

DAFTAR ISI

SUSUNAN DEWAN REDAKSI

DAFTAR ISI	iii
LEMBAR ABSTRAK (ID).....	v
LEMBAR ABSTRAK (EN)	vii
PENGANTAR REDAKSI.....	ix

KARAKTERISASI RESPON SPEKTRAL SPESIES LAMUN *ENHALUS ACOROIDES* DAN *CYMODOCEA ROTUNDATA* DI PULAU KARIMUNJAWA

(Characterization of Spectral Response of Seagrass Species Enhalus acoroides and Cymodocea rotundata in Karimunjawa Island)

Pramaditya Wicaksono

Departemen Sains Informasi Geografi, Fakultas Geografi, UGM 01-10

EFEKTIVITAS TRANSFORMASI INDEKS VEGETASI PENEKAN PENGARUH ATMOSFER BERBASIS CITRA SPOT-6 UNTUK ESTIMASI PRODUKSI TANAMAN KELAPA SAWIT (*ELAEIS GUINEENSIS JACQ*) DI SEBAGIAN KABUPATEN INDRAGIRI HULU, RIAU

(Effectiveness of Vegetation Index Transformation for Reducing the Effect of Atmospheric Based Image Spot - 6 for Estimating Production of Oil Palm Plant (Elaeis guineensis Jacq) in part District Indragiri Hulu, Riau)

Heratania Aprilia Setyowati, Sigit Heru Murti B.S. dan Sukentyas Estuti Siwi

Departemen Sains Informasi Geografis, UGM..... 11-20

AKURASI LUAS AREAL KEBAKARAN DARI DATA LANDSAT-8 OLI DI WILAYAH KALIMANTAN

(Burned Area Validation of Landsat-8 OLI Data in Kalimantan)

Any Zubaidah, Sayidah Sulma, Suwarsono, Yenni Vetrira, M. Priyatna dan Kusumaning Ayu D.

Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN 21-32

PEMANTAUAN SEBARAN ABU VULKANIK MENGGUNAKAN PENGINDERAAN JAUH SATELIT HIMAWARI-8 DAN AURA/OMI (*OZONE MAPPING INSTRUMENT*)

(Volcanic Ash Monitoring using Himawari-8 and OMI (Ozone Mapping Instrument) Remote Sensing Satellites)

Fatkhuroyan dan Trinh Wati

Pusat Penelitian dan Pengembangan, BMKG 33-44

MODEL KEKRITISAN INDEKS LINGKUNGAN DENGAN ALGORITMA URBAN HEAT ISLAND DI KOTA SEMARANG

(Model of Environmental Criticality Index with Urban Heat Island Algoritm in Semarang City)

Bandi Sasmito dan Andri Suprayogi

Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro 45-52

THE EFFECTIVENESS OF SPATIAL DATA SHARING IN INDONESIA-SDI: CASE STUDY IN MINISTRY OF ENVIRONMENT AND FORESTRY AND PROVINCIAL GOVERNMENT OF WEST JAVA

(Efektifitas Berbagi Pakai pada Indonesia-SDI: Studi Kasus Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dan Pemerintah Provinsi Jawa Barat)

Wulan Yustia Sahroni, M. Buce Saleh dan Antonius B. Wijanarto

Magister Information Technology for Natural Resources Management (MIT), Seameo Biotrop 53-64

IDENTIFIKASI PERUBAHAN KERAPATAN VEGETASI KOTA MANADO TAHUN 2001 SAMPAI 2015

(Identification of Vegetation Density Change in Manado City Period 2001-2015)

Nurlita Indah Wahyuni, Diah Irawati Dwi Arini dan Afandi Ahmad

Balai Penelitian Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Manado 65-74

INTEGRASI DATA INDERAJA DAN DATA GEOLOGI UNTUK MENDUKUNG EKSPLORASI TAMBANG EMAS

(Remote Sensing and Geological Data Integration to Support Gold Mine Exploration, Case Study in Paniai Regency of Papua Province)

Iksal Yanuarsyah dan Yatin Suwarno

Universitas Ibnu Khaldun..... 75-82

PRIORITAS PENGEMBANGAN KAWASAN PERMUKIMAN PADA WILAYAH RAWAN BANJIR DI KOTA PADANG, PROVINSI SUMATERA BARAT

(Priority of Settlement Area Development on Flood Hazard Region in Padang, West Sumatera)

Iswandi Umar, Widiatmaka, Bambang Pramudya dan Baba Barus

Sekolah Pascasarjana, IPB 83-94

APLIKASI SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DALAM PEMETAAN KERENTANAN KAWASAN TAMAN NASIONAL BUKIT BAKA BUKIT RAYA, PROPINSI KALIMANTAN BARAT

(Application of Geographic Information System in Mapping the Vulnerability Zone of Bukit Baka Bukit Raya National Park, West Kalimantan Province)

Diah Auliyani

Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan DAS 95-104

LEMBAR ABSTRAK (ID)

