\cos(\theta_{SZ})) \dots\dots\dots(2)$$

$$= (M_{\rho} \cdot Q_{cal} + A_{\rho}) / (\sin(\theta_{SE})) \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

- ρ_{λ} = Reflektansi ToA
- M_{ρ} = Faktor rescaling perkalian setiap band (REFLECTANCE_MULT_BAND_x)

- A_{ρ} = Faktor rescaling aditif setiap band (REFLECTANCE_ADD_BAND_x)
- Q_{cal} = Nilai digital
- θ_{SE} = Sudut elevasi matahari
- θ_{SZ} = Sudut zenith matahari;
- $SZ = 90^{\circ} - \theta_{SE}$

Konversi spektral radiansi ke *brightness temperature*

Konversi spektral radiansi ke suhu kecerahan (*brightness temperature*) band TIRS menggunakan **Persamaan 4** berikut:

$$T = K_2 / (\ln (K_1 / L_{\lambda}) + 1) \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

- T = Brightness temperature (K)
- L_{λ} = Spektral radiansi ToA (W/ (m².sr.μm))
- K_1 = Konstanta konversi termal setiap band (K1_CONSTANT_BAND_x)
- K_2 = Konstanta konversi termal setiap band (K2_CONSTANT_BAND_x)

Berdasarkan produk data standar yang telah dikoreksi, kemudian dilakukan konversi nilai reflektansi dari tipe data 16 bit integer menjadi tipe 4 *byte real* untuk mengembalikan nilai asli reflektansi dengan satuan mikrometer. Selanjutnya pemisahan awan dilakukan dengan meng-*overlay band* hasil klasifikasi awan yang telah tersedia dalam produk standar dengan semua *band* pada data OLI dan TIRS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis spektral pada lahan bekas tambang dari citra satelit

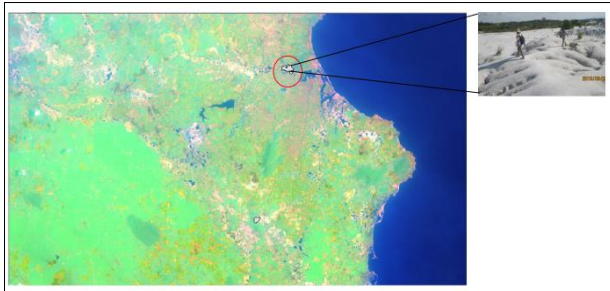
Berdasarkan hasil pengolahan data citra penginderaan jauh diperoleh hasil atau nilai reflektan dari masing-masing kelas obyek lahan bekas penambangan, dimana pengkelasan daerah bekas lahan pertambangan tersebut didasarkan pengamatan secara visual dapat disampaikan sebagai berikut bahwa timah, dikelaskan untuk daerah/lahan terbuka yang secara visual berwarna putih, abu-abu, kecoklatan, dan biru, dimana masing-masing dapat diuraikan seperti berikut ini.

Timah abu-abu untuk lahan terbuka bekas tambang timah yang secara visual berwarna abu-abu (**Tabel 1, Gambar 2, dan Gambar 3**, dan timah putih untuk lahan terbuka bekas tambang timah yang secara visual berwarna putih terang (**Tabel 2, Gambar 4 dan Gambar 5**), timah coklat untuk lahan terbuka bekas tambang timah secara visual berwarna coklat (**Tabel 3, Gambar 6, dan Gambar 7**), dan kolong untuk lahan terbuka bekas tambang timah yang berbentuk cekungan yang terisi air yang secara visual berwarna biru (**Tabel 4, Gambar 8 dan Gambar 9**). **Gambar 2, Gambar 4, Gambar 6, dan Gambar 8** adalah hasil citra *composite*, dimana daerah yang dilingkari merah adalah salah satu daerah lahan bekas tambang timah dilakukan pengukuran reflektan di

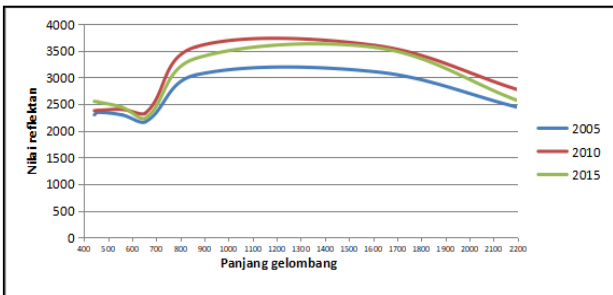
lapangan. Secara visual terlihat lahan bekas tambang timah warna abu-abu (**Gambar 2**), lahan bekas tambang timah warna putih (**Gambar 4**), lahan bekas tambang timah warna coklat (**Gambar 6**), dan lahan bekas tambang timah yang berbentuk cekungan terisi air biasa disebut kolong (**Gambar 8**).

Tabel 1. Nilai reflektan dan panjang gelombang pada obyek lahan tambang timah abu-abu dari citra tahun 2005, 2010, dan 2015.

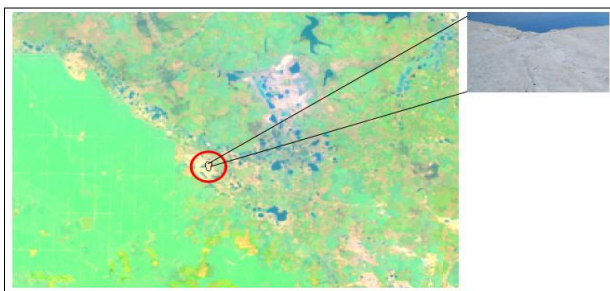
Panjang Gelombang	Tahun		
	2005 (nm)	2010 (nm)	2015 (nm)
443	2.298,884	2.375,764	2.550,233
458	2.345,054	2.380,345	2.539,167
558	2.295,852	2.399,752	2.438,967
655	2.167,726	2.330,491	2.237,167
865	3.047,527	3.574,188	3.358,400
1.610	3.105,519	3.599,697	3.562,100
2.200	2.440,422	2.770,618	2.565,800



Gambar 2. Citra pada obyek lahan tambang timah abu-abu.



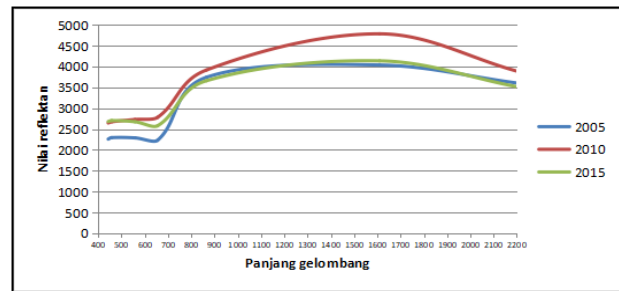
Gambar 3. Grafik Nilai reflektan pada obyek lahan tambang timah abu-abu.



Gambar 4. Citra pada obyek lahan tambang timah putih.

Tabel 2. Nilai reflektan dan panjang gelombang pada obyek lahan tambang timah putih dari citra tahun 2005, 2010, dan 2015.

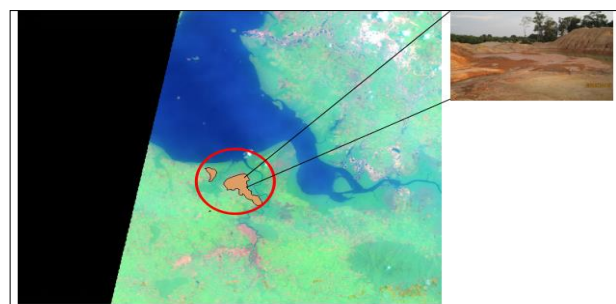
Panjang Gelombang	Tahun		
	2005 (nm)	2010 (nm)	2015 (nm)
443	2.260,268	2.646,389	2.680,846
458	2.295,659	2.675,444	2.704,308
558	2.289,171	2.729,722	2.675,692
655	2.231,61	2.780,722	2.579,538
865	3.740,902	3.915,000	3.658,769
1.610	4.035,976	4.783,389	4.136,231
2.200	3.604,610	3.889,944	3.515,769



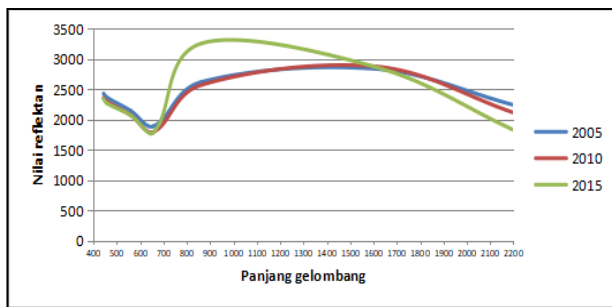
Gambar 5. Grafik Nilai reflektan pada obyek lahan tambang timah putih.

Tabel 3. Nilai reflektan dan panjang gelombang pada obyek lahan tambang timah coklat dari citra tahun 2005, 2010, dan 2015.

Panjang Gelombang	Tahun		
	2005 (nm)	2010 (nm)	2015 (nm)
443	2.427,636	2.356,833	2.341,167
458	2.363,098	2.294,393	2.266,00
558	2.147,163	2.075,95	2.071,083
655	1.886,298	1.792,196	1.778,583
865	2.622,139	2.573,147	3.257,75
1.610	2.834,873	2.874,495	2.864,25
2.200	2.240,504	2.113,394	1.828,083



Gambar 6. Citra pada obyek lahan tambang timah coklat.



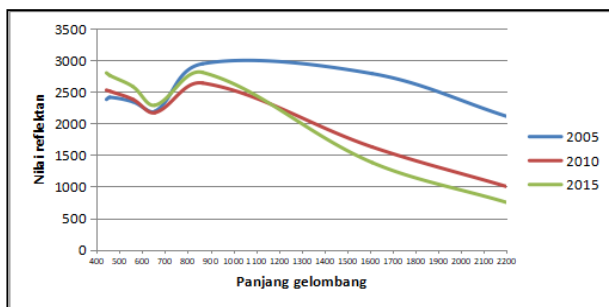
Gambar 7. Grafik Nilai reflektan pada obyek lahan tambang timah coklat.

Tabel 4. Nilai reflektan dan panjang gelombang pada obyek kolong dari citra tahun 2005, 2010, dan 2015.

Panjang Gelombang	Tahun		
	2005 (nm)	2010 (nm)	2005 (nm)
443	2.380,816	2.527,646	2.799,669
458	2.414,434	2.509,722	2.759,674
558	2.343,408	2.382,873	2.585,846
655	2.189,697	2.170,329	2.288,274
865	2.945,303	2.639,924	2.807,989
1.610	2.789,000	1.627,101	1.380,469
2.200	2.113,461	1.001,468	7.49,840



Gambar 8. Citra pada obyek kolong.



Gambar 9. Grafik Nilai reflektan pada obyek kolong.

Visualisasi **Gambar 3**, **Gambar 5**, **Gambar 7** dan **Gambar 9** memperlihatkan pola spektral untuk masing-masing *band* yaitu pada *band 1 – band 7* dari data tahun 2005, tahun 2010, dan tahun 2015. Analisis pola spektral yang dilakukan melalui citra pada setiap obyek bekas lahan tambang timah antara lain pada obyek timah abu-abu, timah putih, timah coklat, dan obyek kolong. Berdasarkan pola spektral dari hasil pengolahan data pada obyek lahan bekas tambang timah abu-abu pada

Gambar 3, pada panjang gelombang antara 440–655 nm atau *band 1 – band 4* kurva pola spektral berbentuk mendatar dan sedikit menurun pada *band 4*, dimana nilai spektral pada citra tahun 2015 berkisar 2.237,167 – 2.550, 233 nm, dan pada *band 5* kurva pola spektral mengalami peningkatan yang cukup tajam nilai spektral di tahun 2015 mencapai 3.358.400 nm. Sedangkan pada *band 6* dan *band 7* mengalami penurunan lagi yakni nilai spektral berkisar 2.565,800 – 3.562,100 nm. Hal ini terjadi pada semua citra yaitu citra tahun 2005, 2010 dan 2015. Lebih lengkapnya nilai spektral untuk obyek timah abu-abu pada citra tahun 2005, tahun 2010 dan tahun 2015 dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Pola spektral dari hasil pengolahan data Landsat pada obyek lahan bekas tambang timah putih dapat dilihat pada **Gambar 5**, dimana pada *band 1*, *band 2* dan *band 3* nilai reflektan relatif masih datar atau hampir sama, dari *band 3* ke *band 4* nilai reflektan sedikit menurun, selanjutnya dari *band 4* ke *band 5* nilai reflektan meningkat dan dari *band 5* ke *band 6* meningkat lagi, sedangkan dari *band 6* ke *band 7* nilai reflektan mengalami penurunan. Nilai spektral dari citra Landsat tahun 2005, tahun 2010 dan tahun 2015 dapat dilihat pada **Tabel 2**. **Gambar 7** menunjukkan pola spektral dari data Landsat pada obyek lahan bekas tambang timah coklat, dimana pada *band 1*, dan *band 2* nilai reflektan relatif masih datar, dan *band 2* menuju *band 3* dan *band 4* mengalami penurunan, sedangkan *band 4* ke *band 5* dan *band 6* terus mengalami peningkatan, dan *band 6* menuju *band 7* mengalami penurunan, dimana untuk lebih jelasnya nilai spektral pada citra tahun 2005, tahun 2010 dan tahun 2015 dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Pada obyek lahan bekas tambang timah berupa cekungan yang berisi air atau disebut kolong dimana pola spektral dari data seperti terlihat pada **Gambar 9**, dimana pada *band 1*, *band 2* dan *band 3* nilai reflektan relatif masih datar, dan *band 3* menuju *band 4* sedikit mengalami penurunan, sedangkan *band 4* ke *band 5* mengalami peningkatan, dan *band 5* ke *band 6* mengalami penurunan, selanjutnya *band 6* ke *band 7* mengalami penurunan yang tajam. Nilai spektral pada citra tahun 2005, 2010 dan 2015 untuk obyek kolong dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Berdasarkan hasil pengolahan data untuk nilai spektral baik pada obyek lahan tambang timah abu-abu, obyek lahan tambang timah putih, obyek lahan tambang timah coklat dan obyek kolong, pada grafik dapat dilihat bahwa semua sampel akan naik pada *band 4* sedangkan nilai reflektan tertinggi pada *band 6* dan akan mengalami penurunan pada *band 7*.

Analisis Kondisi Fisik

Analisis kondisi fisik dilakukan terhadap 4 obyek yang diteliti yakni obyek lahan bekas tambang timah abu-abu, putih, coklat dan kolong.

Pada analisis ini akan diuraikan mengenai kondisi fisik dan lingkungan sekitar pada lahan bekas tambang tersebut. Pada obyek abu-abu ini dapat dilihat pada citra tahun 2016 dan Citra Google Map tahun 2018 (**Gambar 10**) berikut, dimana obyek abu-abu pada area lahan bekas tambang dikelaskan sebagai warna abu-abu. Adapun jenis tanah pada area ini adalah golongan oksisol dengan jenis *hapludox*. Area yang ditunjukkan oleh gambar berikut juga berada pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Gumda dengan luas DAS tersebut adalah 38308 Ha. Dapat diketahui bahwa area yang dilakukan analisis berada pada daerah aliran sungai, hal ini untuk memudahkan pembuangan *tailing* dalam proses pengeboran, penambangan maupun pemisahan tanah dengan timah. Selain itu penggunaan lahan di sekitar area bekas tambang ini adalah berupa perkebunan, kebun campur dan semak belukar.

Pada objek putih area lahan bekas tambang dikelaskan sebagai warna putih (**Gambar 11**), perbedaan dari setiap lahan bekas tambang kemungkinan disebabkan oleh perbedaan usia karena terjadi proses pelapukan dari tanah itu sendiri. Pada obyek ini masih sama dengan obyek abu dimana jenis tanahnya yaitu *hapludox*. Area yang ditunjukkan oleh gambar diatas berada pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Kurau, dimana luas DAS tersebut adalah 71.354 Ha. Penggunaan

lahan di sekitar area ini adalah permukiman, perkebunan, kebun campur dan semak belukar pada gambar obyek lahan bekas tambang yang dikelaskan sebagai coklat (**Gambar 12**).

Hapludox, adalah jenis tanah pada daerah ini, dalam klasifikasi sistem taksonomi tanah 1975 termasuk golongan Oksisol. Oksisol mempunyai warna horison B coklat tua sampai merah (bila tanah dicampur mempunyai "hue" 7,5 YR dan "chroma" lebih dari 4, atau "hue" lebih merah dari 7,5 YR) (Subardja, et al., 2014). Tanah ini memiliki cakrawala di bagian atas 75 cm yang memiliki kroma terlalu tinggi untuk *Typic Endoaquepts*. *Chroma* yang lebih tinggi diduga mengindikasikan periode saturasi yang lebih singkat dari seluruh tanah dengan air atau air tanah yang agak lebih dalam dari tanah. Menurut penelitian Subowo (2011) menunjukkan bahwa penambangan sistem terbuka akan menyebabkan perubahan bentang lahan secara fisik dan keseimbangan ekosistem permukaan lahan serta menurunkan kualitas produktivitas tanah juga menurunkan mutu lingkungan sehingga menjadi rawan erosi. Sehingga vegetasi yang ada di sekitar lingkungan bekas tambang adalah lahan budidaya seperti kebun campur dan beberapa perkebunan seperti kebun sawit.



(a)

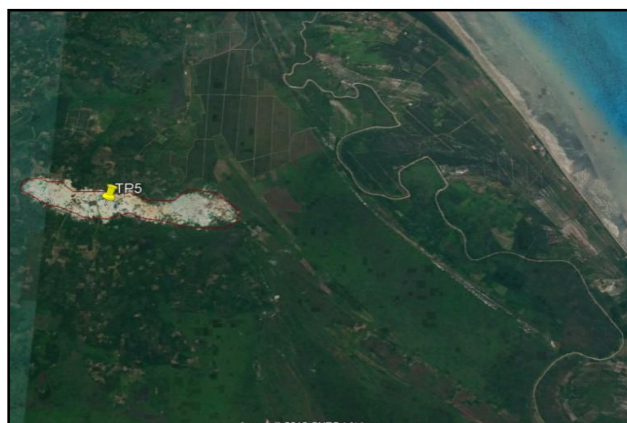


(b)

Gambar 10. (a) Obyek abu dari citra tahun 2016 dan (b) Obyek abu dari citra Google tahun 2018.

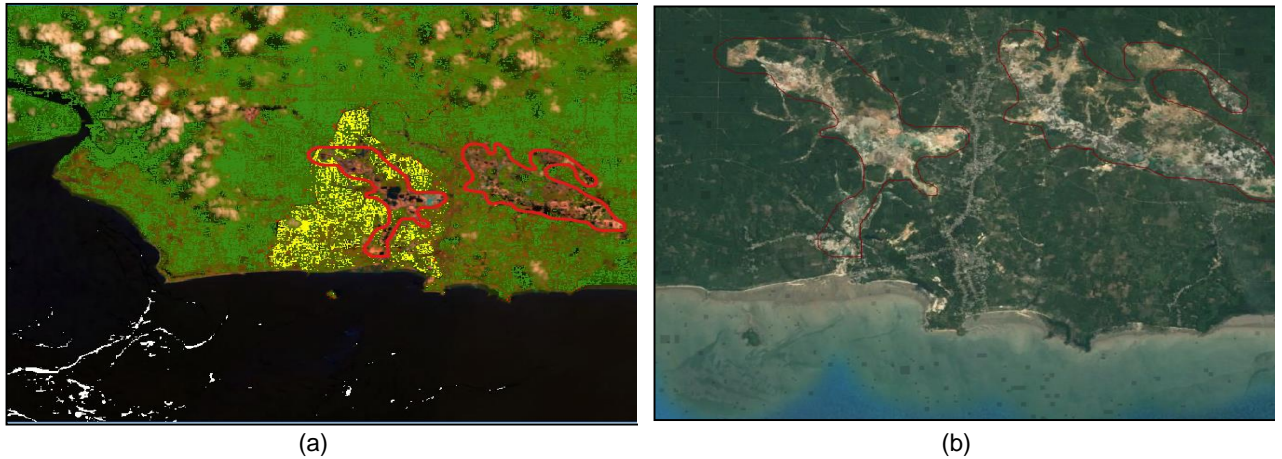


(a)



(b)

Gambar 11. (a) Obyek putih dari citra tahun 2016 dan (b) Obyek putih dari citra Google tahun 2018.



Gambar 12. (a) Obyek coklat dari citra tahun 2016 dan (b) Obyek coklat dari citra Google tahun 2018.

Area ini termasuk dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) yang ada di Pulau Bangka. Aliran sungai yang menuju laut diduga mengandung sedimen yang berasal dari proses pengolahan tambang dimasa lampau yang sampai saat ini lahan bekas tambang tersebut menghasilkan sedimen yang terbawa oleh air hujan. Jika dilihat dari letak geografis area bekas tambang yang ada di bangka tedapat didekat dengan perairan laut hal ini kemungkinan disebabkan oleh mudahnya mobilisasi hasil produksi dan akses transportasi perdagangan melalui perairan.

Pada obyek ini area lahan bekas tambang yang dikelaskan sebagai kolong (**Gambar 13**). Adapun jenis tanah pada area ini adalah golongan oksisol dengan jenis *hapludox*. Area yang ditunjukkan oleh gambar dibawah ini juga berada pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Kurau dengan luas 71.354 Ha. Lahan terdegradasi umumnya memiliki biota berbeda dengan komunitas ekosistem aslinya, terjadi kecenderungan penurunan keanekaragaman jenis flora, fauna dan mikroba. Munculnya kolong-kolong bekas galian juga akan menjadikan terganggunya sistem drainase pada DAS tersebut.



Gambar 13. Area lahan bekas tambang dengan objek kolong di Bangka (a) Landsat 8 Tahun 2016 dan (b) Google Map tahun 2018.

Korelasi antara nilai spektral hasil pengolahan citra terhadap nilai spektral hasil pengukuran di lapangan menggunakan alat spektrometer pada lahan bekas tambang timah. obyek timah putih dan timah abu-abu mempunyai nilai korelasi yang sama yakni sebesar 68,80%, sedangkan korelasi

nilai spektral pada obyek timah coklat sebesar 83,70%. Korelasi nilai spektral obyek kolong sebesar 67,90 %.

KESIMPULAN

Penelitian pemanfaatan data penginderaan jauh untuk area bekas lahan tambang ditekankan pada karakteristik spektral, dimana karakteristik spektral pada area bekas lahan tambang timah dibedakan menjadi 4 klas yaitu area bekas tambang timah abu-abu, timah putih, timah coklat dan kolong. Korelasi antara nilai spektral hasil pengolahan citra terhadap nilai spektral dari hasil pengukuran lapangan pada lahan terbuka bekas tambang timah, nilai korelasi terbesar pada timah coklat sebesar 83,70 %. Hasil pengolahan nilai reflektan dari 4 kelas lahan bekas tambang timah adalah sebagai berikut: Timah putih mempunyai nilai reflektan berkisar antara 2.245-3.422 nm. Timah abu-abu mempunyai nilai reflektan berkisar antara 1.800-2.860 nm. Timah coklat mempunyai nilai reflektan berkisar antara 1.819-2.858 nm. Kolong mempunyai nilai reflektan berkisar antara 1.288-2.798 nm. Berdasarkan hasil pengolahan data dari citra dan hasil pengukuran lapangan dapat disimpulkan bahwa bentuk grafik dari pola nilai reflektan hasil pengolahan citra sesuai dengan pola nilai reflektan kondisi di lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kapusfatja-LAPAN dan Kapokfat Lingkungan dan Mitigasi Bencana (LMB) yang telah memberikan kesempatan dan dukungan dalam pelaksanaan penelitian hingga selesai. Penelitian ini merupakan salah satu hasil penelitian di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN. Ucapan terima kasih juga kami tujukan kepada para *reviewer* yang telah memberikan masukan untuk perbaikan tulisan ini

DAFTAR PUSTAKA

BPLHD. (2016). *Jenis Tanah dan Batuan*. Provinsi Bangka Belitung.
Charou, E., Stefouli, M., Dimitrakopoulos, D. Vasileiou,

- E. & Mavarantza, O.D (2010). Using Remote Sensing to Assess Impact of Mining Activities on Land and Using Remote Sensing to Assess Impact of Mining Activities on Land and Water Resources. *Mine Water and Environment*, 29(1), 45-52 <https://doi.org/10.1007/s10230-010-0098-0>
- De Filho, F. J. B.O., & Metzger, J. P. (2006). Thresholds in landscape structure for three common deforestation patterns in the Brazilian Amazon. *Landscape Ecology*, 21(7), 1061–1073. <https://doi.org/10.1007/s10980-006-6913-0>
- Fernández-Manso, A., Quintano, C., & Roberts, D. (2012). Evaluation of potential of multiple endmember spectral mixture analysis (MESMA) for surface coal mining affected area mapping in different world forest ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 127, 181–193. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.08.028>
- Green, E. P. (2000). Note on this pdf version. In Alasdair J. Edward (Ed.), *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management* (3rd ed., pp. 109–120).
- Kariyawasam, N., Raval, S., & Shamsoddini, A. (2014). Incorporating Remote Sensing as a Tool to Assist Rehabilitation Monitoring in a Dolomite Mining Operation in South Australia Incorporating Remote Sensing as a Tool to Assist Rehabilitation Monitoring in a Dolomite *Mining Operation in South Australia*, (June 2014), 1–13.
- Novera, Y. (2008). Analisis Vegetasi, Karakteristik Tanah dan Kolonisasi Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) pada Lahan Bekas Tambang Timah. *Mathematics and Natural Science*.
- Petropoulos, G. P., Partsinevelos, P., & Mitraka, Z. (2013). Change detection of surface mining activity and reclamation based on a machine learning approach of multi-temporal Landsat TM imagery. *Geocarto International*, 28(4), 323–342. <https://doi.org/10.1080/10106049.2012.706648>
- Santos, S. D, M. P., Camara, G., Escada, M. I. S., & Modesto de Souza, R. C. (2008). Remote-sensing image mining: Detecting agents of land-use change in tropical forest areas. *International Journal of Remote Sensing*, 29(16), 4803–4822. <https://doi.org/10.1080/01431160801950634>
- Schroeter, L., & GläÄer, C. (2011). *Analyses and monitoring of lignite mining lakes in Eastern Germany with spectral signatures of Landsat TM satellite data. International Journal of Coal Geology*, 86(1), 27–39. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.01.005>
- Subardja, D., Ritung, S., Anda, M., Sukarman., Suryani, E., & Subandiono, R. E. (2014). *Petunjuk Teknis Klasifikasi Tanah Nasional*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan pengembangan penelitian, Bogor.
- Subowo, G. (2011). Penambangan Sistem Terbuka Ramah Lingkungan Dan Upaya Reklamasi Pasca Tambang Untuk Memperbaiki Kualitas Sumberdaya Lahan Dan Hayati Tanah. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 5(2), 83–94.
- Suresh, M., & Jain, K. (2013). Change Detection and Estimation of Illegal Mining using Satellite Images. In *Proceedings of 2nd International conference of Innovation in Electronics and communication Engineering (ICIECE-2013)*, 246–251.

APLIKASI WEB MAP DALAM PEMETAAN KESESUAIAN FISIK PERAIRAN UNTUK BUDIDAYA KERAMBA JARING APUNG DI TELUK LAMPUNG

(Web Map Application in Physical Waters Suitability Mapping for Floating Net Cages Cultivation in Lampung Coastal Bay)

Andiyanti Putri Estigade, Ariani Puji Astuti, Arief Wicaksono, Tika Maitela, dan Wirastuti Widyatmanti
Departemen Sains Informasi Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
Jl. Sekip Utara, Bulaksumur, Yogyakarta, 55281 Indonesia
E-mail: andiyantiputri@gmail.com

Diterima: 16 Agustus 2018; Direvisi (revised): 24 September 2018; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 21 Maret 2019

ABSTRAK

Budidaya keramba jaring apung di Provinsi Lampung menjadi salah satu pengembangan budidaya perikanan laut yang potensial dalam meningkatkan produksi pangan. Akan tetapi, penelitian mengenai kesesuaian fisik perairan untuk budidaya perikanan pada wilayah tersebut belum banyak dilakukan karena wilayahnya yang luas dan juga mahal biaya analisis kualitas air. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis spasial untuk menentukan lokasi potensial budidaya keramba jaring apung menggunakan citra Landsat 8 OLI dan SIG; dan menyajikan peta kesesuaian fisik perairan untuk budidaya keramba jaring apung ke dalam *Web Map*. Lokasi penelitian berada di sebagian Teluk Lampung. Parameter biofisik yang dipertimbangkan untuk kesesuaian keramba jaring apung antara lain kecerahan, suhu, salinitas, pH, kedalaman, material padatan tersuspensi, dan klorofil- α . Pengambilan sampel biofisik di lapangan menggunakan metode sistematis. Model akhir diperoleh dari hasil pembobotan kuantitatif berjenjang tertimbang. Setelah dihasilkan model kesesuaian fisik perairan, selanjutnya peta akhir dan semua data parameter dimasukkan ke dalam ArcGIS Online untuk disajikan ke dalam *Web Map*. Dengan memanfaatkan fasilitas yang disediakan oleh ArcGIS Online maka informasi mengenai kesesuaian fisik perairan untuk budidaya keramba jaring apung di Teluk Lampung diharapkan dapat tersebar luas dan dimanfaatkan secara umum, khususnya bagi pemerintah, swasta, dan masyarakat yang bekerja dalam bidang perikanan budidaya. Hasil penelitian ini mampu menunjukkan bahwa integrasi antara data penginderaan jauh, sistem informasi geografis, dan teknologi informasi geospasial dapat dimanfaatkan untuk mendukung tercapainya tujuan nomor 14 dari agenda pembangunan keberlanjutan di Indonesia.

Kata kunci: *web map*, kesesuaian fisik perairan, keramba jaring apung, Teluk Lampung, ArcGIS Online

ABSTRACT

The floating net cage culture in Lampung Province has become one of the potential marine culture developments in increasing food production. However, less research conducted on the water quality suitability in this region due to its vast areas and costly water analysis. This research aims to perform spatial analysis to determine the suitable area for floating net cages using remote sensing and GIS; and to present physical waters suitability of floating net cages cultivation map into the Web Map. The research area is in Lampung Bay. Biophysical factors considered for the suitability of floating net cages are water clarity, temperature, salinity, pH, water depth, total suspended solid, and chlorophyll- α . Biophysical factor data measured were sampled using systematic sampling method. The final map is obtained using weighted overlay approach. The final map and all parameter data are entered into ArcGIS Online to be presented in Web Map. By utilizing the facilities provided by ArcGIS Online, it is expected that information on the physical waters suitability for floating net cage cultivation in Lampung Bay can be widely distributed and utilized, especially for government, private, and people who working in marine aquaculture sector. The results of this research are able to show that the integration between remote sensing data, geographic information system, and geospatial information technology can be utilized to support the sustainable development goals agenda (goal no. 14) in Indonesia.

Keywords: *web map*, physical suitability of waters, floating net cages, Lampung Bay, ArcGIS Online

PENDAHULUAN

Indonesia dengan dua per tiga wilayahnya tersusun atas wilayah perairan tentunya menyebabkan Indonesia kaya akan hasil laut, salah satunya adalah ikan. Berdasarkan Pusat Data Statistik dan Informasi, Kelautan dan Perikanan

dalam Angka tahun 2015, tren produksi perikanan Indonesia mengalami peningkatan sejak tahun 2010. Kenaikan rata-rata tahun 2010-2014 sebesar 15,80% dengan rata-rata produksi sebesar 16,2 juta ton. Hal tersebut menunjukkan produksi perikanan Indonesia mengalami kenaikan yang stabil, walaupun setiap tahun perairan Teluk Lampung

mengalami fenomena *red tide*. Kontribusi produksi perikanan tangkap terhadap produksi perikanan nasional tahun 2014 sebesar 31,11%, sedangkan kontribusi perikanan budidaya sebesar 68,89%. Kontribusi perikanan budidaya terus meningkat sejak tahun 2010 dengan kontribusi yang tumbuh sebesar 6,42% dan rata-rata kontribusi selama lima tahun sebesar 62,35%. Hal ini menunjukkan bahwa dalam 5 tahun terakhir dan beberapa tahun ke depan, perikanan budidaya memiliki potensi yang cukup besar bagi produksi perikanan Indonesia. Hasil budidaya perikanan di Teluk Lampung merupakan salah satu penyumbang devisa negara, namun hasil budidaya tersebut belum menghasilkan keuntungan yang maksimal (Tajerin, 2005). Padahal permintaan dari hasil budidaya laut di Teluk Lampung cukup tinggi, baik dikirim ke pembeli yang berada di beberapa tempat di luar Teluk Lampung maupun ke pembeli yang langsung datang ke tempat budidaya keramba jaring apung (KJA) untuk mengambil hasil panen (Noor, 2015). Selain itu, pemasaran hasil budidaya ini juga didukung dengan adanya wisatawan yang tertarik untuk melihat aktifitas penduduk dalam melakukan budidaya, pengolahan, maupun penjualan hasil budidaya (Putri, Noor, & Ali, 2018).

Salah satu upaya untuk meningkatkan produksi budidaya laut adalah dengan menggunakan KJA. KJA digunakan sebagai wadah untuk memproduksi berbagai jenis ikan maupun komoditas perairan laut, diantaranya adalah ikan kerapu dan kerang hijau. Namun, tidak semua kondisi laut cocok untuk penempatan KJA. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi kesesuaian lahan karena lokasi yang sesuai akan menentukan tingkat keberhasilan usaha budidaya ikan kerapu dan kerang hijau yang berkelanjutan di kawasan perairan pesisir. Ketidaksihesuaian dalam penentuan lokasi untuk tempat pengembangan kegiatan KJA dapat menyebabkan kegiatan tersebut tidak berlangsung lama (Pérez, Telfer, & Ross, 2003). Evaluasi kesesuaian perairan laut untuk KJA dapat dipetakan untuk mengetahui sebaran spasialnya. Penelitian ini mendukung agenda *Sustainable Development Goals* (SDGs) terkait Ekosistem laut. Ekosistem laut merupakan salah satu tujuan dari SDGs yaitu pemeliharaan, perlindungan, dan pemanfaatan laut serta sumberdaya laut secara berkelanjutan. Salah satu anggota dari ekosistem laut adalah ikan. Budidaya KJA termasuk ke dalam pemanfaatan laut dan sumberdaya laut secara berkelanjutan. Sumberdaya perikanan merupakan sumberdaya dapat pulih atau memiliki sifat terbarukan (Durand, 2010). Sumberdaya ini dapat pulih secara alamiah maupun di budidaya. Namun, untuk pembaruan ikan secara budidaya perlu mempertimbangkan habitat atau kondisi fisik tempat hidup dari ikan yang dibudidaya. Kesesuaian kondisi fisik perairan ini diindikasikan nantinya mempengaruhi hasil produksi dari budidaya KJA. Oleh karena itu perlu dilakukan pemetaan kesesuaian kondisi fisik perairan untuk KJA. Peta yang dihasilkan diharapkan dapat

menjadi referensi untuk penempatan KJA agar hasil produksi menjadi maksimal dan dapat memenuhi kebutuhan masyarakat terhadap konsumsi ikan.

Pemetaan kesesuaian perairan laut untuk KJA memanfaatkan pengembangan peran Penginderaan Jauh (PJ), Sistem Informasi Geografis (SIG), dan Teknologi Informasi Geografis (TIG) untuk melakukan analisis spasial dalam penentuan lokasi potensial budidaya KJA. Menurut Syah (2010), penginderaan jauh merupakan penggunaan sensor radiasi elektromagnetik untuk mengenali objek dari citra penginderaan jauh, yaitu deteksi, identifikasi, dan analisis. Penggunaan teknologi penginderaan jauh untuk memetakan kesesuaian perairan laut ini memiliki kelebihan, yaitu biaya dan tenaga yang digunakan akan lebih efektif dan efisien dibandingkan pengumpulan data lapangan satu per satu. Citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Landsat 8 OLI. Generasi Landsat terbaru adalah Landsat 8, yang diluncurkan pada 11 Februari 2013, merupakan lanjutan dari misi Landsat 7 yang telah mengalami kerusakan pada Mei 2003 pada *Scan Line Corrector* (Yanuar, Hanintyo, & Muzaki, 2017). Citra ini memiliki resolusi temporal 16 hari dan resolusi spasial hingga 30 m untuk saluran multispektral dan 15 m untuk saluran pankromatik sehingga sesuai untuk memetakan kondisi perairan dangkal. Keunggulan yang dimiliki oleh Landsat 8 adalah terdapat band 1 (*ultra blue*) yang mampu menangkap panjang gelombang elektromagnetik lebih rendah daripada band yang sama pada Landsat 7. Oleh karena itu, band 1 pada Landsat 8 akan lebih sensitif terhadap reflektansi untuk objek air laut pada kedalaman yang berbeda dan dapat digunakan untuk membedakan konsentrasi aerosol.

Selain teknologi PJ, teknologi SIG juga berkembang pesat dalam pengolahan data spasial. Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem informasi berbasis komputer yang merupakan penggabungan antara unsur peta (geografis) dan informasi tentang peta tersebut (data atribut), yang dirancang untuk mendapatkan, mengolah, memanipulasi, menganalisis, memperagakan, dan menampilkan data spasial untuk menyelesaikan perencanaan, mengolah, dan meneliti permasalahan (Manongga, Papilaya, & Pandie, 2009). Selain itu, Affan (2012) menyatakan bahwa penggunaan teknologi SIG dapat membantu analisis untuk memilih lokasi yang tepat berdasarkan data pengukuran parameter fisika dan kimia perairan. Setelah dilakukan pengolahan data spasial dengan teknologi PJ maupun SIG, penyajian hasil pengolahan dapat dilakukan menggunakan TIG. Selain menyajikan data spasial, pemanfaatan TIG ini dapat digunakan sebagai sarana publikasi karena penyajian peta terhubung dengan internet dan dapat disebarluaskan kepada masyarakat.

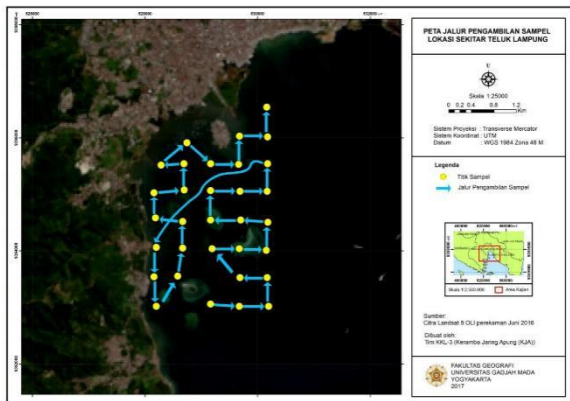
Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis spasial untuk menentukan lokasi potensial budidaya keramba jaring apung menggunakan citra Landsat 8 OLI dan SIG; serta menyajikan peta

kesesuaian fisik perairan untuk budidaya keramba jaring apung ke dalam *Web Map*. Lokasi spesifik penelitian berada di pangkal Teluk Lampung bagian barat. Jenis ikan yang dibudidayakan dalam KJA di Teluk Lampung bervariasi, tetapi komoditas dominan adalah kerapu dan kerang hijau.

METODE

Pengumpulan Data dan Sampel Perairan Laut

Peta kesesuaian fisik perairan untuk budidaya KJA ikan kerapu dan kerang hijau dihasilkan melalui pemodelan spasial beberapa parameter yang dipilih, seperti kedalaman karena terkait dengan pemasangan keramba, serta suhu permukaan laut (SPL), kecerahan, muatan padatan tersuspensi (MPT), salinitas, klorofil- α , dan pH karena terkait dengan kemampuan hidup serta perkembangan optimal dari ikan kerapu dan kerang hijau (Trisakti, Sucipto, & Sari, 2003). Data pengukuran lapangan tersebut selanjutnya diinterpolasi menggunakan metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) karena menurut (Radiarta, Saputra, Haryadi, Johan, & Prihadi, 2006), metode IDW lebih tepat untuk menginterpolasi data fisik wilayah pesisir karena tidak menghasilkan nilai yang melebihi data yang disampel. Metode ini mengasumsikan bahwa tiap titik *input* memiliki pengaruh yang bersifat lokal sehingga memberikan bobot yang besar pada piksel yang terdekat dengan titik dibandingkan dengan piksel yang jauh dengan titik. Selain itu, parameter SPL, MPT, dan klorofil- α juga diperoleh dari pengolahan citra penginderaan jauh.



Gambar 1. Peta jalur pengambilan sampel perairan laut di sebagian Teluk Lampung.

Populasi dalam penelitian ini adalah perairan di sebagian Pulau Pasaran Teluk Lampung dengan luas 1.154,43 ha. Pemilihan lokasi kajian berdasarkan pada keberadaan muara sungai (*outlet*) dan keramba jaring apung. Sebanyak 32 titik sampel pengukuran lapangan ditentukan secara *systematic sampling* dengan jalur pengambilan sampel seperti pada **Gambar 1**. Elsayir (2014) menyatakan bahwa metode *systematic sampling* adalah metode yang digunakan ketika elemen populasi disusun dalam urutan tertentu. Metode *systematic sampling* dipilih karena mampu mengurangi potensi bias di dalam pemilihan sampel dan representatif terhadap populasi, dengan asumsi tidak ada data yang hilang. Sampel tersebut kemudian dipisah menjadi 16 sampel model dan 16 sampel uji dengan lokasi yang berselang-seling untuk dilakukan uji akurasi model parameter SPL, MPT, dan klorofil- α yang diolah dari data penginderaan jauh.