MAJALAH ILMIAH GLOBë (GLOBë SCIENTIFIC MAGAZINE)	
P-ISSN 1411-0512/E-ISSN 2502-2172	Cibinong, April 2017
Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa izin dan biaya	
<p>DDC 577.6 Wicaksono (Departemen Sains Informasi Geografi, Universitas Gadjah Mada)</p> <p>KARAKTERISASI RESPON SPEKTRAL SPESIES LAMUN <i>ENHALUS ACOROIDES</i> DAN <i>CYMODOCEA ROTUNDATA</i> DI PULAU KARIMUNJAWA <i>Majalah Ilmiah GLOBë</i> April, Vol 19 No 1, Hal 01-10</p> <p>Hasil dari penelitian ini adalah berupa koleksi respon spektral kedua spesies lamun tersebut pada berbagai kondisi, yang dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan: 1) panjang gelombang yang sesuai untuk memisahkan spesies tersebut secara spektral; 2) panjang gelombang yang sesuai untuk melakukan pemetaan variasi kondisi spesies tersebut; dan 3) langkah awal dalam pembuatan pustaka spektral padang lamun dan habitat bentik di Indonesia.</p> <p style="text-align: right;">(Wicaksono)</p> <p>Kata kunci: respon spektral, <i>Enhalus acoroides</i>, <i>Cymodocea rotundata</i></p>	<p>DDC 665.3 Setyowati (Departemen Sains Informasi Geografis, Universitas Gadjah Mada)</p> <p>EFEKTIVITAS TRANSFORMASI INDEKS VEGETASI PENEKAN PENGARUH ATMOSFER BERBASIS CITRA SPOT-6 UNTUK ESTIMASI PRODUKSI TANAMAN KELAPA SAWIT (<i>ELAEIS GUINEENSIS JACQ</i>) DI SEBAGIAN KABUPATEN INDRAGIRI HULU, RIAU <i>Majalah Ilmiah GLOBë</i> April, Vol 19 No 1, Hal 11-20</p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk menilai kemampuan transformasi indeks vegetasi dasar (generik) yakni <i>Ratio Vegetation Index</i> (RVI) dan indeks vegetasi yang mampu mengurangi pengaruh kondisi atmosfer yakni <i>Atmospherically Resistant Vegetation Index</i> (ARVI) dan <i>Visible Atmospherically Resistant Index</i> (VARI) untuk memperkirakan produksi tanaman kelapa sawit menggunakan citra SPOT-6.</p> <p style="text-align: right;">(Setyowati)</p> <p>Kata kunci: transformasi indeks vegetasi, citra SPOT-6, estimasi produksi tanaman, tanaman kelapa</p>
<p>DDC 634.96 Zubaidah (Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN)</p> <p>AKURASI LUAS AREAL KEBAKARAN DARI DATA LANDSAT-8 OLI DI WILAYAH KALIMANTAN <i>Majalah Ilmiah GLOBë</i> April, Vol 19 No 1, Hal 21-32</p> <p>Tujuan penelitian adalah melakukan verifikasi hasil deteksi lahan bekas kebakaran hutan/lahan guna tersedianya hasil verifikasi <i>burned area</i> (BA) dari data Landsat-8 untuk dukungan penyusunan pedoman identifikasi BA. Tingkat akurasi <i>burned area</i> (BA) hasil estimasi dari data Landsat-8 dengan menggunakan metode ΔNBR memiliki nilai koefisien korelasi (r) 0,98 dengan persamaan $Y = 0,928X - 21,07$ dan koefisien determinasi (R^2)=0,96. Hasil ini menunjukkan bahwa sebesar 96% wilayah yang diklasifikasikan atau diestimasi sebagai wilayah yang terbakar adalah benar sebagai wilayah yang terbakar.</p> <p style="text-align: right;">(Zubaidah)</p> <p>Kata kunci: areal kebakaran, Landsat-8, <i>Normalized Burn Area (NBR)</i></p>	<p>DDC 552.2 Fatkhuroyan (Pusat Penelitian dan Pengembangan, BMKG)</p> <p>PEMANTAUAN SEBARAN ABU VULKANIK MENGGUNAKAN PENGINDERAAN JAUH SATELIT HIMAWARI-8 DAN AURA/OMI (<i>OZONE MAPPING INSTRUMENT</i>) <i>Majalah Ilmiah GLOBë</i> April, Vol 19 No 1, Hal 33-44</p> <p>Pemantauan sebaran abu vulkanik menggunakan analisis penginderaan jauh satelit Himawari-8 dan AURA/OMI dilakukan pada peristiwa erupsi Gunung Raung, Gamalama dan Rinjani pada tahun 2015 bertujuan untuk mendeteksi dan memantau abu vulkanik gunung berapi serta arah pergerakannya dan dikaitkan dengan aktivitas gunung tersebut. Hasil Pantauan satelit Himawari-8 menunjukkan abu vulkanik hasil kombinasi RGB dapat dideteksi dengan visual warna merah terang, sedangkan dari satelit OMI berdasarkan emisi SO_2 dapat digunakan untuk melacak keberadaan abu vulkanik dan berkaitan dengan aktivitas gunung.</p> <p style="text-align: right;">(Fatkhuroyan)</p> <p>Kata kunci: abu vulkanik, Himawari-8, OMI, penginderaan jauh</p>

<p>DDC 628 Sasmito (Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro)</p> <p>MODEL KEKRITISAN INDEKS LINGKUNGAN DENGAN ALGORITMA <i>URBAN HEAT ISLAND</i> DI KOTA SEMARANG <i>Majalah Ilmiah GLOBë</i> April, Vol 19 No 1, Hal 45-52</p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi terjadinya fenomena kekritisasi lingkungan akibat UHI dengan menganalisa suhu permukaan dan sebaran vegetasi di wilayah studi. Ada dua langkah metode dalam penelitian ini. Pertama adalah membuat peta sebaran suhu permukaan tanah dan peta sebaran kerapatan vegetasi di tahun 2013 sampai 2016. Peta suhu permukaan dibuat dengan model algoritma <i>Land Surface Temperature</i> (LST) dan sebaran vegetasi adalah dengan algoritma <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI).</p> <p style="text-align: right;">(Sasmito)</p> <p>Kata kunci: <i>Urban Heat Island</i> (UHI), <i>Land Surface Temperature</i> (LST), <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI), <i>Environmental Criticality Index</i> (ECI)</p>	<p>DDC 910.0285 Sahroni (Magister Information Technology for Natural Resources Management (MIT), Seameo Biotrop)</p> <p>EFEKTIFITAS BERBAGI PAKAI PADA INDONESIA-SDI: STUDI KASUS KEMENTERIAN LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN DAN PEMERINTAH PROVINSI JAWA BARAT <i>Majalah Ilmiah GLOBë</i> April, Vol.19 No.1, Hal. 53-64</p> <p>Penelitian ini ditulis untuk mengidentifikasi permasalahan penyebab belum efektifnya berbagi-pakai data di Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dan Pemerintah Provinsi Jawa Barat, serta memberikan rekomendasi sebagai solusi dalam komponen kebijakan, pengaturan kelembagaan, teknologi, standar, dan sumber daya manusia. Hasil analisa menunjukkan tingkat efektivitas berbagi pakai di tiga instansi tersebut sebesar 67,36% dimana pengaturan kelembagaan menjadi komponen yang dianggap paling tidak menunjang dan teknologi menjadi komponen yang paling baik dari sudut pandang pengguna.</p> <p style="text-align: right;">(Sahroni)</p> <p>Kata Kunci:berbagi pakai data spasial, NSDI, kebijakan, peraturan, perundangan, analisa konten, statistik deskriptif</p>
<p>DDC 577.3 Wahyuni (Balai Penelitian Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Manado)</p> <p>IDENTIFIKASI PERUBAHAN KERAPATAN VEGETASI KOTA MANADO TAHUN 2001 SAMPAI 2015 <i>Majalah Ilmiah GLOBë</i> April, Vol 19 No 1, Hal 65-74</p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perubahan kerapatan vegetasi tahun 2001 dan 2015 di Kota Manado serta pengaruhnya terhadap kualitas lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbandingan kelas kerapatan vegetasi antara 2001 dan 2015 sebagai berikut kerapatan vegetasi sangat rapat (hutan dan hutan mangrove) dan tidak bervegetasi (badan air) mengalami penurunan luas masing-masing sebesar 28,71% dan 0,08%.</p> <p style="text-align: right;">(Wahyuni)</p> <p>Kata kunci: landsat, <i>Normalized Difference Vegetation Index</i>(NDVI), kerapatan vegetasi, Kota Manado</p>	<p>DDC 621.3678 Yanuarsyah (Universitas Ibn Khaldun)</p> <p>INTEGRASI DATA INDERAJA DAN DATA GEOLOGI UNTUK Mendukung Eksplorasi Tambang Emas <i>Majalah Ilmiah GLOBë</i> April, Vol 19 No 1, Hal 75-82</p> <p>Tujuan dari studi ini untuk memperoleh gambaran deliniasi Jalur Alterasi Mineralisasi dengan bantuan interpretasi citra satelit dalam mendukung kegiatan eksplorasi tambang lebih efektif dan efisien. Berdasarkan hasil interpretasi citra Landsat dengan didukung analisa geologi untuk daerah IUP PT. Kotabara Mitratama berprospek Tembaga (Cu) dan Emas (Au) yang terbagi dalam 9 Zona Mineralisasi dengan luas mencapai 2.922,48 Ha (yang terdiri dari 8 zona mineralisasi primer seluas 2.208,83 Ha dan 1 zona mineralisasi aluvial seluas 713,65 Ha).</p> <p style="text-align: right;">(Yanuarsyah)</p> <p>Kata kunci: data inderaja, data geologi, eksplorasi emas</p>
<p>DDC 711.5 Umar (Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor)</p> <p>PRIORITAS PENGEMBANGAN KAWASAN PERMUKIMAN PADA WILAYAH RAWAN BANJIR DI KOTA PADANG, PROVINSI SUMATERA BARAT <i>Majalah Ilmiah GLOBë</i> April, Vol 19 No 1, Hal 83-94</p> <p>Tujuan penelitian ini untuk menentukan prioritas pengembangan kawasan permukiman pada zona rawan dan berisiko banjir. Hasil analisis kesesuaian lahan untuk permukiman menunjukkan terdapat 18% kawasan sangat sesuai (S1), 72% lahan sesuai (S2), 6,2% lahan sesuai marjinal (S3), dan 0,4% lahan tidak sesuai (N) untuk permukiman. Selanjutnya, berdasarkan zona kerawanan banjir sebesar 13,7% wilayah penelitian memiliki tingkat kerawanan tinggi, sebesar 14,7% zona kerawanan sedang, dan 71,5% zona kerawanan rendah.</p> <p style="text-align: right;">(Umar)</p> <p>Kata kunci: kawasan prioritas, permukiman, lahan tersedia</p>	<p>DDC 719 Auliyani (Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan DAS)</p> <p>APLIKASI SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DALAM PEMETAAN KERENTANAN KAWASAN TAMAN NASIONAL BUKIT BAKA BUKIT RAYA, PROPINSI KALIMANTAN BARAT <i>Majalah Ilmiah GLOBë</i> April, Vol 19 No 1, Hal 95-104</p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kerentanan kawasan TNBBBR menggunakan Indeks Sensitivitas Lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kerentanan kawasan TNBBBR wilayah administrasi Kabupaten Sintang bervariasi dari tingkat yang sangat rendah (22,01%), rendah (67,67%), sedang (10,28%), dan tinggi (0,05%).</p> <p style="text-align: right;">(Auliyani)</p> <p>Kata kunci: biofisik, kerentanan, Sintang, taman nasional, zonasi</p>