Pengolahan dan Analisis Data

Parameter SPL diolah menggunakan *split window algorithm* yang membutuhkan citra Terra MODIS dan saluran *thermal* citra Landsat 8 OLI. Parameter MPT diolah menggunakan formula *Normalized Suspended Material Index* (NSMI) (Arisanty & Saputra, 2017) seperti pada **Persamaan 1**. Parameter klorofil- α diolah menggunakan formula yang dikembangkan oleh (Hanintyo & Susilo, 2016) seperti pada **Persamaan 2**. Masing-masing parameter yang telah diolah dari citra kemudian dilakukan analisis korelasi antara nilai piksel citra dan data lapangan, serta analisis regresi untuk validasi model.

$$NSMI = \frac{L_4 + L_3 - L_2}{L_4 + L_3 + L_2} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:
 NSMI = konsentrasi MPT (dalam mg/l)
 L₂, L₃, L₄ = nilai piksel reflektansi saluran 2, 3 dan 4 pada citra Landsat 8 OLI

$$Chl-\alpha = 0.2818 \left(\frac{L_3}{L_2} \right)^{3.497} \dots\dots\dots (2)$$

dimana:
 Chl- α = konsentrasi klorofil- α (dalam mg/m³)
 L₂, L₃ = nilai piksel reflektansi saluran 2, 3 pada citra Landsat 8 OLI

Tabel 1. Skor parameter untuk kesesuaian fisik perairan untuk KJA.

Parameter - (bobot)	Sangat Sesuai (S1)		Sesuai (S2)		Parameter - (bobot)	Sesuai Bersyarat (S3)		Tidak Sesuai (TS)	
	Kriteria	Skor	Kriteria	Skor		Kriteria	Skor	Kriteria	Skor
Kedalaman (m) – (9)	8<S1≤12	18	12<S2≤16	14	Kedalaman (m) – (9)	16<S3≤20 4<S3≤8	10	TS>20 TS≤4	5
Suhu Permukaan Laut (SPL) (°C) – (7)	28<S1≤29	14	29<S2≤31 26<S2≤28	12	Suhu Permukaan Laut (SPL) (°C) – (7)	31<S3≤32 24<S3≤26	10	TS>35 TS≤24	5
Salinitas (ppm) – (7)	31<S1≤32	14	32<S2≤33 30<S2≤31	12	Salinitas (ppm) – (7)	33<S3≤35 28<S3≤30	10	TS≤28 TS>35	5
Kecerahan (m) – (6)	5<S1≤10	12	3<S2≤5 10<S2≤15	10	Kecerahan (m) – (6)	0<S3≤3 15<S3≤20	8	TS=0 TS>20	3
MPT (mg/l) – (6)	S1≤25	12	25<S2≤80	10	MPT (mg/l) – (6)	80<S3≤400	8	TS>400	3
Klorofil-α (µg/l) – (5)	S1>30	10	20<S2≤30	9	Klorofil-α (µg/l) – (5)	10<S3≤20	7	TS≤10	5
pH – (5)	6.5<S1≤8.5	10	6<S2≤6.5 8.5<S2≤9	9	pH – (5)	5<S3≤6 S3>9	7	TS<5	5

Sumber: Trisakti, Sucipto, & Sari (2003) dengan modifikasi

Peta akhir dihasilkan melalui pembobotan dan skoring menggunakan metode berjenjang tertimbang, dengan mengacu pada kriteria kesesuaian oleh Trisakti, Sucipto, & Sari (2003) seperti pada **Tabel 1**. Pada dasarnya, Trisakti, Sucipto, & Sari (2003) menggunakan sembilan parameter dalam menentukan kesesuaian fisik perairan untuk budidaya perikanan yang terdiri atas kedalaman, keterlindungan (meliputi arah/kecepatan arus, tinggi gelombang, dan kecepatan angin), suhu permukaan laut, salinitas, kekeruhan, kecerahan, muatan padat tersuspensi, klorofil, dan pH. Namun kemudian dalam penelitian ini parameter yang digunakan seperti yang tersaji pada **Tabel 1**. Dari ketujuh parameter yang digunakan, tiga parameter diperoleh dari data penginderaan jauh, yaitu suhu permukaan laut, klorofil, dan muatan padatan tersuspensi. Sementara itu, empat parameter lainnya diperoleh dari pengukuran lapangan meskipun dalam pelaksanaannya pengukuran data di lapangan juga dilakukan terhadap ketiga parameter yang diekstraksi dari data penginderaan jauh. Hal ini bertujuan untuk membandingkan hasil pengukuran dari kedua metode perolehan data tersebut. Metode berjenjang tertimbang adalah proses berbasis SIG yang menggunakan skor untuk setiap parameter dalam menentukan model kesesuaian perairan laut yang mencakup pengelolaan pada skala evaluasi. Dengan menggunakan SIG dan data titik sebaran keberadaan KJA yang diperoleh dari *plotting* Google Earth maka luasan per kelas kesesuaian dapat dihitung, serta distribusi keberadaan KJA dapat diamati dan dibandingkan dengan hasil peta kesesuaian sehingga dapat membaca pola dan menyimpulkan kondisi terkini dari budidaya KJA di sekitar Pulau Pasaran. Penggunaan Google Earth

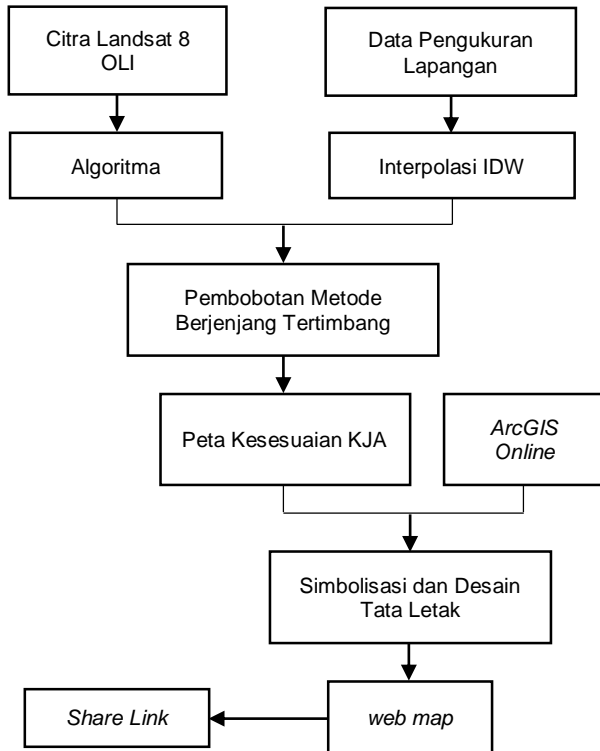
dalam *plotting* diharapkan dapat menghasilkan data titik sebaran KJA eksisting terkini karena waktu perekamannya tidak terlalu jauh dengan waktu survei sehingga tutupan perairan laut KJA belum banyak berubah.

ArcGIS Online

ArcGIS Online adalah *platform* teknologi yang kolaboratif dan berbasis *cloud* yang membantu pengguna dan komunitas dalam menciptakan, berbagi, dan mengakses peta, aplikasi, serta data (Rohim, Awaluddin, & Suprayogi, 2015). Setelah dihasilkan model kesesuaian fisik perairan, peta akhir dan semua data parameter dimasukkan ke dalam *ArcGIS Online* untuk disajikan ke dalam *Web Map*. Pada *Web Map* ditambahkan *tools* analisis yang memungkinkan pengguna peta untuk menunjukkan pola baru, menemukan lokasi kesesuaian, memperkaya data, menemukan objek terdekat, dan meringkas data. Fasilitas yang disediakan *ArcGIS Online* tidak sama persis dan selengkap *ArcGIS* versi *desktop*, namun penyajian peta dengan *ArcGIS online* membuat peta lebih interaktif dan memudahkan diseminasi peta melalui *website*. Untuk dapat mengakses *ArcGIS online* dibutuhkan akun pengguna (*User Account*) atau pengguna dapat pula memanfaatkan akun publik/akun sosial media seperti *facebook* maupun *google*, namun fasilitas yang disediakan akan berbeda, khususnya pada fasilitas berbagi data (*sharing*) dan analisis data (*analysis*).

Web Map dibuat dengan menggunakan data *shapefile* pengguna yang diunggah ke internet. Selain menambahkan *layer* peta, pengguna juga dapat menambahkan *layer* peta dasar yang menjadi latar belakang peta sehingga peta yang dihasilkan tidak terkesan “mengambang”. Cara simbolisasi data tidak begitu berbeda dengan *ArcGIS* versi

desktop. Fasilitas *pop-ups* dapat ditambahkan ke dalam data untuk menambahkan kesan interaktif sehingga ketika pengguna memilih data dengan cara mengkliknya, maka akan keluar informasi tertentu dalam bentuk teks, gambar, grafik, dan juga alamat *web* dari luar. Langkah terakhir yang dilakukan adalah menyimpan peta hasil dan membagikan peta yang telah dibuat secara bebas. Adapun diagram alir penelitian disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Peta Kesesuaian KJA

Lokasi kajian dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan keberadaan muara sungai dan penggunaan lahan di sekitar lokasi kajian. Hasil pengamatan melalui citra penginderaan jauh menunjukkan bahwa penggunaan lahan terbangun berupa permukiman dan kawasan industri mendominasi kawasan pesisir Teluk Lampung dan pada lokasi tersebut terdapat dua muara sungai yang cukup besar jika dibandingkan dengan *outlet* di sekitarnya. Penggunaan lahan di suatu lokasi berpengaruh terhadap kesesuaian lokasi lingkungan air untuk budidaya keramba jaring apung, sedangkan keberadaan muara sungai digunakan untuk mengamati pengaruh sungai terhadap salah satu parameter dalam pembuatan peta kesesuaian KJA, yaitu muatan padat tersuspensi.

Nilai kedalaman dari data pemeruman oleh Badan Informasi Geospasial tahun 2016 berkisar antara 0,3–21,1 m, sedangkan hasil pengukuran lapangan berkisar antara 1–21,1 m. Dalam hal ini, topografi dasar perairan memengaruhi luasan kelas

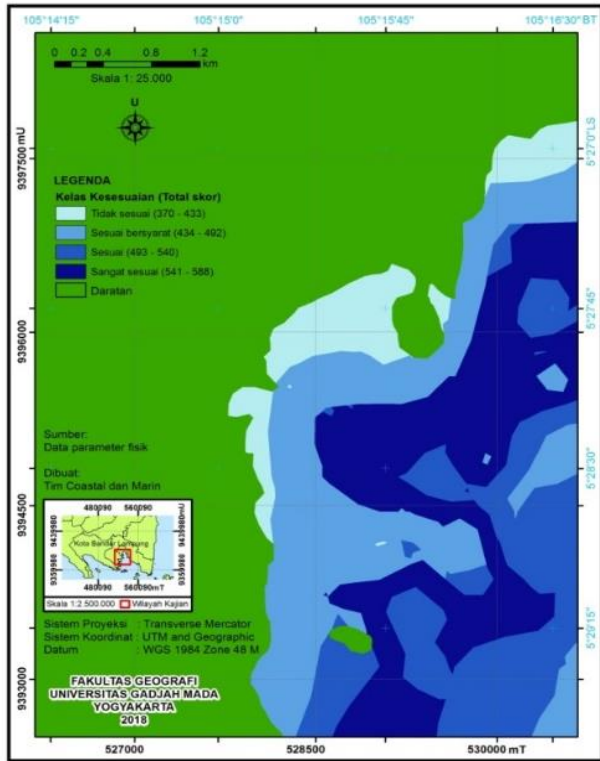
kesesuaian KJA. Lokasi kajian merupakan bagian pangkal dari Teluk Lampung sehingga memiliki kedalaman yang dangkal. Oleh karena itu, sebagian besar kelas tidak sesuai dan sesuai bersyarat di lokasi satu disebabkan oleh laut yang relatif dangkal (antara 0–8 m). Kedalaman berkaitan dengan kualitas air dan penggunaan jaring untuk budidaya KJA. Kedalaman yang terlalu dangkal (<5 m) dapat memengaruhi kualitas air akibat akumulasi sisa pakan dan sisa kotoran ikan yang membusuk, sedangkan kedalaman lebih dari 15 m membutuhkan tali jangkar yang terlalu panjang dan hal ini menjadikan pemasangan sistem pengikatan menjadi semakin rumit. Sementara hasil pengukuran menunjukkan bahwa lokasi kajian umumnya memiliki kecepatan arus yang berkisar antara 0,1–0,2 m/detik dan tergolong pada kelas sesuai untuk kegiatan budidaya KJA. Yusrudin (2011) menyatakan bahwa arus merupakan faktor penentu budidaya laut karena memiliki peranan yang cukup penting dalam menunjang proses budidaya dengan fungsi utama yaitu sebagai pembawa nutrisi dan gas-gas terlarut yang diperlukan organisme budidaya.

Hasil pengolahan data suhu menggunakan saluran 10 dan 11 citra Landsat 8 TIRS menunjukkan nilai antara 28,92–34,42°C dan 29,12–33,78°C, sedangkan hasil pengukuran suhu lapangan menggunakan termometer digital berkisar antara 30,1–31,7°C. Suhu permukaan laut berpengaruh terhadap metabolisme dan perkembangan organisme laut. Suhu perairan laut juga memberikan pengaruh terhadap aktivitas biologi di dalamnya, sehingga suhu memberikan pengaruh terhadap densitas populasi ikan pada suatu perairan.

Salinitas berkaitan dengan tingkat kadar garam yang ada di laut. Salinitas antara bibir pantai hingga ke laut dalam memiliki nilai yang berbeda. Bibir pantai memiliki tingkat salinitas yang lebih rendah dibandingkan *offshore* dan *inshore* marine. Hal ini disebabkan oleh suplai air tawar pada bibir pantai lebih banyak dibandingkan yang lain. Hasil klasifikasi nilai salinitas pada lokasi kajian didominasi oleh nilai salinitas sangat sesuai dan sesuai, sedangkan area lainnya memiliki kelas salinitas yang tergolong sesuai bersyarat. Di sisi lain, kondisi perairan yang baik untuk budidaya KJA memiliki kecerahan lebih dari 5 m. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai kecerahan kondisi perairan sebesar 0,5–6,94 m dengan distribusi nilai kecerahan yang didominasi nilai kecerahan yang berkisar antara 0–3 m dan 15–20 m sehingga tergolong pada kelas sangat sesuai.

Klorofil merupakan parameter yang sangat menentukan produktivitas primer lautan (Nuriya, Hidayah, & Nugraha, 2010). Rasyid (2009) menyatakan bahwa sebaran dan tinggi rendahnya konsentrasi klorofil sangat terkait dengan kondisi oseanografis suatu perairan. Berdasarkan pengujian kandungan klorofil- α diketahui bahwa lokasi kajian memiliki kandungan klorofil- α yang tergolong sangat sesuai untuk lokasi penempatan

KJA dengan nilai >30 µg/L. Selain klorofil-α, pH merupakan salah satu parameter yang penting dalam penentuan lokasi budidaya perikanan. Hasil dari pengukuran menunjukkan nilai pH terendah sebesar 4,14 dan nilai tertinggi sebesar 8,25, namun didominasi oleh nilai pH yang berkisar antara 8–8,1.



Gambar 3. Peta kesesuaian KJA di sebagian Teluk Lampung.

Distribusi kelas kesesuaian budidaya KJA menggunakan metode berjenjang tertimbang disajikan pada **Gambar 3**. Sementara itu, luas area kesesuaian budidaya KJA yang dihitung dengan aplikasi Sistem Informasi Geografis disajikan pada **Tabel 2**. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa kelas dominan yang ada di lokasi penelitian adalah kelas sangat sesuai yang membentuk pola memanjang tidak beraturan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Yulianto et al., (2017), perairan di Teluk Lampung sangat sesuai untuk kegiatan budidaya KJA khususnya budidaya ikan kerapu, dengan lokasi budidaya berada di sekitar Pulau Puhawang, Pulau Kelagian, Pulau Maitem, dan Pulau Tegal sampai ke Teluk Hurun.

Tabel 2. Luas area kesesuaian KJA di sebagian Teluk Lampung.

Kelas	Area (ha)	Area (%)
Sangat sesuai	355,98	32,13
Sesuai	277,12	25,01
Sesuai bersyarat	355,74	32,11
Tidak sesuai	119,18	10,75

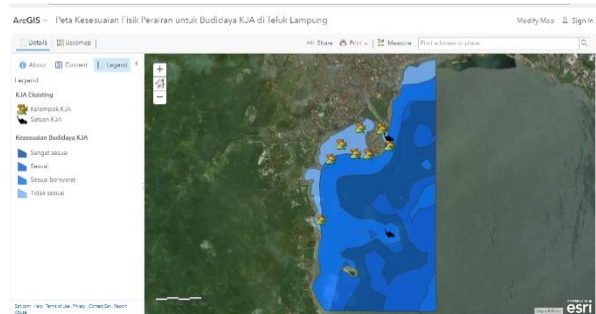
Penyajian Peta Kesesuaian Keramba Jaring Apung (KJA) di ArcGIS Online

Dewasa ini, peta dapat divisualisasikan dalam berbagai media, salah satunya dengan memanfaatkan media digital. Peta yang dihasilkan dapat relatif lebih interaktif apabila dibandingkan dengan peta statis. ArcGIS *online* merupakan salah satu media yang dapat digunakan untuk menyajikan peta kesesuaian fisik perairan untuk budidaya KJA di sebagian Teluk Lampung dalam bentuk peta digital.

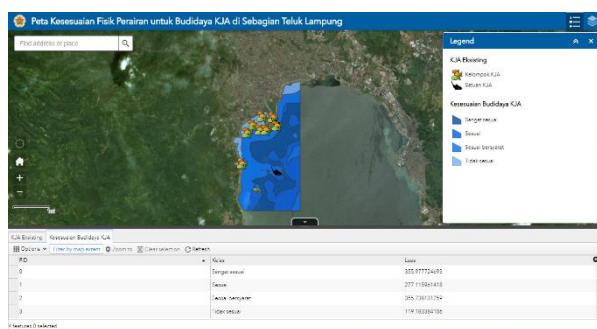
Peta berbasis *web* atau biasa dikenal dengan *Web Map* sangat membantu dalam penyampaian informasi. Terlebih dewasa ini dapat dikatakan bahwa berbagai kalangan sudah mengenal internet sehingga informasi yang ditampilkan pada *Web Map* dapat diakses kapan saja dan dimana saja selama masih terdapat jaringan internet. Pembuatan *Web Map* KJA bertujuan untuk memberikan informasi terkait kondisi perairan di sebagian Teluk Lampung. Kondisi ini berkaitan dengan kesesuaiannya terhadap lokasi penempatan KJA. *Web Map* ini memungkinkan tak hanya masyarakat Lampung saja yang tahu tentang kondisi perairan Teluk Lampung untuk KJA, tetapi informasi ini dapat diketahui oleh seluruh rakyat Indonesia bahkan dunia.

Gambar 4 merupakan hasil visualisasi peta pada ArcGIS *Online*. Melalui media tersebut, dapat dilakukan desain simbol sesuai kehendak pembuat peta. Peta hasil visualisasi tersebut dapat diakses pada laman berikut <http://arcg.is/8DWyz>. Sementara itu, hasil akhir dari *web application* peta kesesuaian fisik perairan untuk budidaya KJA disajikan pada **Gambar 5** dan dapat diakses pula pada laman berikut <http://wicaksono-arief.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=4869515b2cd14ea79a2151939afd0dad>.

Peta akhir dan parameter yang berbentuk raster selanjutnya dikonversi menjadi data vektor agar dapat dimasukkan ke dalam ArcGIS *Online*. Dalam penyajiannya pada *web*, data yang dapat ditampilkan hanya layer keberadaan KJA, MPT, klorofil-α, dan kesesuaian KJA, sedangkan layer kedalaman, kecerahan, SPL, salinitas, dan pH tidak dapat ditampilkan. Data yang tidak dapat tampil di-*input* ulang, tetapi *layer* yang sebelumnya tidak dapat tampil tetap tidak dapat ditampilkan. Hal ini diduga disebabkan oleh ukuran data yang besar sehingga tidak mampu ditampilkan seluruhnya oleh ArcGIS *Online*.



Gambar 4. Web map pemetaan kesesuaian fisik perairan untuk budidaya KJA di sebagian Teluk Lampung.



Gambar 5. Web application pemetaan kesesuaian fisik perairan untuk budidaya KJA di sebagian Teluk Lampung.

Balai Besar Perikanan Budidaya Laut (BBPBL) Lampung, yang dahulunya bernama Balai Budidaya Laut Lampung (BBL), mempunyai tugas pengelolaan produksi, pengujian laboratorium, mutu pakan ikan, kesehatan ikan, dan lingkungan kehidupan ikan, serta bimbingan teknis perikanan budidaya laut. BBPBL Lampung juga bertugas untuk melayani masyarakat tentang info benih atau bibit ikan, dan bimbingan teknologi untuk para pengusaha peternak ikan. Dengan memanfaatkan fasilitas yang disediakan oleh ArcGIS Online maka informasi mengenai kesesuaian fisik perairan untuk budidaya keramba jaring apung di Teluk Lampung diharapkan dapat tersebar luas dan dimanfaatkan secara umum, khususnya bagi BBPBL Lampung, pemerintah, swasta, dan masyarakat yang bekerja dalam bidang perikanan budidaya. Hasil penelitian ini mampu menunjukkan bahwa integrasi antara data penginderaan jauh, sistem informasi geografis, dan teknologi informasi geospasial dapat dimanfaatkan untuk mendukung tercapainya tujuan nomor 14 dari agenda pembangunan keberlanjutan di Indonesia.

Dalam kaitannya dengan persyaratan lokasi budidaya ikan di keramba, penelitian ini baru mempertimbangkan faktor kelayakan fisik bagi usaha budidaya laut. Untuk itu, diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengkajian mengenai rencana tata ruang/zonasi dan penilaian daya dukung perairan agar menghindari potensi konflik sosial dalam pemanfaatan lahan (WWF, 2015) dan dapat mengimplementasikan kebijakan pembangunan perikanan budidaya yang berkelanjutan. Namun demikian, informasi peta yang disajikan mampu menunjukkan lokasi ideal untuk budidaya KJA sehingga untuk wilayah dengan kelas sangat sesuai dan sesuai dalam peta kesesuaian maka tindakan yang perlu dilakukan adalah dikelola dengan baik dan dipertahankan kondisinya, sedangkan kelas sesuai bersyarat dan tidak sesuai perlu mendapat perhatian khusus dan dikaji lebih lanjut mengenai penyebab ketidaksesuaian lokasi tersebut untuk dijadikan sebagai lokasi budidaya KJA.

KESIMPULAN

Peta kesesuaian fisik perairan untuk budidaya KJA dihasilkan melalui pemodelan spasial parameter kedalaman, suhu permukaan laut, kecerahan, muatan padatan tersuspensi, salinitas, keterlindungan, klorofil-a, dan pH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lokasi kajian memiliki empat kelas kesesuaian, yaitu kelas sangat sesuai seluas 355,98 ha (32,13%), kelas sesuai seluas 277,12 ha (25,01%), kelas sesuai bersyarat seluas 355,74 ha (32,11%), dan kelas tidak sesuai seluas 119,18 ha (10,75%). Peta tersebut dapat disajikan ke dalam Web Map dengan memanfaatkan ArcGIS Online sehingga peta lebih interaktif dibandingkan peta statis serta lebih memungkinkan interaksi yang lebih luas kepada pembaca peta. Peta tersebut dapat juga diakses oleh siapa saja melalui laman website peta.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Muawanah, S.P., M.Si. selaku Kepala Laboratorium Kualitas Air BBPBL Lampung, Wahyu Widiatmoko dan tim kualitas air BBPBL Lampung atas bantuan selama kegiatan kerja lapangan dan laboratorium, serta kepada USGS atas penyediaan data citra Landsat 8 OLI dan Badan Informasi Geospasial atas penyediaan data pemeruman tahun 2016 yang menjadi sumber data dalam pembuatan paper ini, dan seluruh reviewer atas masukan yang telah diberikan kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Affan, J. M. (2012). Identifikasi lokasi untuk pengembangan budidaya keramba jaring apung (KJA) berdasarkan faktor lingkungan dan kualitas air di perairan pantai timur Bangka Tengah Identification of location for the development of floating net cages based on environmental. *Depik*, 1(April), 78–85. <https://doi.org/10.13170/depik.1.1.30>
- Arisanty, D., & Saputra, A. N. (2017). Remote Sensing Studies of Suspended Sediment Concentration Variation in Barito Delta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 98, 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/98/1/012058>
- Durand, S. (2010). Studi Potensi Sumberdaya Alam di Kawasan Pesisir Kabupaten Minahasa Selatan. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 6(1), 1–7.
- Elsayir, H. A. (2014). Comparison Of Precision of Systematic Sampling with Some Other Probability Samplings. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 3(4), 111–116.
- Hanintyo, R., & Susilo, E. (2016). Comparison of Chlorophyll-a Measurement Using Multi Spatial Imagery and Numerical Model in Bali Strait. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 47, 1–15. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/47/1/012010>
- Manongga, D., Pampilaya, S., & Pandie, S. (2009). Sistem Informasi Geografis Untuk Perjalanan Wisata Di Kota Semarang. *Jurnal Informatika*, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.9744/informatika.10.1.1-9>
- Noor, N. M. (2015). Prospek Pengembangan Usaha

- Budidaya Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Pulau Pasaran, Bandar Lampung. *Jurnal Ilmu Perikanan Dan Sumberdaya Perairan*, 3(2), 239–246.
- Nuriya, H., Hidayah, Z., & Nugraha, W. A. (2010). Pengukuran Konsentrasi Klorofil-a dengan Pengolahan Citra Landsat ETM-7 dan Uji Laboratorium di Perairan Selat Madura Bagian Barat. *Jurnal Kelautan*, 3(1), 60–65.
- Pérez, O. M., Telfer, T. C., & Ross, L. G. (2003). Use of GIS-based models for integrating and developing marine fish cages within the tourism industry in Tenerife (Canary Islands). *Coastal Management*, 31(4), 355–366. <https://doi.org/10.1080/08920750390232992>
- Putri, B., Noor, N. M., & Ali, M. (2018). Pembinaan Usaha Budidaya Kerang Hijau dan Ikan di Pulau Pasaran, Lampung. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(1), 30–36.
- Radiarta, I. N., Saputra, A., Haryadi, J., Johan, O., & Prihadi, T. H. (2006). Pemilihan Lokasi Budidaya Ikan dalam Keramba Jaring Apung Menggunakan Analisis Multi Kriteria dan Sistem Informasi Geografis di Teluk Kapontori, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Riset Akuakultur*, 1(3), 337–348.
- Rasyid, A. (2009). Distribusi Klorofil-a pada Musim Peralihan Barat-Timur di Perairan Spermonde Propinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 9(2), 125–132.
- Rohim, W. N., Awaluddin, M., & Suprayogi, A. (2015). Semarang Charity Map, Penyajian Peta Donasi Sosial Kota Semarang Berbasis Blogger Javascript. *Jurnal Geodesi Undip*, 4(2), 117–130.
- Syah, A. F. (2010). Penginderaan Jauh dan Aplikasinya di Wilayah Pesisir dan Lautan. *Jurnal Kelautan*, 3(1), 18–28. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21107/jk.v3i1.838>
- Tajerin. (2005). Pendugaan Fungsi Keuntungan dan Skala Usaha Budidaya Ikan Kerapu Macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) dalam Keramba Jaring Apung di Perairan Teluk Lampung, Provinsi Lampung. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan Dan Perikanan Indonesia*, 12(1), 39–49.
- Trisakti, B., Sucipto, U. H., & Sari, J. (2003). *Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh sebagai Tahap Awal untuk Pengembangan Budidaya Laut dan Wisata Bahari di Kabupaten Banyuwangi dan Situbondo*. Jakarta.
- WWF. (2015). *Budidaya Ikan Kerapu Macan Sistem Keramba Jaring Apung*. Jakarta: WWF Indonesia.
- Yanuar, R. C., Hanintyo, R., & Muzaki, A. A. (2017). Penentuan Jenis Citra Satelit dalam Interpretasi Luasan Ekosistem Lamun Menggunakan Pengolahan Algoritma Cahaya Tampak Studi Kasus: Wilayah Pesisir Sanur. *Geomatika*, 23(2), 75–86. <https://doi.org/10.24895/JIG.2017.23-2.704>
- Yulianto, H., Hartoko, A., Anggoro, S., Hasani, Q., Mulyasih, D., & Delis, P. C. (2017). Suitability Analysis of Lampung Bay Waters for Grouper *Epinephelus* sp. Farming Activities. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 16(2), 234–243. <https://doi.org/10.19027/jai.16.2.234-243>
- Yusrudin, S. (2011). Analisis Kualitas Perairan Untuk Keramba Jaring Apung Ikan Kerapu di Kabupaten Situbondo. *Neptunus Jurnal Kelautan*, 17(1), 17–26.

ANALISIS IMPLEMENTASI 30% RUANG TERBUKA HIJAU DI DKI JAKARTA

(Analysis of 30% Green Open Space Implementation in DKI Jakarta)

Panji Prakoso dan Herdis Herdiansyah
Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia
Jalan Salemba Raya 4, Jakarta Pusat, Indonesia
Email: herdis@ui.ac.id

Diterima: 03 September 2018; Direvisi: 22 Februari 2019; Disetujui untuk Dipublikasikan: 05 April 2019

ABSTRAK

Pertambahan jumlah penduduk di DKI Jakarta berdampak pada proses pertumbuhan kota. Hal ini identik dengan kegiatan pembangunan kota secara masif yang dilakukan untuk memenuhi kebutuhan masyarakatnya. Akan tetapi terdapat permasalahan dalam pemenuhan syarat tentang keberadaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) karena telah mengalami penurunan kualitas maupun kuantitas, yang seharusnya dalam Undang-undang Nomor 26 Tahun 2007 memiliki luas sebesar 30% dari luas wilayah administrasi. Persyaratan ini belum dapat dipenuhi oleh Pemerintah DKI Jakarta karena keberadaan RTH di DKI Jakarta kurang dari 10%. Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan kebutuhan RTH DKI Jakarta secara kualitatif melalui pendekatan luas wilayah administrasi dan jumlah penduduk. Penelitian ini juga menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk merumuskan prioritas solusi kebijakan yang lebih tepat untuk dapat dilakukan oleh pengambil kebijakan terkait. Kebutuhan RTH DKI Jakarta melalui pendekatan peraturan perundangan adalah sebesar 198,70 km², sedangkan jika dilakukan melalui pendekatan jumlah penduduk kebutuhan RTH sebesar 96,78 km². Berdasarkan hasil perhitungan AHP, prioritas kebijakan yang dapat diimplementasikan adalah dengan mewujudkan kolaborasi antar pemangku kepentingan (57,15%), meningkatkan partisipasi masyarakat (33,72%), dan melakukan penguatan regulasi (9,13%). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa upaya memenuhi persyaratan RTH 30% perlu dilakukan perencanaan dan kerja sama dari berbagai pihak, yaitu kolaborasi antar pemangku kepentingan, peningkatan partisipasi masyarakat dan penguatan regulasi yang dilakukan secara konsisten dan berkesinambungan. RTH sebagai ruang publik juga merupakan tempat berinteraksi yang mampu meningkatkan harmoni sosial sehingga keberadaannya mutlak ada dalam perencanaan tata ruang.

Kata kunci: Penduduk, Ruang Terbuka Hijau, AHP

ABSTRACT

Population growth in DKI Jakarta has an impact on the city's growth process. This is synonymous with massive city development activities carried out to meet the needs of the community. However, there are problems in fulfilling the requirements regarding the existence of Green Open Space (RTH) because it has experienced a decline in quality and quantity, which in Law Number 26 of 2007 should have an area of 30% of the total administrative area. This requirement cannot be met by the DKI Jakarta Government because the presence of green open space in DKI Jakarta is less than 10%. This study aims to explain the needs of DKI Jakarta's RTH in a qualitative manner through the approach of administrative area and population. This study also uses the Analytical Hierarchy Process (AHP) method to formulate priority policy solutions that are more appropriate for relevant policy makers. The needs of DKI Jakarta RTH through a regulatory approach is 198.70 km², while if it is done through an approach the population of RTH needs is 96.78 km². Based on the results of AHP calculations, the policy priorities that can be implemented are realizing collaboration between stakeholders (57.15%), increasing community participation (33.72%), and strengthening regulations (9.13%). The results of this study indicate that efforts to meet the requirements of 30% open space need to be carried out in planning and cooperation from various parties, such as collaboration between stakeholders, increasing community participation and strengthening regulations, to be carried out consistently and continuously. RTH as a public space is also a place of interaction that can improve social harmony so that its existence is absolutely in the spatial planning.

Keywords: Population, Green Open Space, AHP

PENDAHULUAN

Pertambahan jumlah penduduk merupakan faktor utama pertumbuhan suatu wilayah perkotaan. Jumlah penduduk DKI Jakarta

berdasarkan hasil proyeksi penduduk dari hasil sensus penduduk tahun 2015 mencapai 10,18 juta jiwa. Kemudian meningkat menjadi 10,28 juta jiwa pada 2016, dan bertambah menjadi 10,37 juta jiwa pada 2017. Artinya, selama dua tahun terakhir

jumlah penduduk di ibu kota bertambah 269 jiwa setiap hari atau 11 orang per jam (BPS, 2015). Pertambahan jumlah penduduk biasanya diikuti dengan bertambahnya kebutuhan secara ekologi, ekonomi dan sosial. Pertumbuhan perkotaan pada umumnya identik dengan adanya perkembangan fisik kota berupa pembangunan sarana dan prasarana penunjang kebutuhan masyarakat.

DKI Jakarta merupakan ibu kota negara Indonesia yang memiliki kompleksitas kegiatan dan permasalahan kota yang paling tinggi dibandingkan dengan kota-kota lainnya. Kondisi ini disebabkan segala bentuk kegiatan berpusat di DKI Jakarta serta kondisi populasi penduduk DKI Jakarta yang sangat besar dibandingkan dengan kota-kota lainnya. DKI Jakarta merupakan perkotaan dengan jumlah populasi terbesar kedua di dunia dengan jumlah populasi 26 juta penduduk hal ini didominasi oleh faktor urbanisasi (Cox, 2012). DKI Jakarta yang memiliki luas wilayah sebesar 662,33 km² ditempati oleh penduduk pada tahun 2011 sebanyak 10.187.595 jiwa yang tersebar di 6 (enam) kotamadya (BPS, 2012). Jumlah penduduk DKI Jakarta yang paling banyak terdapat pada kotamadya Jakarta Timur yaitu sebesar 2.926.732 Jiwa, sedangkan jika kita proyeksikan antara jumlah penduduk dengan luas wilayah DKI Jakarta maka kepadatan penduduk yang memiliki nilai paling besar adalah terdapat pada kotamadya Jakarta Pusat dengan nilai sebesar 23.347 jiwa/km². Nilai tersebut menjelaskan bahwa sebanyak 23.347 penduduk terdapat pada 1 km² luas kota, kondisi ini terjadi karena Jakarta Pusat memiliki luas wilayah sebesar 48,13 km² dalam menampung keseluruhan jumlah penduduknya sebanyak 1.123.670 jiwa.

Luas total RTH DKI Jakarta adalah sebesar 59,25 km² yang terbagi atas beberapa kotamadya (Novianty, Neolaka, & Rahmayanti, 2012). Jakarta Timur merupakan wilayah kotamadya yang memiliki nilai RTH paling besar yaitu 24,50 km². RTH DKI Jakarta menurut Dinas Tata Kota DKI Jakarta terbagi atas 6 (enam) bentuk yaitu taman dan hutan kota, jalur hijau jalan, taman bangunan umum, tepian air, taman rekreasi, dan RTH pemakaman. Bentuk RTH berupa taman dan hutan kota merupakan bentuk RTH yang paling banyak keberadaannya di DKI Jakarta mencapai luasan sebesar 30,12 km², sedangkan bentuk RTH yang paling sedikit luasannya adalah berupa RTH tepian air dengan luas 0,57 km² (Subarudi & Samsuodin, 2012).

Pada umumnya pembangunan dan pengembangan kota di Indonesia belum mengacu pada rancangan kota yang memperhatikan kelestarian lingkungan. Oleh karenanya, kegiatan tersebut dapat memicu terjadinya permasalahan lingkungan seperti munculnya berbagai polusi baik polusi udara, air, tanah, dan permasalahan-permasalahan lainnya. Ruang Terbuka Hijau (RTH) dapat menjadi solusi untuk meminimalisasi permasalahan-permasalahan tersebut karena RTH

berfungsi sebagai *nature purification* wilayah perkotaan seperti resapan air dan karbon.

Regulasi yang digunakan dalam penentuan jumlah RTH di DKI Jakarta adalah Undang-undang (UU) Nomor 26 Tahun 2007 tentang Tata Ruang. Dalam pasal 29 dijelaskan bawah RTH sebuah kota terdiri dari dua jenis yaitu Ruang Terbuka Hijau publik dan Ruang Terbuka Hijau privat. Sebuah wilayah kota dipersyaratkan memiliki RTH dengan proporsi minimum 30% dari luas wilayahnya, yang terdiri dari RTH publik sebesar 20% dan RTH privat sebesar 10%. Luas RTH DKI Jakarta pada tahun 2011 hanya 9,12% dari luas wilayahnya sehingga pemerintah DKI Jakarta masih memerlukan upaya untuk peningkatan kuantitas RTH sebesar 20,4% (RTH publik dan privat) (Novianty, Neolaka, & Rahmayanti, 2012).

Keberadaan RTH merupakan faktor penting dalam mendukung keberlangsungan ekologis suatu kota, selain itu keberadaan RTH juga berpengaruh terhadap kenyamanan udara secara alami. Kenyamanan udara RTH dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban yang digambarkan dalam indeks kenyamanan termal. Sebesar 5,86% penurunan suhu udara dan 4% peningkatan kelembaban dihasilkan dari RTH dengan kondisi yang baik (Asiani, 2007). Hal tersebut juga didukung oleh hasil penelitian yang menyebutkan bahwa RTH dapat berperan dalam mengurangi efek *Urban Heat Island* (UHI) sehingga dapat membuat kondisi perkotaan yang lebih sehat dan nyaman (Estoque, Murayama, & Myint., 2017). Peran RTH selain terletak pada perbaikan suhu dan kelembaban juga terdapat pada pengurangan emisi CO₂. Rawung (2015) dalam penelitiannya di tahun 2015 menjelaskan bahwa daya serap RTH eksisting dalam mereduksi emisi CO₂ aktual adalah sekitar 119,73 hingga 271,18 ton/tahun.

Fungsi RTH secara ekologi tidak akan bermanfaat jika tidak diimbangi dengan upaya untuk memperbaiki kualitas dan kuantitas RTH di DKI Jakarta, bahkan kondisi yang memprihatinkan adalah pesatnya laju pertumbuhan kota seringkali mengorbankan RTH. Oleh karenanya, penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan kondisi dan permasalahan RTH di DKI Jakarta (pendekatan data tahun 2011) serta memberikan solusi dari permasalahan tersebut.

METODE

Penelitian ini menggunakan dua metode yaitu: metode kualitatif dan metode kuantitatif. Metode kualitatif yang digunakan adalah *literature review* dari beberapa penelitian terdahulu yang telah membahas topik RTH DKI Jakarta, juga dari dokumen-dokumen kebijakan RTH di DKI Jakarta. Selain itu juga dilakukan pengumpulan data sekunder untuk bahan analisis. Data sekunder yang dikumpulkan akan mencoba untuk menjelaskan kondisi RTH (pendekatan tahun 2011) dan kebutuhan RTH berdasarkan peraturan yang berlaku. Selanjutnya, dalam penelitian ini

juga disajikan permasalahan-permasalahan dalam pemenuhan RTH DKI Jakarta yang dianalisis dari hasil *literature review* ke dalam tiga aspek yaitu aspek teknis, aspek ekonomi serta aspek kebijakan dan politik.

Metode kuantitatif pada penelitian ini menggunakan AHP untuk menganalisis prioritas kebijakan untuk memenuhi syarat RTH 30% di wilayah Jakarta. AHP merupakan salah satu metode pengambilan keputusan yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty (Saaty, 1980) Metode ini mempertimbangkan multi faktor (lingkungan, sosial dan ekonomi) dalam melakukan pengambilan keputusan dengan mengembangkan model hirarki (Saaty, 1980; Saaty, 2010). Hirarki yang digambarkan dalam metode AHP terdiri dari beberapa level, yakni level pertama sebagai tujuan, level kedua adalah kriteria, selanjutnya bisa diikuti dengan sub kriteria atau langsung menggambarkan pilihan kebijakan atau keputusan yang akan diambil. Penelitian ini membangun tiga level hirarki yakni terdiri atas tujuan pada level teratas atau pertama, kriteria pengambilan keputusan pada level kedua dan pilihan kebijakan pada level bawah atau level ketiga. Tujuan pengambilan keputusan adalah pemenuhan RTH 30% di DKI Jakarta. Level kriteria terbagi menjadi tiga aspek yakni sosial, lingkungan, dan ekonomi, sedangkan level terakhir terdiri dari kolaborasi antar pemangku kepentingan, penguatan regulasi, dan partisipasi masyarakat. Tahap berikutnya adalah perhitungan matriks berpasangan antar elemen dalam setiap level pada hirarki. Dalam AHP nilai antar elemen ditentukan berdasarkan derajat kepentingannya dengan menggunakan skala 1-9. Penjelasan tentang skala 1-9 yang digunakan dijelaskan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Skala yang digunakan pada AHP.

Skala/tingkat kepentingan	Definisi
1	Kedua elemen berarti sama penting
3	Elemen A sedikit lebih penting daripada elemen B
5	Elemen A lebih penting dari elemen B
7	Elemen A jelas lebih penting nilainya daripada elemen B
9	Elemen A mutlak lebih penting daripada elemen B
Angka 2,4,6,8	Nilai diantara dua pertimbangan yang berdekatan
Resiprokal/ Kebalikan	Jika untuk elemen A (i) mendapat satu angka dibanding elemen B (j), maka elemen B (j) memiliki nilai kebalikannya dari nilai elemen A(i)

Sumber : (Saaty, 2010)

Tabel 2. Hubungan RTH dan penduduk DKI Jakarta Tahun 2011.

No	Kotamadya	Jumlah Penduduk Tahun 2011 (Jiwa)	Luasan RTH Tahun 2011 (km ²)	Densitas RTH Berdasarkan Penduduk (m ² /Jiwa)
1	Kepulauan Seribu	24.936	0	0
2	Jakarta Selatan	2.135.571	14,37	6,73

Metode kuantitatif juga dilakukan untuk menganalisis luasan RTH DKI Jakarta dengan menggunakan pendekatan wilayah (pemenuhan 30% dari setiap wilayah administrasi) dan pendekatan jumlah penduduk 9,5 m²/jiwa berdasarkan standar yang ditetapkan WHO (Anguluri & Narayanan, 2017). Adapun rumus yang digunakan untuk memperoleh luasan RTH DKI Jakarta berdasarkan pendekatan luas wilayah (**Persamaan 1**) dan pendekatan jumlah penduduk (**Persamaan 2**).

$$\text{Kebutuhan RTH} = 30\% \times \text{Luas Wilayah Adm.....(1)}$$

$$\text{Kebutuhan RTH} = 9,5 \text{ (m}^2\text{/jiwa)} \times \text{Jumlah Penduduk.....(2)}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

The World Health Organisation (WHO) merekomendasikan sebuah kota dapat menyediakan ruang terbuka hijau untuk kehidupan yang sehat seluas 9,5 m²/jiwa (Anguluri & Narayanan, 2017). Dari standar yang ditetapkan oleh WHO maka berdasarkan **Tabel 2** lokasi yang memiliki densitas RTH per penduduk yang paling baik dan hampir mendekati standar dari WHO adalah pada kotamadya Jakarta Timur yaitu memiliki nilai 8,37 m²/jiwa. Nilai tersebut didapatkan karena Jakarta Timur juga merupakan kotamadya dengan jumlah RTH paling besar, sehingga luas rata-rata RTH per penduduknya akan semakin besar pula. Jika dianalisis lebih lanjut keberadaan RTH DKI Jakarta yang dihubungkan dengan jumlah penduduknya, maka dapat diproyeksikan pada **Tabel 2**.

Kebutuhan RTH di DKI Jakarta Berdasarkan Luas Wilayah

Pemenuhan kebutuhan RTH pada suatu perkotaan dapat digunakan beberapa pendekatan, salah satunya pendekatan luas wilayah kota (Mbele & Setiawan, 2015). Jika berpedoman pada UU No 26 Tahun 2007 pendekatan untuk penentuan luasan RTH didasarkan pada luas wilayah kota dengan amanat sebesar 30% dari total luas wilayah. Adapun kebutuhan luas RTH DKI Jakarta jika menggunakan pendekatan peraturan yang berlaku dapat dilihat pada **Tabel 2**.

No	Kotamadya	Jumlah Penduduk Tahun 2011 (Jiwa)	Luasan RTH Tahun 2011 (km ²)	Densitas RTH Berdasarkan Penduduk (m ² /Jiwa)
3	Jakarta Timur	2.926.732	24,50	8,37
4	Jakarta Pusat	1.123.670	8,24	7,33
5	Jakarta Barat	2.260.341	5,40	2,39
6	Jakarta Utara	1.716.345	6,74	3,93
Total		10.187.595	59,25	28,75

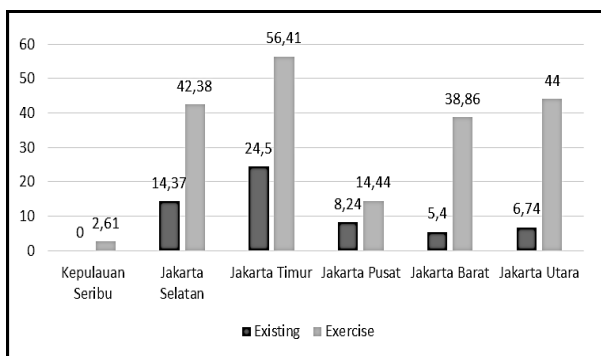
Sumber : Data jumlah penduduk (BPS, 2012) dan data RTH (Novianty, Neolaka, & Rahmayanti, 2012)

Tabel 3. Kebutuhan RTH berdasarkan luas wilayah.

Kotamadya	Luas Wilayah (km ²)	Kebutuhan RTH 30% (km ²)	Luas RTH Aktual Tahun 2011 (km ²)	Selisih Kebutuhan RTH (km ²)
Kepulauan Seribu	8,70	2,61	0	-2,61
Jakarta Selatan	141,27	42,38	14,37	-28,011
Jakarta Timur	188,03	56,41	24,50	-31,909
Jakarta Pusat	48,13	14,44	8,24	-6,199
Jakarta Barat	129,54	38,86	5,40	-33,462
Jakarta Utara	146,66	44,00	6,74	-37,258
Total	662,33	198,70	59,25	-134,449

Sumber : Data RTH (Novianty, Neolaka, & Rahmayanti, 2012); dan data luas wilayah (BPS, 2012)

Berdasarkan **Tabel 3** dapat dijelaskan bahwa RTH kondisi aktual pada tahun 2011 jika dibandingkan dengan kondisi RTH 30% (sesuai peraturan) maka DKI Jakarta memiliki kekurangan RTH seluas 134,45 km². RTH yang berdasarkan amanat UU sebesar 30% dari luasan wilayah memiliki nilai kebutuhan RTH sebesar 198,70 km², nilai tersebut diperoleh dari hasil perhitungan antara standar minimum RTH berdasarkan UU dengan luas wilayah DKI Jakarta. Akan tetapi, kondisi aktual RTH DKI Jakarta pada tahun 2011 hanya sebesar 59,25 km² atau setara dengan 8,9% sehingga RTH DKI Jakarta dapat dikatakan belum mencapai kondisi minimal yaitu 30% dari luas wilayah.



Gambar 1. Perbandingan RTH berdasarkan luas wilayah.

Berdasarkan **Gambar 1** dapat terlihat bahwa pemenuhan RTH di DKI Jakarta jika sesuai amanat UU sebesar 30% masih memerlukan usaha lebih, dikarenakan perbandingan antara luas RTH *existing* dengan luasan RTH seharusnya berdasarkan amanat UU (hasil *exercise*) masih mengalami perbedaan yang cukup signifikan. Kotamadya yang memiliki nilai perbedaan paling tinggi adalah Jakarta Barat. Kotamadya ini memiliki luasan RTH 1:7 jika dibandingkan dengan amanat UU dalam pemenuhan RTH 30%.

Tidak terpenuhinya kebutuhan RTH berdasarkan luasan di DKI Jakarta disebabkan oleh faktor alih fungsi lahan RTH untuk pembangunan hunian dan kebutuhan prasarana kota (Paramesti, 2016). Kondisi ini terjadi karena masyarakat akan cenderung mengedepankan pemenuhan kebutuhan pribadi dibandingkan pemenuhan kebutuhan bersama untuk dalam hal kelestarian lingkungan perkotaan. Untuk itu diperlukan upaya dari pemerintah DKI Jakarta untuk mengakomodir kekurangan luas RTH guna merespon secara positif amanat UU yang berlaku serta diperlukan juga usaha pemerintah untuk mengatasi permasalahan alih fungsi lahan dari kawasan hijau menjadi lahan terbangun di DKI Jakarta.

Kebutuhan RTH di DKI Jakarta Berdasarkan Penduduk

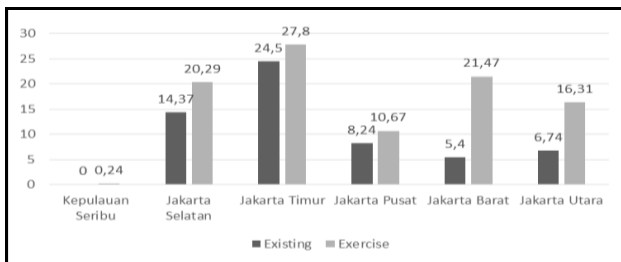
Secara umum kota-kota di negara berkembang akan mengalami penurunan ruang kota yang mengarah pada pengorbanan area seiring dengan bertambahnya jumlah populasi penduduk (Altunkasa & Uslu, 2004). Oleh karenanya, variabel jumlah penduduk dapat dilakukan untuk mengidentifikasi luasan RTH sebuah kota. Hal tersebut didukung oleh pernyataan Haq (2011) dalam penelitiannya yang menyatakan bahwa memahami hubungan antara populasi penduduk dengan jumlah ruang terbuka hijau sangat penting untuk mengevaluasi fungsi Ruang Terbuka Hijau dan perencanaan masa depan untuk penyediaan ruang terbuka hijau. Analisis perhitungan RTH berdasarkan jumlah penduduk yang digunakan adalah dengan mempertimbangkan persyaratan yang dikeluarkan oleh WHO. Bahwa suatu kota disarankan untuk memiliki nilai RTH adalah 9,5 m²/jiwa, adapun hasil analisis yang dilakukan terkait dengan penentuan luas RTH berdasarkan jumlah penduduk dapat

terlihat pada **Tabel 4**. Jika diproyeksikan dalam grafik maka Kotamadya Jakarta Barat memiliki perbedaan paling besar dibandingkan Kotamadya lainnya yaitu 1:4 antara RTH *existing* dengan luasan RTH seharusnya berdasarkan jumlah penduduk dan standar WHO (hasil *exercise*) dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Tabel 4. Kebutuhan RTH berdasarkan jumlah penduduk dan standar WHO.

Kotamadya	Penduduk (Jiwa)	Luas RTH menurut WHO (km ²)	Luas RTH Aktual Tahun 2011 (km ²)	Selisih Kebutuhan RTH (km ²)
Kepulauan Seribu	24.936	0,24	0	-0,24
Jakarta Selatan	2.135.571	20,29	14,37	-5,92
Jakarta Timur	2.926.732	27,80	24,50	-3,30
Jakarta Pusat	1.123.670	10,67	8,24	-2,43
Jakarta Barat	2.260.341	21,47	5,40	-16,07
Jakarta Utara	1.716.345	16,31	6,74	-9,57
Total	10.187.595	96,78	59,25	-37,53

Sumber:: Data penduduk (BPS, 2012); dan data RTH Novianty, Neolaka, & Rahmayanti, (2012)



Gambar 2. Perbandingan RTH Berdasarkan Jumlah Penduduk dan Standar WHO.

Standar yang ditetapkan oleh WHO pada dasarnya untuk mendukung kesehatan masyarakat perkotaan melalui keberadaan Ruang Terbuka Hijau. Keberadaan Ruang Terbuka Hijau perkotaan dapat berperan untuk menjaga kesehatan manusia secara fisik, emosional, dan psikologis (Mantler & Logan, 2015; Richardson, Pearce, Mitchell, Day, & Kingham., 2010; Triguero-Mas et al., 2015). Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Villeneuve et al. (2012) yang menyatakan bahwa keberadaan tutupan hijau dapat melindungi kesehatan masyarakat. Kebutuhan RTH DKI Jakarta jika menggunakan pendekatan jumlah penduduk menurut standar WHO memiliki nilai selisih kebutuhan lebih sedikit dibandingkan berdasarkan UU No. 26 Tahun 2007. Jika dianalisis menggunakan pendekatan WHO kebutuhan RTH DKI Jakarta hanya sebesar 96,78 km², dilain sisi jika kebutuhan RTH DKI Jakarta dilakukan analisis menggunakan standar 30% dari luas wilayah maka nilai kebutuhan RTH DKI Jakarta adalah sebesar 198,70 km². Seluruh

pendekatan tersebut baik dan sesuai untuk digunakan di DKI Jakarta, akan tetapi pendekatan berdasarkan standar UU yang berlaku atau dengan kata lain pendekatan berdasarkan 30% dari luas wilayah merupakan pendekatan yang paling sesuai digunakan untuk provinsi DKI Jakarta. Karena DKI Jakarta memiliki kompleksitas kegiatan dan permasalahan yang tinggi, baik dari kegiatan ekonomi, industri dan pemerintahan semua terpusat di DKI Jakarta, sehingga pendekatan tersebut dapat merepresentasikan kebutuhan RTH secara nyata di DKI Jakarta dan ke depan RTH tersebut dapat menjadi sarana dan prasaranan penunjang fungsi lingkungan, sosial dan ekonomi perkotaan.

Pemenuhan atas kebutuhan RTH di DKI Jakarta sesuai amanat UU juga telah dilakukan oleh Andriani, Waryono, & Thayib (2014) yang menghasilkan bahwa berdasarkan realisasi target RTH tahun 2012 terdapat delapan pendekatan yang digunakan untuk pemenuhan target RTH DKI Jakarta, seluruh pendekatan tersebut dapat menghasilkan potensi RTH sebesar 10.003,92 ha atau setara dengan 100,04 km². Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada dasarnya DKI Jakarta sudah memiliki beberapa kawasan yang berpeluang untuk pemenuhan RTH namun masih terdapat kendala-kendala baik teknis ataupun non teknis dalam pelaksanaannya.

Permasalahan Pemenuhan RTH DKI Jakarta

Pemenuhan 30% RTH DKI Jakarta dari luas wilayahnya merupakan suatu hal yang sampai saat ini belum terealisasikan oleh pemerintah DKI Jakarta, bahkan tiap tahunnya RTH DKI Jakarta mengalami penurunan. Hal tersebut didukung oleh Paramesti (2016) yang menjelaskan bahwa terjadi pengurangan luas RTH pada periode 2007-2014 sebesar 208,36 ha. Permasalahan yang terjadi terkait pemenuhan RTH DKI Jakarta berasal dari berbagai aspek seperti aspek teknis, aspek ekonomi, aspek kebijakan dan politik.

Permasalahan dari aspek teknis yang paling mendominasi terjadi di DKI Jakarta adalah permasalahan alih fungsi lahan. Alih fungsi lahan terjadi karena adanya upaya pemerintah atau swasta untuk mendukung pertumbuhan penduduk melalui pembangunan kota yang mengarah pada pembangunan sarana dan prasarana penunjang kebutuhan masyarakat. Masalah ini didasari oleh minimnya kontrol dari pemerintah DKI Jakarta atas alokasi pemanfaatan lahan di Provinsi DKI Jakarta. Lahan-lahan yang dialihfungsikan, umumnya adalah bagian dari RTH di daerah terbangun (Andriani, Waryono, & Thayib, 2014). Menurut Suwargana (2005) dalam jangka waktu 19 tahun (1983-2002) terjadi perubahan lahan sebesar 6.559,8 ha (10% dari luas DKI Jakarta). Alih fungsi tersebut, dipergunakan untuk kepentingan pemukiman dan pusat-pusat kegiatan kota.

Aspek ekonomi (faktor pembiayaan) pembangunan RTH DKI Jakarta merupakan faktor

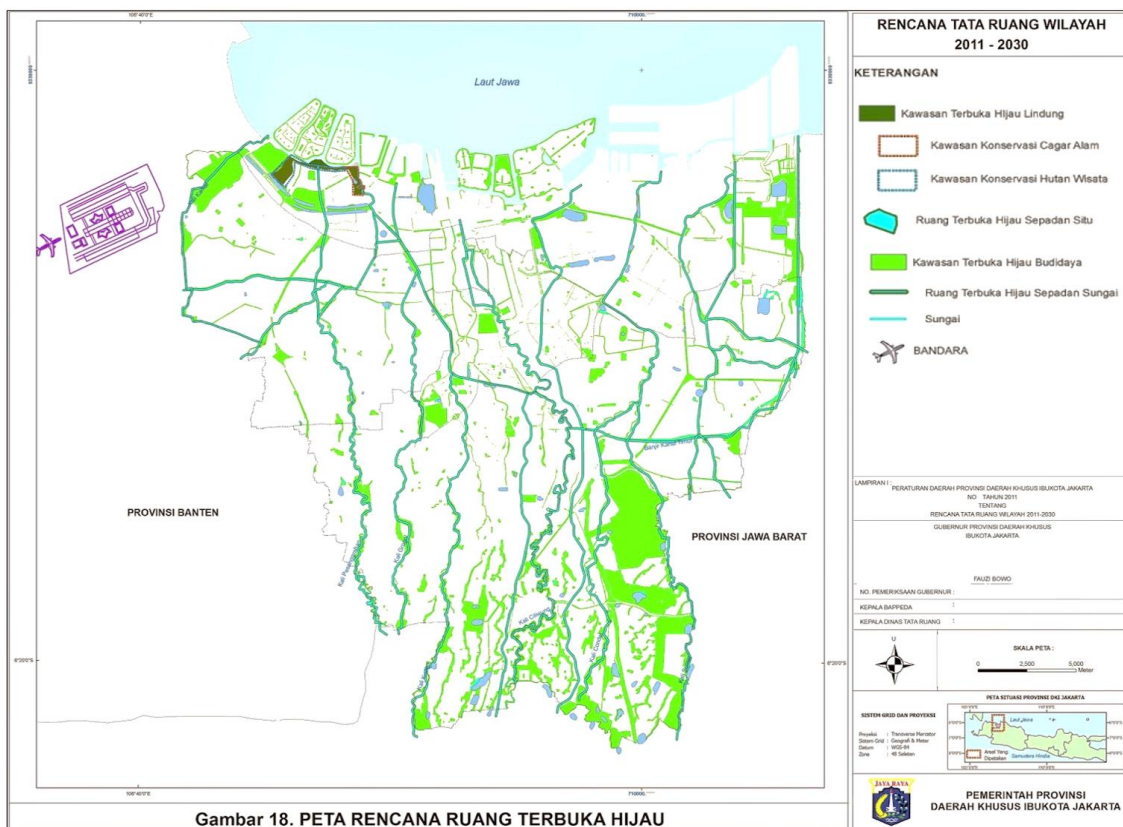
kedua yang menyebabkan pemenuhan RTH DKI Jakarta tidak berjalan dengan baik. Satu hal yang menjadi kendala dalam aspek ekonomi adalah masalah pembebasan lahan. Menurut hasil penelitian Paramesti (2016) ditegaskan bahwa penyediaan RTH di perkotaan dihadapkan pada terbatasnya tanah yang dikuasi pemerintah, sedangkan tanah yang tidak terbangun harus dibeli pemerintah dengan mahal secara bertahap karena anggaran pemerintah yang tidak mencukupi dan adanya sektor-sektor lain yang juga memerlukan pembiayaan. Penelitian lain dari Subarudi & Samsudin (2012) juga menyatakan bahwa dalam melakukan pemenuhan RTH 30% pemerintah DKI Jakarta perlu melakukan pembebasan lahan seluas 13.748,12 ha dengan biaya yang diperlukan sebesar Rp. 13,748 triliun, oleh karenanya pemerintah DKI Jakarta menyatakan ketidakmampuannya dan merasa pesimis untuk hal pemenuhan RTH tersebut.

Aspek yang terakhir adalah kebijakan dan politik. Aspek ini sangat erat hubungannya dengan peran partai politik atau tokoh politik. Kebijakan pembangunan akan berjalan dengan baik jika mendapatkan perhatian dan dukungan penuh dan konsisten dari pihak-pihak politik. Dukungan secara konsisten akan berpengaruh terhadap keberlanjutan dan keberlangsungan kebijakan terkait pembangunan RTH DKI Jakarta, jika setiap tokoh dan partai politik konsisten terhadap pemenuhan luas RTH DKI Jakarta maka apapun kondisi politik yang terjadi tidak akan mengubah semangat dan komitmennya dalam pembangunan

RTH DKI Jakarta. Komitmen politik terkait dengan pembangunan RTH DKI Jakarta juga akan berdampak pada besarnya anggaran belanja daerah yang difokuskan untuk kegiatan pembangunan RTH, akan tetapi jika isu terkait pembangunan RTH tidak menjadi semangat bersama para pelaku politik maka kegiatan pembangunan RTH DKI Jakarta tidak akan diikuti dengan penganggaran yang cukup. Pada 2030 sendiri Pemerintah DKI Jakarta menargetkan luas RTH yang proposional dengan luas wilayah, hal ini sesuai dengan hasil distribusi rencana hijau di Provinsi DKI Jakarta sampai dengan tahun 2030 dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Solusi Penyelesaian Masalah Pemenuhan RTH DKI Jakarta

Permasalahan yang terkait dengan pemenuhan RTH DKI Jakarta seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya berasal dari berbagai aspek seperti aspek teknis, aspek ekonomi, aspek kebijakan dan politik diperlukan jalan keluar untuk penyelesaian masalahnya. Solusi utama yang dapat mengatasi permasalahan terkait pemenuhan RTH DKI Jakarta adalah berupa kebijakan dan regulasi (peraturan) baru di DKI Jakarta. Karena dengan adanya kebijakan dan regulasi baru yang memiliki semangat dan berkonsisten terhadap pemenuhan RTH maka semua pihak didalamnya akan mengikuti kebijakan dan peraturan tersebut.



Gambar 18. PETA RENCANA RUANG TERBUKA HIJAU

Gambar 3. Rencana hijau Provinsi DKI Jakarta.

Kebijakan dan regulasi baru dibutuhkan oleh Pemda DKI Jakarta untuk memudahkan melakukan langkah-langkah dalam penambahan luasan RTH, selain itu melalui cara ini Pemda DKI Jakarta dapat melakukan kontrol atas setiap pelanggaran yang berkaitan dengan pemenuhan RTH DKI Jakarta serta dapat memberikan sanksi bagi pelanggarnya. Evaluasi pelaksanaan pembangunan RTH juga dapat dilakukan jika sudah terdapat regulasi yang jelas dalam pengaturannya. Salah satu contoh kebijakan yang telah dilakukan oleh Pemda DKI Jakarta guna mendukung pemenuhan target RTH DKI Jakarta adalah dengan ditetapkannya Keputusan Gubernur Nomor 728 tahun 2009 dan Instruksi Gubernur Nomor 75 tahun 2009, kedua kebijakan tersebut berkaitan tentang pengembalian kawasan hijau yang digunakan oleh 27 stasiun pengisian bahan bakar (Kautsar & Waryono, 2017). Selain kedua kebijakan tersebut, Pemda DKI Jakarta masih memerlukan regulasi dan kebijakan baru guna mendukung pemenuhan RTH DKI Jakarta yang dapat mengakomodir dan mengintegrasikan peran dari berbagai pihak. Penelitian lain oleh Haq (2011) juga menyatakan bahwa untuk memperbaiki ruang terbuka hijau diperlukan pertimbangan melalui pendekatan integrasi dan interdisiplin.

Regulasi hijau merupakan salah satu regulasi yang dapat digunakan dalam upaya pemenuhan RTH DKI Jakarta, regulasi ini didasarkan pada prinsip-prinsip lingkungan dan kebijakan berupa peraturan perundang-undangan yang bersifat pro terhadap lingkungan dengan tujuan utamanya adalah untuk menyelesaikan masalah lingkungan (Hassim, 2010). Regulasi hijau menggunakan konsep kemitraan melalui perjanjian yang dilaksanakan antara pihak pemerintah dengan swasta dalam hal peningkatan RTH. UU Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan.

Lingkungan Hidup perlu menjadi dasar dalam melakukan perjanjian kerjasama dalam hal penyediaan dan pengelolaan RTH, karena dalam UU tersebut terkandung asas-asas yang dapat mendukung terlaksananya kegiatan pemenuhan RTH DKI Jakarta seperti asas kelestarian, asas keberlanjutan, asas keserasian dan keseimbangan, dan asas-asas lainnya. Selain itu, untuk meningkatkan ketertarikan pihak swasta dalam melakukan kerjasama diperlukan adanya mekanisme sistem insentif dari pemerintah kepada pihak swasta.

Regulasi hijau bukan merupakan satu-satunya cara yang tepat dalam mengatasi permasalahan terkait pemenuhan RTH DKI Jakarta. Memasukan kebijakan perluasan atau pemenuhan RTH DKI Jakarta ke dalam Rencana Pembangunan Jangka Panjang (RPJP) DKI Jakarta dapat menjadi solusi lain untuk keberlanjutan pembangunan RTH (Subarudi & Samsuudin, 2012), sehingga dengan cara ini komitmen dari berbagai pihak salah satunya

komitmen dari pelaku politik dapat terjaga guna pemenuhan RTH DKI Jakarta. Kebijakan ini juga dapat memperoleh dukungan politik yang solid terutama dukungan legislatif dalam hal pendanaan kegiatan pembangunan RTH DKI Jakarta. Selain melalui kebijakan dan regulasi baru, pemenuhan RTH DKI Jakarta 30% juga dapat dilaksanakan melalui optimalisasi lahan yang ada dan partisipasi masyarakat. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang menyatakan bahwa upaya saat ini yang dilakukan pemerintah DKI Jakarta untuk memperluas RTH adalah dengan memprioritaskan pemanfaatan lahan-lahan yang berpotensi guna pemenuhan RTH DKI Jakarta seperti di daerah sepanjang sungai, sepanjang saluran air, sempadan situ dan waduk, sepanjang pantai, sepanjang jalan tol, sepanjang tepi rel kereta api, dan daerah dibawah saluran udara tegangan tinggi, semua kegiatan tersebut dilakukan secara bertahap (Subarudi & Samsuudin, 2012).

Partisipasi masyarakat juga dapat dilakukan guna pembangunan RTH di DKI Jakarta. Dalam hal ini masyarakat berperan untuk mengoptimalkan lahan-lahan yang berada di sekitarnya untuk dijadikan sebagai RTH. Selanjutnya, dalam penelitian yang sama dijelaskan bahwa partisipasi masyarakat dapat dilakukan untuk mengurangi biaya pembuatan dan pelepasan lahan untuk RTH, melalui mekanisme pembiayaan yang dilakukan oleh Pemda DKI Jakarta diharapkan adanya kerjasama dengan masyarakat dan pengusaha untuk mengalokasikan RTH di daerah masing-masing (Subarudi & Samsuudin, 2012). Semua hal tersebut juga didukung oleh Dennis & James (2016) yang menyatakan bahwa partisipasi warga terhadap akses Ruang Terbuka Hijau (voluntarisme ruang terbuka hijau) telah terbukti sangat sukses dilakukan di kota Manchester, serta di dalam penelitiannya memberikan bukti bahwa terdapat kaitan antara partisipasi masyarakat sebagai pengguna Ruang Terbuka Hijau dengan keanekaragaman hayati perkotaan. Terlebih lagi fakta yang ada berdasarkan penelitian mengungkapkan bahwa terdapat hubungan yang positif antara penggunaan ruang hijau dengan kesejahteraan masyarakat (Bird, 2007; Coutts & Taylor, 2011). Oleh karenanya, partisipasi masyarakat juga merupakan faktor yang penting dalam pemenuhan RTH DKI Jakarta. Hal ini turut didukung oleh hasil penelitian Mutiara & Isami (2012) menjelaskan bahwa warga kota Jakarta memiliki minat yang tinggi untuk mengelola taman bersama, sehingga diperlukan sistem yang mampu memfasilitasi permintaan masyarakat untuk berpartisipasi dalam pengelolaan taman lokal.

Penentuan Prioritas Kebijakan

Perhitungan AHP dalam penentuan prioritas pilihan kebijakan dalam memenuhi syarat RTH 30% di wilayah DKI Jakarta diuraikan dalam **Tabel 5** dan **Tabel 6**. Model hirarki yang

dikembangkan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 4**. Metode AHP melibatkan penilaian yang memungkinkan timbulnya subjektivitas dan inkonsistensi, sehingga untuk menunjukkan konsistensi analisis ditetapkan batas *Consistency Ratio* adalah kurang dari atau sama dengan 0,10 (Saaty, 1980). Matriks berikutnya menunjukkan hasil analisis perbandingan berpasangan antara kriteria terhadap tujuan. Aspek-aspek yang berpengaruh pada upaya perwujudan RTH 30% dibandingkan derajat kepentingannya. Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada **Tabel 5**.

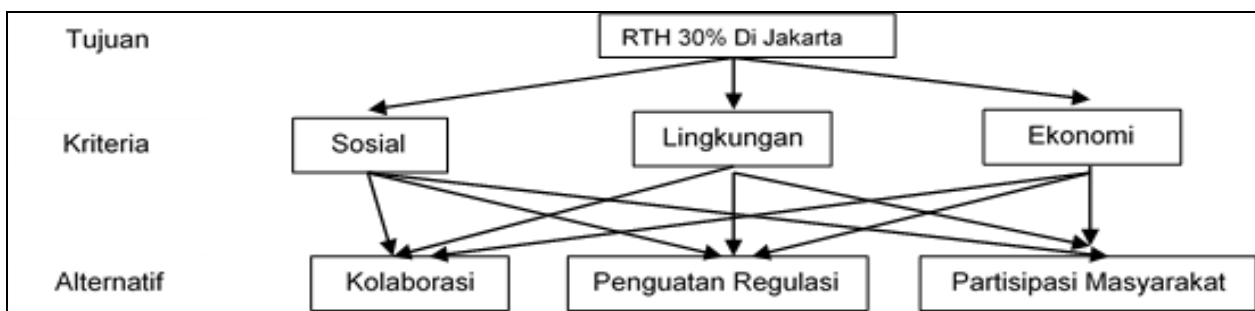
Tabel 5. Matriks perbandingan berpasangan antara kriteria dan tujuan.

RTH 30%	Sosial	Lingkungan	Ekonomi
Sosial	1	0,25	3
Lingkungan	4	1	5
Ekonomi	0,20	0,33	1
RTH 30%	Persentase		
Sosial	22,55%		
Lingkungan	67,38%		
Ekonomi	10,07%		
Consistency Ratio	0,082		

Tabel 5 menggambarkan bahwa kriteria lingkungan adalah kriteria utama dalam penentuan prioritas kebijakan dalam mewujudkan RTH 30% di Jakarta. Urutan prioritas kriteria yang perlu dipertimbangkan adalah lingkungan (67,38%) diikuti dengan aspek sosial masyarakat (22,55%) dan pertimbangan dampak ekonomi merupakan kriteria terakhir untuk dipertimbangkan dengan porsi sebesar 10,07%. Perhitungan ini valid dan konsisten karena *Consistency Ratio* <0,10. Selanjutnya dilakukan perbandingan berpasangan

antara ketiga alternatif terhadap ketiga kriteria yang ditetapkan. Pada **Tabel 6** diketahui bahwa analisis AHP yang dilakukan terhadap semua elemen kriteria dan pilihan kebijakan memenuhi persyaratan berdasarkan nilai *Consistency Ratio*. Pada hasil perbandingan dengan mempertimbangkan aspek sosial, pilihan kebijakan melibatkan masyarakat dalam upaya pemenuhan RTH 30% merupakan prioritas utama (65,5%) diikuti dengan mengupayakan kolaborasi antar pemangku kepentingan (24,9%) dan terakhir adalah dengan memperkuat regulasi (9,5%). Sementara pada aspek lingkungan dan ekonomi, pilihan untuk membentuk kolaborasi antar pemangku kepentingan menjadi prioritas utama masing-masing pada angka 66,9% pada kriteria lingkungan dan 63,7% untuk kriteria ekonomi.

Prioritas kebijakan kedua adalah meningkatkan partisipasi masyarakat dengan angka masing-masing 24,3% pada kriteria lingkungan dan 25,8% pada pertimbangan aspek ekonomi. Sedangkan prioritas terakhir adalah memperkuat regulasi, masing-masing 8,8% pada aspek lingkungan dan 10,5% pada aspek ekonomi. Hasil akhir dari analisis AHP pada penelitian ini adalah kolaborasi antar pemangku kepentingan merupakan prioritas utama untuk dilakukan dalam upaya memenuhi syarat 30% ketersediaan RTH di wilayah DKI Jakarta (57,15%). Upaya berikutnya yakni peningkatan partisipasi masyarakat merupakan prioritas berikutnya dengan 33,72% dan diikuti dengan penguatan regulasi sebesar 9,13%. Untuk mendapatkan hasil optimal, ketiga alternatif kebijakan tersebut dijalankan secara berkesinambungan sehingga dapat diimplementasikan secara efektif dan efisien.



Gambar 4. Model AHP penentuan prioritas kebijakan.

Tabel 6. Analisis AHP.

RTH 30%	Sosial				Lingkungan				Ekonomi			
	KP	PR	PM	Total	KP	PR	PM	Total	KP	PR	PM	Total
KP	1	3	0,33	0,249	1	7	3	0,669	1	5	3	0,637
PR	0,33	1	0,17	0,095	0,14	1	0,33	0,088	0,20	1	0,33	0,105
PM	3	6	1	0,655	0,33	3	1	0,243	0,33	3	1	0,258
Consistency Ratio	0,018				0,007				0,037			
RTH 30%	Final Result			Ranking								
	Total	Normal										
KP	0,2858	0,5715	1									
PR	0,0457	0,0913	3									
PM	0,686	0,3372	2									

Keterangan : KP= kolaborasi pemangku kepentingan; PR= penguatan regulasi; PM= partisipasi masyarakat

KESIMPULAN

Perhitungan terhadap kebutuhan RTH DKI Jakarta dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu melalui pendekatan 30% dari luas wilayah (sesuai amanat UU) dan melalui pendekatan jumlah penduduk (melalui standar WHO). Pendekatan luas wilayah menjadi pendekatan yang paling baik digunakan di DKI Jakarta mengingat kompleksitas permasalahan dan kegiatan yang terjadi di DKI Jakarta. Pemenuhan RTH DKI Jakarta memiliki berbagai permasalahan antara lain permasalahan dalam aspek teknis, aspek ekonomi, aspek kebijakan dan politik. Permasalahan aspek teknis berupa alih fungsi ruang terbuka hijau untuk pemenuhan kebutuhan masyarakat, aspek ekonomi berupa besarnya pembiayaan dalam pelapasan lahan untuk pembangunan ruang terbuka hijau, serta aspek kebijakan dan politik adalah belum adanya kebijakan yang mengatur dan mengawasi terkait pembangunan RTH DKI Jakarta dan belum adanya dukungan politik yang solid dalam hal tersebut. Sementara dalam upaya pemenuhan persyaratan tersedianya 30% RTH di Jakarta, prioritas kebijakan yang dapat diimplementasikan berdasarkan analisis AHP adalah dengan upaya melakukan kolaborasi antar pemangku kepentingan, peningkatan partisipasi masyarakat dan penguatan regulasi. Hal ini didasarkan dengan mempertimbangkan aspek lingkungan, sosial dan ekonomi masyarakat Jakarta. Upaya perwujudan RTH 30% ini memerlukan perencanaan yang komprehensif dan komitmen politik dari penentu kebijakan terkait. Keduanya merupakan syarat sehingga kebijakan yang diimplementasikan nantinya dapat berlangsung dengan efektif, efisien dan berkesinambungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini dibawah supervisi dari klaster riset sistem sosial, interaksi manusia, dan lingkungan, sekolah ilmu lingkungan Universitas Indonesia. Terima kasih kepada Sindhung Wardana dan Retty Dwi Handayani yang membantu mengolah data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Altunkasa, M. F., & Uslu, C. (2004). The Effects of Urban Green Spaces on House Prices in the Upper Northwest Urban Development Area of Adana (Turkey). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 28(3), 203–209.

Andriani, S., Waryono, T., & Thayib, M. H. (2014). Identifikasi Kawasan Peluang Pemenuhan Target Ruang Terbuka Hijau 30% di DKI Jakarta. *Bumi Lestari*, 14(2).

Anguluri, R., & Narayanan, P. (2017). Role of Green Space in Urban Planning: Outlook Towards Smart Cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 25, 58–65.

Asiani, Y. (2007). *Pengaruh Kondisi Ruang Terbuka Hijau (RTH) pada Iklim Mikro di Kota Bogor*.

Depok. Universitas Indonesia.

Bird, W. (2007). Natural Thinking: Investigating the links Between The Natural Environment, Biodiversity and Mental Health. *Royal Society for the Protection of Birds*.

BPS. (2012). *Jakarta dalam Angka*. Jakarta: BPS Provinsi DKI Jakarta.

BPS. (2015). *Statistik daerah provinsi DKI Jakarta 2015*. Jakarta: Bidang Neraca Wilayah dan Analisis-BPS Provinsi DKI Jakarta.

Coutts, C. J., & Taylor, C. (2011). Guest Commentary: Putting the Capital “E” Environment Into Ecological Models of Health. *Journal of Environmental Health*, 74(4), 26–29.

Cox, W. (2012). World Urban Areas Population and Density: A 2012 Update | Newgeography.com. new geography. Retrieved from <http://www.newgeography.com/content/002808-world-urban-areas-population-and-density-a-2012-update>

Dennis, M., & James, P. (2016). User Participation in Urban Green Commons: Exploring The Links Between Access, Voluntarism, Biodiversity and Well Being. *Urban Forestry & Urban Greening*, 15, 22–31.

Estoque, R. C., Murayama, Y., & Myint, S. W. (2017). Effects of Landscape Composition and Pattern on Land Surface Temperature: An Urban Heat Island Study in The Megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment*, 577, 349–359.

Haq, S. M. A. (2011). Urban Green Spaces and An Integrative Approach to Sustainable Environment. *Journal of Environmental Protection*, 2(5), 601.

Hassim, R. A. (2010). Pengaruh Pengetahuan Tentang Hukum Lingkungan dan Penilaian Atas Regulasi Pemerintah Terhadap Partisipasi Pelaku Industri Dalam Mengelola Kawasan Industri di Kota Singkawang. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Lingkungan dan Pembangunan*, 11(2), 57–81.

Kautsar, L., & Waryono, T. (2017). The return of “Gasoline station-park” status into green-open space in DKI Jakarta Province. 1862, 30197. AIP Publishing.

Mantler, A., & Logan, A. C. (2015). Natural Environments and Mental Health. *Advances in Integrative Medicine*, 2(1), 5–12.

Mbele, M. F. B., & Setiawan, R. P. (2015). Kriteria Penyediaan Ruang Terbuka Hijau Publik Berdasarkan Kebutuhan Oksigen di Kota Malang. *Jurnal Teknik ITS*, 4(2), 1–3. <http://doi.org/10.12962/j23373539.v4i2.10901>

Mutiara, S., & Isami, K. (2012). Characteristic of public small park usage in Asia Pacific countries: case study in Jakarta and Yokohama City. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 35, 412–419.

Novianty, R., Neolaka, A., & Rahmayanti, H. (2012). Evaluasi Mengenai Kuantitas dan Kualitas Ruang Terbuka Hijau Di Wilayah DKI Jakarta. *Jurnal Menara*, VII No. 1.

Paramesti, N. P. D. (2016). Implementasi Kebijakan Rencana Tata Ruang Wilayah dalam Penyediaan Ruang Terbuka Hijau di Kota Administrasi Jakarta Selatan Provinsi DKI Jakarta. *Jurnal Politikologi*, 3, 1–10.

Rawung, F. C. (2015). Efektivitas Ruang Terbuka Hijau (RTH) Dalam Mereduksi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Kawasan Perkotaan Boroko. *Media Matrasain*, 12(2), 17–32.

Richardson, E., Pearce, J., Mitchell, R., Day, P., & Kingham, S. (2010). The Association Between

- Green Space and Cause-Specific Mortality in Urban New Zealand: An Ecological Analysis of Green Space Utility. *BMC Public Health*, 10(1), 240. <http://doi.org/10.1186/1471-2458-10-240>
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytical Hierarchy Process, Planning, Priority. Resource Allocation*. USA: RWS Publications.
- Saaty, T. L. (2010). The Eigenvector in Lay Language. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 2(2). <http://doi.org/10.13033/ijahp.v2i2.87>
- Subarudi, S., & Samsudin, I. (2012). Kajian Kebijakan Hutan Kota: Studi Kasus di Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta (DKI). *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*.
- Suwargana, N. (2005). Deteksi Ruang Terbuka Hijau Menggunakan Teknik Penginderaan Jauh (Studi Kasus: DKI Jakarta). *Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV*.
- Triguero-Mas, M., Dadvand, P., Cirach, M., Martínez, D., Medina, A., Mompert, A., ... Nieuwenhuijsen, M. J. (2015). Natural outdoor environments and mental and physical health: relationships and mechanisms. *Environment International*, 77, 35–41.
- Villeneuve, P. J., Jerrett, M., Su, J. G., Burnett, R. T., Chen, H., Wheeler, A. J., & Goldberg, M. S. (2012). A cohort study relating urban green space with mortality in Ontario, Canada. *Environmental Research*, 115, 51–58.

PERANCANGAN POTENSI LOKASI JEJARING STASIUN PEMANTAU KUALITAS UDARA DI DAERAH URBAN BERBASIS DATA SPASIAL

Studi Kasus di DKI Jakarta

(Design of Potential Location for Air Quality Monitoring Stations Network in Urban Area based on Spatial Data: Case Study DKI Jakarta)

Akhmad Riqqi¹, Ahmad Fawaid¹ dan Driejana²

¹Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung

²Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha 10, Bandung 40132 – Indonesia

Email : akhmad.riqqi@gmail.com

Diterima: 25 September 2018; Direvisi: 3 Januari 2019; Disetujui untuk dipublikasikan: 1 April 2019

ABSTRAK

Kota besar seperti Jakarta memiliki masalah dalam mengelola kualitas udaranya. Dampak pencemaran udara akan mengakibatkan menurunnya kualitas kesehatan masyarakat. Dalam rangka pengendalian pencemaran udara diperlukan model jaringan stasiun pemantauan kualitas udara. Penelitian pemodelan jaringan stasiun pemantau kualitas udara telah dilakukan untuk mencari lokasi yang potensial bagi stasiun pengamatan kualitas udara yang didasarkan pada model densitas populasi penduduk dan variasi spasial sumber pencemar di wilayah Jakarta. Pemodelan jejaring lokasi berpotensi untuk stasiun pemantauan kualitas udara dilakukan dengan dua pentahapan. Tahapan pertama adalah pemilihan lokasi potensi stasiun. Tahapan kedua adalah penyeleksian lokasi potensi stasiun berdasarkan zonasi, kepadatan penduduk, tutupan lahan sekitar, dan kemudahan akses dan perizinan. Pemodelan jaringan pemantauan kualitas udara menghasilkan luaran zona potensi titik pantau serta 81 titik potensi lokasi pemantauan kualitas udara. Potensi titik-titik tersebut diseleksi dengan mempertimbangkan landuse, jarak antartitik, dan kemudahan perizinan untuk mendapatkan 53 lokasi stasiun pemantauan udara untuk seluruh wilayah DKI Jakarta. Hasil pemodelan ini selanjutnya digunakan untuk menempatkan titik pemantauan kualitas udara pada riset *Urban hybriD model for AiR pollution exposure Assessment (UDARA)*.