LEMBAR ABSTRAK (EN)

GLOBë SCIENTIFIC MAGAZINE (MAJALAH ILMIAH GLOBë)	
P-ISSN 1411-0512/E-ISSN 2502-2172	Cibinong, April 2017
<p>The keywords given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge</p>	
<p>DDC 577.6 Wicaksono (Department of Geographical Information Science, Gadjah Mada University)</p> <p>CHARACTERIZATION OF SPECTRAL RESPONSE OF SEAGRASS SPECIES ENHALUS ACOROIDES AND CYMODOCEA ROTUNDATA IN KARIMUNJAWA ISLAND GLOBë Scientific Magazine April, Vol.19 No.1, p 01-10</p> <p>The results of this research is the collection of seagrass spectral response at different conditions, which is highly important and beneficial for determining: 1) the most suitable spectral wavelength to differentiate these seagrass species; 2) the most effective spectral wavelength to map seagrass condition variations using remote sensing data; and 3) the initial spectral library of seagrass and benthic habitats in Indonesia.</p> <p style="text-align: right;">(Wicaksono)</p> <p>Keywords: spectral response, Enhalus acoroides, Cymodocea rotundata</p>	<p>DDC 665.3 Setyowati (Department of Geographical Information Science, Gadjah Mada University)</p> <p>EFFECTIVENESS OF VEGETATION INDEX TRANSFORMATION FOR REDUCING THE EFFECT OF ATMOSPHERIC BASED IMAGE SPOT - 6 FOR ESTIMATING PRODUCTION OF OIL PALM PLANT (ELAEIS GUINEENSIS JACQ) IN PART DISTRICT INDRAGIRI HULU, RIAU GLOBë Scientific Magazine April, Vol.19 No.1, p 11-20</p> <p>This study aims to assess the ability of the transformation of vegetation index base (generic) is Ratio Vegetation Index (RVI) and the vegetation index which capable of reducing the influence of the atmosphere condition are Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) and Visible atmospherically Resistant Index (VARI) to estimate crop production of oil using SPOT-6 imagery.</p> <p style="text-align: right;">(Setyowati)</p> <p>Keywords: vegetation index transformation, SPOT-6 image, crop production estimates, palm oil</p>
<p>DDC 634.96 Zubaidah (Center for Remote Sensing Utilization, LAPAN)</p> <p>BURNED AREA VALIDATION OF LANDSAT-8 OLI DATA IN KALIMANTAN GLOBë Scientific Magazine April, Vol.19 No.1, p 21-32</p> <p>The results of verification burned area of the Landsat-8 to support the preparation of guidelines for the identification of BA. The accuracy of BA which was estimated from Landsat-8 using ΔNBR has a correlation coefficient (r) of 0.98 with the equation $Y = 0.928X - 21.07$ and the coefficient of determination (R^2) = 0.96. These results indicate that 96% area classified or estimated as the burned area was real burned area.</p> <p style="text-align: right;">(Zubaidah)</p> <p>Keywords: burned area, Landsat-8, Normalized Burn Area (NBR)</p>	<p>DDC 552.2 Fatkhuoyan (Research and Development Center, BMKG)</p> <p>VOLCANIC ASH MONITORING USING HIMAWARI-8 AND OMI (OZONE MAPPING INSTRUMENT) REMOTE SENSING SATELLITES GLOBë Scientific Magazine April, Vol.19 No.1, p. 33-44</p> <p>In this study, we observed the spread of volcanic ash using remote sensing analysis of satellite Himawari-8 and AURA / OMI at eruptions of Mount Raung, Gamalama and Rinjani in 2015. The aims are to detect and to monitor the volcanic ash as well as the direction of its movement that were associated to the mountain's activities. The result of RGB combination from Himawari-8 showed light red color for volcanic ash visualization, while SO_2 gas emissions from OMI can be use to track the volcanic ash.</p> <p style="text-align: right;">(Fatkhuoyan)</p> <p>Keywords: Volcanic Ash, Himawari-8, OMI, remote sensing</p>