Kata kunci: Pencemaran udara, model jaringan pemantau kualitas udara, pemilihan lokasi

ABSTRACT

Big cities like Jakarta have problems for managing their air quality, the impact of air pollution will lead to a decline in the quality of public health. In order to monitor air pollution, a network model for air quality monitoring stations is needed. Research has been conducted to find potential locations for air quality observation stations based on population density models and spatial variations of pollutant sources in the Jakarta area. Potential location network modeling for air quality monitoring stations is carried out with two stages. The first stage is the selection of the potential location for the station. The second stage is the selection of potential locations of stations based on zoning, population density, surrounding land cover, and ease of access and permission. Potential location network modeling results in a potential zone of monitoring and 81 points of potential air quality monitoring locations. The potential of these points is selected by considering landuse, distance between points, and ease of licensing to get 53 locations of air monitoring stations for the entire Jakarta area. This result is utilized for siting of air pollutants monitoring as part of Urban hybriD model for AiR pollution exposure Assessment (UDARA).

Keywords: Air pollution, air quality monitoring network model, site selection

PENDAHULUAN

Kota besar seperti Jakarta memiliki masalah dalam mengelola kualitas udaranya. Udara yang bersih merupakan salah satu kebutuhan utama manusia (Soedomo, 2001). Udara yang buruk dapat mengakibatkan menurunnya kualitas lingkungan hidup dan kesehatan masyarakat. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup tahun 2014, tingkat pencemaran udara oleh gas SO₂ dan NO₂ tertinggi terjadi di Jakarta. Menurut WHO (2016) diperkirakan 3,7 juta kematian tiap tahunnya

berkaitan dengan paparan dari pencemaran udara (6,7% dari total kematian dunia). Nampak jelas bahwa dampak pencemaran udara akan mempengaruhi kualitas kesehatan, hal ini membuat perlunya upaya pengendalian pencemaran udara.

Melihat pentingnya masalah pencemaran udara ini, dilakukan riset *Urban hybriD models for AiR pollution exposure Assessment (UDARA, 2018)* oleh Institut Teknologi Bandung (ITB) yang bekerjasama dengan University of Manchester (UoM) melalui skema DIPI-RCUK. Riset ini bertujuan untuk melakukan studi hubungan antara

tingkat konsentrasi pencemaran udara dengan dampaknya terhadap kesehatan manusia. Kondisi hubungan langsung antara konsentrasi pencemar udara dan subjek terdampak disebut eksposur atau pajanan.

Bagian utama dari penelitian UDARA adalah pemodelan konsentrasi pajanan pencemar udara dengan menggunakan pemodelan berbasis spasial (*land-use regression model*) serta hubungannya dengan data kesehatan/angka kejadian penyakit. Untuk keperluan model pajanan pencemar udara tersebut, dibutuhkan banyak lokasi pemantauan pencemaran udara sebagai input pemodelan. Di Jakarta sendiri pada saat ini memiliki 14 stasiun pengamatan kualitas udara (DRI, 2016) yang dirasakan belum cukup untuk keperluan pemodelan pajanan (Driejana, 2009), maka diperlukan pengembangan jaringan titik pemantauan. Penempatan titik pemantauan membutuhkan berbagai pertimbangan terkait faktor-faktor yang berpengaruh terhadap konsentrasi pencemar seperti sumber emisi, populasi penduduk yang berpotensi terpajan, dan masalah teknis di lapangan seperti perijinan dan keamanan titik pemantauan. Makalah ini bertujuan mengeksplorasi metode pemodelan spasial untuk mendapatkan titik-titik lokasi pemantauan yang representatif, dengan mempertimbangkan faktor-faktor lokal yang berpengaruh terhadap tingkat polusi udara.

Sistem jaringan pemantauan kualitas udara dapat berupa stasiun tetap (stasioner) dan bergerak. Pemantauan kualitas udara stasioner memiliki kelemahan, salah satunya adalah rendahnya resolusi spasial karena hanya bergantung pada udara yang melewati titik tersebut (Hansen, 2013). Walaupun demikian, stasiun yang bersifat stasioner memiliki nilai unggul yaitu pengamatannya dapat dilakukan terus menerus dan tidak terkendala cuaca. Keunggulan ini menjadikan metode pemantauan menggunakan stasiun stasioner cocok untuk dilakukan di Indonesia.

Kendala lain yang seringkali ditemukan pada pengembangan sistem pemantauan kualitas udara adalah pembiayaan. Satu stasiun pengamatan kualitas udara yang otomatis di Indonesia dapat menghabiskan dana hingga Rp. 1,1 milyar untuk operasional dan perawatan per tahunnya dan untuk stasiun pengamat kualitas udara manual dapat mencapai Rp. 46 juta per tahunnya (DRI, 2016). Faktor pembiayaan yang mahal menjadi kendala dalam membangun stasiun pengamatan kualitas udara yang rapat agar dapat menghasilkan kualitas informasi dengan resolusi spasial yang tinggi. Hasil dari perancangan potensi jejaring stasiun ini selain diperlukan sebagai input pada *landuse regression model*, juga dapat dimanfaatkan lebih lanjut oleh Pemerintah Daerah terkait agar lokasi pemantauan kualitas udara dapat efektif dan mencakup seluruh wilayah Jakarta.

METODE

Perancangan potensi lokasi stasiun pemantauan kualitas udara dilakukan untuk dapat merapatkan stasiun pengamatan kualitas udara dari yang tersedia (5 stasiun) menjadi setidaknya 60 lokasi atau menambahkan lebih dari 50 lokasi. Metodologi penambahan lokasi dalam jejaring stasiun pengamatan kualitas udara dilakukan dalam dua pentahapan. Metode pada tahapan pertama adalah melakukan inventori lokasi yang berpotensi sebagai stasiun berdasarkan kriteria kemudahan akses dan perizinan. Metode pada tahapan kedua adalah menyeleksi lokasi yang berpotensi tersebut dengan metode zonasi dengan beberapa variabel.

Metode inventori lokasi yang berpotensi sebagai lokasi stasiun pengamatan kualitas udara dipilih berdasarkan kriteria kantor pemerintahan daerah tingkat I dan II, Kantor Dinas Lingkungan Hidup dan Puskesmas terakreditasi. Hasil inventori ini adalah lokasi dari setiap kantor dan fasilitas publik yang ada diseluruh wilayah Jakarta disusun dalam bentuk daftar beserta dengan lokasinya. Daftar ini kemudian menjadi masukan dalam proses selanjutnya.

Metode pada tahap kedua adalah penyeleksian lokasi berdasarkan variabel tutupan lahan, jarak antar stasiun pengamatan, dan densitas populasi. Dalam pembangunan model jaringan pemantauan kualitas udara diperlukan data-data pendukung yaitu: (a) data sistem grid skala ragam ukuran 5"x5" dan 30"x30", (b) data tutupan lahan, (c) data jaringan jalan, (d) data batas administrasi kecamatan, (e) data penduduk kecamatan tahun 2014, (f) data lokasi kantor pemerintahan daerah tingkat 1 dan 2 (Kabupaten/ Kota dan Kecamatan), (g) data lokasi kantor dinas di Provinsi DKI Jakarta, (h) data lokasi titik pemantauan yang telah ada, (i) data lokasi konstruksi yang sedang berjalan di DKI Jakarta tahun 2018. Grid resolusi 5"x5" digunakan untuk pengolahan dan pemodelan kualitas udara di wilayah perkotaan (Driejana, Mayangsari, & Riqqi, 2015), sedangkan untuk resolusi 30"x30" merupakan salah satu data yang digunakan pada metode zonasi agar distribusi titik pantau dapat terdistribusi secara merata.

Model Densitas Populasi

Model densitas populasi penduduk merupakan data yang menampilkan persebaran populasi di suatu wilayah. Model densitas populasi penduduk digunakan sebagai salah satu input untuk pembangunan model zona potensi titik pantau. Model densitas yang digunakan dalam penelitian ini adalah model yang menggunakan sistem grid skala ragam. Sistem grid merupakan sistem yang dapat menyimpan data spasial dan non spasial secara bersamaan. Sistem ini dapat menampilkan data jumlah penduduk dengan skala kecamatan yang merupakan unit administrasi terkecil yang digunakan dalam penelitian ini, serta menampilkan

data spasial yang merepresentasikan fenomena geografis yang bersifat kontinu dan berubah secara gradual seperti ketinggian, jenis tanah, vegetasi, suhu tanah, penggunaan lahan, kualitas udara dan sebagainya (Riqqi, Fitria, Prijatna, Pratama, Egi, & Mahmudy, 2011). Model densitas penduduk yang dikembangkan berdasarkan pada penutup dan penggunaan lahan serta jenis dan panjang jalan. Model fungsional dari densitas populasi dapat dilihat pada **Persamaan 1**.

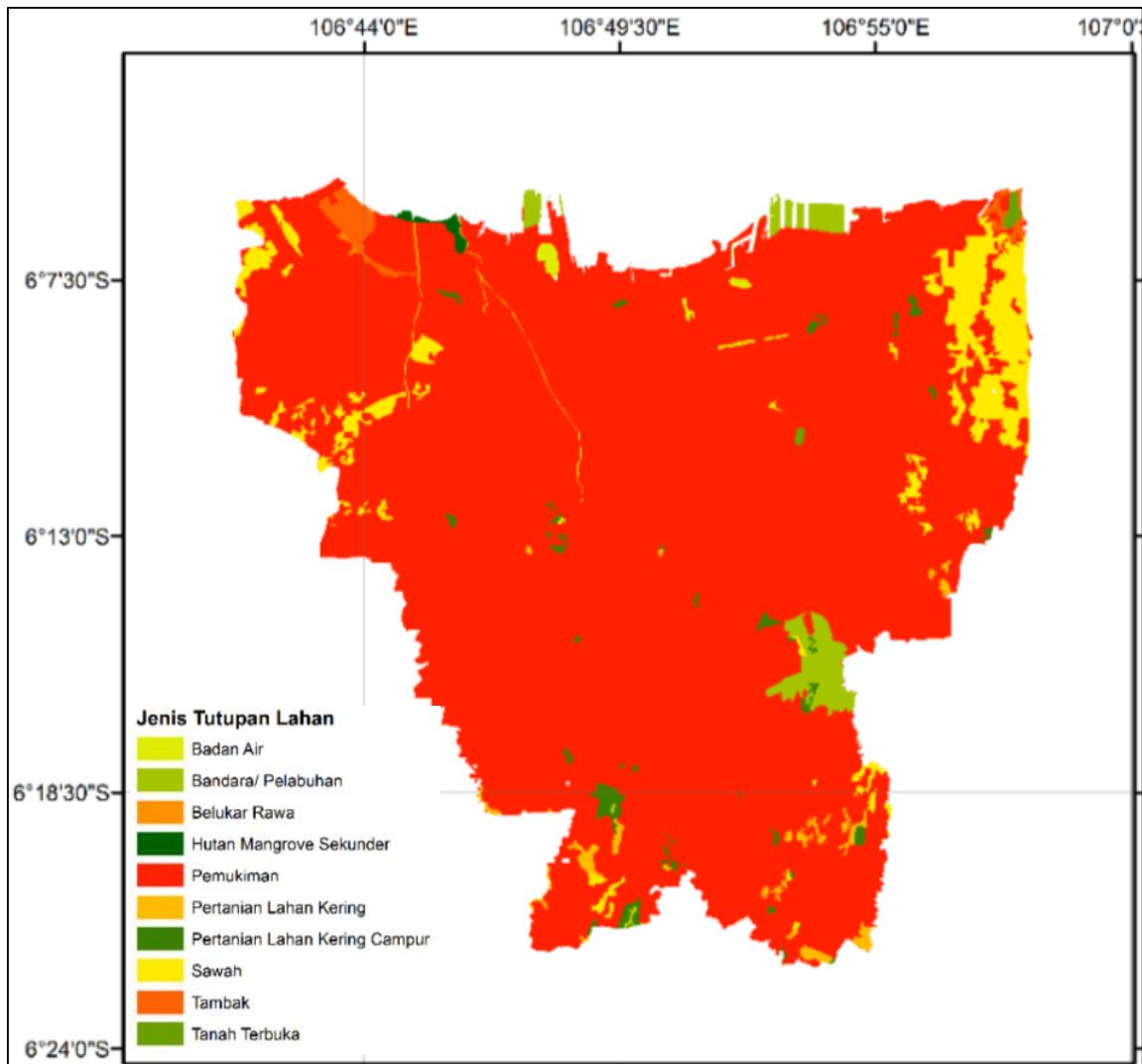
densitas populasi = f(bobot kelas tutupan lahan, kelas tutupan lahan, bobot kelas jalan, panjang kelas jalan) (1)

Dalam pembangunan model distribusi densitas populasi penduduk menggunakan sistem grid skala ragam dilakukan beberapa tahapan pekerjaan. Pertama, inventarisasi dan pengumpulan data yang akan digunakan sebagai masukan dalam pembuatan model distribusi densitas populasi penduduk, seperti data populasi penduduk, tutupan lahan, data jalan, dan data batas administrasi. Kedua, penggabungan data grid dengan data

tutupan lahan, data batas administrasi, dan data jalan yang nantinya digunakan untuk memperoleh luaran model distribusi densitas penduduk. Penggabungan data grid ini bertujuan untuk memperoleh data spasial dan non spasial kedalam unit yang sama. Ketiga, pembuatan model matematis untuk menentukan densitas populasi penduduk di seluruh wilayah Indonesia.

Metode yang digunakan untuk memperoleh densitas populasi penduduk adalah penyajian informasi densitas populasi penduduk yang diwakili oleh perbedaan tipe penggunaan lahan khususnya tipe penggunaan lahan pemukiman dan jenis serta panjang jalan. Model matematis dasar yang digunakan adalah persamaan yang dikemukakan oleh Min, Ming, & Jian, (2002). Pada persamaan yang dikemukakan P (populasi) merupakan fungsi dari A (luas dari setiap jenis tutupan lahan) dan D (densitas pada setiap jenis lahan). Seperti pada **Persamaan 2**.

$$P = \sum_{i=1}^n (A_i \cdot D_i) \dots\dots\dots(2)$$



Gambar 1. Peta tutupan lahan DKI Jakarta.

Persamaan Min, Ming, & Jian, (2002) tersebut kemudian dikembangkan dengan menggunakan variabel panjang (P) dan jenis jalan (J). Setelah ditambahkan variabel jalan (lihat **Persamaan 3**).

$$P = \sum_{i=1}^n (w_1 \cdot A_i \cdot D_i + w_2 \cdot P_i \cdot J_i) \dots\dots\dots (3)$$

Untuk pembuatan model matematis distribusi densitas populasi penduduk, diperlukan pembobotan terhadap data tutupan lahan (w_1) dan pembobotan data jalan (w_2). Bobot yang diberikan pada masing-masing kelas lahan ditentukan berdasarkan kemungkinan padatnya penduduk di suatu penggunaan lahan tertentu. Semakin tinggi tingkat kemungkinan populasi penduduknya, maka bobot yang diberikan juga akan semakin besar. Besaran bobot ditentukan berdasarkan nilai fungsi lahan (Riqqi, 2008). Bobot jalan menggunakan nilai korelasi antara jenis jalan dengan populasi per-kecamatan, sedangkan untuk keduanya memiliki bobot untuk penggunaan lahan dan persentase jalan yaitu 75% dan 25% (Rusdi, 2014). Peta tutupan lahan yang digunakan untuk penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Peta ini menunjukkan sebaran penggunaan lahan yang ada di wilayah DKI Jakarta. Pada peta ini ditambahkan kelas klasifikasi untuk pemukiman, yaitu pemukiman padat serta hunian vertikal (dalam hal ini apartemen atau rumah susun). Perolehan data untuk pemukiman ini dilakukan secara visual pada citra resolusi tinggi. Pemukiman padat yang terlihat pada citra satelit adalah pemukiman yang memiliki pola yang tidak rapi dan jarak antar atap rumah rapat (Akbar, 2013).

Inventori Lokasi Berpotensi

Berdasarkan pengalaman UoM dalam riset *European Study of Cohorts for Air Pollution Effects* (ESCAPE, 2014) di *Greater Manchester*, terdapat 3 parameter utama dalam pemilihan lokasi untuk stasiun pemantauan kualitas udara. Parameter tersebut adalah (a) lokasi terpilih harus mewakili (merepresentasikan) antisipasi dari variasi spasial pencemaran udara dari rumah penduduk, (b) lokasi harus terdistribusi secara luas sebanding dengan distribusi populasi, dan (c) lokasi terpilih harus mencakup wilayah studi dengan jumlah yang mencukupi.

Dari ketiga parameter tersebut, 2 parameter pertama menjadi fokus dalam menentukan lokasi pemantauan kualitas udara di wilayah Jakarta. Parameter pertama berkaitan dengan sumber pencemar utama di wilayah perkotaan yaitu sumber pencemar lalu lintas jalan. Berdasarkan pada parameter ini, calon lokasi stasiun harus dekat dengan jalan. Kriteria dekat dengan jalan disyaratkan berdasarkan pada pengalaman dari penelitian ESCAPE menggunakan metode regresi tutupan lahan menunjukkan korelasi kuat antara intensitas lalu lintas dengan konsentrasi NO₂ dan PM₁₀ dengan jangkauan radius 50-200m (Eeftens et al., 2012).

Parameter kedua berkaitan dengan distribusi densitas populasi penduduk. Kriteria pemilihan lokasi harus dapat merepresentasikan pola densitas yang beragam. Parameter ketiga berkaitan dengan distribusi yang merata dan melingkupi seluruh wilayah studi. Untuk parameter ketiga ini ditetapkan kriteria zonasi berdasarkan pada grid ukuran 30” dan jarak antar stasiun pengamatan. Parameter ketiga ini dilakukan pada tahap kedua.

Menurut Driejana et al (2015), dalam studi terkait model efek pencemaran udara khususnya di wilayah Jakarta selain dari kriteria tersebut ada pertimbangan tambahan yaitu terkait keamanan dan perizinan dari lokasi stasiun pemantauan kualitas udara. Keamanan lokasi terpilih mengacu kepada biaya yang besar baik dalam perawatan maupun operasional tiap titik pemantauan kualitas udara. Sedangkan kemudahan dalam pengurusan izin untuk menempatkan stasiun lokasi pemantauan kualitas udara menjadi hal penting agar pemantauan kualitas udara dapat segera terlaksana.

Inventori lokasi berpotensi dilakukan berdasarkan pada parameter diatas. Berdasarkan pada parameter, kriteria dan pertimbangan tersebut maka dilakukan inventori lokasi berpotensi terhadap: (a) lokasi kantor pemerintahan daerah provinsi, kota, dan kecamatan, (b) kantor Dinas Lingkungan Hidup, (c) lokasi Puskesmas terakreditasi diseluruh DKI Jakarta. Setelah inventori lokasi berpotensi dilakukan, diperoleh 81 lokasi berpotensi untuk stasiun pengamatan kualitas udara.

Penyeleksian Lokasi

Penyeleksian lokasi dimaksudkan untuk memilah agar lokasi pemantauan terdistribusi secara merata, mewakili beberapa karakter kawasan di seluruh wilayah Jakarta. Penyeleksian lokasi berawal dari 81 lokasi yang berpotensi menjadi sekitar 50 lokasi. Upaya untuk menjadikan lokasi stasiun tersebar merata di wilayah Jakarta dilakukan dengan metode zonasi. Sementara itu, untuk memperoleh lokasi yang mewakili karakteristik kawasan dilakukan dengan metode skoring.

Metode zonasi dilakukan dengan menggunakan sistem grid skala ragam dengan resolusi 30”, sistem ini membagi wilayah Jakarta menjadi 50 unit grid. Jumlah 50 grid hampir sama dengan jumlah kebutuhan tambahan dari jumlah stasiun pemantauan kualitas udara yang akan ditempatkan di wilayah Jakarta. Namun demikian ada 10 lokasi stasiun yang telah ada.

Metode skoring dibangun untuk menilai lokasi berpotensi berdasarkan pada parameter: (a) jarak dari kantor pemerintah, (b) densitas populasi, (c) jarak dari stasiun pengamatan kualitas udara yang sudah ada, dan (d) lokasi konstruksi. Dalam menyusun metode skoring ini, ada tahapan yang dilakukan yaitu: (1) penyusunan kelas dan skor

untuk setiap parameter dan (2) penyusunan bobot untuk setiap parameter.

Penyusunan kelas pada setiap parameter dibagi menjadi empat kelas kesesuaian lokasi terdiri atas: S1 berarti sangat sesuai, S2 berarti cukup sesuai, S3 berarti sesuai marjinal dan N berarti tidak sesuai. Nilai untuk skor ditentukan dari nilai 1 hingga 4 (**Tabel 1**).

Tabel 1. Kelas dan skor.

No	Parameter	Jangkauan Buffer (dalam meter)	Kelas Kategori	Nilai
1	Kantor Pemerintahan	900	S1	4
		1800	S2	3
		2700	S3	2
		3600	N	1
2	Densitas Populasi	kelas terendah	N	1
		kelas berikutnya	S3	2
		kelas berikutnya	S2	3
		kelas tertinggi	S1	4
3	Existing Station	900	N	1
		1800	S3	2
		2700	S2	3
		3600	S1	4
4	Lokasi Konstruksi	900	S1	4
		1800	S2	3
		2700	S3	2
		3600	N	1

Sumber : hasil analisis, 2018

Penyusunan bobot untuk setiap parameter menggunakan metode. *Pairwise Comparison* (Saaty,1980). Metode ini merupakan teori pengukuran dalam menemukan skala rasio, baik dari perbandingan berpasangan (*pairwise*) skala diskrit atau kontinyu. Proses metode ini terdiri atas: (a) penyusunan *matriks pairwise comparison*, (b) menghitung bobot atau rangking, (c) mengevaluasi konsistensi bobot dengan *Consistency Ratio (CR)* dan *Random Index (RI)*. Hasil pengujian konsistensi menghasilkan nilai CR sebesar 0.83 % atau jauh lebih kecil dari nilai ambang batas umum sebesar 10%. Sehingga bobot yang dihasilkan dapat disimpulkan konsisten. Hasil bobot antar parameter dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Pembobotan parameter.

Parameter	Bobot
Densitas Populasi	0.14
Kantor Pemerintahan	0.53
Existing Station	0.27
Lokasi Konstruksi	0.06

Sumber : hasil analisis, 2018

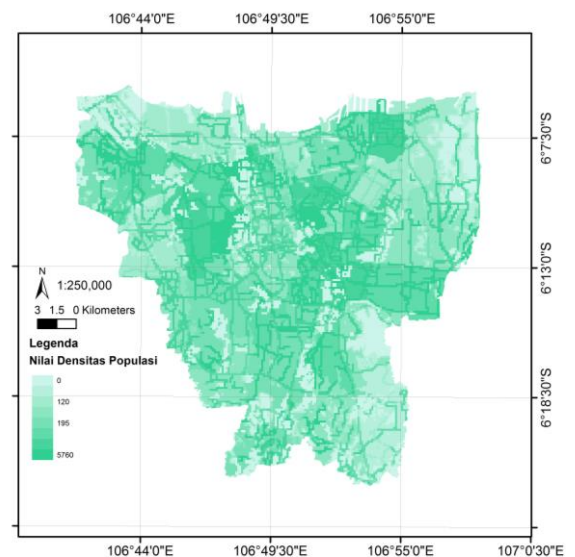
Seleksi titik potensi dilakukan dengan melakukan *overlay* antara model zonasi potensi titik pantau dengan model hasil metode skoring. Pertimbangan lain dalam penseleksian antara lain: keterwakilan penggunaan tanah. Dialokasikan bahwa penempatan stasiun pengamat kualitas udara berada pada pemukiman, komersial, industri dan jalan, pertimbangan kemudahan perizinan berkaitan dengan administrasi izin dalam pemasangan titik, dan jarak antar stasiun

pengamatan kualitas udara baik *existing* maupun potensi lokasi.

Pemasangan alat pada stasiun pengamatan kualitas udara juga mempertimbangkan beberapa kebutuhan teknis, seperti alat membutuhkan listrik sebesar minimal 5 volt dan tempat agak terbuka. Keamanan juga menjadi pertimbangan, diantaranya adalah titik pantau diusahakan bukan merupakan tempat orang-orang yang berlalu lalang dan stabil apabila untuk penempatan alat-alat pengamatan dan lainnya.

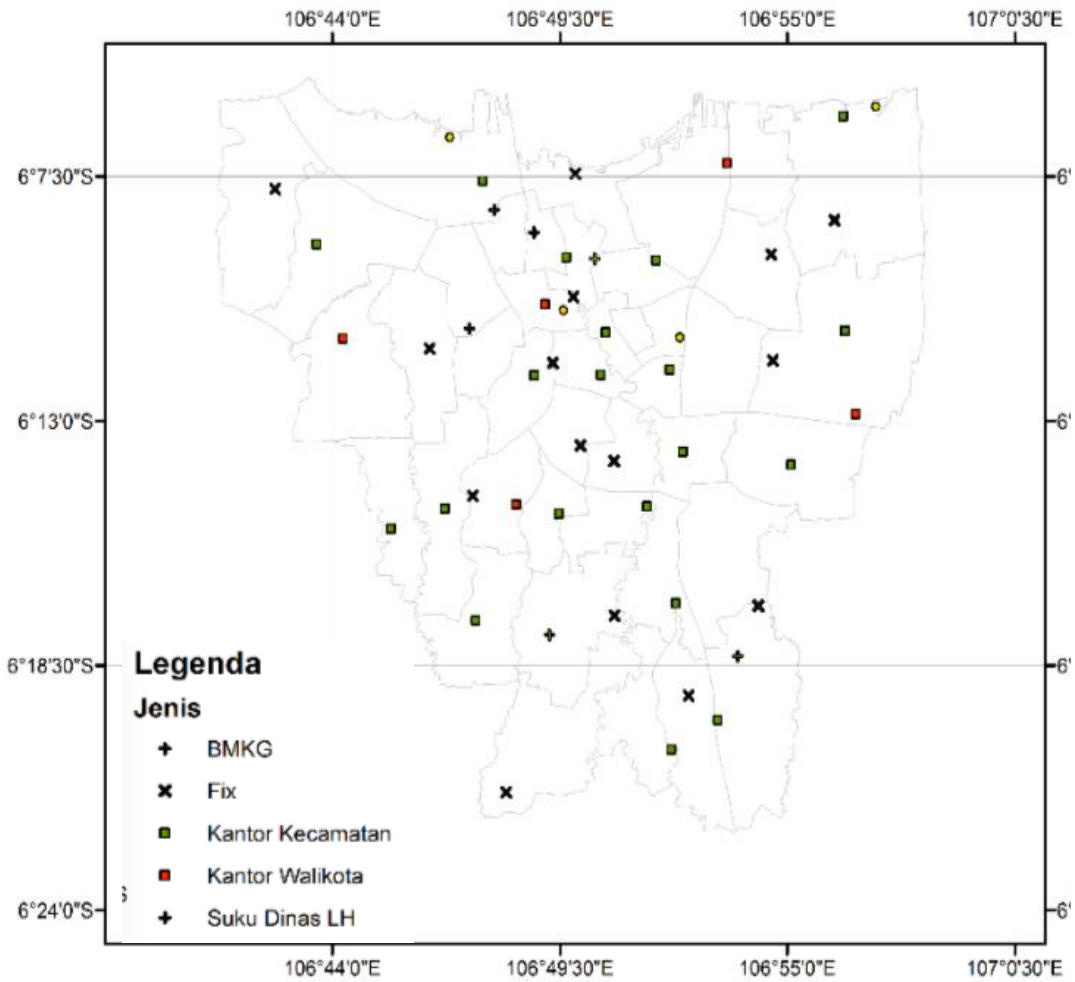
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan diawali dengan memperlihatkan beberapa model atau data masukan bagi penentuan lokasi stasiun pengamatan kualitas udara. Pembahasan diawali dengan model densitas populasi kemudian dilanjutkan hasil inventori, model zonasi grid, hasil metode skoring. Pemodelan densitas populasi penduduk di wilayah Jakarta dilakukan dengan mendistribusikan data statistik jumlah penduduk kedalam sistem grid skala ragam dengan resolusi 5"x5". Pemilihan grid dengan resolusi 5"x5" ini dilakukan agar hasil yang didapatkan memiliki akurasi yang lebih baik dan dapat lebih merepresentasikan keadaan yang sebenarnya. Hasil pemodelan densitas populasi penduduk ini disajikan pada **Gambar 2**.

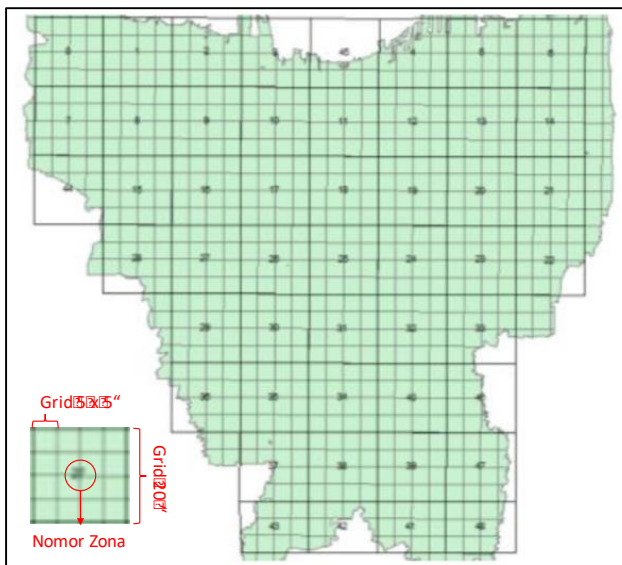


Gambar 2. Model Densitas Populasi.

Gambar 2 memperlihatkan hasil densitas populasi penduduk di DKI Jakarta. Semakin gelap warna suatu daerah, maka semakin tinggi jumlah penduduk di daerah tersebut. Sebaliknya, bila warna suatu daerah semakin terang, maka jumlah penduduknya semakin sedikit. Dari hasil tersebut, dapat dilihat bahwa model densitas penduduk yang telah dibuat mencerminkan keadaan yang sebenarnya. Daerah yang memiliki densitas tinggi (berwarna gelap) di sekitar Jakarta Timur sebelah Barat, Jakarta Pusat, Jakarta Utara sebelah Selatan serta Jakarta Barat sebelah Timur.



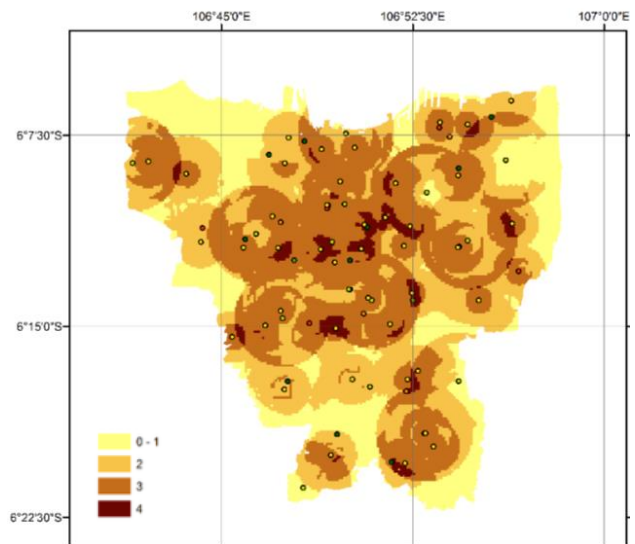
Gambar 3. Sebaran 81 lokasi berpotensi.



Gambar 4. Model Zonasi Grid.

Berdasarkan pada hasil inventori diperoleh 81 lokasi berpotensi, yang terdiri atas 47 lokasi kantor walikota dan kantor kecamatan, 6 lokasi Dinas dan Suku Dinas Lingkungan Hidup, dan 28 lokasi lainnya berupa Puskemas dan kantor lainnya. Pola distribusi lokasi berpotensi menurut jenisnya dapat dilihat pada Gambar 3. Sebaran hampir merata untuk seluruh wilayah Jakarta.

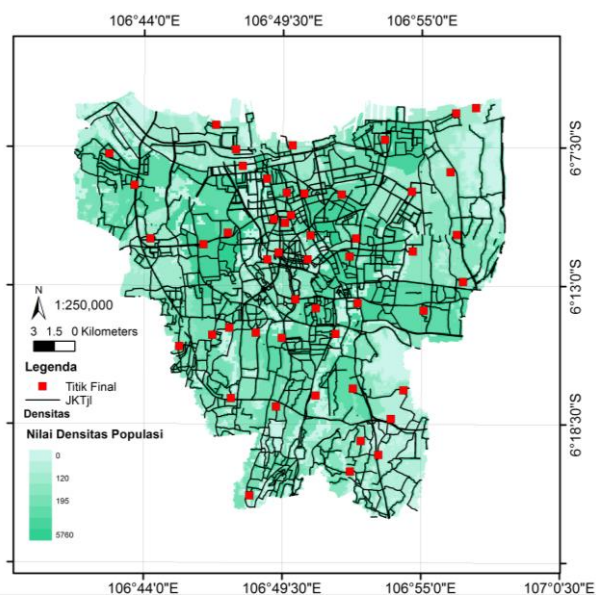
Untuk memperoleh sebaran lokasi stasiun yang merata untuk wilayah Jakarta, dibangun sistem grid dengan resolusi 20” dari sistem grid skala ragam. Hasilnya berupa model zonasi grid pada Gambar 4. Pemodelan zona potensi titik pantau menggunakan 4 parameter utama dan 2 parameter sebagai syarat tambahan. Hasil dari metode skoring dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Skor untuk potensi stasiun.

Dalam melakukan asumsi tingkat prioritas tentunya diperlukan perspektif dari stakeholder ataupun ahli yang berkaitan dalam bidang lingkungan khususnya udara dan para ahli bidang kesehatan. Pembobotan tersebut dimaksudkan agar hasil pemodelan sesuai dengan harapan peneliti udara yang berkesesuaian dengan kondisi lapangan dan permintaan *stakeholder*. Pemasangan stasiun yang efektif atau sesuai kriteria serta mampu merepresentasikan populasi dengan model densitas penduduk yaitu berada pada daerah tengah DKI Jakarta (Jakarta Pusat, Jakarta Timur sebelah barat, Jakarta Barat sebelah timur dan Jakarta Utara sebelah selatan), seperti terlihat pada **Gambar 5**.

Skor yang cukup tinggi di wilayah Jakarta Pusat dikarenakan sebaran kantor pemerintahan yang memiliki bobot cukup besar terkonsentrasi di Jakarta Pusat. Terdapat 9 kantor pemerintahan di Jakarta Pusat yang tercatat dan memiliki wilayah lebih sempit dibandingkan wilayah lain. Kantor pemerintahan yang ada di Jakarta Timur, Jakarta Selatan, Jakarta Barat dan Jakarta Utara banyak tersebar dekat dengan Jakarta Pusat.



Gambar 6. Sebaran stasiun pengamat kualitas udara tambahan.

Gambar 6 menunjukkan sebaran 53 potensi lokasi dari stasiun pemantauan kualitas udara yang tersebar cukup merata seperti di Jakarta Timur. Sedikit wilayah di Jakarta Barat sebelah barat tidak terdapat lokasi pemantauan. Hasil *multicriteria assessment* menunjukkan kategori dengan skor tinggi terdapat di sekitar Jakarta Pusat dan Jakarta Timur. Zonasi tutupan lahan di daerah tersebut juga terwakili oleh lokasi di sekitarnya seperti Kantor Walikota Jakarta Barat ataupun Kantor Kecamatan di sekitarnya. Dapat dilihat jarak antar titik stasiun tidak terlalu berdekatan dan tidak juga terlalu berjauhan. Jarak ini menunjukkan keefektifan lokasi tersebut karena jaring pemantauan kualitas udara tersebar merata di seluruh wilayah DKI Jakarta.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis pemodelan jaringan pemantauan kualitas udara diperoleh beberapa kesimpulan. Pertama, model zona potensi titik pantau dibantu dengan grid resolusi 30'x30' dapat memberikan sebaran lokasi stasiun rencana secara merata dan efektif. Kedua, pemilihan lokasi dengan metode pemodelan spasial yang disintesiskan dapat merekomendasikan lokasi pemantauan kualitas udara yang efektif untuk suatu wilayah perkotaan yang besar dan kompleks. Model ini telah berhasil menjaring lokasi potensi pemantauan kualitas udara dari 81 titik menjadi 53 potensi lokasi pemantauan kualitas udara di DKI Jakarta.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini merupakan bagian awal dari penelitian *Urban hybrid models for Air pollution exposure Assessment (UDARA)* yang merupakan *join-research collaboration* antara Institut Teknologi Bandung dan the University of Manchester melalui skema *Newton Fund* yang didanai DIPI-LPDP (Dana Ilmu Pengetahuan Indonesia – Lembaga Pengelola Dana Pendidikan) dan NERC-RCUK (*National Environmental Research Council - Research Council UK*). Penulis mengucapkan terima kasih kepada para pihak yang telah memfasilitasi penelitian ini, yaitu Pemda Prov. DKI Jakarta, dan Prof Sarah Lindley dan Dr. Anna Molter (*University of Manchester*) atas masukannya yang berharga dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, R. (2013). *Pembangunan Model Populasi Penduduk dengan Sistem Grid Skala Ragam*. ITB.
- DRI. (2016). *Air Quality Monitoring System Assessment Report and Recommendations for DKI Jakarta. Breath Easy Jakarta Project*.
- Driejana. (2009). Identifying Gaps and Needs in the Development of a National Air Quality Management Policy in Indonesia. In *Proceedings of International Conference on Air Quality Management in South East Asia*. Bangkok: Asian Institute of Technology.
- Driejana, Mayangsari, M., & Riqqi, A. (2015). 30"-Grid Resolution Of Domestic Emission Mapping In Bandung City. In *Proceedings of Environmental Technology and Management Conference (ETMC)*. Bandung.
- Eeftens, M., Tsai, M., Ampe, C., Anwander, B., Beelen, R., Bellander, T., ... Hoek, G. (2012). Spatial Variation of PM_{2.5}, PM₁₀, PM_{2.5} Absorbance and PM Coarse Concentrations Between and Within 20 European Study Areas and the Relationship with NO₂ e Results of the ESCAPE Project, 62. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.08.038>
- ESCAPE. (2014). *European Study for Cohort of Air Pollution Effects*. Retrieved from <http://www.escapeproject.eu/>
- Hansen, K. (2013). *More People More Air Pollution*. NASA Earth Science News Team.
- Min, L. A., Ming, L. C., & Jian, L. Z. (2002). Modeling Middle Urban Population Density with Remote

- Sensing Imagery. In *Symposium on Geospatial Theory, Processing and Application*.
- Riqqi, A. (2008). *Pengembangan Model Distribusi Populasi Penduduk pada Sistem Grid Skala Ragam untuk Pengelolaan Wilayah Pesisir*. Institut Teknologi Bandung.
- Riqqi, A., Fitria, A., Prijatna, K., Pratama, Egi, R., & Mahmudy, J. (2011). Indonesian Multiscale Grid System for Environmental Data. In *Asian Geospasial Forum (AGF)*. Jakarta.
- Rusdi, S. (2014). *Pembangunan Model Distribusi Populasi Penduduk Resolusi Tinggi untuk Wilayah Indonesia Menggunakan Sistem Grid Skala Ragam*. Institut Teknologi Bandung.
- Soedomo, M. (2001). *Pencemaran Udara*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- UDARA. (2018). *Urban Hybrid Models for Air Pollution Exposure Assessment*.
- WHO. (2016). *Ambient Air Pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. World Health Organization.
<http://doi.org/https://doi.org/9789241511353>

TEKNIK GEOVISUALISASI UNTUK PERCEPATAN PEMETAAN BATAS DESA DI DAERAH BERBUKIT

Studi Kasus di Desa Terong, Kecamatan Dlingo

(*Geovisualization Technique for Acceleration of Village Boundary Mapping in Hilly Areas,
A Case Study in Terong Village, Dlingo Sub-district*)

Totok W. Wibowo, Nafian Ambhika dan Abimanyu P. Pratama

Departemen Sains Informasi Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

Jl. Sekip Utara, Bulaksumur, Yogyakarta 55281 Indonesia

E-mail: totok.wahyu@ugm.ac.id

Diterima: 16 Agustus 2018; Direvisi: 24 September 2018; Disetujui untuk dipublikasikan: 21 Maret 2019

ABSTRAK

Pemetaan desa menjadi salah satu fondasi untuk melakukan pembangunan desa. Metode kartometrik menjadi cara yang banyak digunakan untuk menarik batas desa yang didukung dengan berbagai macam data geospasial misalnya Citra Satelit Resolusi Tinggi (CSRT) dan *Digital Elevation Model* (DEM). Peta kerja yang digunakan sebagai data utama dalam diskusi para pemangku kepentingan untuk menarik batas desa, semestinya disusun secara optimal untuk mempermudah penarikan garis batas. Umumnya pengenalan batas desa pada daerah perkotaan terbantu dengan penggunaan CSRT, karena objek yang menjadi penanda batas mudah dikenali. Namun demikian, pada daerah berbukit pengenalan batas desa dari CSRT relatif lebih sulit dilakukan, karena minimnya unsur buatan manusia yang umumnya menjadi penanda batas. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimalisasi peta kerja dengan memanfaatkan kombinasi geovisualisasi 2D, 2,5D, dan 3D untuk penarikan garis batas desa pada daerah berbukit. Geovisualisasi tersebut didukung dengan menggunakan data DEMNAS untuk menghasilkan *hillshade* yang disajikan dengan teknik *multi hillshade*. DEMNAS digunakan karena memiliki resolusi spasial yang cukup tinggi (*0.27-arcsecond*) dan bersifat *open access*. Data lain yang digunakan adalah CSRT, peta kontur, dan peta jaringan sungai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam penarikan batas desa pada daerah berbukit, diperlukan peta kerja yang menggabungkan geovisualisasi dari berbagai dimensi. Dalam hal ini visualisasi 2,5D dan 3D dapat membantu pengenalan objek perbukitan seperti punggung dan lembah, sehingga delineasi dapat dilakukan dengan lebih mudah. Informasi tambahan seperti adanya data pilar batas dan ketersediaan sumber daya manusia yang mengerti batas desa akan semakin mempermudah proses penarikan garis batas desa.

Kata kunci: Batas desa, CSRT, geovisualisasi, DEMNAS, *hillshade*

ABSTRACT

Village mapping is important for carrying out village development. Cartometric is a widely used method to draw village boundaries which are supported by various types of geospatial data, such as high-resolution satellite imagery (CSRT) and Digital Elevation Model (DEM). The work map that is used as the primary data in stakeholder discussions to draw village boundaries should be arranged as optimally as possible to facilitate the drawing of boundaries. In general, the recognition of village boundaries in urban areas is aided by using CSRT, due to boundaries objects are easily recognized. However, the identification of hilly village boundaries from CSRT is relatively more difficult due to the lack of artificial features which generally become boundary markers. This study aims to optimize work maps by utilizing 2D, 2.5D, and 3D geovisualization combinations to draw hilly village boundaries. The geovisualization assisted by using DEMNAS data to generate hillshade which has presented with multi hillshade techniques. DEMNAS is used as the primary data because it has a fairly high spatial resolution (0.27-arcsecond) and is open access. This research also used CSRT, contour maps, and river network maps. The results of the study show that a working map which combines geovisualization from various dimensions is needed. In this case, the 2.5D and 3D visualization can considerably aid the identification of hilly objects such as ridge and valleys. Additional information such as the availability of boundary pillars and the availability of people who understand village boundaries will further facilitate the process of village boundary drawing.

Keywords: Village boundary, CSRT, geovisualization, DEMNAS, *hillshade*

PENDAHULUAN

Pembangunan desa merupakan salah satu prioritas pemerintah dalam upaya untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Salah

satu fondasi dari pembangunan desa adalah tersedianya peta desa. Kajian maupun praktik terkait pemetaan desa saat ini memang sangat gencar dilakukan karena jumlah desa di Indonesia sangat banyak.

Desa adalah satuan unit administrasi pemerintahan terkecil yang berperan dalam pembangunan di daerah. Upaya desentralisasi yang dilakukan oleh pemerintah salah satunya didukung dengan adanya UU No. 6 Tahun 2014 tentang Desa (RI, 2014). Studi menunjukkan bahwa persiapan pemerintah desa masih kurang maksimal karena adanya keterbatasan waktu dalam persiapan administrasi, kurangnya pemahaman isi undang-undang sebagai dasar aturan, dan sumber daya manusia (SDM) yang kurang mendukung (Rahmawati, Ayudiaty, & Surifah, 2015). Kondisi ini menyebabkan pemerintah desa membutuhkan dukungan dari berbagai pihak untuk dapat membangun desa.

Salah satu persoalan dalam pembentukan desa, sebagaimana tercantum dalam Pasal 8 ayat 3(f) adalah adanya batas wilayah desa yang dinyatakan dalam bentuk peta desa dan telah ditetapkan dalam peraturan Bupati/Walikota. Teknis pelaksanaan penetapan batas desa telah ditetapkan melalui Permendagri No. 45 Tahun 2016 (Kemendagri, 2016). Lampiran dari Permendagri tersebut memuat teknis penarikan batas desa. Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial menjabarkan spesifikasi teknis penyajian peta desa (BIG, 2016). Spesifikasi teknis tersebut digunakan sebagai rujukan dalam penyajian peta desa yang berfungsi untuk menyeragamkan isi dan tampilan peta desa agar sesuai dengan kebijakan satu peta yang dicanangkan pemerintah.

Kartometrik menjadi salah satu metode yang digunakan dalam penyusunan batas desa (Riadi & Makmuriyanto, 2014). Data primer untuk pemetaan desa umumnya adalah Citra Satelit Resolusi Tinggi (CSRT) yang memudahkan pengenalan penanda batas desa. Citra satelit tersebut dapat digunakan untuk pembuatan peta kerja yang sebagai masukan (*input*) pelacakan batas, sesuai kesepakatan antar desa yang berbatasan. Data pendukung lain yang umumnya digunakan ialah *Digital Elevation Model* (DEM) dan hasil pengamatan langsung di lapangan dengan menggunakan *Global Navigation Satellite System* (GNSS) (Riadi & Soleman, 2011). Selanjutnya, berdasarkan dari garis batas yang telah ditetapkan dapat tentukan koordinat titik-titik batas yang umumnya ditegaskan menggunakan pilar di lapangan.

Dukungan awal data batas wilayah dapat diperoleh dari Peta Rupabumi Indonesia (RBI), meskipun tingkat kerincian untuk setiap wilayah di Indonesia berbeda-beda. Batas indikatif dari Peta RBI dapat digunakan sebagai acuan awal untuk mendapatkan batas daerah yang disepakati. Tingkat kerincian (skala) Peta RBI yang lebih rendah dari peta desa harus diperhatikan dalam penarikan batas. Kombinasi dengan data yang memiliki tingkat kerincian lebih tinggi dapat menjadi solusi untuk tetap menyesuaikan dengan skala peta desa yang maksimum ditampilkan pada skala 1:10.000. Hasil kajian Riadi & Rachma (2017) menunjukkan bahwa batas desa pada peta RBI

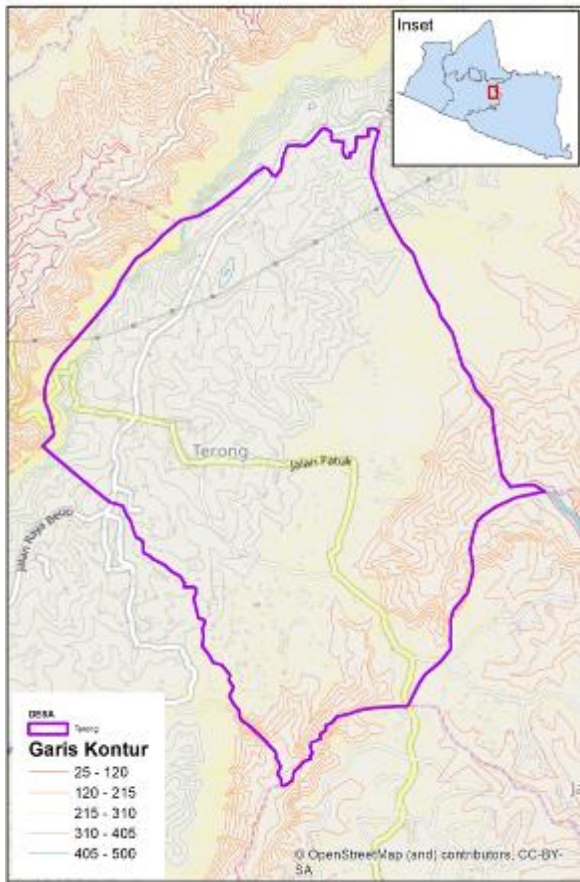
skala 1:25.000 dapat digunakan sebagai dasar penarikan garis batas yang lebih rinci. Namun demikian perlu diperhatikan tahun pembuatan data tersebut, mengingat telah terjadi pemekaran wilayah di berbagai daerah yang tentunya memiliki batas yang berbeda.

Saat ini metode kartometrik menjadi cara yang efektif dalam penyusunan peta desa, umumnya terkait dengan batas desa. Terlebih jika pihak yang terkait dapat melihat bersama-sama proses penarikan batas dan menyetujui hasilnya. Forum diskusi secara berkelompok umum digunakan dalam menentukan batas desa di atas peta kerja. Oleh karena itu diperlukan peta kerja yang disusun khusus untuk mengenali batas desa. Desain peta kerja tersebut harus memperhatikan peserta dalam forum diskusi, agar informasi dapat disampaikan dengan efektif.

Pengenalan objek dalam Citra Satelit Resolusi Tinggi sangat mudah dilakukan, terutama untuk daerah dengan topografi datar. Pada daerah dengan topografi berbukit dan bergunung, penentuan penanda batas wilayah justru kurang terlihat pada citra satelit karena objek yang tersajikan terlalu kompleks. Kondisi tersebut dapat dilengkapi dengan data DEM untuk menonjolkan visualisasi tiga dimensi (3D) dari daerah kajian misalnya punggung bukit. Kuantifikasi bentuk dan struktur topografis dapat diperoleh dari hasil pengolahan data DEM (Peterson, 2010; Slocum, McMaster, Kessler, & Howard, 2008). Inisiasi atas hal ini telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, yang dalam praktiknya menggunakan salah satu turunan DEM yaitu *hillshade* untuk menentukan batas wilayah Kota Gorontalo (Riadi & Soleman, 2011). Namun demikian teknik *hillshade* yang digunakan masih terbatas tampilan *default* perangkat lunak, yang hanya menampilkan satu macam informasi saja. Teknik tersebut memiliki kekurangan untuk penarikan batas pada daerah berbukit karena sudut sinar datang hanya berasal dari satu arah saja. Jika batas desa terletak di belakang bukit maka akan sulit melakukan penarikan garis batas, oleh karena adanya bayangan bukit.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan eksplorasi lebih lanjut terkait upaya geovisualisasi dalam berbagai dimensi untuk membantu identifikasi batas desa di wilayah berbukit. Pemilihan lokasi kajian disesuaikan dengan tujuan penelitian yaitu pemetaan batas desa pada wilayah berbukit sehingga dipilih desa dengan topografi berbukit. Desa Terong yang terletak di Kecamatan Dlingo, Kabupaten Bantul dipilih sebagai lokasi untuk penelitian. Desa Terong terletak di wilayah Perbukitan Baturagung yang secara relatif berada di sebelah timur Kabupaten Bantul. Pada **Gambar 1** dapat terlihat bahwa Desa Terong memiliki garis kontur yang sangat rapat pada batas desanya, utamanya di bagian barat. Menurut data elevasi pada data DEM, diketahui bahwa rentang ketinggian di Desa Terong antara 97 – 423 mdpl. Jika merujuk pada klasifikasi Takeuchi & Yamada

(2002) maka rentang ketinggian tersebut termasuk morfografi perbukitan.



Gambar 1. Daerah penelitian.

METODE

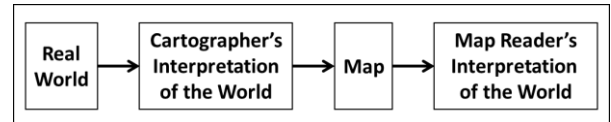
Geovisualisasi

Data dan informasi dapat disajikan dalam berbagai cara antara lain tabel, diagram, dan peta. Penyajian dalam bentuk peta memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan bentuk lain, khususnya untuk data yang berhubungan dengan lokasi, distribusi, dan keruangan. Penyajian data dalam bentuk peta dapat mempermudah dan mempercepat pemahaman pengguna serta memberikan gambaran yang jelas dari apa yang disajikan tersebut.

Peta dapat diibaratkan sebagai alat komunikasi, yang mana peta berisikan sinyal yang dibuat oleh pengirim pesan (pembuat peta), kemudian penerima pesan (pengguna peta) dengan mengartikan simbol sebagai bahasa komunikasi (Kraak & Ormeling, 2010). Simbol pada peta memegang peranan penting, karena dari simbol itu pula isi peta dapat diketahui dan dimengerti. Pemikiran kartograf terkait komunikasi informasi ini bermula dari tulisan (Harris & Robinson, 2006). Alur komunikasi tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Teknologi visualisasi saat ini memang berkembang pesat sejalan dengan perkembangan dalam ranah teknologi informasi. Salah satu teknologi visualisasi data/informasi geospasial ialah

dengan menampilkannya dalam wujud 3D, baik secara manual maupun digital. Visualisasi 3D secara digital ternyata bukan hal yang baru berkembang dalam beberapa tahun terakhir, karena kali pertama tampilan 3D divisualisasikan dalam komputer sudah dilakukan oleh Ivan Sutherland pada tahun 1963 (Sheperd, 2008). Namun, perkembangan penggunaan 3D dalam visualisasi terhambat oleh mahalnya piranti keras pendukung sehingga baru pada tahun 1990-an mencapai terobosan yang signifikan.



Gambar 2. Alur komunikasi dalam pembuatan dan penggunaan peta.

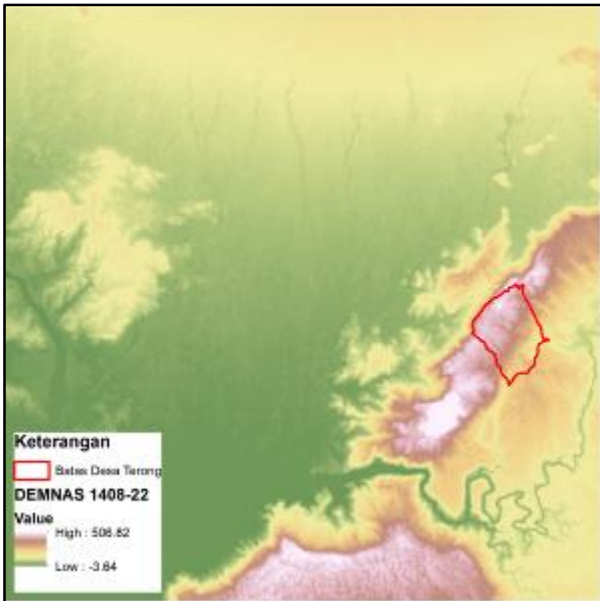
Keunggulan tampilan 3D ialah kemampuannya dalam memberikan kedalaman objek sesuai dengan objek aslinya. Bahkan pada kasus tertentu pandangan tersebut dapat menyerupai asli dengan menggunakan presentasi fotorealistik (Petrovic, 2003). *Google Earth* merupakan contoh aplikasi yang menggunakan presentasi fotorealistik. Namun demikian, sajian yang menyerupai kenyataan tersebut sebenarnya kurang sesuai dengan prinsip utama peta yaitu menyajikan informasi tertentu kepada pembaca peta sehingga diperlukan teknik simbolisasi dan generalisasi sesuai dengan informasi yang akan disampaikan.

Data Digital Elevation Model (DEM)

Penambahan sumbu-z dalam tampilan tiga dimensi dapat dilakukan dengan berbagai macam informasi. Sebagian besar sumbu-z merujuk pada data elevasi permukaan bumi yang direpresentasikan dalam data DEM. Hasil visualisasi tiga dimensi menggunakan data DEM akan menyajikan informasi topografi, yang dikenal pula dengan istilah *Digital Terrain Model (DTM)*. Selain data elevasi, sumbu-z dapat pula diisi dengan data lain, misalnya data statistik untuk menampilkan kuantitas data dengan menggunakan volume. Informasi tambahan pun dapat dimasukkan dalam model tiga dimensi tersebut untuk memberikan konteks, misalnya dengan mengetahui letak fasilitas umum.

Data DEM Nasional (DEMNAS) merupakan data DEM yang dibuat oleh Badan Informasi Geospasial (BIG). Menurut deskripsinya, DEM Nasional dibangun dari beberapa sumber data meliputi data IFSAR, TERRASAR-X dan ALOS PALSAR, dengan tambahan data *masspoint* hasil *stereo-plotting*. Resolusi spasial DEMNAS adalah *0.27-arcsecond*, dengan menggunakan datum vertikal EGM2008. Jika ukuran tersebut dikonversi ke satuan meter, maka didapatkan nilai lebih kurang 8,33 meter. BIG mewajibkan pengguna untuk terdaftar pada sistem jika ingin melakukan pengunduhan data yang terletak di *server*. Pencarian data di lokasi penelitian dapat dengan

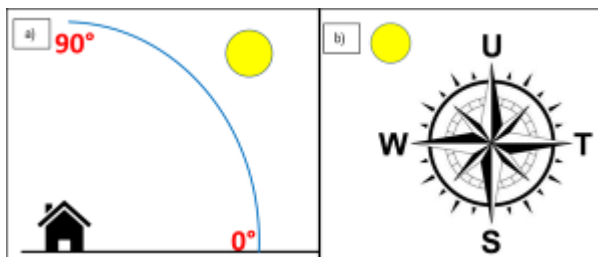
mudah dilakukan karena sudah dikelompokkan menurut pulau. Data DEMNAS yang diunduh tersimpan dalam format GeoTIFF dan sudah memiliki referensi koordinat. **Gambar 3** menunjukkan DEMNAS dengan nomor lembar 1408-22 beserta posisi dari area kajian.



Gambar 3. Elevasi di daerah kajian berdasarkan data DEMNAS.

Hillshade

Teknik *hillshade* akan menghasilkan peta dengan visualisasi topografi yang semakin jelas. Pengaturan posisi sumber cahaya dan sudut datangnya cahaya telah banyak dilakukan. Pengguna peta memiliki kecenderungan bahwa pencahayaan *oblique*, sumber cahaya bersinar dari sudut moderat antara horizon dan zenit, dan bersumber dari barat laut, memberikan gambar yang lebih intuitif tentang bentuk medan (Horn, 1981; McCullagh, 1998; Robinson, Morrison, Muehrcke, Kimerling, & Guptill, 1995; Slocum et al., 2008).



Gambar 4. Ilustrasi a) sudut ketinggian matahari dan b) azimuth matahari.

Atribut ketinggian dan azimuth secara bersamaan menunjukkan posisi relatif matahari yang akan digunakan untuk membuat *hillshade*. Ketinggian (*sun elevation*) adalah sudut ketinggian matahari di atas cakrawala dan berkisar dari 0 hingga 90 derajat. Nilai 0 derajat menunjukkan bahwa matahari ada di cakrawala, yaitu pada bidang horizontal yang sama dengan kerangka

acuan. Nilai 90 derajat menunjukkan bahwa matahari berada tepat di atas kepala (**Gambar 4a**). Azimut (*sun azimuth*) adalah posisi relatif matahari di sepanjang cakrawala (dalam derajat). Posisi ini ditunjukkan oleh sudut matahari yang diukur searah jarum jam dari utara. Sebuah azimut 0 derajat menunjukkan utara, timur 90 derajat, selatan 180 derajat, dan barat 270 derajat (**Gambar 4b**).

Penyusunan *hillshade* dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi lokal berupa *moving window/kernel*. Formula reflektan Lambertian umumnya digunakan untuk menentukan tingkat luminasi pada sebuah sel/*grid* (**Persamaan 1**). Selanjutnya nilai reflektan Lambertian tersebut dikonversi menjadi nilai tingkat kecerahan dengan kuantifikasi 8 bit (0-255).

$$Hillshade = 255.0 * ((\cos(Zenith_rad) * \cos(Slope_rad)) + (\sin(Zenith_rad) * \sin(Slope_rad) * \cos(Azimuth_rad - Aspect_rad))) \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

- Zenith_rad = Altitude - 0.5 π (radians)
- Slope_rad = Kemiringan lereng (radians)
- Aspect_rad = Arah hadap lereng (radians)

Faktor-z (*z-factor*) adalah faktor skala yang digunakan untuk konversi nilai elevasi untuk dua tujuan, yaitu untuk mengonversi unit elevasi (seperti meter atau *feet*) ke unit koordinat horizontal dari *dataset*. Tujuan kedua yaitu untuk menambahkan nilai pembesaran vertikal sebagai penekanan efek visual. Dalam praktiknya berlaku bahwa semakin tinggi faktor-z yang dimasukkan, maka tingkat pembesaran vertikal akan semakin tinggi pula.

Penyusunan *hillshade* memerlukan unit linear untuk dapat menjalankan fungsi, maka diasumsikan bahwa unit pengukuran linear data (X, Y) sama dengan unit pengukuran tinggi (Z). Permasalahan dapat terjadi ketika unit linear data berbeda dengan unit ketinggian, misalnya terdapat DEM yang disimpan dalam sistem koordinat geografis (derajat desimal) tetapi memiliki nilai ketinggian dalam satuan meter. Terdapat formulasi acuan nilai faktor-z untuk data dengan unit linear data geografis, yang didasarkan pada perhitungan rerata jarak 1° bujur di setiap lintang (Fyre, 2007). Namun demikian tetap perlu digarisbawahi bahwa penentuan nilai faktor-z dapat dilakukan secara bebas (*arbitrary*).

Pada posisi *default*, umumnya perangkat lunak akan mengatur sudut azimuth 315°, sudut elevasi 45°, serta faktor-z 1. Hasil dari *hillshade* dengan pencahayaan tunggal memiliki kelemahan dalam hal adanya bayangan bukit yang terlalu gelap. Jika dikombinasikan dengan *layer* lain dengan teknik transparansi, maka bayangan bukit tersebut dapat mengganggu visualisasi secara keseluruhan karena dapat mempengaruhi warna. Masalah lain yang muncul dalam penggunaan *hillshade* ialah pemilihan azimuth matahari yang mana jika digunakan sumber cahaya berasal dari timur dan selatan akan membuat visualisasi topografi terlihat

terbalik. Sebaliknya, sumber cahaya dari utara dan barat mampu memberikan kesan topografi yang sesuai sehingga sumber cahaya dari utara dan barat dipilih untuk visualisasi topografi. Pada penelitian ini dilakukan eksplorasi efek pencahayaan satu sumber tersebut pada arah hadap lereng yang berbeda-beda.

Pengurangan efek bayangan pada *hillshade* dapat dilakukan dengan mengubah nilai kecerahan (*brightness*) dan/atau transparansi. Pendekatan analitik untuk menciptakan *multi-directional shading* pernah dilakukan oleh beberapa peneliti. Sebagai contoh, penggunaan arah hadap lereng untuk menjamin formula *hillshade* yang adaptif untuk berbagai macam variasi topografi dan penerapan *watershed clustering* untuk menciptakan generalisasi variasi topografi pada *hillshade* (Loisios, Tzelepis, & Nakos, 2007; Serebryakova, Veronesi, & Hurni, 2015)

Teknik lebih sederhana dapat dilakukan dengan mengombinasikan tiga *hillshade layer* untuk mengoptimalkan efek pencahayaan dan mengurangi efek bayangan (Gantenbein, 2012). Normalisasi harus dilakukan pada penggunaan *layer* lebih dari satu jika ada bayangan yang terlalu gelap pada suatu *layer*. Normalisasi dapat dilakukan dengan menggunakan azimuth dan ketinggian matahari. **Tabel 1** menyajikan pengaturan *layer hillshade* untuk mengurangi efek bayangan.

Tabel 1. Penyajian *hillshade multilayer*.

Urutan	Azimuth	Altitude	Transparansi
Atas	350°	70°	65°
Tengah	15°	60°	50°
Bawah	270°	55°	70°

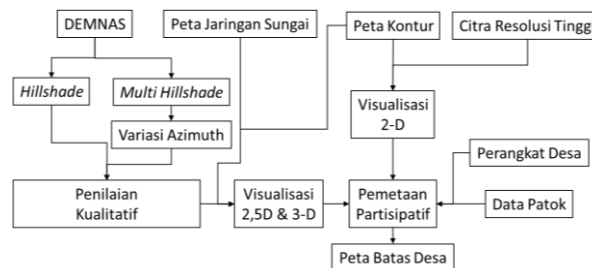
Sumber: Gantenbein (2012)

Desain Geovisualisasi

Peta kerja disusun dengan menggunakan beberapa data yang dapat bersumber dari data sekunder dan pengumpulan data dengan pengukuran. Data tersebut dapat diperoleh dari kerja lapangan atau hasil analisis peta, interpretasi citra penginderaan jauh yang dilengkapi dengan data sekunder. Pengumpulan data tersebut, pada umumnya dilakukan oleh walidata dalam subjek yang bersangkutan. Selanjutnya dilakukan analisis dan klasifikasi data jika diperlukan. Kemudian penyusunan dan desain peta oleh pembuat peta. Konsep keruangan berhubungan dengan bentuk simbol yang mewakilinya, yaitu dengan simbol titik, garis, dan area. Agar desain peta tematik bisa komunikatif (dapat dibaca secara benar sehingga dapat digunakan untuk analisis), maka desain simbolnya harus dibuat secara kartografis. Ada tiga hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain simbol pada peta tematik, yaitu bentuk, sifat dan cara penggambaran simbol; sifat dan ukuran data; dan variabel visual dan persepsi visual.

Penarikan batas desa di wilayah berbukit memiliki tantangan tersendiri karena adanya efek

topografi. Hal ini berbeda dengan penarikan garis batas desa yang berada di wilayah datar yang mana informasi dari Citra Satelit Resolusi Tinggi sudah memenuhi kebutuhan. Informasi tambahan yang dibutuhkan untuk deliniasi batas di wilayah berbukit lebih banyak misalnya informasi terkait ketinggian tempat. Visualisasi ketinggian tempat dapat dilakukan dengan berbagai metode yaitu 2D, 2,5D, dan 3D. Ketiga macam visualisasi tersebut disusun dengan menggunakan cara yang tersaji pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Diagram alir penelitian.

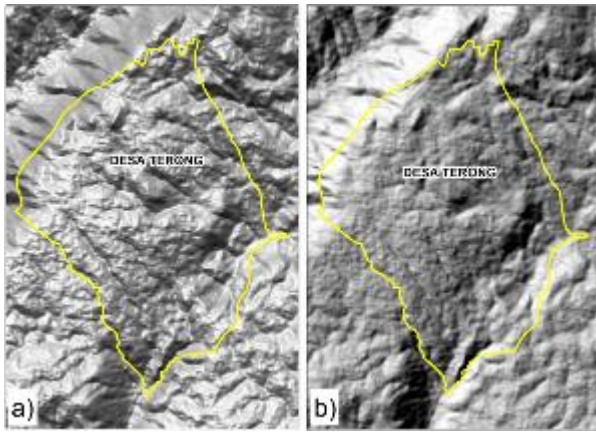
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan *Multi Hillshade*

Bayangan pada *hillshade* sangat dipengaruhi oleh arah hadap lereng. Sisi berbayang merupakan lereng yang memiliki arah hadap berkebalikan dengan *sun azimuth*. Sebagai contoh, jika *sun azimuth* diatur pada 315°, maka lereng dengan arah hadap ke tenggara akan menjadi daerah bayangan bukit. Penggunaan *single hillshade* yang diatur pada satu *sun azimuth* saja akan memuaskan di satu sisi bukit namun kurang memuaskan untuk sisi bukit yang lainnya.

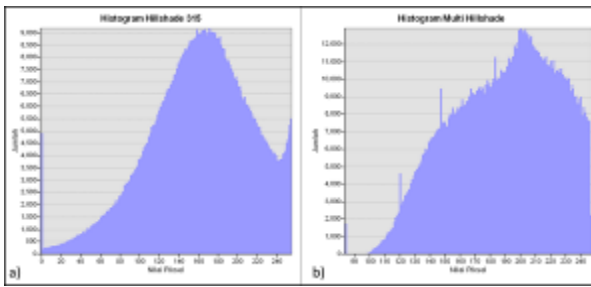
Hillshade dengan *sun azimuth* 315° yang mampu memberikan keseimbangan antara cahaya dan bayangan pada lereng yang menghadap ke arah barat, tidak mampu memberikan keseimbangan tersebut pada lereng yang menghadap timur dan tenggara. Terutama pada daerah dengan kemiringan lereng yang besar. Pada pengaturan *sun azimuth* 360°, lereng yang menghadap arah timur dan tenggara memiliki jumlah bayangan yang lebih sedikit dari *hillshade* sebelumnya.

Ketidakseimbangan bayangan yang menjadi kendala pada *single hillshade* membuka peluang untuk eksplorasi lebih jauh tentang penyajian *hillshade*. *Multi hillshade* merupakan upaya untuk menggabungkan dua *hillshade* atau lebih dengan tujuan mendapatkan *hillshade* yang lebih seimbang. **Gambar 6** menunjukkan hasil penyusunan *multi hillshade* di daerah penelitian yang dapat langsung dibandingkan dengan *single hillshade* (*sun azimuth* 315°). Secara keseluruhan hasil dari *multi hillshade* terlihat lebih cerah. Bayangan bukit tetap terlihat namun tidak terlalu mencolok, misalnya di bagian timur dan selatan Desa Terong. Pada bagian tengah kedua desa pun ketampakan topografi terlihat lebih jelas daripada *single hillshade*.



Gambar 6. Perbandingan antara a) *Multi hillshade* lokasi penelitian dan b) *Single hillshade* dengan *sun azimuth* 315°.

Tampilan *multi hillshade* yang lebih terang daripada *single hillshade* disebabkan karena adanya penggabungan nilai. Tiga sudut *sun azimuth* mampu meminimalisir keberadaan bayangan. Jika nilai suatu piksel rendah dari satu sudut *sun azimuth*, maka akan dinormalisasi oleh nilai piksel dari *sun azimuth* yang berbeda. Histogram dari kedua data di atas semakin meyakinkan bahwa secara keseluruhan *multi hillshade* memiliki nilai kecerahan lebih tinggi (**Gambar 7**). Hal ini dibuktikan dengan kurva yang cenderung ke arah kanan dan memiliki nilai minimal yang lebih tinggi. Menarik untuk dicermati bahwa kurva *single hillshade* lebih halus daripada kurva *multi hillshade*. Penggabungan nilai dari tiga buah *single hillshade* menyebabkan nilai piksel lebih variatif, yang menyebabkan kurva pada histogram memiliki tekstur yang lebih kasar.



Gambar 7. Histogram untuk a) *Multi hillshade* lokasi penelitian dan b) *Single hillshade* dengan *sun azimuth* 315°.

Geovisualisasi 2D

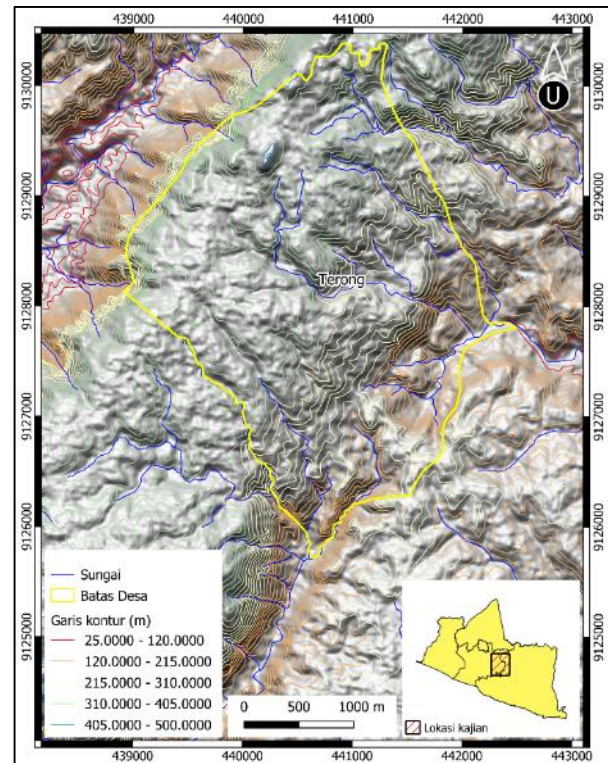
Pemetaan batas desa secara partisipatif membutuhkan peta kerja yang digunakan untuk penarikan batas bersama dengan narasumber. Sumber data yang banyak digunakan dalam kegiatan tersebut ialah citra satelit resolusi tinggi (CSRT). Pengaturan tentang penyajian peta citra untuk penarikan batas desa telah tertera dalam Perka BIG No. 3 Tahun 2016. Penyajian isi peta citra tersebut cukup sederhana karena hanya menampilkan batas indikatif dari sumber pertama yang diberi latar belakang CSRT. Acuan tersebut diaplikasikan dalam penelitian ini sebagai bagian

dari geovisualisasi 2 dimensi. Indeks peta digunakan untuk dapat memanfaatkan CSRT secara efektif, yang mana pada kertas A3 didapatkan skala peta citra 1:1.500. Skala peta tersebut dirasa cukup efektif secara visual karena peta desa paling rinci disajikan pada skala 1:2.500. Namun demikian untuk mengetahui ketelitian geometrik harus dilakukan pengujian lebih lanjut.

Informasi implisit dari CSRT membutuhkan narasumber yang memiliki pemahaman keruangan yang baik akan daerah kajian. Hal ini dapat menjadi kendala jika narasumber tidak mampu memahami aspek keruangan pada CSRT. Tantangan semakin besar ketika garis batas terletak pada objek yang tidak mudah untuk diikuti dari CSRT.

Geovisualisasi 2,5D

Visualisasi perbukitan yang dapat saja menjadi kendala dalam penarikan garis batas desa membutuhkan informasi tambahan. (Riadi & Makmuriyanto, 2014) memanfaatkan tampilan *hillshade* untuk penarikan batas pada daerah perbukitan, yang dikombinasikan dengan teknik *layer tinting* biru ke hijau. Namun demikian, teknik *hillshade* yang digunakan kurang maksimal karena hanya menggunakan pencahayaan tunggal sehingga terdapat efek bayangan yang dapat mengganggu visualisasi. Hasil *multi hillshade* pada bahasan sebelumnya akan digunakan sebagai informasi tambahan dalam penarikan batas desa.



Gambar 8. Geovisualisasi dengan menggunakan teknik *multi hillshade*.

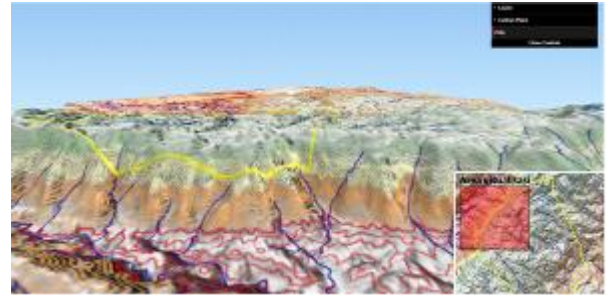
Tampilan *muti hillshade* didukung dengan ditampilkannya garis kontur dan jaringan sungai (**Gambar 8**). Keberadaan garis kontur akan sangat membantu untuk mengidentifikasi pola punggung

dan/atau lembah, sementara jaringan sungai akan mempermudah deliniasi batas yang terletak di sepanjang sungai. Garis kontur disajikan dengan gradasi warna menurut klasifikasi *equal interval*, dengan tujuan untuk mempermudah pengenalan kelas ketinggian. Hasilnya, pengguna akan mendapatkan kesan 3D pada peta, meskipun cara visualisasinya menggunakan bidang 2D. Sheperd (2008) menyebutkan tampilan 2,5D sebagai salah satu alternatif untuk meningkatkan kemudahan pemahaman pengguna terhadap wilayah pemetaan. Dimensi 2,5D ialah sebuah teknik visualisasi yang menggunakan bidang dua dimensi yang menghasilkan tampilan dengan kesan 3D. Geovisualisasi 2,5D tidak diwujudkan dalam peta cetak karena nantinya penarikan garis batas akan dilakukan dengan secara digital.

Geovisualisasi 3D

Penyusunan model tiga dimensi dilakukan menggunakan data yang sama seperti geovisualisasi 2,5D dengan tambahan informasi ketinggian dari DEMNAS. *Plugin Qgis2threejs* mampu menghasilkan geovisualisasi 3D yang cukup memuaskan. Ketinggian Perbukitan Baturagung dapat dengan mudah terlihat dengan menggunakan *vertical exaggeration 2*. Akses terhadap hasil geovisualisasi 3D dilakukan melalui perangkat lunak peramban internet (*web browser*), sehingga hasil geovisualisasi ini pun tidak diwujudkan dalam bentuk cetak. Terlebih interaksi dengan peta 3D dapat dilakukan dengan lebih intuitif ketika diakses dengan menggunakan

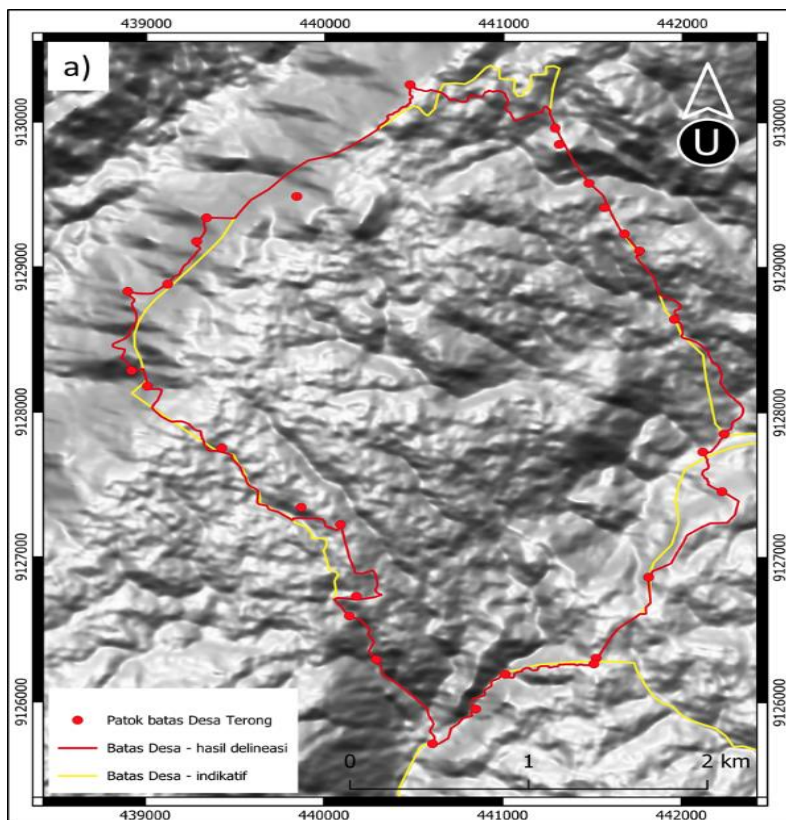
perangkat elektronik. Tampilan lereng yang curam di sebelah barat Desa Terong dapat dilihat pada **Gambar 9**. Batas desa yang terletak pada lereng bukit tersebut cukup sulit diidentifikasi ketika menggunakan CSRT karenautupan lahan di daerah tersebut merupakan vegetasi dengan kerapatan yang cukup tinggi.

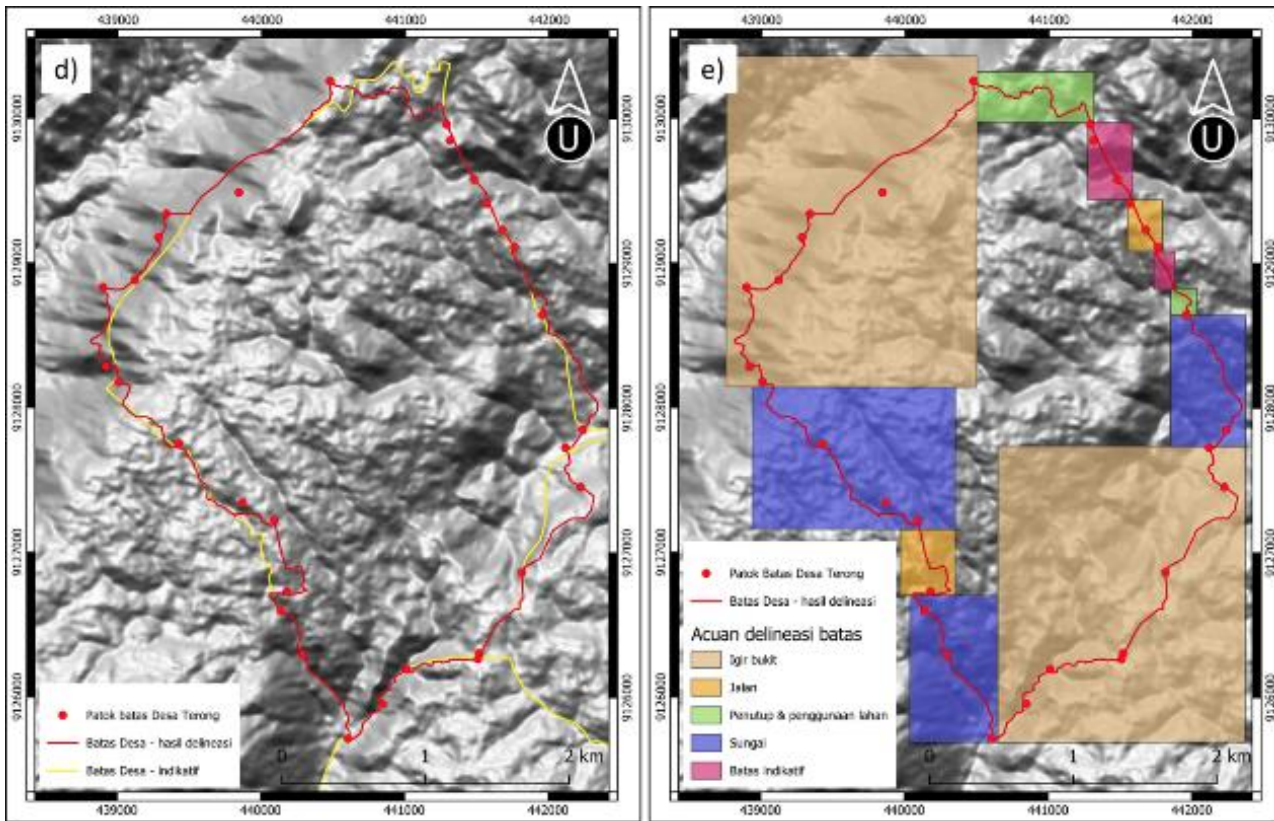


Gambar 9. Geovisualisasi 3D menggunakan *multi hillshade* dan garis kontur.