<p>DDC 628 Sasmito (Faculty of Engineering, Diponegoro University)</p> <p>MODEL OF ENVIRONMENTAL CRITICALITY INDEX WITH URBAN HEAT ISLAND ALGORITMA IN SEMARANG CITY GLOBë Scientific Magazine April, Vol.19 No.1, p. 45-52</p> <p>As a result, the amount of excess heat accumulate in the vicinity into heat islands or Urban Heat Island (UHI). This study aims to detect the occurrence of criticality environment due to UHI phenomenon by analyzing the surface temperature and the distribution of vegetation in the study area. There are two steps in this research. The first is to create distribution maps of land surface temperature and vegetation density distribution maps in the years 2013 to 2016. The surface temperature map created by the algorithm model Land Surface Temperature (LST) and the distribution of vegetation by the algorithm Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).</p> <p>(Sasmito)</p> <p>Keywords: Urban Heat Island (UHI), Land Surface Temperature (LST), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Environmental Criticality Index (ECI)</p>	<p>DDC 910.0285 Sahroni (Magister Information Technology for Natural Resources Management (MIT), Seameo Biotrop)</p> <p>THE EFFECTIVENESS OF SPATIAL DATA SHARING IN INDONESIA-SDI: CASE STUDY IN MINISTRY OF ENVIRONMENT AND FORESTRY AND PROVINCIAL GOVERNMENT OF WEST JAVA GLOBë Scientific Magazine April, Vol 19 No 1, Hal 53-64</p> <p>The problems will be analyzed from the component of policy, institutional, technology, standard, and human resources. Method conducted are in a form of interviews, questionnaire, content analysis, and statistical descriptive to determine the rank of each component in each agency. The result showed that the effectiveness of data sharing in three agencies are 67,36% with institutional as the most ineffective and technology as a good and supportive component.</p> <p>(Sahroni)</p> <p>Kata kunci: spatial data sharing, NSDI, policy, regulation, content analysis, descriptive statistic</p>
<p>DDC 577.3 Wahyuni (Environment and Forestry Research and Development Institute of Manado)</p> <p>(IDENTIFICATION OF VEGETATION DENSITY CHANGE IN MANADO CITY PERIOD 2001-2015) GLOBë Scientific Magazine April, Vol.19 No.1, p. 65-74</p> <p>This study aims to identify vegetation density change between period 2001 and 2015 in Manado area along with its influence toward environment quality. The result showed that the vegetation density class comparison between 2001 and 2015 were: highly dense (forest and mangrove forest) and non vegetation (water body) decreased 28,71% and 0,08%</p> <p>(Wahyuni)</p> <p>Keywords: Landsat, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), vegetation density, Manado City</p>	<p>DDC 621.3678 Yanuarsyah (Ibnu Khaldun University)</p> <p>(REMOTE SENSING AND GEOLOGICAL DATA INTEGRATION TO SUPPORT GOLD MINE EXPLORATION, CASE STUDY IN PANIAI REGENCY OF PAPUA PROVINCE) GLOBë Scientific Magazine April, Vol.19 No.1, p. 75-82</p> <p>The aim of this study is to delineate alteration zone using satellite image interpretation to support mining exploration activities carried out more effectively and efficiently. The study case in Bogobaida District, Paniai Regency, Papua Province, covering an area of 40,116 hectares, in mining site of Legal Mining Exploration Permit (IUP) PT. Kotabara Mitratama (Paniai Regent Decree No. 017 of 2010).</p> <p>(Yanuarsyah)</p> <p>Keywords: Remote sensing, geological data, gold exploration</p>
<p>DDC 711.5 Umar (Graduate school, IPB)</p> <p>PRIORITY OF SETTLEMENT AREA DEVELOPMENT ON FLOOD HAZARD REGION IN PADANG, WEST SUMATERA GLOBë Scientific Magazine April, Vol.19 No.1, p. 83-94</p> <p>The purpose of this research is to determine the development priorities of residential areas on flood hazard and risks zone. Results of land suitability for residential analysis showed that there are 18% of the area is very suitable (S1) for residential, 72% were suitable for residential (S2); 6,2% were marginally suitable for residential (S3); and 0,4% were unsuitable for residential (N). Furthermore, approximately 13,7% of the research area has a high hazard area, 14,7% were moderate hazard area, and 71,5% are low hazard area</p> <p>(Umar)</p> <p>Keywords: priority areas, residential, land availability</p>	<p>DDC 719 Auliyani (Center of Research and Technological Development Watershed Management)</p> <p>APPLICATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM IN MAPPING THE VULNERABILITY ZONE OF BUKIT BAKA BUKIT RAYA NATIONAL PARK, WEST KALIMANTAN PROVINCE GLOBë Scientific Magazine April, Vol.19 No.1, p. 95-104</p> <p>This study aimed to map out the vulnerability of BBRNP area using Environmental Sensitivity Index. The results of this research show that the vulnerability level of the BBRNP area located in Sintang District vary from very low (22,01 %), low (67,67 %), medium (10,28 %), and high (0,05 %).</p> <p>(Auliyani)</p> <p>Keywords: biophysical, vulnerability, Sintang, national park, zoning</p>

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, Majalah Ilmiah GLOBë Volume 19 Nomor 1, April 2017 dapat terbit di hadapan para sidang pembaca, semoga bermanfaat bagi semuanya.

Dewan Redaksi Majalah Ilmiah GLOBë mengucapkan salam jumpa kembali. Pada edisi kali ini, disajikan beberapa topik kajian dan penelitian terkait bidang informasi geospasial tematik yang berasal dari berbagai sumber baik dari perguruan tinggi maupun kementerian dan lembaga, yaitu: Universitas Gadjah Mada, Institut Pertanian Bogor, Universitas Diponegoro, Universitas Ibnu Khaldun, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), *Magister Information Technology for Natural Resources Management* (MIT) Seameo Biotrop, Balai Penelitian Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Manado, serta Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai.

Topik penelitian dalam edisi ini memuat tentang metode pengolahan data penginderaan jauh untuk karakterisasi respon spektral spesies lamun, estimasi produksi tanaman kelapa sawit, akurasi luas areal kebakaran, pemantauan sebaran abu vulkanik, dan kekritisian indeks lingkungan. Sedang pemanfaatan sistem informasi geografis membahas mengenai pemetaan kerentanan kawasan taman nasional, identifikasi perubahan kepadatan vegetasi, integrasi data inderaja dan data geologi untuk eksplorasi tambang emas, serta prioritas pengembangan kawasan permukiman pada wilayah rawan banjir. Dibahas pula mengenai efektivitas berbagi pakai data spasial pada Indonesia-SDI. Semoga hasil penelitian dalam edisi ini dapat bermanfaat bagi akademisi atau pembuat keputusan dalam konteks perencanaan dan pembangunan wilayah berbasis spasial.

Redaksi mengucapkan terima kasih kepada para penulis dan Mitra Bestari atas kerja keras dan kerja samanya, sehingga majalah ini dapat hadir di hadapan para pembaca. Saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan demi kelangsungan majalah ilmiah ini.

Cibinong, April 2017

Redaksi Majalah Ilmiah GLOBë

KARAKTERISASI RESPON SPEKTRAL SPESIES LAMUN *ENHALUS ACOROIDES* DAN *CYMODOCEA ROTUNDATA* DI PULAU KARIMUNJAWA

(*Characterization of Spectral Response of Seagrass Species *Enhalus acoroides* and *Cymodocea rotundata* in Karimunjawa Island*)

Pramaditya Wicaksono

Departemen Sains Informasi Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
Gedung D Lantai 2, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281 Indonesia
E-mail: prama.wicaksono@geo.ugm.ac.id

Diterima (received): 09 September 2016; Direvisi (revised): 08 Desember 2016; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 31 Maret 2017

ABSTRAK

Pemahaman mengenai variasi respon spektral spesies lamun sangat berguna dalam menunjang keberhasilan aktivitas pemetaan sumberdaya alam padang lamun menggunakan penginderaan jauh. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan inventarisasi pantulan spektral spesies lamun *Enhalus acoroides* (Ea) dan *Cymodocea rotundata* (Cr) pada berbagai kondisi, yaitu sehat, tertutup epifit dan rusak. Pengukuran pantulan spektral lamun dilakukan di Kepulauan Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah pada tanggal 4-6 April 2016. Pengukuran respon spektral spesies lamun dilakukan pada panjang gelombang 350-1100 nm menggunakan Jaz *Spectrometer* buatan *OceanOptics*. Hasil dari penelitian ini adalah berupa koleksi respon spektral kedua spesies lamun tersebut pada berbagai kondisi, yang dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan: 1) panjang gelombang yang sesuai untuk memisahkan spesies tersebut secara spektral; 2) panjang gelombang yang sesuai untuk melakukan pemetaan variasi kondisi spesies tersebut; dan 3) langkah awal dalam pembuatan pustaka spektral padang lamun dan habitat bentik di Indonesia. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pada julat panjang gelombang 650–690 nm dapat digunakan untuk membedakan lamun menjadi tiga kelas yaitu 1) *Ea* rusak, 2) *Ea* tertutup epifit dan 3) *Ea* sehat, *Cr* sehat, dan *Cr* tertutup epifit. Pada saluran NIR antara 733–888 nm, kelima kelas tersebut dapat dibedakan meskipun akan sulit untuk membedakan Kelas *Ea* rusak dan *Cr* ber-epifit. Untuk *Ea* dan *Cr* sehat, respon spektralnya berbeda hampir pada semua panjang gelombang kecuali pada 650–730 nm dan kurang dari 480 nm.