Pemetaan Batas Desa Terong

Survei pendahuluan penarikan garis batas Desa Terong diawali dengan proses perijinan kegiatan. Pemerintah Desa Terong menyambut baik kegiatan pemetaan batas desa ini, terutama untuk mendukung kegiatan pembangunan di desa. Dari survei pendahuluan tersebut diketahui bahwa Desa Terong belum memiliki batas desa yang rinci, tetapi telah melakukan inventarisasi terhadap pilar batas desa. Data pilar tersebut digunakan sebagai informasi tambahan (*ancillary data*) yang akan mempermudah proses deliniasi batas desa.





Gambar 10. a) Hasil plotting batas desa indikatif dengan data patok batas, b) kerja lapangan untuk melengkapi data patok, c) proses penarikan batas desa, d) hasil deliniasi batas Desa Terong, dan e) zonasi acuan penarikan batas desa di Desa Terong.

Data pilar awal dan batas desa indikatif yang menjadi dasar untuk deliniasi batas desa dapat dilihat pada **Gambar 10a**. Terdapat beberapa pilar sudah sesuai dengan garis batas indikatif, namun masih banyak pula yang kurang sesuai. Kerja lapangan dibutuhkan untuk melengkapi data pilar batas yang belum tercatat. **Gambar 10b** merupakan contoh kegiatan pencatatan koordinat pilar batas desa dengan menggunakan GPS Geodetik. Terdapat delapan pilar batas tambahan yang terletak di arah timur laut. Kondisi dari pilar batas tersebut sebagian besar masih bagus dan dapat terbaca keterangannya, hanya satu pilar batas yang datanya hilang. Posisi pilar batas tidak selalu dapat dengan mudah terlihat karena adanya berbagai penghalang alamiah, misalnya rumput. Oleh karena itu, pencarian pilar batas semestinya dilakukan bersama dengan pihak yang mengetahui keberadaan pilar batas tersebut. Secara keseluruhan terdapat 31 pilar batas yang mengelilingi Desa Terong, yang diantaranya berlaku pula sebagai batas antar Kabupaten Bantul dengan Kabupaten Gunungkidul.

Kegiatan deliniasi batas desa dilakukan selama satu hari dan dilakukan setelah data pilar di bagian timur laut telah selesai terdata. Pengetahuan lokal dari narasumber sangat membantu dalam proses deliniasi, sehingga dapat terselesaikan dalam waktu yang relatif singkat. Narasumber untuk deliniasi peta desa ialah Kasi Pemerintahan yang memang berwenang dalam pendataan batas desa (**Gambar 10c**). Hasil

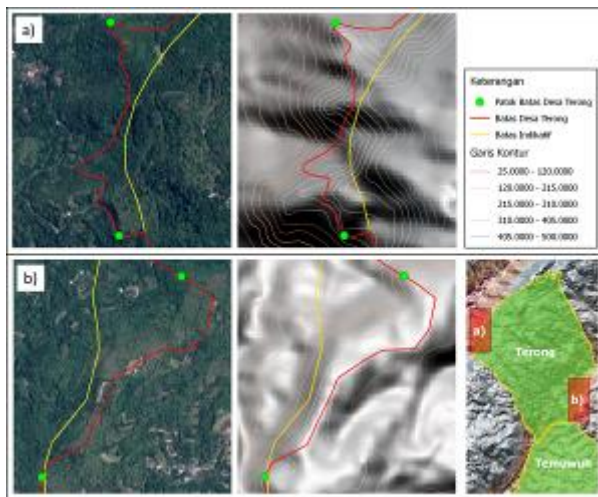
geovisualisasi yang telah dilakukan, baik dalam bentuk 2D, 2,5D, dan 3D ditampilkan dalam peta kerja sesuai dengan kebutuhan narasumber untuk merekonstruksi batas desa secara digital. Deliniasi dilakukan pada skala 1:1.500 untuk menjaga akurasi digitasi, namun demikian untuk mengetahui akurasi harus dilakukan pengujian tersendiri.

Hasil deliniasi batas desa yang dilakukan bersama narasumber dapat dilihat pada **Gambar 10d**, pada **Gambar 10d** juga menyajikan batas indikatif. Perbedaan antara batas desa hasil deliniasi dengan batas desa indikatif dapat ditemui di beberapa bagian yang mana garis merah dan garis kuning tidak menyatu. Namun demikian ada pula bagian yang mana kedua batas tersebut menunjukkan batas yang sama, yang ditandai dengan tampilan garis merah saja. Hampir semua pilar batas dilewati oleh garis batas hasil deliniasi, kecuali untuk satu patok batas di bagian barat laut. Peletakkannya pilar batas tersebut memang berdasarkan kesepakatan diletakkan di dalam wilayah Desa Terong karena pada posisi yang sebenarnya memiliki lereng yang sangat terjal sehingga kurang praktis untuk pemasangan pilar batas. Pada praktiknya batas desa di daerah berbukit belum tentu seluruhnya diletakkan pada punggung bukit. Melihat pada batas Desa Terong, **Gambar 10e** merupakan acuan deliniasi batas desa pada setiap segmen. Terdapat lima kelompok acuan deliniasi di daerah kajian diantaranya punggung bukit, jalan, penutup/penggunaan lahan, sungai, dan sama dengan batas indikatif.

Penggunaan geovisualisasi 2D dengan menggunakan CSRT dapat digunakan untuk seluruh kelompok tersebut kecuali untuk batas desa pada punggung bukit dan sebagian dari penciri penutup/penggunaan di lereng yang terjal. Narasumber lebih mudah menentukan garis batas dengan menggunakan geovisualisasi 2,5D utamanya untuk mengenali visualisasi bukit atau lembah.

Konseptualisasi

Identifikasi batas desa pada wilayah berbukit kurang efektif jika dipetakan dengan menggunakan satu sumber pemetaan saja. CSRT yang mampu memberikan informasi eksplisit permukaan bumi tetap menjadi pilihan utama. Data jaringan jalan dan sungai juga menjadi data yang diperlukan, walaupun jika yang digunakan memiliki skala yang lebih kecil hanya dapat digunakan sebagai indikator untuk pendekatan. Sementara itu, *Digital Elevation Model* (DEM) dan peta kontur berfungsi untuk menonjolkan ketampakan topografis. Data DEM dapat diolah lebih lanjut menjadi *hillshade*, yang akan lebih efektif jika menggunakan *multi hillshade*.



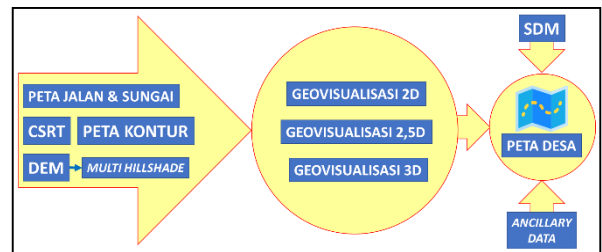
Gambar 11. Penarikan garis batas desa di sebagian Desa Terong yang berbukit, a) bagian barat laut, dan b) bagian tenggara.

Terdapat beberapa informasi tambahan (*ancillary data*) yang dapat digunakan untuk membantu identifikasi pada daerah tersebut. Data tambahan yang dimanfaatkan dalam penelitian ini ialah titik pilar batas desa, terutama untuk penentuan batas Desa Terong. Adanya data pilar tersebut dapat mempermudah penarikan garis batas, karena fokus penarikan garis batas dapat dilakukan antar pilar. **Gambar 11** menunjukkan dua contoh penarikan batas desa di Desa Terong yang memiliki kemiringan lereng terjal dan terletak pada daerah berbukit. Penelusuran punggung tersebut agak sulit dilakukan pada CSRT karena ketampakan yang terlihat memiliki tekstur yang kurang lebih seragam, serta kurang menonjolkan adanya perbukitan.

Punggung bukit pada **Gambar 11b** menjadi fokus penggambaran dapat dilakukan dengan

mudah dengan cara menghubungkan dua titik pilar batas desa yang digambarkan melewati punggung bukit. Visualisasi *multi hillshade* yang dibantu dengan layer tinting data garis kontur mampu membantu penarikan garis batas pada punggung tersebut menjadi lebih mudah.

Informasi tambahan tidak hanya terbatas pada pilar batas saja, karena setiap wilayah memiliki karakteristik masing-masing. Misalnya jika terdapat batas desa yang mengikuti data persil, maka informasi tambahan yang diperlukan ialah data batas persil lahan. Keberadaan informasi tambahan akan mempermudah penarikan garis batas, namun demikian sifatnya tidak *mandatory*. Kemudahan penarikan garis batas dapat meningkat jika terdapat narasumber yang memiliki pengetahuan lokal tentang batas desa. Berbagai macam teknik geovisualisasi dapat ditampilkan sesuai dengan kebutuhan. **Gambar 12** menunjukkan konsep pemetaan batas desa di wilayah berbukit, yang berdasarkan penjelasan pada subbab ini.



Gambar 12. Konseptualisasi strategi geovisualisasi untuk pemetaan batas desa di daerah berbukit.

KESIMPULAN

Pemetaan batas desa pada wilayah berbukit memiliki tantangan tersendiri karena terdapat faktor topografi yang akan menghambat proses deliniasi garis batas. CSRT sebagai sumber utama pemetaan batas desa masih diperlukan dalam pembuatan peta kerja, meskipun kurang optimal untuk mengenali penciri batas desa di daerah berbukit. Penggunaan geovisualisasi 2,5D dan 3D dengan menggunakan teknik *multi hillshade* mampu membantu pengenalan punggung dan lembah, sehingga mampu mempercepat deliniasi batas desa di daerah berbukit. Teknik *multi hillshade*, yang mengombinasikan tiga sumber penyinaran, mampu memberikan perimbangan tingkat kecerahan dan bayangan pada data *hillshade*. Keberadaan sumber data tambahan (*ancillary data*) akan semakin memudahkan proses deliniasi batas desa. Data tambahan tersebut misalnya data pilar batas, batas persil dan narasumber yang memiliki pengetahuan lokal terkait batas desa. Penggunaan data tambahan tersebut sangat direkomendasikan untuk mempercepat proses deliniasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan dukungan berupa hibah untuk pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Desa Terong yang telah berkenan untuk dijadikan sebagai daerah percontohan terkait penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- BIG. Perka BIG No. 3 Tahun 2016 tentang Spesifikasi Teknis Penyajian Peta Desa (2016). Indonesia.
- Fyre, C. (2007). Setting the Z Factor parameter correctly. Gantenbein, C. (2012). Creating Shaded Relief for Geologic Mapping using Multiple Light Sources. *Digital Mapping Techniques' 10-Workshop Proceedings*, 1171–2012. Retrieved from https://pubs.usgs.gov/of/2012/1171/pdf/usgs_of2012-1171-Gantenbein_p101-106.pdf
- Harris, E., & Robinson, A. H. (2006). The Look of Maps: An Examination of Cartographic Design. *Technology and Culture*. <https://doi.org/10.2307/3105198>
- Horn, B. K. P. (1981). Hill Shading and the Reflectance Map. *Proceedings of the IEEE*. <https://doi.org/10.1109/PROC.1981.11918>
- Kemendagri. Permendagri No. 45 Tahun 2016 tentang Penetapan dan Penegasan Batas Desa (2016). Indonesia.
- Kraak, M. J., & Ormeling, F. (2010). *Cartography: Visualization of geospatial data, third edition. Cartography: Visualization of Geospatial Data, Third Edition* (3rd ed.). Essex: Pearson Education Limited. <https://doi.org/10.4324/9781315847184>
- Loisios, D., Tzelepis, N., & Nakos, B. (2007). A Methodology for Creating Analytical Hill-Shading by Combining Different Lighting Directions. In *Proceedings of the 23rd International Cartographic Conference*. Moscow: ICA.
- McCullagh, M. J. (1998). Quality, Use, and Visualisation in Terrain Modeling. In S. N. Lane, K. S. Richards, & J. H. Chandler (Eds.), *Landform Monitoring, Modeling and Analysis*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Peterson, G. N. (2010). *Gis Cartography: a Guide To Effective Map Design. Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization* (Vol. 45). <https://doi.org/10.3138/carto.45.2.159>
- Petrovic, D. (2003). Cartographic Design in 3D Maps. *South Africa*.
- Rahmawati, H. I., Ayudiaty, C., & Surifah, S. (2015). Analisis Kesiapan Desa Dalam Implementasi Penerapan UU Nomor 6 Tahun 2014 Tentang Desa (Studi Pada Delapan Desa Di Kabupaten Sleman). In *The 2nd University Research Colloquium*.
- RI. UU No.6 Tahun 2014 tentang Desa (2014). Indonesia.
- Riadi, B., & Makmuriyanto, A. (2014). Kajian Percepatan Penetapan dan Penegasan Batas (Study on the Used of Cartometric Method for Accelerating Districts and Villages Delimitation and. *Majalah Ilmiah Globe*, 16(2), 109–116.
- Riadi, B., & Rachma, T. R. N. (2017). Kajian Prototipe Peta Desa Menggunakan Citra Satelit Resolusi Tinggi (Study of Village Map Prototype using High Resolution Satellite Imagery). *Majalah Ilmiah Globe*, 19(2), 147–156.
- Riadi, B., & Soleman, M. K. (2011). Aspek Geospasial Dalam Delineasi Batas Wilayah Kota Gorontalo. *Majalah Ilmiah Globe, Volume 13*(1), Hal 41-49.
- Robinson, A. H., Morrison, J. L., Muehrcke, P. C., Kimerling, A. J., & Guptill, S. C. (1995). *Elements of Cartography* (6th Editio). New York: John Wiley & Sons.
- Serebryakova, M., Veronesi, F., & Hurni, L. (2015). Sine Wave , Clustering and Watershed Analysis to Implement Adaptive Illumination and Generalisation in Shaded Relief Representations. In *The 27th International Cartographic Conference*. Rio de Janeiro: ICA.
- Sheperd, I. (2008). Travails in The Third Dimension: A Critical Evaluation of Three-Dimensional Geographical Visualization. In M. Dodge, M. McDerby, & M. Turner (Eds.), *Geographic Visualization: Concepts, Tools and Applications* (pp. 199–222). Chichester: John Wiley & Sons.
- Slocum, T. A. A. T. A., McMaster, R. B., Kessler, F. C. C. F. C., & Howard, H. H. H. H. (2008). *Thematic Cartography and Geovisualization. Prentice Hall series in geographic information science*. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0150>
- Takeuchi, S., & Yamada, S. (2002). Comparison of InSAR Capability for Land Subsidence Detection between C-Band and L-band SAR (pp. 2379–2381). <https://doi.org/10.1109/igarss.2002.1026550>

DETEKSI TUMPAHAN MINYAK MENGGUNAKAN METODE ADAPTIVE THRESHOLD DAN ANALISIS TEKSTUR PADA DATA SAR

(Oil Spill Detection using Adaptive Threshold and Texture Analysis Methode on SAR Data)

Sayidah Sulma, Khalifah Insan Nur Rahmi, Nur Febrianti, dan Jansen Sitorus

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh – LAPAN

Jalan Kalisari No.8, Pekayon, Pasar Rebo, RT.11/RW.1, Pekayon, Kota Jakarta Timur,

Daerah Khusus Ibukota Jakarta 13710, Indonesia

E-mail: sayidah.sulma@lapan.go.id

Diterima: 11 Februari 2019; Direvisi: 29 Maret 2019; Disetujui untuk Dipublikasikan: 15 April 2019

ABSTRAK

Metode untuk deteksi tumpahan minyak menggunakan data SAR telah berkembang dari metode manual hingga metode otomatis. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan metode analisis tekstur dan *adaptive threshold* untuk deteksi tumpahan minyak menggunakan citra SAR Sentinel 1. Wilayah kajian meliputi perairan utara Bintan yang hampir rutin terjadi kasus tumpahan minyak khususnya pada musim barat/utara, serta perairan Teluk Balikpapan yang mengalami kejadian tumpahan minyak yang cukup besar pada akhir Maret 2018. Tahap awal dilakukan koreksi data meliputi koreksi atau kalibrasi radiometrik, *filtering* dan *land masking*. Tahap selanjutnya adalah deteksi *dark spot* yang dilakukan menggunakan dua pendekatan dan dibandingkan metode yang memberikan hasil terbaik. Metode pertama adalah analisis tekstur menggunakan *Grey Level co-occurrence matrix* (GLCM) dengan perhitungan *homogeneity*, entropi dan *Angular Second Moment* (ASM), kemudian dilakukan klasifikasi menggunakan *Maximum Likelihood*, sedangkan pendekatan kedua adalah menggunakan *adaptive threshold*. Hasil kajian menunjukkan bahwa metode tekstur analisis GLCM dan *adaptive threshold* pada citra SAR Sentinel 1 memberikan hasil yang cukup baik untuk area tumpahan minyak yang cukup tebal. Namun untuk area tumpahan minyak yang tipis atau pada wilayah pencampuran air, metode *adaptive threshold* memberikan hasil yang lebih baik. Modifikasi berupa masking kapal (atau objek dengan *backscatter* tinggi) sebelum diterapkan metode *adaptive threshold* dapat mengurangi kesalahan seperti terdeteksinya objek minyak di sekitar kapal.

Kata kunci: Tumpahan minyak, SAR, *adaptive threshold*, analisis tekstur

ABSTRACT

Oil spill detection method have been developed from manual technique to automatic technique. This study aims to compare the method of oil spill detection with adaptive threshold method and texture analysis using SAR Sentinel 1 image. The study area covers the waters of the north of Bintan which are almost routinely oil spillily, especially in the west/north season, and Balikpapan Bay waters which occur oil spills quite large at the end of March 2018. The initial steps to data correction include correction or radiometric calibration and geometric correction, then filtering and land masking. The next step is the detection of dark spots that are carried out using two approaches and compared to methods that provide the best results. The first method is texture analysis using the Gray Level co-occurrence matrix (GLCM) by calculating homogeneity, entropy and Angular Second Moment (ASM), then classification using Maximum Likelihood, while the second approach is using adaptive threshold. The results of the study show that the texture method of GLCM and adaptive threshold analysis in SAR Sentinel 1 images provide good results for a fairly thick oil spill area. But for thin oil spill areas or in water mixing areas, the adaptive threshold method gives better results. Modifications in the form of masking ships (or objects with high backscatter) before applying the adaptive threshold method can reduce errors such as detection of oil objects around the ship.

Keywords: Oil spill, SAR, *adaptive threshold*, texture analysis

PENDAHULUAN

Tumpahan minyak di perairan pantai dan laut merupakan permasalahan serius yang sangat berdampak pada lingkungan. Di seluruh dunia, tumpahan berupa bahan bakar minyak mencapai 48% dari total minyak yang tumpah ke laut, sementara tumpahan minyak mentah mencapai 29% (Brekke & Solberg, 2005). Tumpahan minyak dapat terjadi selama pengangkutan minyak, pengeboran serta penyimpanan minyak dan akan

menyebar dengan cepat dalam wilayah yang luas hanya dalam hitungan jam. Maka dari itu diperlukan penanganan yang cepat dan tepat ketika terjadi tumpahan minyak untuk mengurangi dampak lingkungan dan kerugian ekonomi yang besar.

Penginderaan jauh adalah salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan untuk deteksi cepat tumpahan minyak. Pencitraan penginderaan jauh multi sensor dan multi temporal memungkinkan untuk diperolehnya informasi penting tentang

penyebaran minyak dari waktu ke waktu yang sangat diperlukan dalam pembersihan dan pengendalian sebaran tumpahan minyak. Keunggulan dari teknologi penginderaan jauh juga dapat membantu dalam penegakan hukum bagi lalu lintas kapal, pengawasan dan deteksi tumpahan minyak, panduan untuk penanggulangan tumpahan minyak dan sebagai alat bukti dalam penuntutan (Fingas, 2012).

Saat ini telah tersedia berbagai sensor satelit penginderaan jauh yang dapat dimanfaatkan untuk deteksi tumpahan minyak, baik dengan teknologi penginderaan jauh pasif/optis maupun radar aktif. Pemanfaatan data NOAA AVHRR, MODIS maupun Landsat telah banyak dilakukan pada kasus tumpahan minyak. Resolusi temporal yang tinggi menjadi keunggulan beberapa data optis seperti MODIS, sehingga memungkinkan pemantauan daerah terdampak tumpahan minyak dan pergerakan lapisan minyak dari waktu ke waktu. Namun pada data optis, tutupan awan dan keterbatasan sinar matahari menjadi batasan penggunaan data ini, sehingga perlu penggunaan data radar yang merupakan sensor aktif. Penginderaan jauh aktif atau radar merupakan teknologi lain yang dapat diandalkan dalam pemantauan tumpahan minyak. Sensor microwave aktif seperti *Synthetic Aperture Radar* (SAR) memiliki kemampuan dalam segala kondisi cuaca baik siang maupun malam. Saat ini telah tersedia data radar dari berbagai satelit seperti ALOS, Envisat, TerraSAR X hingga Sentinel 1. Citra satelit radar cukup mahal, namun saat ini tersedia citra SAR berbiaya rendah yaitu Sentinel 1 yang disediakan oleh *European Space Agency* (ESA) secara gratis di Sentinel *data hub* dengan waktu perulangan liputan setiap 12 hari (Silva et al., 2017).

Metode untuk deteksi tumpahan minyak menggunakan data SAR telah berkembang dari metode manual hingga metode otomatis. Metode manual tidak memerlukan teknik pengolahan yang mutakhir namun operator harus menganalisis satu-persatu spot. Namun walaupun beberapa penelitian telah menggunakan berbagai metodologi, dilaporkan bahwa pendeteksian tumpahan minyak secara manual masih banyak diadopsi dibandingkan dengan metodologi otomatis dan semi-otomatis (Ivanov, He, & Fang, 2002; Misra & Balaji, 2017). Metode otomatis data SAR dikembangkan oleh beberapa peneliti dimana di dalamnya meliputi teknik segmentasi untuk deteksi spot gelap (*dark spot*) (Brekke, 2007; Solberg, Brekke, & Husøy, 2007), ekstraksi fitur lapisan (Assilzadeh & Mansor, 2001; Maged Marghany, 2004), dan klasifikasi (Topouzelis, 2008).

Akkartal & Sunar (2008) melakukan kajian deteksi tumpahan minyak menggunakan data Radarsat 1 untuk deteksi tumpahan minyak dengan analisis tekstur *Grey Level Co-occurrence Matrix* (GLCM), dan menunjukkan bahwa analisis tekstur memberikan hasil yang sama baiknya dengan metode *threshold* atau segmentasi. Misra & Balaji (2017) melakukan kajian deteksi dengan data

Radarsat 2 menggunakan metode *adaptive threshold* dan analisis tekstur, dan menunjukkan bahwa analisis tekstur meningkatkan hasil estimasi sebaran tumpahan minyak. Joseph, Jayasri, Dutta, Kumari, & Prasad (2017) menggunakan GLCM dengan data Risat-1 polarisasi HH, dimana hasilnya sesuai dengan hasil interpretasi visual.

Dalam kajian dan penanganan kasus tumpahan minyak di Indonesia, beberapa penelitian telah menggunakan data SAR. Pada kasus tumpahan minyak Montara di Perairan Timor tahun 2009, Prayogo et al (2010) menerapkan beberapa teknik pemfilteran dan analisis tekstur pada data ALOS-PALSAR untuk deteksi *dark spot* yang diduga sebagai tumpahan minyak. Selanjutnya Hartuti et al (2015) dan Putranto, Hartuti, Putri, & Putri (2016) memanfaatkan data TerraSAR X dan Sentinel 1 yang menggunakan metode *adaptive threshold* untuk deteksi *dark spot* dan mengaplikasikan *software open source* SNAP. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan metode *adaptive threshold* dan analisis tekstur untuk deteksi tumpahan minyak menggunakan citra Sentinel 1.

METODE

Data yang digunakan adalah data radar Sentinel 1A dengan mode *Interferometric Wide Swath* (IW) dual polarisasi VV dan VH. Data merupakan produk Level 1 *Ground Range Multi Look Detected* (GRD) dimana data telah diproyeksikan menggunakan model ellipsoid bumi. Lebar cakupan data mode IW adalah 250 km yang terdiri dari 3 sub petak, dengan resolusi spasial 5m x 20 m (ESA, 2012). Lokasi penelitian meliputi perairan Utara Bintan dan Perairan Balikpapan ditunjukkan pada **Gambar 1**. Dipilihnya lokasi penelitian tersebut dikarenakan di Perairan Bintan hampir rutin terjadi kasus tumpahan minyak khususnya pada musim barat/utara, sedangkan di Perairan Balikpapan telah terjadi tumpahan minyak yang cukup besar pada akhir Maret 2018 karena kebocoran pipa distribusi minyak. Data yang digunakan untuk kedua lokasi tersebut terdiri dari data akuisisi tanggal 20 Maret 2018 untuk perairan Bintan dan data tanggal 2 April 2018 untuk Perairan Balikpapan.



Gambar 1. Lokasi penelitian (a) Perairan Bintan (b) Perairan Balikpapan.

Tahap awal dilakukan koreksi data meliputi koreksi atau kalibrasi radiometrik dengan mengkonversi nilai digital menjadi nilai *backscatter*, dan koreksi geometrik dilakukan dengan algoritma *Range-Doppler Terrain Corection* dan menggunakan referensi data DEM (*Digital Elevation Model*) SRTM

resolusi 30 m. Selanjutnya dilakukan proses filtering untuk menghilangkan *speckle noise* menggunakan filter Lee. Menurut Marghany & Van Genderen (2014) algoritma Lee dapat beroperasi dengan baik pada lapisan minyak yang linier. Untuk membatasi wilayah kajian hanya fokus di wilayah perairan laut maka dilakukan *land masking*. Proses pengolahan awal data SAR menggunakan *Sentinel Application Platform* (SNAP) yang merupakan perangkat lunak *open source* ESA Toolbox. Tahap selanjutnya adalah deteksi *dark spot* yang dilakukan menggunakan dua pendekatan dan akan dibandingkan metode yang memberikan hasil terbaik. Metode pertama adalah analisis tekstur menggunakan *Grey Level co-occurrence matrix* (GLCM) kemudian dilakukan klasifikasi menggunakan *Maximum Likelihood*, sedangkan pendekatan kedua adalah menggunakan *adaptive threshold*.

Analisis Tekstur

Analisis tekstur dilakukan dengan menggunakan *Grey Level co-occurrence matrix* (GLCM). Dalam analisis tekstur statistik, fitur tekstur dihitung dari distribusi kombinasi intensitas yang diamati pada posisi tertentu relatif terhadap yang lain dalam citra. Metode GLCM adalah cara ekstraksi fitur tekstur statistik orde kedua, dimana GLCM merupakan matriks dengan jumlah baris dan kolom sama dengan jumlah level abu-abu pada citra (Albregtsen, 2008). Pada dasarnya GLCM memberikan beberapa dasar pengukuran seperti rentang, varian, standar deviasi, entropi, keseragaman, dan lain-lain. Tahapan tekstur dibagi lagi menjadi 3 kelompok sesuai dengan bobotnya yaitu: (1) kelompok kontras: Kontras, perbedaan dan homogenitas yang menggunakan bobot yang berkaitan dengan jarak diagonal GLCM; (2) Ukuran: *Angular second moment*, *energy* dan *entropy* yang menggunakan nilai normalisasi dari GLCM; (3) Statistik deskriptif: *Mean*, *Varian* (standar deviasi) dan korelasi.

Umumnya untuk deteksi tumpahan minyak pendekatan yang biasa dilakukan adalah menghitung semua unsur tekstur yang berbeda dan kemudian menggunakan ukuran yang memberikan hasil terbaik. Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk deteksi tumpahan minyak digunakan analisis tekstur menggunakan pengukuran *Homogeneity* untuk menghitung area dengan homogenitas maksimal, *Entropy* untuk melihat kompleksitas (keacakan) dan *Angular Second Moment* (ASM) untuk mengukur keteraturan (Akkartal & Sunar, 2008; Assilzadeh & Mansor, 2001; Marghany, 2001; Misra & Balaji, 2017). Tujuan pengukuran ini adalah menghitung area yang memiliki homogenitas dan keseragaman tinggi serta kompleksitas minimum.

Analisis GLCM ini diterapkan pada data yang telah dilakukan preprocessing namun belum difilter. GLCM menggunakan matrix dengan ukuran window 7x7. Hasil masing-masing analisis tekstur

(Homogeneity, ASM dan Entropy) menunjukkan daerah yang diduga tumpahan minyak yaitu memiliki homogeneity dan ASM tinggi serta entropi minimum. Selanjutnya dilakukan pembuatan citra RGB dengan komposisi Homogeneity (R), Entropy (G) dan ASM (B). Setelah mendapatkan citra RGB dengan kontras tinggi, maka diterapkan klasifikasi terawasi dengan metode Maksimum Likelihood, diawali dengan pemilihan *training sample* untuk objek *oil spill* dan *non oil spill*.

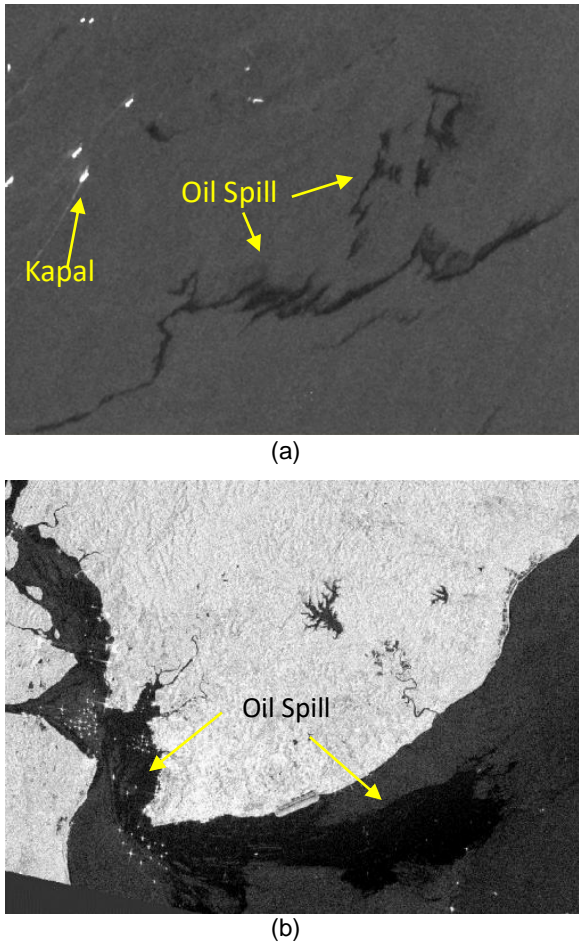
Adaptive Threshold

Analisis menggunakan *adaptive threshold* dilakukan dengan menerapkan *tool oil spill detection* pada *software* SNAP yang mengidentifikasi *dark spot* menggunakan *adaptive threshold*. Pada dasarnya penerapan *adaptive threshold* melalui tahapan awal yaitu tingkat *backscatter* rata-rata lokal diperkirakan menggunakan piksel dalam ukuran *window* yang luas, sehingga dalam implementasi perlu ditetapkan ukuran *background window*, kemudian tahap berikutnya *threshold* pendeteksian ditetapkan sebesar *k* desibel di bawah perkiraan tingkat *backscatter* rata-rata lokal. Maka piksel dalam *window* dengan nilai lebih rendah dari *threshold* terdeteksi sebagai *dark spot*. *k* atau *Threshold Shift* adalah parameter yang dipilih pengguna. *Threshold shift* yang digunakan mengacu pada hasil penelitian Solberg et al (2007). Tahap akhir adalah *oil spill clustering* yaitu mengeliminasi *cluster* piksel dengan dimensi sesuai luas minimum yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 memperlihatkan citra *backscatter* dengan polarisasi VV, dimana *oil spill* terlihat dengan tampilan berwarna lebih gelap (*dark spot*) karena memiliki pantulan yang rendah. Pada citra SAR salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan sinyal yang dipantulkan adalah kekasaran objek. Mekanisme yang mendominasi hamburan balik pada permukaan laut adalah adanya gelombang dengan tipe resonansi Bragg, dimana lapisan minyak dapat mengurangi gelombang Bragg ini yang kemudian mempengaruhi sinyal yang diindera oleh SAR. Ketika gelombang tipe Bragg berkurang maka sangat sedikit sinyal yang dipancarkan kembali ke SAR sehingga daerah gelap (*dark spot*) akan muncul di citra SAR (Brekke, 2007). **Gambar 2a** adalah citra Sentinel 1A tanggal 20 Maret 2018 pukul 05.47 WIB yang memperlihatkan sebaran minyak di perairan utara Pulau Bintan, adapun pada hari tersebut mulai pukul 06 hingga 09 WIB terdapat laporan dari beberapa *resort* di utara Bintan bahwa ditemukan sebaran minyak yang cukup banyak di beberapa lokasi di pesisir utara Pulau Bintan. Kemudian **Gambar 2b** adalah citra Sentinel 1A tanggal 2 April 2018 yang menunjukkan sebaran minyak yang cukup luas akibat kebocoran pipa distribusi minyak

di Teluk Balikpapan yang terjadi sejak tanggal 31 Maret 2018.



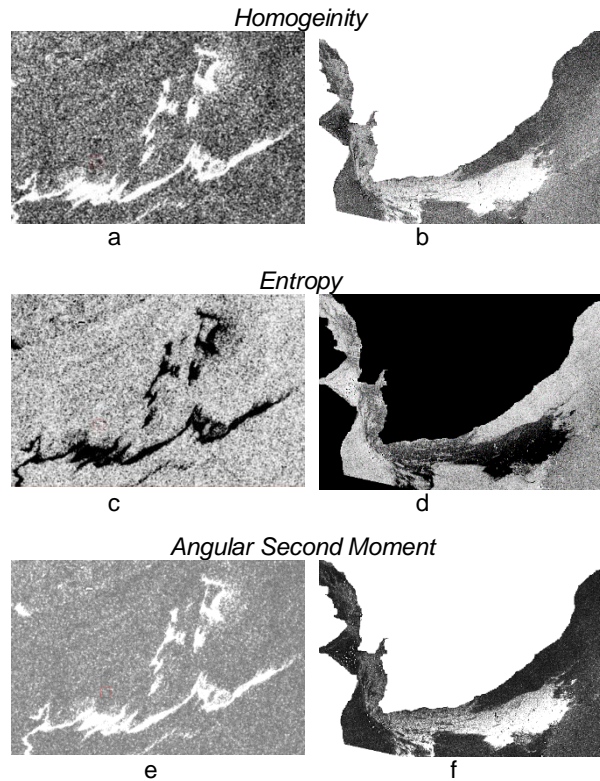
Gambar 2. Citra *backscatter* polarisasi VV (a) perairan utara Pulau Bintan (b) Teluk Balikpapan.

Analisis tekstur

Pada penelitian ini deteksi *oil spill* dilakukan dengan dua pendekatan, yang pertama adalah menggunakan analisis tekstur. Analisis tekstur GLCM yang digunakan adalah pengukuran *Homogeneity* untuk menghitung area dengan homogenitas maksimal, *Entropy* untuk melihat kompleksitas (keacakan) dan *Angular Second Moment (ASM)* untuk mengukur keteraturan. **Gambar 3** memperlihatkan hasil analisis tekstur *Homogeneity*, *Entropy* dan *ASM* untuk studi kasus perairan utara Bintan. Pada gambar tersebut terlihat pada objek tumpahan minyak memiliki homogenitas yang tinggi (berwarna lebih terang), *entropy* atau tingkat keacakan yang rendah (berwarna gelap) dan *ASM* atau keteraturan yang tinggi (berwarna terang).

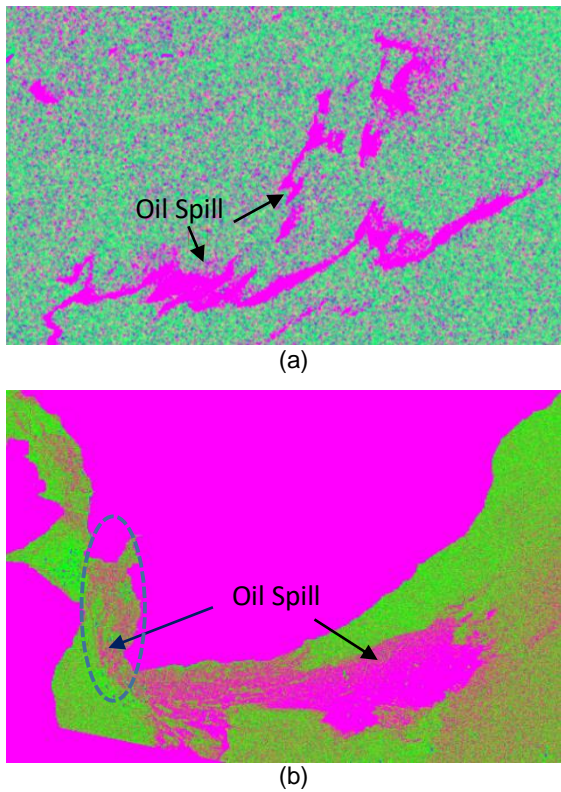
Metode analisis tekstur GLCM ini diujicobakan pula pada data kejadian tumpahan minyak di teluk Balikpapan. Pada **Gambar 3b**, **Gambar 3d** dan **Gambar 3e** dapat dilihat pada area tumpahan minyak di bagian selatan memiliki tekstur *homogeneity* dan *ASM* yang tinggi serta *entropy* yang rendah. Namun, pada objek minyak yang berada di sekitar teluk, *homogeneity* dan *ASM* tidak

terlalu tinggi dan *entropy* tidak terlalu rendah. Hal ini diduga kandungan minyak pada perairan teluk tidak terlalu tebal karena ada pengaruh pasang surut air sehingga terjadi proses pengadukan minyak dengan air, dan minyak sudah banyak yang terbawa ke luar teluk.

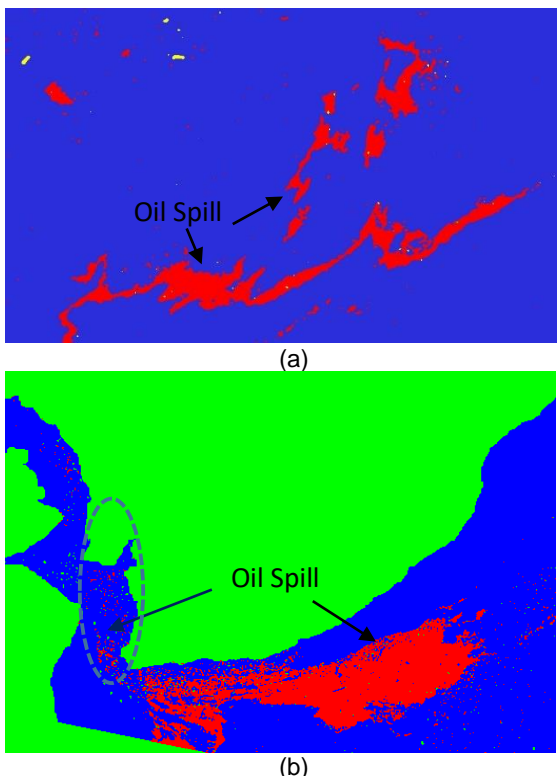


Gambar 3. Hasil analisis tekstur: (a) *homogeneity*, (b) hasil uji coba pada *homogeneity*, (c) *entropy*, (d) hasil uji coba pada *entropy*, (e) *angular second moment (ASM)*; (f) hasil uji coba pada *angular second moment (ASM)*.

Analisis tekstur ini dilakukan sebagai proses antara sebelum dilakukan proses klasifikasi. Untuk memperjelas hasil ketiga pengukuran tekstur maka dibuat citra RGB dengan komposit *homogeneity*, *entropy* dan *ASM* seperti yang terlihat pada **Gambar 4**, dimana daerah tumpahan minyak muncul dengan warna magenta yang merupakan komposit tekstur *homogeneity* (R) tinggi, *Entropy* (G) rendah dan *ASM* (B) tinggi. Selanjutnya dari citra tersebut dilakukan klasifikasi dengan metode *maximum likelihood* untuk memisahkan objek minyak dan non minyak, dengan melakukan training sampel terlebih dahulu pada area yang homogen. **Gambar 5a** menampilkan hasil klasifikasi untuk kasus tumpahan minyak di perairan utara Bintan dimana klasifikasi dari citra tekstur tersebut memperlihatkan bahwa objek minyak dan non minyak dapat dikelaskan dengan baik. Pada tumpahan minyak di Teluk Balikpapan (**Gambar 5b**), terlihat bahwa minyak yang dapat dikelaskan dengan baik hanya yang berada di luar teluk sedangkan di beberapa wilayah sekitar teluk (area yang dilingkari) objek minyak tidak dapat terkelaskan dengan baik.