Kata kunci: respon spektral, *Enhalus acoroides*, *Cymodocea rotundata*

ABSTRACT

*Understanding spectral variations of seagrass species is important for the success of seagrass mapping activities using remote sensing data. The aim of this research is to collect *Enhalus acoroides* and *Cymodocea rotundata* spectral response using field spectrometer at different conditions, i.e. healthy, covered by epiphyte, and dead. The field measurement of seagrass spectral response was conducted in Karimunjawa Islands, Central Java, Indonesia on 4 – 6 April 2016. Jaz spectrometer from OceanOptics was used to collect seagrass spectral response at 350-1100 nm. The results of this research is the collection of seagrass spectral response at different conditions, which is highly important and beneficial for determining: 1) the most suitable spectral wavelength to differentiate these seagrass species; 2) the most effective spectral wavelength to map seagrass condition variations using remote sensing data; and 3) the initial spectral library of seagrass and benthic habitats in Indonesia. From this research, it can be concluded that wavelengths between 650-690 nm can be used to distinguish the seagrass into three classes: 1) dead *Ea*, 2) *Ea* covered by epiphytes, and 3) healthy *Ea*, healthy *Cr*, and *Cr* covered by epiphytes. In the near infrared wavelenghts between 733-888 nm, these five classes can be distinguished although it would be difficult to distinguish dead *Ea* and *Cr* covered by epiphytes. For healthy *Ea* and *Cr*, their spectral response is different in nearly all wavelengths except at 650-730 nm and less than 480 nm.*

Keywords: spectral response, *Enhalus acoroides*, *Cymodocea rotundata*

PENDAHULUAN

Padang lamun merupakan salah satu ekosistem pada habitat bentik yang mempunyai peran ekologis dan ekonomis sangat penting dalam mendukung keberlangsungan hidup sektor

sosial ekonomi, khususnya bagi masyarakat di wilayah pesisir. Di antara fungsi penting tersebut antara lain adalah sebagai tempat berlindung dan mencari makan biota laut, tempat berpijah, menstabilkan sedimen, menjaga stok ikan, filter polusi dan menjernihkan air sehingga melindungi

terumbu karang dan perairan sekitarnya dari polusi, penyimpan karbon jangka panjang, sumber bahan industri makanan dan obat-obatan, dan sumber plasma nutfah yang sangat penting (Bjork *et al.*, 2008). Kontribusi padang lamun tersebut di atas diestimasi mencapai 19.900 USD per tahun per hektar nya (Costanza *et al.*, 1997). Nilai ini jauh lebih tinggi dibanding ekosistem lainnya seperti terumbu karang, hutan mangrove dan makro alga (Fourqurean *et al.*, 2012). Selain itu kemampuan padang lamun dalam mengubur karbon pada sedimennya juga 50 kali lebih efektif dibandingkan hutan tropis (Laffoley dan Grimsditch, 2009), sehingga padang lamun merupakan salah satu *blue carbon sink* yang paling efektif (Nelleman *et al.*, 2009).

Meskipun mempunyai fungsi penting tersebut, informasi mengenai distribusi spasial maupun temporal padang lamun masih sangat terbatas, khususnya di Indonesia yang bersama-sama dengan kawasan Indo-Pasifik lainnya merupakan tempat hidup bagi lebih dari 15 spesies padang lamun dan merupakan *hotspot* keragaman hayati padang lamun dunia (Green dan Short, 2003). Informasi tersebut penting karena saat ini padang lamun mengalami pengurangan yang signifikan akibat kurangnya pemahaman terhadap fungsi penting padang lamun (Bjork *et al.*, 2008). Tercatat, sejak tahun 1940, lebih dari 40% padang lamun telah hilang dari wilayah pesisir, terutama pada wilayah pesisir berpopulasi padat dengan pembangunan infrastruktur yang intensif (FAO, 2007).

Minimnya informasi ini dikarenakan proses inventarisasi informasi padang lamun mempunyai cukup banyak kendala, terutama adalah akses, biaya, waktu, dan tingkat bahaya. Padang lamun terletak pada perairan dangkal habitat bentik yang seringkali tidak dapat diakses oleh surveyor lapangan. Oleh karena itu, penginderaan jauh dengan segala kelebihan dan keterbatasannya merupakan alternatif terbaik untuk melakukan inventarisasi informasi sumberdaya padang lamun pada konteks spasial dan temporal. Informasi tersebut dimanifestasikan dalam bentuk peta yang dapat digunakan oleh *stakeholders* untuk mengelola padang lamun secara lebih efektif dan efisien.

Salah satu faktor utama yang sangat penting untuk dipertimbangkan dalam melakukan pemetaan sumberdaya padang lamun dengan menggunakan data penginderaan jauh adalah memahami hubungan antara variasi karakteristik padang lamun dan pantulan spektral padang lamun yang terekam oleh sensor. Hubungan tersebut harus ada agar data penginderaan jauh dapat memetakan kondisi biofisik padang lamun.

Berdasarkan Wicaksono dan Hafizt (2013), data penginderaan jauh mempunyai hubungan yang signifikan dengan *seagrass Leaf Area Index* (LAI), dan hubungan akan jauh lebih kuat jika analisis dilakukan pada level spesies. Hanya saja, karakteristik biofisik padang lamun jarang

dilakukan pada level spesies (Hossain *et al.*, 2015), karena pemetaan spesies padang lamun cukup sulit dilakukan dan akurasi relatif rendah, baik pada level resolusi spasial tinggi maupun sedang (Phinn *et al.*, 2008).

Untuk dapat memahami hubungan tersebut dengan lebih baik, dilakukan pengukuran pantulan spektral padang lamun dengan *spectrometer* lapangan, antara lain yang telah dilakukan oleh Fyfe (2003) dan Thorhaug *et al.* (2007). Penelitian tersebut mampu memberikan informasi terkait variasi pantulan spektral beberapa spesies padang lamun serta pengaruh pigmentasi, morfologi, fase tumbuh, dan stress lamun pada respon spektralnya. Beberapa spesies lamun yang telah dikaji respon spektralnya pada penelitian tersebut antara lain *Thalassia testudinum*, *Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme*, *Zostera capricorni*, *Posidonia australis* dan *Halophila ovalis*. Di perairan Indonesia, penelitian terkait hal tersebut belum pernah dilakukan, sehingga perlu untuk diawali sebagai dasar dan landasan untuk pengukuran pantulan spektral padang lamun selanjutnya dan sebagai dasar fundamental dalam melakukan pemetaan padang lamun menggunakan data penginderaan jauh.

Tujuan penelitian ini adalah mengukur variasi respon spektral spesies padang lamun *Enhalus acoroides* (Ea) dan *Cymodocea rotundata* (Cr) pada berbagai kondisi dan menganalisis sejauh mana kondisi spesies lamun tersebut dapat dibedakan melalui respon spektralnya.

Ea merupakan spesies padang lamun terbesar yang hidup tersebar luas pada kawasan Indo-Pasifik (Short dan Coles, 2001). Hidupnya subtidal dan intertidal, dan daunnya tumbuh memanjang vertikal pada kolom air dan seringkali muncul ke permukaan dan umumnya hidup pada perairan yang tertutup seperti teluk dengan kedalaman kurang dari 5 meter. Daun *Ea* dapat tumbuh hingga 2 meter dengan lebar daun mencapai 2 cm. Rhizoma *Ea* sangat tebal dengan diameter mencapai 1,5 cm (Waycott *et al.*, 2004). *Cr* merupakan spesies padang lamun berukuran kecil yang hidup tersebar di perairan Indo-Pasifik sama seperti *Ea*. Lebar daun umumnya tidak lebih dari 0,5 cm dan ujung daun membulat. Rentang kedalaman dari spesies ini lebih lebar dibandingkan *Ea* yaitu hingga 10 meter dan saat ini populasinya di Dunia relatif stabil (Short dan Waycott, 2010). Foto *Ea* dan *Cr* disajikan pada **Gambar 1**.

Spesies padang lamun *Ea* dan *Cr* dipilih pada penelitian ini karena keduanya mampu membentuk *mono bed* padang lamun dan memungkinkan untuk dilakukan analisis piksel murni dan analisis pantulan spektral pada berbagai kelimpahan. Selain itu, kedua spesies tersebut mewakili dua tipe *life-form* lamun yang berbeda yaitu tipe *Ea* dan tipe *ThCr* (Wicaksono dan Hafizt, 2013).

Kedua spesies ini juga merupakan spesies dominan yang ditemui di wilayah perairan Indonesia dan belum pernah dikaji respon spektralnya secara khusus sehingga penting untuk memahami karakteristik pantulan spektralnya dalam konteks mendukung proses pemetaan. Selain itu juga penting untuk melakukan analisis terhadap pengaruh kondisi lamun yaitu sehat, tertutup epifit, dan rusak terhadap respon spektralnya. Spesies lamun lain akan dikaji pada penelitian selanjutnya.

Kepulauan Karimunjawa merupakan salah satu kepulauan dengan keragaman hayati spesies lamun yang tinggi. Berdasarkan Nababan *et al.* (2010), paling tidak ada 9 spesies lamun yang hidup tersebar di Kepulauan Karimunjawa, dengan spesies dominan adalah *Ea*, *Cr* dan *Thalassia hemprichii* (Th). Penelitian secara spesifik dilakukan di Pulau Karimunjawa. Di pulau ini dapat ditemukan *monobed* dari spesies *Ea* dan *Cr*. Spesies *Ea* banyak ditemui di perairan

sebelah barat Pulau Karimunjawa. *Ea* di wilayah ini cukup rapat dan berdekatan langsung dengan pemukiman padat penduduk di sisi barat Pulau Karimunjawa. Di wilayah ini, spesies *Cr* juga cukup dominan dengan sedikit spesies *Halodule uninervis* (Hu) dan *Th*. Lokasi pengukuran respon spektral spesies *Ea* dan *Cr* disajikan pada **Gambar 2**.

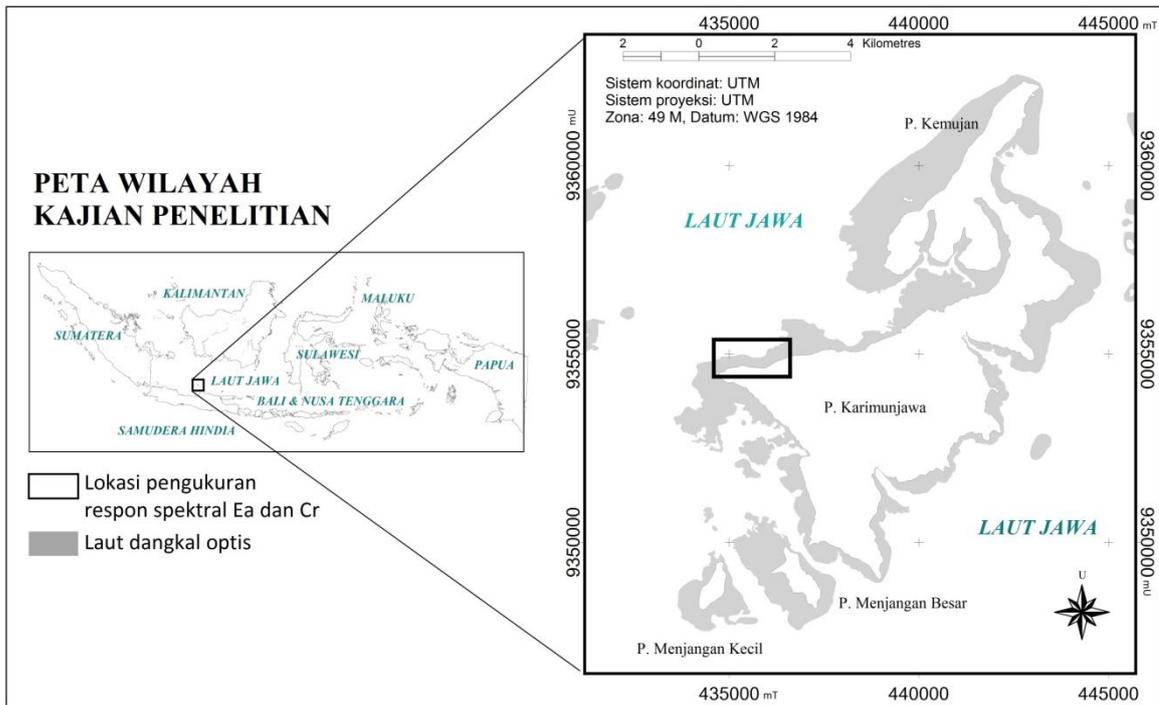
METODE

Spesifikasi Spectrometer

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Jaz spectrometer portable* yang diproduksi oleh *OceanOptics®*, yang dapat digunakan untuk mengukur respon spektral objek di lapangan maupun di laboratorium. Modul *Jaz* yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari modul: (a) *Data Processing Unit* (DPU), (b) Modul baterai, dan (c) Modul *spectrometer VIS-NIR*.



Gambar 1. Foto dari Spesies *Cr* dan *Ea* yang Ditemukan pada Pulau Karimunjawa.



Gambar 2. Lokasi Pengukuran Respon Spektral *Ea* dan *Cr*. Pengukuran Dilakukan pada Tanggal 4-6 April 2016.

Jaz *spectrometer* disertai beberapa komponen sebagai berikut (Kamal *et al.*, 2012):

- a. *Spectralon*® WS-1-SL
Spectralon digunakan untuk mengambil sampel *white reference*. *Spectralon* adalah senyawa *fluoropolymer* (*polytetrafluoroethylene*/PTFE) dan dikenal sebagai material yang memiliki pantulan paling baur dan sempurna (*diffuse*) pada panjang gelombang ultraviolet, tampak dan inframerah dekat.
- b. Kabel fiber optik QP400-2-UV-VIS
Kabel fiber optik ini mempunyai diameter 400 μm , sensitif pada rentang spektral 300 – 1100 nm (optimal 300-800 nm). Mempunyai *Field of View* (FOV) 25° dengan panjang 2 meter dan bentang radius 16 cm.
- c. *Collimating lens* 74-UV
Collimating lens digunakan untuk mensejajarkan hamburan cahaya yang masuk ke sensor Jaz *spectrometer*. Mempunyai bukaan $f/2$, terbuat dari *fused silica lens* untuk rentang spektral 200-2000 nm. Mempunyai FOV yang dapat disetel dari 0-45° dengan setelan standar 14.25°.

Alat lain adalah kamera bawah air yang digunakan untuk mengambil foto spesies padang lamun serta perangkat lunak pengolah data *spectrometer* yaitu *SpectraSuite* yang diproduksi oleh *OceanOptics*®.

Persiapan Alat *Spectrometer*

Pengukuran menggunakan *spectrometer* diawali dengan mengukur *integration time* (ms) dan proses kalibrasi terhadap *white reference* dan *dark reference*. *White reference* yang digunakan adalah *Spectralon*® WS-1-SL. Sementara *dark reference* dilakukan dengan menutup *collimating lens* menggunakan *cap*.

Jaz *spectrometer* mempunyai *spectral bandwidth* yang sangat sempit yaitu 0.3 – 10.0 nm. Beberapa parameter yang perlu disetel dan berpengaruh pada keberhasilan dan kualitas pengukuran *spectrometer* adalah sebagai berikut:

- *Integration time* (ms): Lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan cahaya yang optimal ke arah sensor CCD. *Integration time* yang terlalu tinggi mengakibatkan *over exposure* dan saturasi.
- *Boxcar width*: Generalisasi pembacaan spektral dari hasil rata-rata pembacaan nilai spektral pada julat spektral tetangganya. Semakin tinggi nilai *boxcar width* maka *noise* yang dihasilkan semakin rendah namun presisi optisnya semakin menurun.
- *Scans to average*: menghitung rata-rata pengukuran *spectrometer* untuk objek yang sama sehingga memungkinkan untuk mengurangi *noise* dan mengakomodasi variasi respon spektral pada objek yang sama.

- Koreksi tambahan dapat dilakukan untuk mengurangi *noise* antara lain koreksi *Electric Dark* dan Koreksi *non-linearity*.

Pengukuran *Spectrometer*

Pengukuran dilakukan pada bulan April 2016 dengan mengambil sampel *Ea* dan *Cr* pada berbagai kondisi, yaitu sehat dan tertutup epifit. Khusus untuk *Ea*, pengukuran juga dilakukan pada daun yang rusak. Sampel daun *Ea* dan *Cr* dicabut dan dibawa ke permukaan untuk diukur respon spektralnya. Pengukuran dilakukan dengan setelan sebagai berikut. *Boxcar width* disetel pada angka 10, untuk mempertahankan presisi spektral hasil pengukuran namun juga mampu menekan *noise* yang muncul. Nilai 10 dipilih berdasarkan hasil eksperimen setelah mencoba berbagai setelan *boxcard width* dari 0 hingga 50. *Scan to average* juga disetel pada angka 10 untuk mendapatkan rerata pengukuran spektral yang optimal. Tanpa kedua setelan diatas, pengukuran *spectrometer* tidak dapat digunakan karena hasilnya sangat *noisy*. Secara umum, hasil pengukuran di bawah panjang gelombang 345 nm dan di atas 934 nm tidak dapat digunakan karena pengaruh *noise*, yang disebabkan oleh detektor yang terbuat dari Silika, yang terlalu sensitif terhadap panjang gelombang tersebut.

Pengukuran dilakukan pada jarak 1-2 cm dari daun lamun pada kondisi *emerging* basah. Pengukuran dilakukan pada beberapa spesimen *Ea* dan *Cr*, dimana pada masing-masing spesimen pengukuran dilakukan pada daun yang sehat, rusak, dan tertutup epifit.

Informasi yang dicatat pada tiap pengukuran adalah nomor pengukuran *white reference*, *dark reference* dan sampel, nomor foto, waktu, kondisi sampel, nama spesies, kondisi spesies, dan setelan *spectrometer*.

Post-Processing Pengukuran *Spectrometer*

Post-processing hasil pengukuran *spectrometer* dilakukan menggunakan perangkat lunak *SpectraSuite* dari *OceanOptics*®. Input yang digunakan untuk memperoleh nilai *reflectance* dari padang lamun adalah *white reference* hasil pengukuran *spectralon*, *dark reference* dan *radiance intensity* dari pengukuran *spectrometer* pada tiap sampel lamun.

Jaz *spectrometer* dapat digunakan untuk mengukur *absorption*, *reflectance*, *transmission*, dan *irradiance*. *Absorption* (Serapan, A_λ) merupakan ukuran besarnya energi/cahaya yang diserap oleh objek. *Reflection* (Pantulan, R_λ) adalah besarnya energi/cahaya yang dipantulkan oleh objek dan biasanya dinyatakan dalam persentase ($\%R_\lambda$) terhadap pantulan *white reference*. *Transmission* adalah persentase energi/cahaya yang melewati sampel relatif terhadap besarnya pantulan *white reference*

(% T_{λ}). Pada penelitian ini, informasi yang dibutuhkan adalah % R_{λ} . Rumus % R_{λ} disajikan pada **Persamaan 1**.

$$\%R_{\lambda} = ((S_{\lambda} - D_{\lambda}) / (R_{\lambda} - D_{\lambda})) \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

S_{λ} = intensitas radiansi objek pada panjang gelombang λ

D_{λ} = intensitas *dark reference* pada panjang gelombang λ

R_{λ} = intensitas *white reference* pada panjang gelombang λ

HASIL DAN PEMBAHASAN

Enhalus acoroides

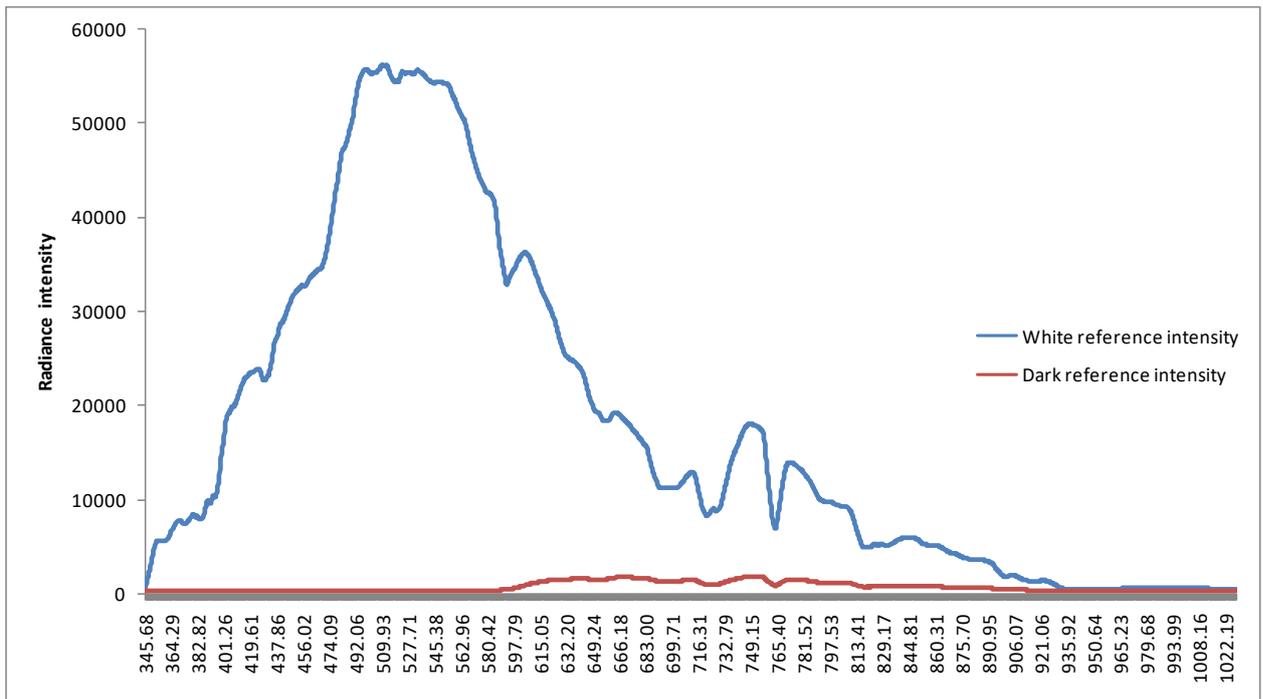
Untuk mendapatkan nilai reflektansi dari *Ea*, dibutuhkan nilai intensitas dari *white reference* dan *dark reference* yang diukur sebelum pengukuran respon spektral *Ea*. Intensitas *white reference* dan *dark reference* untuk pengukuran respon spektral *Ea* disajikan pada **Gambar 3**. Menggunakan rumus (1), diperoleh nilai reflektansi dari beberapa spesimen *Ea*, baik dalam kondisi sehat, tertutup epifit dan rusak. Total ada tiga spesimen untuk masing-masing kondisi, dan pada masing-masing spesimen dilakukan pengukuran di tiga tempat berbeda, yaitu ujung, tengah, dan pangkal daun.