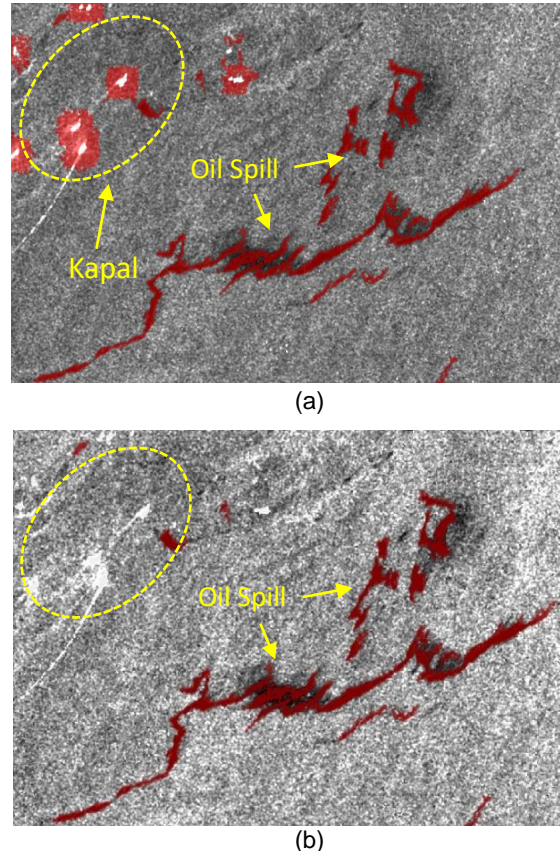
Gambar 4. Citra RGB Homogenity (R), Entropy (G), ASM (B), (a) perairan utara Pulau Bintang dan (b) Teluk Balikpapan.



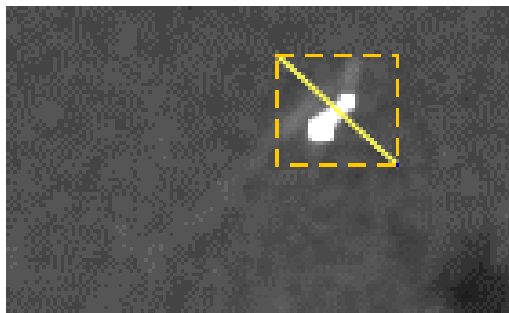
Gambar 5. Klasifikasi objek minyak dan non minyak dengan *maximum likelihood*: (a) perairan utara Pulau Bintang dan (b) Teluk Balikpapan.

Adaptive Threshold

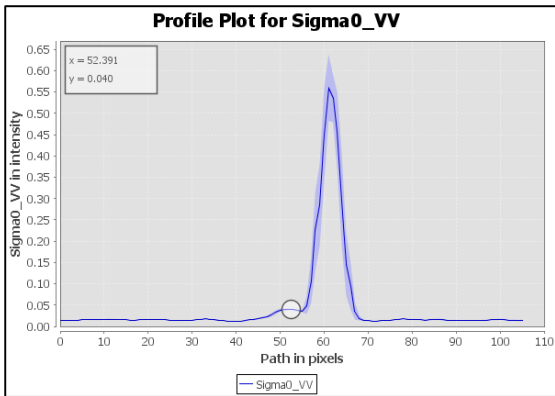
Pendekatan kedua yang digunakan untuk deteksi *oil spill* adalah menggunakan algoritma *adaptive threshold* yang tersedia pada *tool oil spill detection* di perangkat lunak SNAP. Dalam penerapan *adaptive threshold* terlebih dahulu harus ditentukan ukuran *background window* untuk menghitung tingkat *backscatter* rata-rata lokal dan *threshold shift* yang ditetapkan sebesar k desibel di bawah perkiraan tingkat *backscatter* rata-rata lokal. Pada kasus tumpahan minyak di perairan Bintang dengan area yang tidak terlalu luas maka ukuran *background window* diatur sesuai *default* pada *tool oil spill detection* yaitu berukuran 61. *Threshold shift* yang digunakan mengacu pada hasil penelitian Solberg et al (2007) dengan kisaran *threshold shift* 1 hingga 4 dB. Pada penelitian ini digunakan *threshold shift* sebesar 1 dB. Hasil deteksi *oil spill* dengan *adaptive threshold* tersebut dapat dilihat pada **Gambar 6a**, dimana hasil deteksi *oil spill* sudah cukup baik namun terdapat beberapa kesalahan deteksi yaitu munculnya objek *oil spill* di sekitar objek kapal (area yang dilingkari). Hal ini diduga terjadi karena pada metode ini deteksi objek tumpahan minyak dilakukan berdasarkan *threshold* perbedaan nilai *backscatter*, sehingga objek kapal dengan lingkungan sekitarnya yang memiliki perbedaan nilai *backscatter* sama dengan perbedaan *backscatter* antara minyak dengan lingkungan sekitarnya akan ikut terdeteksi.



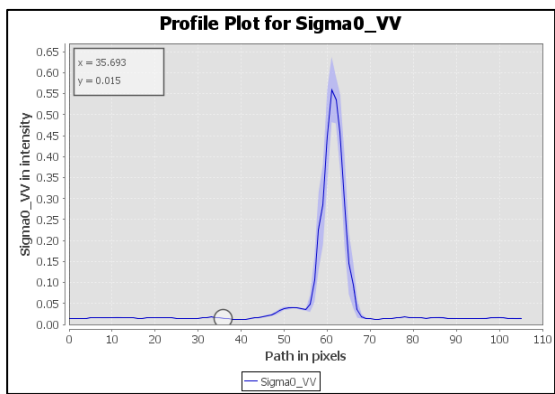
Gambar 6. (a) Hasil deteksi *oil spill* (warna merah) dengan *adaptive threshold* di Perairan Bintang (b) hasil modifikasi.



(a)



(b)



(c)

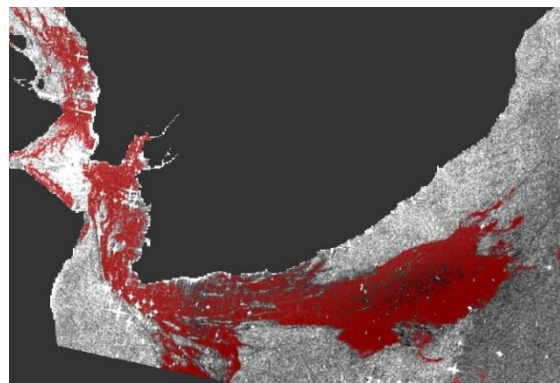
Gambar 7. Contoh penentuan nilai backscatter untuk masking kapal dalam proses modifikasi *adaptive threshold* (a) transek garis sekitar kapal, (b) nilai *backscatter* mencapai 0.04, (c) nilai *backscatter* perairan mencapai 0.015.

Kesalahan ini juga ditemukan pada penelitian sebelumnya yaitu Misra & Balaji (2017), namun pada penelitian tersebut belum dilakukan koreksi. Maka pada penelitian kali ini dilakukan koreksi dengan modifikasi sebelum penerapan metode *adaptive threshold*, yaitu dengan melakukan *masking* pada objek kapal yang ada di sekitar perairan tumpahan minyak terlebih dahulu. *Masking* dilakukan dengan mengganti nilai *backscatter* kapal dengan nilai perairan sekitarnya. Cara ini diawali dengan membuat transek garis sekitar kapal untuk mengetahui nilai *backscatter* kapal (**Gambar 7a**). Nilai saat terjadi kenaikan *backscatter* dijadikan acuan untuk menggantikan nilai yang lebih besar dari *backscatter* tersebut dengan nilai *backscatter* di perairan sekitarnya. Sebagai contoh penentuan nilai *backscatter*

tersebut dapat dilihat pada **Gambar 7**, dimana nilai *backscatter* kapal yang digunakan yaitu saat awal terjadi peningkatan nilai *backscatter* adalah sebesar 0.04 (**Gambar 7b**), kemudian nilai dengan batasan 0.04 ke atas digantikan dengan nilai *backscatter* perairan sekitarnya yaitu sebesar 0.015 (**Gambar 7c**).

Ketika melakukan modifikasi terlebih dahulu dengan mengganti nilai *backscatter* kapal dengan nilai *backscatter* perairan sekitarnya, maka selanjutnya penerapan *adaptive threshold* dengan *tool* otomatis *oil spill detection* dapat diperoleh hasil deteksi *oil spill* yang lebih baik seperti yang ditampilkan pada **Gambar 6b**. Pada **Gambar 6b** dapat dilihat objek yang sebelumnya terdeteksi sebagai *oil spill* di sekitar objek kapal tidak muncul kembali dengan menerapkan *masking* kapal terlebih dahulu sebelum menerapkan *adaptive threshold*.

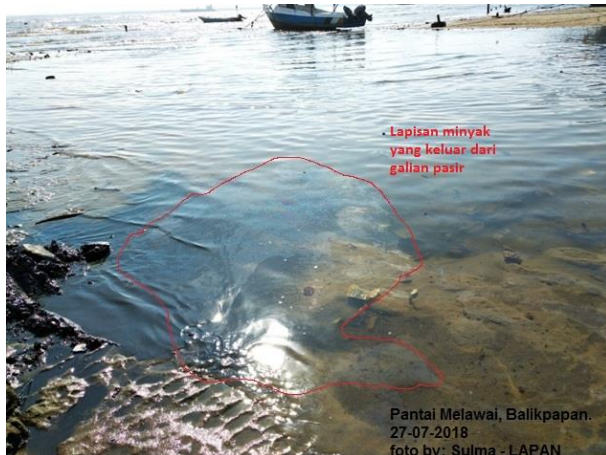
Metode ini kemudian diujicobakan pula untuk kasus tumpahan minyak di Teluk Balikpapan. Dengan area tumpahan minyak yang lebih luas maka ukuran *background window* yang digunakan juga harus lebih luas. Pada kasus ini ukuran *background window* yang digunakan adalah 500 dan besar *threshold shift* yang digunakan sama dengan kasus di perairan Bintan yaitu 1 dB. Dengan menerapkan *masking* kapal terlebih dahulu maka hasil yang diperoleh menjadi lebih baik dan lebih sesuai dengan sebaran tumpahan minyak yang dapat dilihat secara visual **Gambar 8** memperlihatkan hasil deteksi tumpahan minyak di perairan Teluk Balikpapan pada tanggal 2 April 2018 dengan metode *adaptive threshold*, pada gambar tersebut dapat dilihat selain tumpahan minyak ke arah laut lepas, tumpahan minyak pada area teluk dapat terdeteksi dengan baik. Hal ini menjadi kelebihan dibandingkan dengan metode analisis tekstur yang digunakan sebelumnya, dimana tumpahan minyak yang cenderung lebih tipis di wilayah teluk tidak dapat terdeteksi dengan baik.



Gambar 8. Hasil modifikasi deteksi *oil spill* (warna merah) dengan *adaptive threshold* di Perairan Teluk Balikpapan hasil modifikasi.

Hasil penelitian ini dengan menggunakan metode *adaptive threshold* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan metode analisis tekstur, karena dapat mendeteksi lapisan minyak yang lebih tipis terutama di daerah percampuran di teluk

(karena pasang surut), sedangkan pada penelitian Akkartal & Sunar (2008) kedua metode memberi hasil yang sama. Selain itu jika dibandingkan dengan hasil penelitian Misra & Balaji (2017) yang menggunakan *adaptive threshold*, pada penelitian tersebut belum diperoleh hasil yang cukup baik. Namun pada penelitian kali ini dapat diperoleh hasil yang lebih baik karena telah dilakukan modifikasi pada tahapan analisisnya, sehingga kesalahan objek minyak di sekitar kapal atau objek dengan *backscatter* tinggi tidak muncul lagi.



(a)



(b)



(c)

Sumber: dokumentasi survei lapangan Juli 2018

Gambar 9. (a) Lapisan minyak yang keluar dari galian pasir Pantai Melawai, (b) bekas kerusakan akibat tumpahan minyak pada wilayah mangrove Margasari, (c) Kariangau.

Berdasarkan laporan KLHK (2018) pada kejadian tumpahan minyak di Teluk Balikpapan, diketahui bahwa pada tanggal 3 April 2018 masih ditemukan lapisan minyak di perairan pesisir Kelurahan Margasari, Kelurahan Kampung Baru Hulu, Kelurahan Kampung Baru Hilir dan Kelurahan Kariangau RT 01 dan RT 02 Kecamatan Balikpapan Barat. Disamping itu ditemukan pula ekosistem terdampak berupa tanaman mangrove di Kelurahan Kariangau dan Kelurahan Margasari serta ditemukannya biota laut jenis kepiting yang mati di Pantai Banua Patra. Saat survei lapangan yang dilakukan pada bulan Juli 2018 (**Gambar 9**) masih terlihat jejak tumpahan minyak (lingkaran merah) di pantai dan bekas kerusakan akibat tumpahan minyak pada wilayah mangrove di sekitar pesisir Kelurahan Margasari dan Kelurahan Kariangau. Jejak tumpahan minyak terlihat pada pohon mangrove berupa tanda kehitaman di batang pohon mangrove. Hal ini menunjukkan bahwa tumpahan minyak memang sampai ke wilayah tersebut dan menunjukkan bahwa hasil deteksi menggunakan metode *adaptive threshold* adalah sesuai dengan kondisi di lapangan.

KESIMPULAN

Hasil kajian menunjukkan bahwa metode tekstur analisis GLCM dan *adaptive threshold* pada citra SAR Sentinel 1 memberikan hasil yang cukup baik untuk area tumpahan minyak yang cukup tebal. Namun untuk area tumpahan minyak yang tipis atau pada wilayah pencampuran air, maka metode *adaptive threshold* memberikan hasil yang lebih baik. Modifikasi berupa *masking* kapal (atau objek dengan *backscatter* tinggi) sebelum diterapkan metode *adaptive threshold* dapat mengurangi kesalahan seperti terdeteksinya objek minyak di sekitar kapal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Dr. Indah Prasasti selaku Kepala Kelompok Penelitian LMB dan Dr. M. Rokhis Komaruddin selaku Kepala Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini, serta Teguh Prayogo, ST., M.Si. yang telah memberi masukan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akkartal, A., & Sunar, F. (2008). The Usage of Radar Images in Oil Spill Detection. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Volume. XXXVII. Part B8. Beijing 2008*.
- Albregtsen, F. (2008). Statistical Texture Measures Computed from Gray Level Cooccurrence Matrices. *Image Processing Laboratory*.
- Assilzadeh, H., & Mansor, S. B. (2001). Early Warning System for Oil Spill Using Sar Images. *Response*, 5–9.
- Brekke, C. (2007). Automatic Screening of Synthetic Aperture Radar Imagery for Detection of Oil

- Pollution in The Marine Environment.
- Brekke, C., & Solberg, A. H. S. (2005). Oil spill detection by satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.11.015>
- ESA. (2012). *SENTINEL-1 ESA's Radar Observatory Mission for GMES Operational Services. ESA Special Publication*.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
- Fingas. (2012). Oil Spill Remote Sensing: Chapter 3. *Mar. Pollut. Bull. Oil Spill Remote Sensing: A Review*, 347(111). Retrieved from http://spillcontrol.org/technical_articles/Oil_Spill_Remote_Sensing.pdf
- Hartuti, M., Arief, M., Prayogo, T., Marpaung, S., Emiyati, Anggraini, N., ... Godoras, T. (2015). Litbang Pemanfaatan Data Radar Untuk Pesisir Dan Laut.
- Ivanov, A., He, M., & Fang, M. (2002). Oil spill detection with the RADARSAT SAR in the waters of the Yellow and East China Sea: A case study. *23rd Asian Conference on Remote Sensing*, (February 2014), 25–29.
- Joseph, M., Jayasri, P. V., Dutta, S., Kumari, E. V. S. S., & Prasad, A. V. V. (2017). Oil Spill Detection from RISAT-1 Imagery Using Texture Analysis. *Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, APMC*, 7931359.
<https://doi.org/10.1109/APMC.2016.7931359>
- KLHK. (2018). Laporan Tim Penanganan Kejadian Tumpahan Minyak (Oil Spill) Di Perairan Teluk Balikpapan Kota Balikpapan Dan Kabupaten Penajam Pasir Utara , Provinsi, (April), 1–13.
- Marghany, M. (2001). RADARSAT Automatic Algorithms for Detecting Coastal Oil Spill Pollution. *ITC Journal*. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(01\)85011-X](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(01)85011-X)
- Marghany, M. (2004). RADARSAT for Oil Spill Trajectory Model. *Environmental Modelling and Software*.
[https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00162-2](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00162-2)
- Marghany, M., & Van Genderen, J. (2014). Entropy Algorithm for Automatic Detection of Oil Spill from Radarsat-2 SAR Data. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/18/1/012051>
- Misra, A., & Balaji, R. (2017). Simple Approaches to Oil Spill Detection using Sentinel Application Platform (SNAP)-Ocean Application Tools and Texture Analysis: A Comparative Study. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*.
<https://doi.org/10.1007/s12524-016-0658-2>
- Prayogo, T., Hidayat, Arifin, S., Carolita, I., Winarso, & Hawariyah, S. (2010). *Deteksi dan Analisis Sebaran Tumpahan Minyak di Laut Timor menggunakan Data Satelit Penginderaan Jauh. LAPAN*.
- Putranto, H. E., Hartuti, M., Putri, R. A. E., & Putri, S. G. K. R. (2016). Pemanfaatan Data Sentinel-1 untuk Analisis Tumpahan Minyak secara Multi-Temporal di Perairan Utara Jawa Timur Sentinel-1. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*, 354–361.
- Silva, A., Branco, W., Silva, D., Habl, L., Sarmiento, T., & Pascual, M. (2017). Semi-automatic Oil Spill Detection in Sentinel-1 SAR Images at Brazil's Coast. *The Ninth International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services*, 1–5.
- Solberg, A. H. S., Brekke, C., & Husøy, P. O. (2007). Oil Spill Detection in Radarsat and Envisat SAR Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.
<https://doi.org/10.1109/TGRS.2006.887019>
- Topouzelis, K. N. (2008). Oil spill detection by SAR images: Dark formation detection, feature extraction and classification algorithms. *Sensors*.
<https://doi.org/10.3390/s8106642>

PEMETAAN PERKEBUNAN SAWIT RAKYAT DARI FOTO UDARA NON METRIK MENGGUNAKAN ANALISIS BERBASIS OBJEK

(*Smallholder Oil Palm Plantation Mapping from Non-metric Aerial Photography using Object-based Analysis*)

Agung Syetiawan dan Muhammad Haidar

Badan Informasi Geospasial

Jl. Raya Jakarta-Bogor Km. 46 Cibinong 16911, Indonesia

E-mail: agung.syetiawan@big.go.id

Diterima: 1 Februari 2019; Direvisi: 21 Maret 2019; Disetujui untuk Dipublikasikan: 25 April 2019

ABSTRAK

Beberapa tahapan penerbitan Surat Tanda Daftar Usaha Perkebunan untuk Budidaya (STD-B) yang digunakan dalam kegiatan perkebunan sawit dengan luas kurang dari 25 ha yaitu pemeriksaan lapangan dan pemetaan. Penerbitan STD-B harus melampirkan peta sebagai persyaratan dalam pendaftaran STD-B, yaitu peta yang memiliki skala 1:2.000. Untuk itu diperlukan teknologi pemetaan yang mumpuni guna memenuhi kebutuhan pemetaan tersebut. Tujuan penelitian adalah mengkaji kemampuan pemetaan udara menggunakan kamera non-metrik untuk pembuatan peta sawit rakyat. Proses akuisisi pemetaan sawit rakyat dilakukan di daerah Labanan Makmur Kalimantan Timur. Proses pemetaan udara menggunakan wahana tanpa awak (WTA) *fixed wing* dengan ketinggian terbang 420 meter di atas permukaan tanah menghasilkan 186 foto dengan *sidelap* dan *overlap* foto sebesar 70% dan 80%. Proses identifikasi tanaman kelapa sawit rakyat menggunakan pendekatan *Object Based Image Analysis* (OBIA). Output akhir yaitu menghasilkan foto udara dengan nilai GSD (*Ground Sampling Distance*) sebesar 13 cm/pix. Proses pengolahan foto udara dilakukan dengan memasukkan GCP dan tanpa menggunakan GCP. Hasil evaluasi geometrik nilai akurasi horisontal dengan menggunakan GCP diperoleh akurasi sebesar 0,250 meter sementara tanpa menggunakan GCP diperoleh akurasi sebesar 4,222 meter. Dari hasil evaluasi geometrik tersebut maka foto udara dengan menggunakan GCP memenuhi ketelitian geometri untuk pembuatan peta pada skala 1: 1.000, sementara foto udara tanpa menggunakan GCP memenuhi pada skala 1: 25.000. Hasil identifikasi sawit rakyat mendapatkan nilai akurasi objek 57,74% untuk wilayah blok 1 dan 69,54% wilayah blok 2. Proses pemetaan foto udara menggunakan kamera non-metrik ditambahkan dengan pengukuran GCP bisa digunakan sebagai acuan yang digunakan untuk membuat peta lampiran pendaftaran STD-B.

Kata kunci: STD-B, pemetaan udara, kamera non metrik, sawit rakyat, OBIA, GCP

ABSTRACT

Several phases in the issuance of register for plantation cultivation used for smallholder oil palm plantation with an area of less than 25 ha are field inspection and mapping. Issuance of register for plantation cultivation must attach the map as required in scale of 1:2,000. Thus, it requires robust mapping technology to meet certain standards. The aim of the study is to examine the ability of aerial photo using non-metric cameras to map smallholder oil palm plantation. The acquisition of oil palm plantation mapping is carried out in Labanan Makmur, East Kalimantan. Aerial photos acquisition used fixed-wing UAV with flight altitude of 420 meters above ground and produced 186 photos with sidelap and overlap of 70% and 80%. Process of identifying smallholder oil palm plantation used the OBIA approach. The final output is to produce aerial photos with a value of GSD of 13 cm/pixel. Aerial photo processing is performed either by using GCP and without GCP. The results of geometric evaluation of horizontal accuracy value using GCP is 0.250 meters while without using GCP is 4.222 meters. The results of the geometric evaluation showed that aerial photo using GCP meet the accuracy requirement for map in scale of 1:1,000; whilst aerial photo not using GCP could be utilized for mapping in scale of 1:25,000. Accuracy oil palm object 57.74% for block 1 and 69.54% for block 2. Aerial photo using non-metric camera combined with GCP measurements can be used as data source used to produces the smallholder oil palm plantation map.

Keyword: STD-B, aerial photo, non-metric camera, smallholder oil palm, OBIA, GCP

PENDAHULUAN

Sampai dengan tahun 2017 areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 16 juta hektar dimana luas perkebunan rakyat telah mencapai 53 persen dari total keseluruhan yang ada (PASPI, 2017). Artinya perkebunan kelapa sawit rakyat

berkembang sangat pesat, bahkan mengalahkan dominasi perkebunan swasta yang sudah ada. Perkembangan perkebunan kelapa sawit menjadi isu strategis untuk peningkatan kesejahteraan rakyat, mendorong ekonomi nasional menjadikan Indonesia penghasil minyak sawit terbesar dunia, dan meningkatkan lapangan kerja serta

kesempatan usaha di sektor perkebunan. Dengan perkembangan ini, tidaklah heran jika industri kelapa sawit Indonesia menjadi topik yang menarik perhatian masyarakat dunia.

Pekebun atau orang perseorangan warga negara Indonesia yang melakukan usaha perkebunan dengan skala usaha tidak mencapai skala tertentu wajib memiliki Surat Tanda Daftar Usaha Perkebunan untuk Budidaya (STD-B). Pekebun yang dimaksud adalah pekebun yang memiliki lahan perkebunan maksimal 25 hektar. Penerbitan STD-B bermanfaat untuk mempercepat inventarisasi data pekebun, selain itu STD-B bisa dijadikan acuan bagi petani untuk mendapatkan dana bantuan sosial. STD-B sangat penting sebagai dokumen legal tanda daftar, sehingga pekebun mendapatkan kepastian hukum atas perkebunan yang dikelolanya.

Salah satu tahapan penerbitan STD-B yaitu pemeriksaan lapangan dan pemetaan yang dilakukan oleh tim verifikasi lintas sektoral. Penerbitan STD-B harus melampirkan peta sebagai persyaratan dalam pendaftaran STD-B, kemudian STD-B disahkan oleh Bupati/Walikota daerah setempat. Berdasarkan Pedoman Penerbitan Surat Tanda Daftar Usaha Perkebunan untuk Budidaya/STD-B (2018), peta yang digunakan sebagai lampiran penerbitan STD-B memiliki skala 1:2.000. Untuk itu diperlukan teknologi pemetaan yang mumpuni guna memenuhi kebutuhan pemetaan skala besar tersebut.

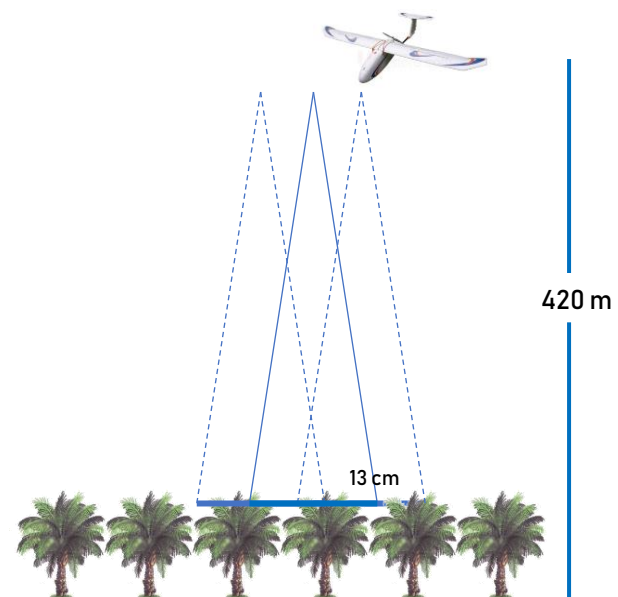
Wahana Tanpa Awak (WTA) atau sering disebut *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) merupakan jenis pesawat terbang yang dikendalikan alat sistem kendali jarak jauh lewat gelombang radio. UAV merupakan sistem berbasis elektro mekanik yang dapat melakukan misi terprogram dengan karakteristik sebuah mesin terbang yang berfungsi dengan kendali jarak jauh oleh pilot atau mampu mengendalikan dirinya sendiri, menggunakan hukum aerodinamika untuk mengangkat dirinya sendiri (Saroinsong, Poekoel, & Manembu, 2018). Penggunaan Wahana Tanpa Awak menjadi semakin populer seiring dengan semakin berkembangnya teknologi WTA dan kamera. WTA bisa dimanfaatkan untuk keperluan estimasi tutupan vegetasi (Breckenridge & Dakins, 2011), monitoring rehabilitasi hutan (Hird et al., 2017), kebakaran hutan (Ambrosia et al., 2003) dan monitoring kesehatan hutan (Dash, Watt, Pearse, Heaphy, & Dungey, 2017). Keunggulan menggunakan sistem wahana udara tak berawak ini adalah Wahana Tanpa Awak dan kamera non metrik dapat menghasilkan tampilan permukaan bumi secara lebih detail dengan resolusi sangat bagus (Syetiawan & Gularso, 2018). Teknologi UAV sangat potensial digunakan untuk keperluan pemetaan teliti di bidang pertanian (Rokhmana, 2014; Tahar, 2012; G. Yang et al., 2017). Penggunaan wahana tanpa awak dan kamera non metrik sangat menguntungkan dari segi ekonomis dan waktu untuk membantu mempercepat pembuatan peta sawit rakyat. Tampilan foto udara

dengan resolusi tinggi akan mempermudah untuk proses identifikasi pohon sawit.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan pemetaan udara menggunakan kamera non metrik untuk pembuatan peta sawit rakyat. Proses perhitungan pohon sawit rakyat sebagai lampiran peta menggunakan analisis berbasis objek. Harapannya dengan memanfaatkan teknologi pemetaan udara menggunakan kamera non metrik dapat digunakan sebagai salah satu alternatif penyediaan Data Geospasial (DG) yang selanjutnya dapat diekstrak menjadi Informasi Geospasial (IG) dalam bentuk peta sawit rakyat. Hasil proses pemetaan dapat digunakan untuk acuan penerbitan STD-B. Tentunya kegiatan pemetaan harus dilakukan sesuai dengan standar pemetaan yang berlaku saat ini. Proses inventarisasi dan verifikasi perkebunan sawit rakyat akan lebih mudah sehingga dapat mengurangi terjadinya tumpang tindih dengan penggunaan lahan lainnya.

METODE

Proses akuisisi pemetaan sawit rakyat dilakukan di Desa Labanan Makmur, Kecamatan Teluk Bayur, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. Desa Labanan Makmur merupakan desa transmigrasi dimana masyarakatnya kebanyakan bekerja pada sektor pertanian dan perkebunan. Wilayah Labanan Makmur dipilih karena wilayah ini banyak terdapat perkebunan kelapa sawit rakyat. Proses pengambilan foto udara pada ketinggian terbang rata-rata 420 meter di atas permukaan tanah dengan total keseluruhan area yang dipetakan adalah kurang lebih 500 hektar. Penentuan *sidelap* dan *overlap* foto sebesar 70% dan 80% menghasilkan foto sebanyak 186 foto dengan lama durasi terbang selama kurang lebih 60 menit. Ilustrasi tinggi terbang WTA dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Tinggi terbang Wahana Tanpa Awak.

Spesifikasi wahana dan sensor

Proses pengumpulan data foto udara menggunakan Wahana Tanpa Awak (WTA) tipe *fixed wing*. Keunggulan menggunakan tipe *fixed wing* adalah pesawat lebih aerodinamis sehingga wahana dapat terbang lebih lama dengan kecepatan tinggi dibandingkan dengan menggunakan tipe *multi rotor*. WTA tipe *fixed wing* dapat memetakan area survei dengan cakupan area yang lebih luas dalam sekali penerbangan. Wahana yang digunakan adalah *skywalker wingspan* 1.880 mm dengan spesifikasi wahana bisa dilihat pada **Tabel 1**. Wahana Tanpa Awak menggunakan baterai 4 *cell* sehingga mampu terbang hingga durasi 60 menit pada tinggi jelajah yang optimal. WTA dilengkapi dengan perangkat antenna GPS (*Global Positioning System*) teliti. Dengan bantuan GPS, setiap frame foto akan mempunyai koordinat, meskipun koordinat yang dihasilkan masih merupakan koordinat absolut berasal dari satelit. Pada misi terbang pemetaan sawit rakyat ini, WTA menggunakan kamera Sony ILCE-Q1 tipe CMOS dengan resolusi 20,1 *Mega Pixel*. Jenis lensa yang digunakan adalah lensa kamera *mirrorless*, spesifikasi lengkap kamera yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Proses pemetaan sawit rakyat menggunakan WTA dan kamera non metrik dapat dilihat pada **Gambar 2**. Tahapan awal adalah menentukan rencana terbang daerah sawit rakyat yang akan dipetakan, kemudian tahap selanjutnya adalah melakukan akuisisi foto udara dan pengukuran titik kontrol ikat serta titik uji. Tahapan selanjutnya adalah proses pengolahan foto udara, dimulai dengan proses *alignment* setiap foto. *Alignment* foto merupakan proses untuk melakukan identifikasi titik sekutu secara otomatis, kalibrasi kamera untuk menentukan orientasi dalam dan orientasi luar kamera. Hasil dari proses *alignment* diantaranya adalah parameter kalibrasi kamera atau *internal orientation* (IO), bentuk kumpulan *tie point* terdeteksi dalam model 3D, dan posisi kamera saat pemotretan atau *external orientation* (EO) yang melibatkan hitungan *bundle adjustment*.

Tahap berikutnya adalah penentuan titik kontrol dan kemudian dilakukan proses optimalisasi posisi kamera, kegunaannya adalah untuk meletakkan posisi kamera pada posisi yang sebenarnya pada saat terbang sehingga akan didapatkan posisi foto udara sesuai dengan kondisi di lapangan. Proses identifikasi titik GCP dilakukan dengan mencocokkan foto-foto yang terdapat tanda *premark* didalamnya. Selanjutnya hasil dari proses identifikasi GCP dilanjutkan ke proses pembuatan model permukaan 3 dimensi dari hasil proses *build point cloud*, dan tahapan terakhir dari pengolahan foto adalah terbentuk ortho mosaik foto udara. Hasil foto mosaik digunakan untuk mengidentifikasi perkebunan sawit rakyat menggunakan pendekatan *Object Based Image Analysis* (OBIA).

Tabel 1. Spesifikasi Wahana Tanpa Awak

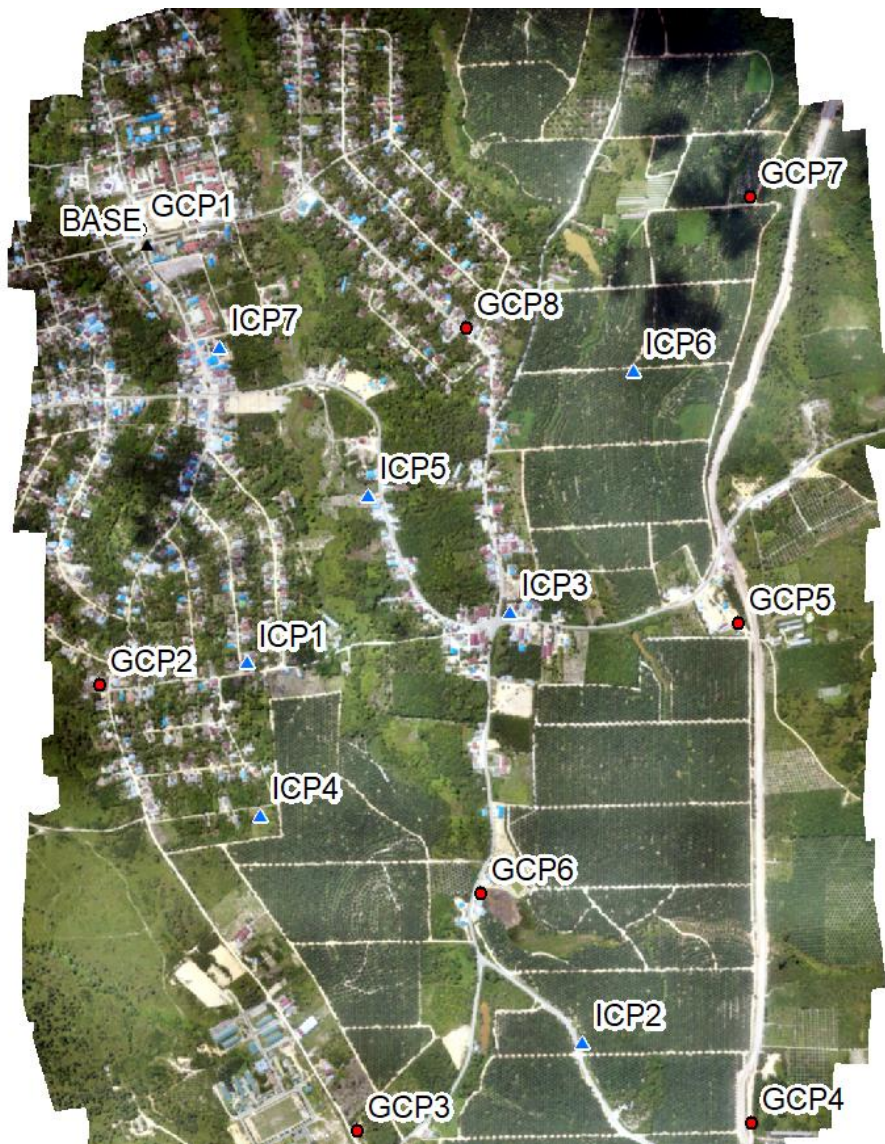
SkyWalker 1900 V2.0	
<i>Airframe:</i>	SW 2014 (<i>Wingspan</i> 1.880 mm)
<i>Flight Controller:</i>	3DR Pixhawk Cube 2.1
GPS + Compass:	3DR ublox M8N
<i>Radio controller:</i>	2,4 Ghz 16 channels 866-915 Mhz 100 mw-1000 mw (Adjustable)
<i>Radio Telemetry:</i>	
Servo:	Digital Servo 2.7 kg/0.13 sec
<i>Motor:</i>	930 Kv Brushless Motor
<i>Sensor:</i>	Digital Airspeed sensor
<i>Battery:</i>	Li-ion 4s5p-4s6p

Tabel 2. Spesifikasi Kamera yang Digunakan.

Sony ILCE-QX1	
Lensa	E-mount Sony 16 mm fixed, F2.8 ~
Pixel	20.1 MP
Pencahayaan	Sensor CMOS Exmor
Dimensi	74x69,5x52,5 mm
Tipe	Mirrorless
Tipe Sensor	
Optical	APS-C type (23.2 x 15.4 mm)
Shutter speed	1/4000 to 30 sec



Gambar 2. Diagram alir pembuatan peta sawit rakyat.



Gambar 3. Sebaran titik GCP dan ICP wilayah Labanan Makmur.

Pengukuran *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Check Point* (ICP) menggunakan perangkat GPS Geodetik dual frekuensi. Di sekitar lokasi akuisisi WTA tidak terdapat Jaring Kontrol Horizontal. Oleh karena itu, titik acuan pengukuran menggunakan titik base lokal yang diamati selama 12 jam kemudian diikatkan pada stasiun CORS terdekat milik Badan Informasi Geospasial, stasiun tetap CORS Berau (CRAU). Konfigurasi sebaran titik GCP dan ICP dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Pengukuran GCP dan ICP menggunakan *premarking*, tanda di lapangan dipasang sebelum proses pemotretan foto udara. Jumlah titik GCP adalah delapan titik berada pada perimeter area pemotretan udara, sementara total titik ICP yang diukur berjumlah tujuh titik. Metode pengukuran GCP dan ICP adalah metode penentuan posisi statik singkat. Jarak antar titik GCP dan ICP dibuat kurang dari satu kilometer tersebar secara merata dengan komposisi yang optimal mengikuti area sawit rakyat yang dipetakan. Beberapa titik ICP ditempatkan di sekitar lokasi perkebunan sawit rakyat. Parameter pengolahan data satelit dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Parameter *Processing Data*.

Parameter	Keterangan
Titik Ikat	Stasiun Tetap CORS Berau (CRAU)
<i>Frequency used</i>	Dual Frequency (L1, L2)
Ephemeris	<i>Broadcast</i>
Interval data	1 second
<i>Satellite Segment</i>	GPS dan GLONASS
Datum	WGS 1984
Zone	50 North
Geoid	EGM 2008 1'

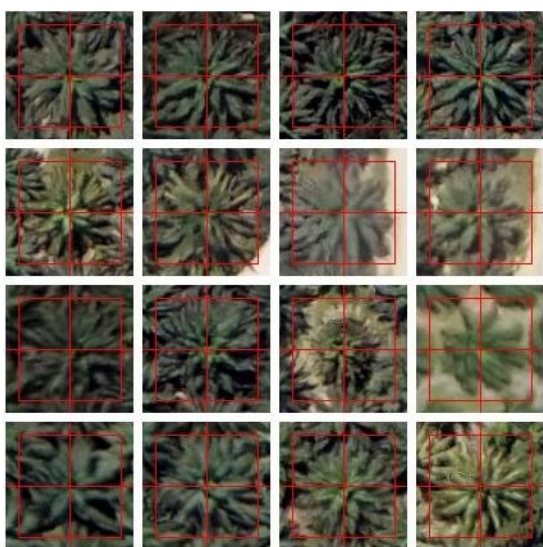
Analisis Foto Berbasis Objek

Sebagai lampiran dalam pembuatan peta STD-B diperlukan informasi sebaran sawit rakyat yang dipetakan. Proses identifikasi tanaman kelapa sawit rakyat menggunakan pendekatan *Object Based Image Analysis* (OBIA). OBIA sudah banyak digunakan karena kemampuannya untuk mengidentifikasi informasi tambahan seperti

ukuran, bentuk, tekstur dan kedekatan objek (Korom, Phua, Hirata, & Matsuura, 2014).

Hasil mosaik foto udara resolusi tinggi kemudian dianalisis untuk mendapatkan sebaran sawit rakyat. Algoritma *template matching* merupakan teknik populer yang digunakan untuk mendeteksi objek dari gambar menggunakan *boundary* objek sebagai kriteria (Z. Yang, 2010). Analisis berbasis objek diterapkan dimana batas objek didefinisikan melalui segmentasi.

Langkah awal yaitu menentukan objek-objek yang digunakan sebagai *sample*, kemudian membangun *template* berdasarkan layer warna yang tersedia di foto. *Template* yang dibangun akan menghasilkan koefisien korelasi (R^2). Algoritma akan mencari gambar untuk menemukan area dalam foto yang cocok dengan gambar *template* berdasarkan pada korelasi *sample* yang ditentukan. Pengulangan pembuatan *template* dilakukan untuk mencari nilai koefisien korelasi terbaik. *Threshold* korelasi yang digunakan saat proses identifikasi objek bernilai **0,25**. Hasil dari proses *template matching* adalah titik *centroid* yang merepresentasikan mahkota pohon sawit. **Gambar 4** menunjukkan *sample* sawit yang digunakan pada proses pembuatan *template matching*.



Gambar 4. Beberapa Sampel Sawit yang Digunakan untuk Pembuatan *Template Matching*.

Evaluasi ketelitian geometrik mosaik foto udara

Ketelitian geometri adalah nilai yang menggambarkan tingkat ketidakpastian koordinat posisi suatu objek pada foto tegak dibandingkan dengan koordinat posisi objek yang dianggap posisi sebenarnya. Ketelitian geometri yang diuji hanya pada akurasi horisontal saja. Evaluasi hasil mosaik foto udara dilakukan dengan cara membandingkan koordinat foto udara dengan koordinat hasil pengolahan data GPS.