Dari *white* dan *dark reference* tersebut, hasil nilai reflektansi *Ea* yang diperoleh tidak optimal dimana nilai reflektansi pada band antara 600 - 700 nm adalah negatif, dimana kondisi tersebut tidak mungkin terjadi. Respon spektral *Ea* pada berbagai kondisi dapat dilihat pada **Gambar 4**.

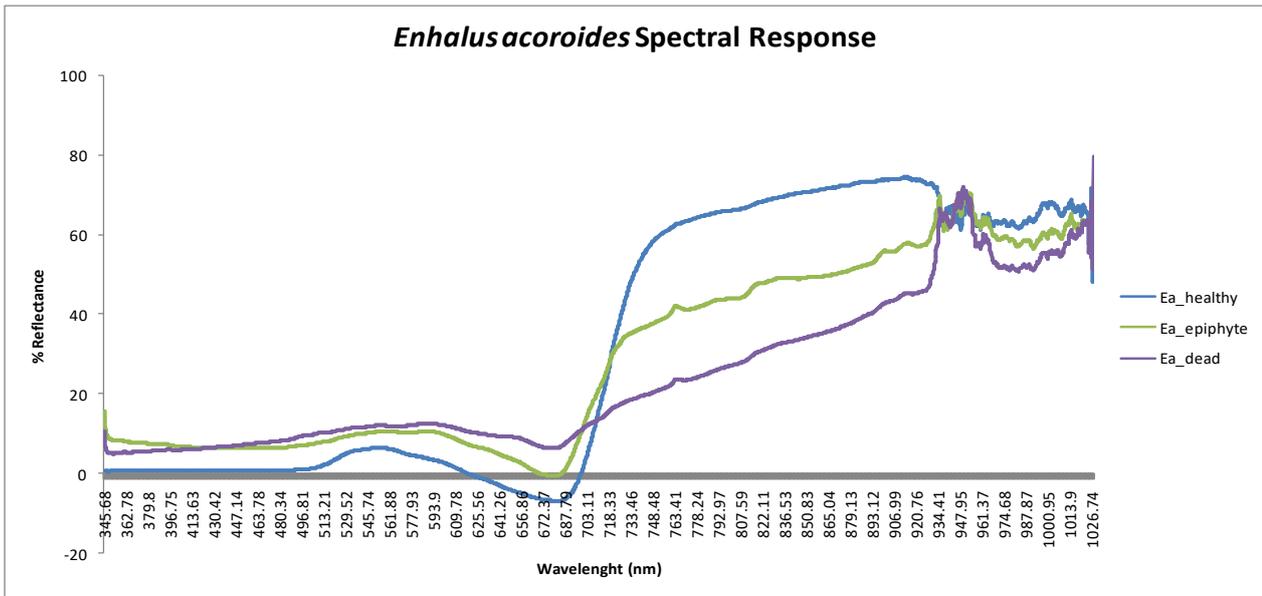
Pada **Gambar 4**, dapat disimpulkan bahwa pola respon spektral *Ea* sudah benar. Hal ini

ditunjukkan dengan bentuk kurva spektral yang menyerupai vegetasi sehat. Pantulan spektral di saluran tampak adalah rendah, terutama pada band biru (400 – 500 nm) dan merah (600-700 nm) karena energi pada kedua rentang panjang gelombang tersebut digunakan untuk fotosintesis. Sedangkan pada saluran hijau, serapan tidak setinggi pada saluran biru dan merah, sehingga puncak pantulan saluran tampak ada pada saluran hijau pada panjang gelombang 545 nm. Serapan maksimal band merah ada pada panjang gelombang 687 nm. Pantulan spektral naik secara signifikan hingga lebih dari 60% setelah band merah, yaitu melalui *red-edge* hingga NIR.

Pada daun *Ea* yang tertutupi oleh epifit, terdapat dua puncak kecil untuk saluran tampak, yaitu pada 561 nm dan 590 nm. Keberadaan epifit inilah yang menyebabkan respon spektral daun *Ea* menjadi mempunyai dua puncak pantulan, yang disebabkan oleh serapan klorofil dan pigmen coklat dari epifit. Keberadaan epifit yang cenderung mendominasi permukaan daun *Ea* menyebabkan puncak pantulan bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih panjang. Selain itu, keberadaan pigmen coklat yang lebih dominan daripada klorofil juga membuat serapan pada saluran biru menjadi rendah. Hasilnya, pantulan pada saluran biru menjadi lebih tinggi. Pantulan pada saluran NIR juga tidak setinggi pada daun *Ea* tanpa epifit. Temuan serupa juga diperoleh oleh Thorhaug *et al.* (2002;2003;2006), dimana dalam hasil penelitiannya, perubahan kondisi lamun, terutama jika mengalami stress akibat berbagai macam gangguan *i.e.* perubahan salinitas, akan menimbulkan pergeseran dalam respon spektralnya. Terutama pada saluran *red-edge*.



Gambar 3. Intensitas *White Reference* dan *Dark Reference* untuk Pengukuran Respon Spektral *Ea*.



Gambar 4. Respon Spektral *Ea* pada Berbagai Kondisi.

Pada daun *Ea* yang rusak, respon spektral hampir mirip dengan daun *Ea* ber-epifit, dimana puncak pantulan bergeser pada panjang gelombang yang lebih panjang yaitu 590 nm dan puncak yang lebih rendah pada 656 nm. Namun, perbedaannya adalah kenaikan respon spektral terjadi pada semua saluran tampak. Hal ini dikarenakan klorofil sudah tidak ada lagi pada daun mati dan pigmen yang dominan adalah pigmen kuning dan coklat. Akibat sangat rendahnya kandungan klorofil, serapan pada saluran tampak tidak terlalu kuat. Saluran merah tidak diserap kuat oleh klorofil sedangkan pigmen kuning dan coklat tidak menyerap panjang gelombang merah. Rusaknya struktur internal daun pada daun rusak membuat pantulan saluran NIR menjadi rendah, dimana banyak energi NIR yang terserap oleh daun rusak tersebut.

Meskipun pola spektral *