Pengujian ketelitian posisi mengacu pada perbedaan koordinat (X, Y) antara titik uji pada gambar atau citra tegak dengan lokasi sesungguhnya dari titik uji pada permukaan tanah. Pengukuran akurasi menggunakan *root mean square error* (RMSE) dan *circular error*. RMSE digunakan untuk menggambarkan akurasi meliputi kesalahan *random* dan sistematis. Nilai RMSE dapat dilihat pada **Persamaan 1**.

$$RMSE_{horizontal} = \sqrt{\frac{\sum[(x_{data}-x_{cek})^2+(y_{data}-y_{cek})^2]}{n}} \dots (1)$$

Keterangan:

- n = Jumlah total pengecekan pada peta
- x = nilai koordinat pada sumbu - X
- y = nilai koordinat pada sumbu - Y

Nilai ketelitian posisi citra tegak adalah nilai CE90 untuk ketelitian horisontal, yang berarti bahwa kesalahan posisi pada citra tegak tidak melebihi nilai ketelitian tersebut dengan tingkat kepercayaan 90%. Perhitungan nilai CE90 dapat dilihat pada **Persamaan 2**.

$$CE90 = 1,5175 \times RMSE_r \dots (2)$$

Keterangan:

$RMSE_r$ = *Root Mean Square Error* pada posisi x dan y (horizontal)

Ketentuan ketelitian geometri berdasarkan Peraturan Kepala BIG no. 15 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar (2014). Ketelitian geometri peta RBI yang dihasilkan tertera pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Ketelitian Geometri Peta Rupa Bumi Indonesia.

No	Skala	Interval kontur (m)	Ketelitian Peta RBI (m)					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horizontal (CE90)	Vertikal (LE90)	Horizontal (CE90)	Vertikal (LE90)	Horizontal (CE90)	Vertikal (LE90)
1.	1:1.000.000	400	200	200	300	300	500	500
2.	1:500.000	200	100	100	150	150	250	250
3.	1:250.000	100	50	50	75	75	125	125
4.	1:100.000	40	20	20	30	30	50	50
5.	1:50.000	20	10	10	15	15	25	25
6.	1:25.000	10	5	5	7,5	7,5	12,5	12,5
7.	1:10.000	4	2	2	3	3	5	5
8.	1:5.000	2	1	1	1,5	1,5	2,5	2,5
9.	1:2.500	1	0,5	0,5	0,75	0,75	1,25	1,25
10.	1:1.000	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan titik GCP dan ICP dapat dilihat pada **Tabel 5**. Solusi ambiguitas fase pengolahan data titik kontrol adalah FIXED. Setelah proses pengumpulan data dilakukan dan proses pengolahan foto selesai diterapkan untuk seluruh foto, terbentuklah foto mosaik sawit rakyat yang dipetakan. Output akhir yaitu menghasilkan foto udara dengan nilai GSD (*Ground Sampling Distance*) sebesar 13 cm/pix. GSD merupakan resolusi spasial digunakan untuk menentukan kualitas dari foto udara yang dihasilkan. GSD 13 cm/pixel artinya adalah objek terkecil yang bisa dikenali adalah 13 centimeter. Nilai GSD ini sangat mumpuni untuk proses interpretasi pemetaan sawit rakyat. Mahkota pohon sawit mudah dikenali pada foto udara dengan resolusi tinggi (Korom et al., 2014). Dengan resolusi spasial sedetil ini dapat juga digunakan untuk menentukan umur dan kesehatan pohon sawit. Umur pohon sawit sangat vital diketahui berkaitan dengan tingkat kematangan pohon untuk menghasilkan buah (Rizeei, Shafri, Mohamoud, Pradhan, & Kalantar, 2018).

Selain resolusi spasial, hal lain yang tidak kalah penting adalah akurasi geometri foto udara yang dihasilkan. Proses pengolahan foto udara

dilakukan dengan memasukkan GCP dan tanpa menggunakan GCP. Evaluasi ketelitian geometri mosaik foto udara menggunakan GCP dapat dilihat pada **Tabel 6**, sementara ketelitian geometri tanpa menggunakan GCP bisa dilihat pada **Tabel 7**. Pada **Tabel 7** seluruh titik ikat baik GCP dan ICP digunakan sebagai titik uji untuk menghitung ketelitian geometrik hasil foto udara tanpa menggunakan titik GCP pada saat proses pengolahan foto udara.

Dari hasil evaluasi geometrik nilai akurasi horisontal dengan menggunakan GCP diperoleh akurasi sebesar 0,250 meter. Nilai tersebut lebih kecil dari nilai ambang batas terendah yakni 0,30 meter sehingga mengacu pada **Tabel 4**, maka nilai tersebut memenuhi ketelitian geometri dan dapat digunakan untuk pembuatan peta pada skala 1: 1.000 **kelas 2**. Hasil lain tanpa menggunakan GCP mendapatkan akurasi sebesar 4,222 meter. Sesuai dengan **Tabel 4**, maka nilai tersebut memenuhi ketelitian geometri dan dapat digunakan untuk pembuatan peta pada skala 1: 25.000 **kelas 1**. Pemetaan foto udara menggunakan WTA dan kamera non metrik dengan pengolahan GCP di dalamnya menghasilkan peta skala besar, sementara tanpa menggunakan GCP menghasilkan peta pada skala menengah.

Tabel 5. Titik GCP dan ICP hasil pengolahan.

ID	Eastings (Meter)	Northing (Meter)	Elevation (Meter)	Solusi Ambiguitas fase
BASE	533.762,501	228.374,531	89,013	
GCP1	533.748,632	228.409,031	86,069	FIXED
GCP2	533.650,606	227.307,508	114,847	FIXED
GCP3	534.272,562	226.226,754	111,439	FIXED
GCP4	535.222,913	226.248,154	108,927	FIXED
GCP5	535.191,240	227.455,540	106,088	FIXED
GCP6	534.568,758	226.803,967	87,692	FIXED
GCP7	535.220,203	228.488,989	77,081	FIXED
GCP8	534.533,906	228.169,760	101,182	FIXED
ICP1	534.004,713	227.363,597	107,662	FIXED
ICP2	534.816,249	226.443,425	103,874	FIXED
ICP3	534.640,251	227.485,995	110,288	FIXED
ICP4	534.036,015	226.993,856	106,879	FIXED
ICP5	534.296,253	227.769,242	97,061	FIXED
ICP6	534.937,804	228.069,337	97,406	FIXED
ICP7	533.938,597	228.126,545	91,339	FIXED

Tabel 6. Hasil uji akurasi horisontal dengan menggunakan titik GCP.

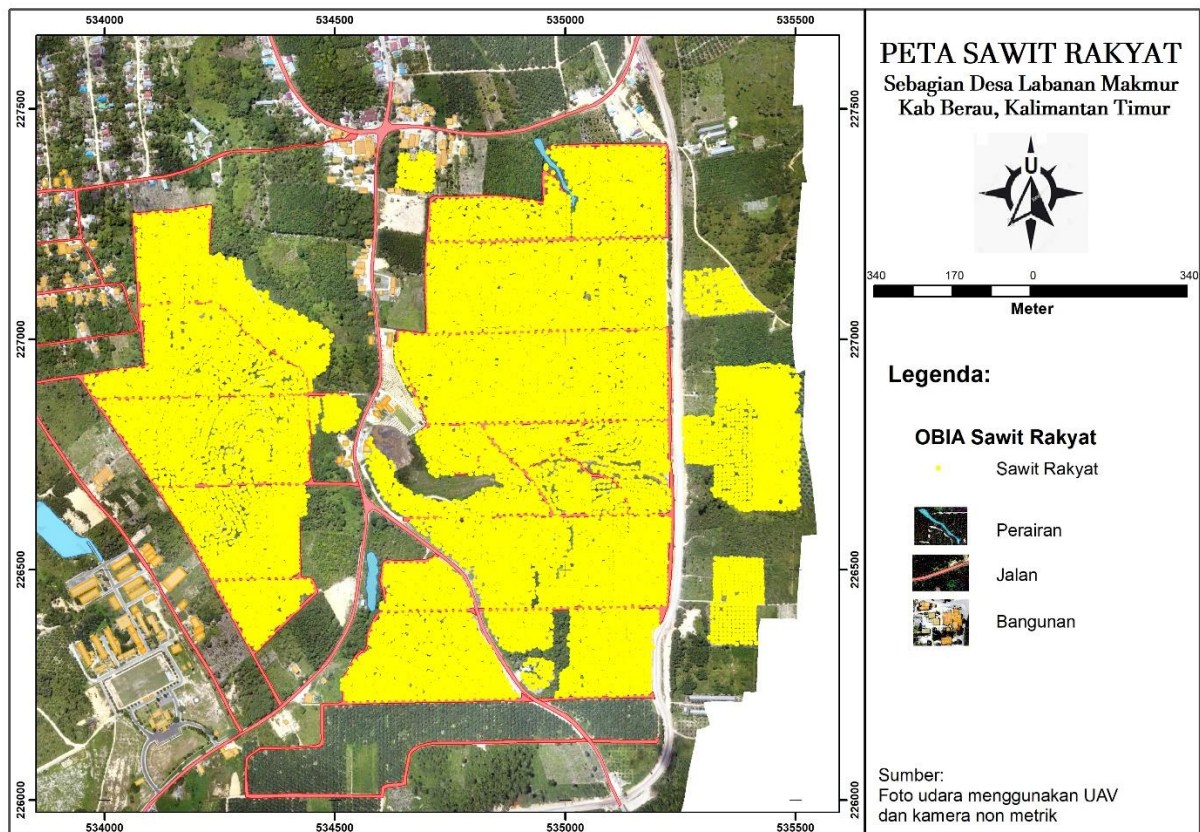
NO Titik	Hasil Ortho		Hasil Pengukuran		DX Meters	DY Meters	DX ²	DY ²	DX ² + DY ²
	X Orto	Y Orto	X Pengukuran	Y Pengukuran					
ICP1	534004,513	227363,575	534004,713	227363,597	0,200	0,022	0,04006	0,00050	0,04056
ICP2	534816,148	226443,593	534816,249	226443,425	0,101	-0,168	0,01013	0,02808	0,03821
ICP3	534640,117	227485,993	534640,251	227485,995	0,134	0,002	0,01804	0,00001	0,01804
ICP4	534035,909	226993,827	534036,015	226993,856	0,106	0,029	0,01119	0,00082	0,01201
ICP5	534296,054	227769,201	534296,253	227769,242	0,199	0,041	0,03946	0,00172	0,04119
ICP6	534937,667	228069,383	534937,804	228069,337	0,137	-0,046	0,01886	0,00214	0,02099
ICP7	533938,515	228126,433	533938,597	228126,545	0,082	0,112	0,00672	0,01247	0,01919
Jumlah									0,190
Variance									0,027
STD									0,165
Akurasi									0,250

Tabel 7. Hasil uji akurasi horisontal tanpa menggunakan titik GCP.

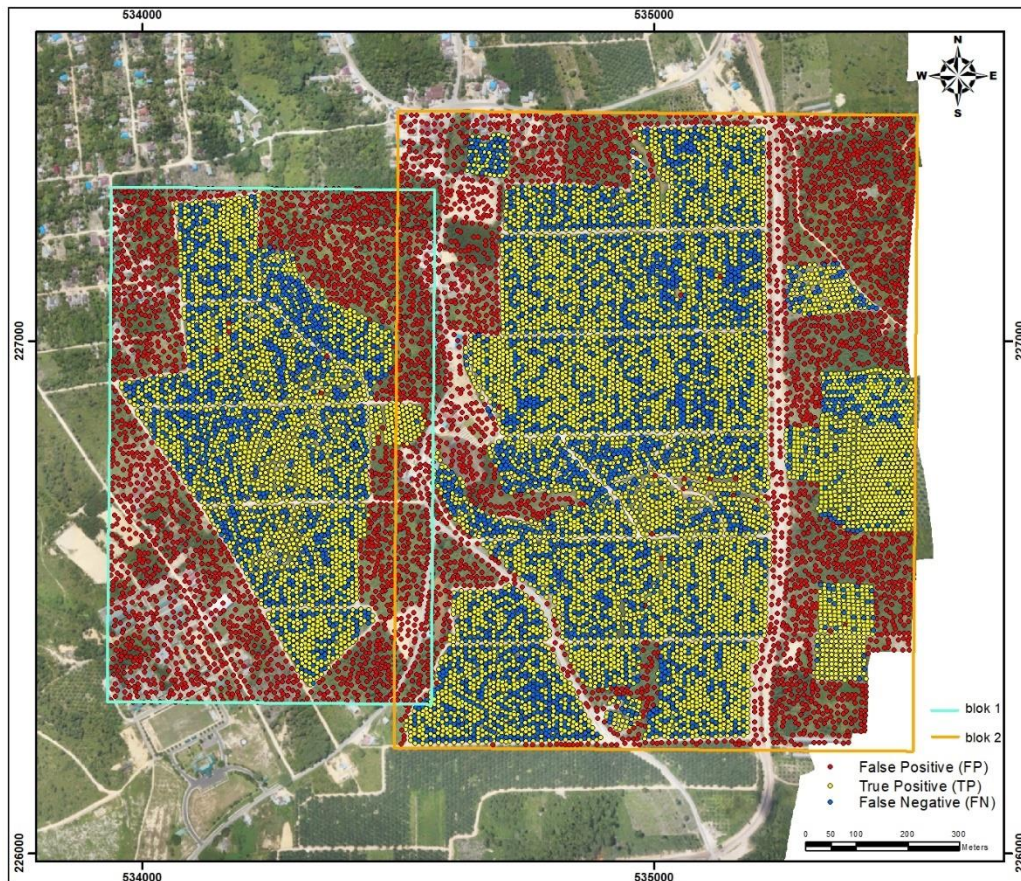
NO Titik	Hasil Ortho		Hasil Pengukuran		DX Meters	DY Meters	DX ²	DY ²	DX ² +DY ²
	X ORTO	Y ORTO	X Pengukuran	Y Pengukuran					
GCP1	533748,362	228412,703	533748,632	228409,031	0,270	-3,672	0,073	13,484	13,557
GCP2	533650,282	227310,404	533650,606	227307,508	0,324	-2,896	0,105	8,385	8,490
GCP3	534272,927	226228,094	534272,562	226226,754	-0,365	-1,340	0,133	1,796	1,929
GCP4	535223,996	226249,533	535222,913	226248,154	-1,083	-1,379	1,173	1,902	3,075
GCP5	535192,245	227458,025	535191,240	227455,54	-1,005	-2,485	1,011	6,176	7,187
GCP6	534569,289	226805,948	534568,758	226803,967	-0,531	-1,981	0,282	3,924	4,206
GCP7	535220,740	228492,681	535220,203	228488,989	-0,537	-3,692	0,289	13,628	13,917
GCP8	534534,160	228173,032	534533,906	228169,76	-0,254	-3,272	0,065	10,706	10,770
ICP1	534004,553	227366,241	534004,713	227363,597	0,160	-2,644	0,026	6,990	7,015
ICP2	534816,924	226445,151	534816,249	226443,425	-0,675	-1,726	0,455	2,979	3,434
ICP3	534640,696	227488,654	534640,251	227485,995	-0,445	-2,659	0,198	7,073	7,271
ICP4	534035,935	226996,110	534036,015	226993,856	0,080	-2,254	0,006	5,082	5,088
ICP5	534296,295	227772,188	534296,253	227769,242	-0,042	-2,946	0,002	8,679	8,681
ICP6	534938,349	228072,561	534937,804	228069,337	-0,545	-3,224	0,298	10,392	10,689
ICP7	533938,374	228129,827	533938,597	228126,545	0,223	-3,282	0,050	10,770	10,820
Jumlah									116,130
Variance									7,742
STD									2,782
Akurasi									4,222

Pedoman Penerbitan Surat Tanda Daftar Usaha Perkebunan untuk Budidaya/STD-B (2018) menyebutkan bahwa peta yang digunakan sebagai lampiran penerbitan STD-B memiliki skala 1:2.000. Untuk itu, berdasarkan hasil uji akurasi tersebut maka foto udara hasil akuisisi menggunakan WTA dan kamera non metrik dengan ditambahkan koreksi GCP bisa digunakan sebagai Data Geospasial untuk membuat peta sawit rakyat. Tampilan peta sawit rakyat bisa dilihat pada

Gambar 5. Foto udara dengan menggunakan WTA dan kamera non metrik bisa digunakan sebagai alternatif pemenuhan Data Geospasial tematik dengan syarat ketelitian akurasi yang dibutuhkan sesuai dengan peraturan ketelitian peta yang berlaku. Terlihat ada beberapa blok sawit rakyat yang dimiliki oleh penduduk sekitar. Proses inventarisasi sawit lebih mudah menggunakan Data Geospasial resolusi tinggi.



Gambar 5. Peta Sawit Rakyat Desa Labanan Makmur.



Gambar 6. Identifikasi Pohon Sawit Menggunakan Analisis Berbasis Objek.

Identifikasi Lahan Sawit

Identifikasi sawit diperlukan untuk menentukan jumlah dan area sebaran pohon sawit rakyat sebagai peta lampiran penerbitan STD-B. Identifikasi pohon sawit menggunakan analisis berbasis objek dapat dilihat pada **Gambar 6**. Wilayah identifikasi sawit rakyat dibagi menjadi dua blok untuk mempermudah proses identifikasi. Salah satu hasil dari proses OBIA adalah layer tematik berupa titik *centroid* yang merepresentasikan mahkota pohon sawit. Titik *centroid* kemudian dikonversi ke dalam format GIS (*Geographic Information System*) untuk mempermudah proses analisis.

Proses evaluasi akurasi perhitungan pohon sawit dengan cara membandingkan hasil ekstraksi otomatis dengan nilai *Ground Truth* menggunakan metode *Precision/Recall* (Nyland, Kenefic, Bohn, & Stout, 2016). *Precision/recall* merupakan salah satu metode penilaian yang sering digunakan. Rumus perhitungan metode tersebut dapat dilihat pada **Persamaan 3** sampai **Persamaan 5**.

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \dots\dots\dots (3)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \dots\dots\dots (4)$$

$$F-measure = \frac{(1+\alpha) \times precision \times recall}{\alpha \times precision + recall} \dots\dots\dots (5)$$

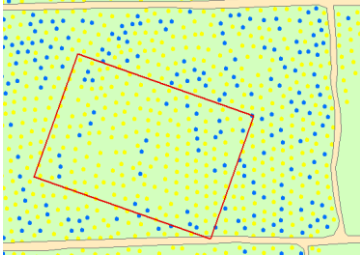

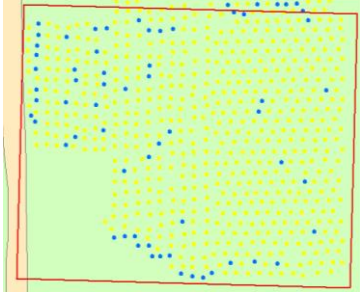

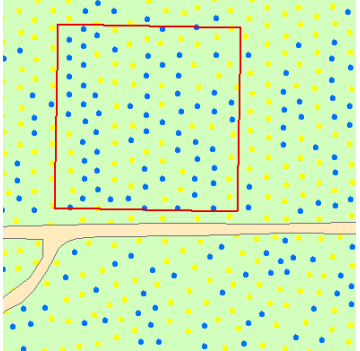

True Positive (TP) merupakan jumlah titik kelapa sawit yang berhasil diidentifikasi menggunakan OBIA atau disebut juga sebagai nilai *Ground Truth*. Sementara *False Negative* (FN) merupakan jumlah titik pohon sawit yang tidak terdeteksi. *False Positive* (FP) merupakan jumlah titik yang dikenali sebagai pohon sawit tetapi setelah dilakukan validasi bukan merupakan pohon sawit akan tetapi merupakan objek lain. Nilai α adalah non-negatif skalar, pada perhitungan *F-measure* ini ambang batas yang digunakan adalah 0,5 (Martin, Fowlkes, & Malik, 2004). *Precision* (P) dapat diartikan sebagai jumlah *noise* yang bisa ditoleransi saat proses identifikasi objek sementara *Recall* (R) adalah jumlah pohon sawit yang terdeteksi dengan benar (*Ground Truth*). *F-measure* mendefinisikan rata-rata harmonik antara *Precision* dan *Recall*, dimana *Precision* dan *Recall* digabungkan menjadi ukuran kinerja tunggal (Kalantar, Idrees, Mansor, & Halin, 2017). Pada penelitian ini, nilai TP yang didapatkan adalah 6.868 titik, sementara nilai FN dan FP masing-masing berjumlah 3.008 titik untuk wilayah blok 2. Hasil lain pada blok 1, nilai TP yang didapatkan adalah 2.528 titik, sementara nilai FN berjumlah 1.230 titik dan nilai FP berjumlah 2.160 titik. Berdasarkan **Persamaan 5** maka nilai *F-measure* yang didapatkan adalah 57,74% untuk wilayah blok 1 sementara hasil *F-measure* untuk wilayah blok 2 adalah 69,54%.

Keberhasilan identifikasi pohon sawit sangat bergantung pada resolusi dan kedalaman spektral

data foto yang digunakan. Pemilihan parameter segmentasi yang cocok untuk berbagai geometri dan skala pohon dapat menghasilkan deteksi pohon lebih akurat (Kalantar et al., 2017). Karakteristik spasial dan spektral foto udara non metrik hasil akuisisi di Labanan Makmur dapat dilihat pada **Tabel 8**. Pola penanaman sawit rakyat yang tidak teratur dan sangat rapat antara pohon satu dengan pohon lainnya membuat proses deteksi objek mengalami kesulitan. Pola tanam sawit rakyat cenderung acak mengikuti topografi di sekitarnya. Pola spasial seperti ini terlihat secara jelas di area Blok 1. Akibatnya banyak sekali pohon sawit yang tidak mampu dideteksi menggunakan OBIA. Selain itu, Blok 1 memiliki nilai *F-measure* lebih rendah dibandingkan dengan blok 2 terjadi karena objek sawit lebih sedikit pada area Blok 1. Tantangan utama klasifikasi menggunakan OBIA adalah pemisahan rumput dari kelapa sawit dan juga pemisahan tutupan tajuk pohon kelapa sawit yang sangat rapat (Rizeei et al., 2018).

Berbeda dengan pola tanam sawit perusahaan yaitu dilakukan pada jarak tertentu secara teratur antara satu pohon dengan pohon sawit lainnya. Pola tanam sawit yang tertata dengan baik akan meningkatkan keberhasilan identifikasi berbasis objek, seperti dapat dilihat pada **Tabel 8** baris nomer 2. Selain faktor pola spasial tanaman sawit, ternyata karakteristik spektral sangat mempengaruhi keberhasilan identifikasi berbasis objek. **Tabel 8** baris nomer 3 menunjukkan kegagalan identifikasi pohon sawit di beberapa tempat akibat foto blur. Foto blur ini disebabkan oleh kegagalan pembuatan *tie point* saat proses *image matching* pengolahan foto udara kamera non metrik. Identifikasi *tie point* secara otomatis menggunakan algoritma *SIFT invariant* akan mengenali titik-titik yang mempunyai kesamaan nilai *pixel*. Area vegetasi rapat merupakan tantangan tersendiri dalam proses *matching point* (Meng et al., 2017).

Tabel 8. Karakteristik Spasial dan Spektral Foto Udara Non-metrik.

No	Hasil Identifikasi OBIA	Tampilan Raster	Karakteristik Spasial dan Spektral
1.			Warna hijau bervariasi, pohon sawit tertata dengan jarak yang mencukupi dikelilingi oleh warna putih berupa tanah kosong dan warna hijau muda berupa rumput. Pola penanaman sawit sedikit tertata mengikuti kontur yang ada. Karakteristik seperti ini memudahkan untuk proses pendekatan berbasis objek.
2.			Warna hijau dominan, pohon sawit tertata dengan jarak yang lebih teratur dikelilingi oleh warna putih berupa tanah kosong dan warna hijau muda berupa rumput. Pola penanaman sawit tertata dengan baik. Karakteristik seperti ini memudahkan untuk proses pendekatan berbasis objek.
3.			Warna hijau bervariasi, pohon sawit tertata secara acak, tidak mengikuti pola tertentu. Antara pohon sawit satu dengan yang lainnya saling berdekatan. Beberapa gambar terlihat blur. Karakteristik seperti ini menyulitkan untuk proses pendekatan berbasis objek.

KESIMPULAN

Proses pemetaan foto udara menggunakan kamera non metrik ditambahkan dengan pengukuran GCP bisa digunakan sebagai Data Geospasial untuk membuat peta lampiran pendaftaran STD-B yang mensyaratkan peta dibuat

pada skala 1:2.000. Tentunya proses pengolahan foto dan pengukuran GCP harus dilakukan dengan baik untuk mendapatkan hasil mosaik citra dengan akurasi tinggi. Proses identifikasi pohon sawit untuk mempermudah pembuatan peta sawit rakyat menggunakan analisis berbasis objek. Analisis berbasis objek digunakan untuk menentukan

jumlah dan area sebaran pohon sawit rakyat. Hasil identifikasi sawit rakyat mendapatkan nilai akurasi objek 57,74% untuk wilayah blok 1 dan 69,54% wilayah blok 2. Meskipun hasil identifikasi objek masih belum mendapatkan hasil yang maksimal, setidaknya hasil analisis berbasis objek bisa untuk mempercepat pembuatan peta STD-B. Penyempurnaan *template matching* dengan parameter yang lebih detil akan meningkatkan akurasi proses identifikasi sawit rakyat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Pemetaan Integrasi Tematik yang sudah memfasilitasi kegiatan survei titik kontrol dan akuisisi foto udara. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada tim SIAR dan Pak Dadan Ramdani yang sudah membantu pada saat proses akuisisi foto udara. Tak lupa penulis sampaikan terima kasih kepada saudara Fahrul Hidayat yang sudah berkenan membantu dalam proses pembuatan peta.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambrosia, V. G., Wegener, S. S., Sullivan, D. V., Buechel, S. W., Dunagaambrosn, S. E., Brass, J. A., ... Schoenung, S. M. (2003). Demonstrating UAV-Acquired Real-Time Thermal Data over Fires. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 69(4), 391–402.
- Breckenridge, R. P., & Dakins, M. E. (2011). Evaluation of bare ground on rangelands using unmanned aerial vehicles: A case study. *Giscience Remote Sensing*, 48(12). <https://doi.org/10.2747/1548-1603.48.1.74>
- Dash, J. P., Watt, M. S., Pearse, G. D., Heaphy, M., & Dungey, H. S. (2017). Assessing very high resolution UAV imagery for monitoring forest health during a simulated disease outbreak. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 131, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.007>
- Hird, J. N., Montagni, A., McDermid, G. J., Kariyeva, J., Moorman, B. J., Nielsen, S. E., & McIntosh, A. C. S. (2017). Use of unmanned aerial vehicles for monitoring recovery of forest vegetation on petroleum well sites. *Remote Sensing*, 9(413). <https://doi.org/10.3390/rs9050413>
- Kalantar, B., Idrees, M. O., Mansor, S., & Halin, A. A. (2017). Smart Counting – Oil Palm tree inventory with UAV. *Coordinates*, XIII(5), 17–22.
- Korom, A., Phua, M. H., Hirata, Y., & Matsuura, T. (2014). Extracting oil palm crown from WorldView-2 satellite image. In *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 18. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/18/1/012188>
- Martin, D. R., Fowlkes, C. C., & Malik, J. (2004). Learning to Detect Image Boundaries using Local Brightness, Color and Texture Cues. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 26(1). <https://doi.org/10.1167/3.9.113>
- Meng, X., Shang, N., Zhang, X., Li, C., Zhao, K., Qiu, X., & Weeks, E. (2017). Photogrammetric UAV Mapping of Terrain under Dense Coastal Vegetation: An Object-Oriented Classification Ensemble Algorithm for Classification and Terrain Correction. *Remote Sensing*, 9(1187). <https://doi.org/10.3390/rs9111187>
- Nyland, R. D., Kenefic, L. S., Bohn, K. K., & Stout, S. L. (2016). *Silviculture: Concepts and Applications* (Third Edit). Illinois: Waveland Press.
- PASPI, T. R. (2017). Peran Strategis Perkebunan Sawit Rakyat Indonesia. *Monitor Vol. III No. 40*, 961–966.
- Pedoman Penerbitan Surat Tanda Daftar Usaha Perkebunan untuk Budidaya (STD-B), Pub. L. No. 105/Kpts/Pl.400/2/2018 (2018).
- Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar, Pub. L. No. Peraturan Kepala BIG No. 15 (2014). Indonesia.
- Rizeei, H. M., Shafri, H. Z. M., Mohamoud, M. A., Pradhan, B., & Kalantar, B. (2018). Oil Palm Counting and Age Estimation from WorldView-3 Imagery and LiDAR Data Using an Integrated OBIA Height Model and Regression Analysis. *Journal of Sensors*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2018/2536327>
- Rokhmana, C. A. (2014). The Potential of UAV-based Remote Sensing for Supporting Precision Agriculture in Indonesia. In *1st International Symposium on LAPAN-IPB Satellite*. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.032>
- Saroinsong, H. S., Poekoel, V. C., & Manembu, P. D. K. (2018). Rancang Bangun Wahana Pesawat Tanpa Awak (Fixed Wing) Berbasis Ardupilot. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 7(1), 73–84.
- Syatiawan, A., & Gularso, H. (2018). Pembentukan DSM Menggunakan Unmanned Aircraft System (UAS) dan Kamera Digital Non Metrik. In *Seminar Nasional Geografi dan Pembangunan Berkelanjutan* (pp. 410–424).
- Tahar, K. N. (2012). Aerial Terrain Mapping using Unmanned Aerial Vehicle Approach. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B7, 493–498. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B7-493-2012>
- Yang, G., Liu, J., Zhao, C., Li, Z., Huang, Y., Yu, H., ... Yang, H. (2017). Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing for Field-Based Crop Phenotyping: Current Status and Perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01111>
- Yang, Z. (2010). Fast Template Matching Based on Normalized Cross Correlation With Centroid Bounding. In *International Conference on Measuring Technology and Mechatronic Automation* (pp. 224–227). <https://doi.org/10.1109/ICMTMA.2010.419>

MAJALAH ILMIAH GLOBE
VOLUME 21 TAHUN 2019

Indeks Penulis

A

Abimanyu P. Pratama, 35
Agung Syetiawan, 53
Ahmad Fawaid, 27
Akhmad Riqqi, 27
Andiyanti Putri Estigade, 9
Ariani Puji Astuti, 9
Arief Wicaksono, 9

D

Drijejana, 27

H

Hana Listi Fitriana, 1
Herdis Herdiansyah, 17

I

Iskandar Effendy, 1

J

Jansen Sitorus, 45

K

Khalifah Insan Nur Rahmi, 45

M

Muhammad Haidar, 53

N

Nafian Ambhika, 35
Nanik Suryo Haryani, 1
Nur Febrianti, 45

P

Panji Prakoso, 17

S

Sayidah Sulma, 45

T

Tika Maitela, 9
Totok W. Wibowo, 35

W

Wirastuti Widyatmanti, 9

Indeks Subjek

- A**
Adaptive threshold, 45, 46, 47, 49, 50, 51
AHP, 17, 19, 24, 25, 26
Analisis tekstur, 45, 46, 47, 48, 50, 51
ArcGIS Online, 9, 12, 15
- B**
Batas desa, 35, 36, 39, 40, 41, 42, 43, 44
- C**
CSRT, 35, 41, 43
- D**
DEMNAS, 35, 37, 38, 41
- G**
GCP, 3, 53, 55, 56, 58, 59, 61
Geovisualisasi, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43
- H**
Hillshade, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 43
- K**
Kamera non metric, 53, 54, 55, 58, 59, 61
Karakteristik, 1, 2, 3, 7, 8, 30, 43, 54, 61
Keramba jaring apung, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16
Kesesuaian fisik perairan, 9, 11, 12, 14, 15
- L**
Lahan tambang, 1, 4, 5, 7
- M**
Model jaringan pemantau kualitas udara, 27
- O**
OBIA, 53, 55, 56, 60, 61, 62
- R**
Ruang Terbuka Hijau, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 26
- P**
Pemetaan udara, 53, 54
Pemilihan lokasi, 11, 16, 27, 30, 33, 36,
Pencemaran udara, 27, 28, 30, 34
Penduduk, 10, 17, 18, 19, 20, 21, 27, 28, 29, 30,
31, 33, 34
Penginderaan jauh, 1, 2, 3, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15,
16, 26, 39, 45, 46, 51, 52
- S**
SAR, 44, 45, 46, 47, 51, 52
Sawit rakyat, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62
Spektral, 1, 5, 10, 60, 61
STD-B, 53, 54, 56, 59, 60, 61, 62
- T**
Teluk Lampung, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16
Tumpahan minyak, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52
- W**
Web map, 9, 11, 12, 14, 15

UCAPAN TERIMA KASIH
KEPADA MITRA BESTARI MAJALAH ILMIAH GLOBE
VOLUME 21 TAHUN 2019

1. Prof. Junun Sartohadi
2. Dr. Wikanti Asriningrum
3. Ir. Yatin Suwarno, M. Sc
4. Dr. Khursatul Munibah, M.Sc
5. Wirastuti Widyatmanti, S.Si., Ph.D
6. Ir. Bambang Riadi, S.T., M.Tech
7. Prof. Sobar Sutisna
8. Prof. Dewayany Sutrisno
9. Dr. Widodo Pranowo
10. Dr. Ir. M. Buce Saleh

PEDOMAN PENULISAN MAJALAH ILMIAH GLOBE

Majalah Ilmiah Globe adalah publikasi ilmiah melalui proses *review* yang diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial bekerja sama dengan Masyarakat Ahli Penginderaan jauh Indonesia (MAPIN). Majalah ini berisi tulisan ilmiah dan kajian literatur tentang pengumpulan, pengolahan dan analisis data tentang informasi geospasial tematik serta tema lain yang terkait.

Persyaratan umum naskah adalah merupakan naskah asli hasil karya penulis, belum pernah dipublikasikan sebelumnya, tidak sedang dalam proses publikasi di jurnal lain, ditulis sesuai format yang telah ditentukan. Naskah yang masuk akan ditelaah oleh Mitra bestari dan dewan redaksi. Dewan redaksi berhak mengedit tulisan dalam hal gaya penulisan, format dan kejelasan kalimat serta memutuskan apakah naskah dapat diterbitkan atau tidak.

Redaksi menerima naskah yang sesuai dengan *scope* untuk dipublikasikan dalam majalah ilmiah ini. Naskah hendaknya dikirim ke:

Sekretariat Redaksi Majalah Ilmiah Globe

Pusat Penelitian Promosi dan Kerja Sama, Badan Informasi Geospasial
Jl. Raya Jakarta Bogor Km. 46 Cibinong Jawa Barat 16911
Telp. 021-87906041 Fax 021-87906041
Website: <http://jurnal.big.go.id/index.php/GL/index>
E-mail: majalah.globe@big.go.id, majalahglobe@gmail.com

Pengajuan naskah

Penulis harus mengirimkan naskah melalui e-journal dengan terlebih dahulu mendaftarkan diri sebagai *Author* dan *login* melalui website <http://jurnal.big.go.id/index.php/GL/index>

Penulisan naskah

Naskah dapat ditulis dalam Bahasa Indonesia maupun Bahasa Inggris. Naskah diketik dalam Microsoft Word dengan 1 kolom untuk abstrak dan 2 kolom untuk isi. Ukuran kertas A4. Jenis huruf untuk seluruh ISI tulisan menggunakan Arial 10pt dan spasi (line spacing) 1. Panjang naskah terdiri dari 8-12 halaman (halaman harus genap) termasuk tabel dan gambar serta maksimal ukuran file setiap naskah tidak lebih dari 10Mb.

Sistematika Penulisan

Template penulisan naskah secara lengkap dapat diunduh melalui website Jurnal Geomatika.

Kerangka tulisan disusun dengan urutan sebagai berikut: Judul, Identitas Penulis, Afiliasi, Abstrak, Kata Kunci, Pendahuluan, Metode, Hasil dan Pembahasan, Kesimpulan, Ucapan Terima Kasih, dan Daftar Pustaka.

Judul harus akurat, jelas, spesifik. Judul utama ditulis dengan huruf kapital, sedangkan sub judul menggunakan huruf kecil dengan huruf besar di setiap awal kata. Judul dibuat dalam 2 bahasa (Indonesia dan Inggris), apabila tulisan dalam bahasa Indonesia, maka judul dalam Bahasa Inggris ditulis dalam tanda kurung dengan huruf Tahoma 12 point miring.

Identitas Penulis ditulis secara lengkap tanpa disingkat, tanpa gelar dan jabatan profesional.

Afiliasi penulis meliputi: nama departemen/unit, nama universitas/nama instansi, alamat, kota, kode pos, negara. Penulis korespondensi (termasuk alamat e-mail) ditulis dengan menambahkan tandasuperscript setelah nama. Bila penulis memiliki afiliasi yang berbeda, diberikan kode nomor berbeda di akhir nama penulis dengan format superscript. Bila semua penulis memiliki afiliasi/instansi yang sama, kode nomor tidak perlu dituliskan.

Abstrak memberikan pengantar singkat disertai masalah, tujuan, metode, ringkasan hasil serta kesimpulan penelitian, ditulis dalam satu paragraf dalam 1 kolom maksimal 250 kata. Abstrak dibuat dalam 2 bahasa. Apabila naskah dalam Bahasa Indonesia, maka abstrak dengan Bahasa Indonesia ditulis terlebih dahulu kemudian abstrak dalam Bahasa Inggris dan sebaliknya.

Kata Kunci/Keyword minimal 3 kata atau frasa dipisahkan dengan tanda koma yang menunjukkan subjek-subjek utama di dalam naskah.

Isi tulisan dimulai dari PENDAHULUAN, METODE, HASIL DAN PEMBAHASAN, KESIMPULAN, UCAPAN TERIMA KASIH DAN DAFTAR PUSTAKA. Isi tulisan dibuat dengan 2 kolom dengan huruf Arial 10pt.

Tabel dibuat ringkas dan diberi judul yang singkat tetapi jelas hanya menyajikan data esensial dan mudah dipahami. Tabel diberi catatan secukupnya, termasuk sumbernya. Setiap tabel diberi nomor secara berurutan di dalam naskah. Untuk tabel yang ukurannya melebihi satu kolom, maka dapat menempati area dua kolom.

Gambar, Grafik dan Foto harus tajam dan jelas agar cetakan berkualitas baik. Semua simbol di dalamnya harus dijelaskan. Gambar, grafik dan foto

memiliki kedalaman minimal 300 dpi. Gunakan *textbox* untuk menyisipkan gambar. File gambar asli mohon disertakan pada lampiran terpisah (*supplementary file*).

Kesimpulan simpulan harus menjawab tujuan penelitian dan disusun dalam bentuk narasi dan bukan pointer.

Ucapan terima kasih ucapan terima kasih wajib dituliskan penulis, ditujukan kepada pihak-pihak yang membantu penulis dalam melakukan penelitian misalnya pemberi data atau pemberi dana.

Daftar Pustaka Referensi hendaknya dari sumber yang jelas dan terpercaya, minimal berjumlah 10 referensi. Setiap referensi yang tercantum dalam daftar pustaka harus dikutip (disitir) pada naskah dan sebaliknya setiap kutipan harus tercantum dalam daftar pustaka. Referensi primer harus lebih dari 80% dan diterbitkan dalam 5 tahun terakhir. Referensi yang dicantumkan dalam naskah mengikuti pola baku dengan disusun menurut abjad berdasarkan nama (keluarga) penulis pertama dan tahun publikasi, dengan sistem sitasi *American Physiological Association* 6th Edition. Setiap artikel yang dikirimkan ke Geomatika harus menggunakan perangkat lunak pengelolaan referensi (*reference management software*) yang mendukung *Citation Style Language* seperti Mendeley, Zotero, EndNote dan lainnya.

Contoh penulisan di dalam Daftar Pustaka adalah sebagai berikut:

Aziz, N. (2006). Analisis Ekonomi Alternatif Pengelolaan Ekosistem Mangrove di Kecamatan Barru, Kabupaten Barru. Universitas Diponegoro.

(Contoh referensi **Skripsi/Tesis/Disertasi**)

Brown, S. (1997). Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest. Retrieved September 17, 2007, from <http://cdm.unfccc.int/Panels/ar>.

(Contoh referensi **Naskah Online**)

Danoedoro, P. (2009). Land-use Information from the Satellite Imagery: Versatility and Contents for Local Physical Planning. Queensland: LAP Lambert Acad. Publisher.

(Contoh referensi dalam **Buku**)

Indonesia, R. Undang-undang No. 4 tentang Informasi Geospasial (2011).

(Contoh referensi dalam **Undang-undang**)

Neumeyer, J. (2010). Superconducting Gravimetry. In G. Xu (Ed.), *Sciences of Geodesy - I* (pp. 340–406). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11741-1>

(Contoh referensi **bagian dari Buku**)

Othman, A., & Gloaguen, R. (2013). River Courses Affected by Landslides and Implications for Hazard Assessment: A High Resolution Remote Sensing Case Study in NE Iraq–W Iran. *Remote Sensing*, 5(3), 1024–1044.

(Contoh referensi **Artikel dalam Jurnal**)

Setiawan, I. B. (1999). Studies on environmental change and sustainable development of Cidanau Watershed. In *International Workshop on Sustainable Resources Management of Cidanau Watershed* (p. 235). Bogor.

(Contoh referensi dalam **Naskah Prosiding**)

Catatan:

- **Pustaka berupa diktat kuliah, bahan presentasi, dan dokumentasi perseorangan yang belum dipublikasi resmi tidak diperkenankan untuk digunakan/ dicantumkan**

Sekretariat

Badan Informasi Geospasial
Jl. Raya Jakarta-Bogor, Km. 46 Cibinong
Kabupaten Bogor, Jawa Barat, 16911, Indonesia
Telp. 021-8752062 fax. 021-8752064
e-mail: majalah.globe@big.go.id
Homepage: jurnal.big.go.id/index.php/GL

P-ISSN 1411-0512

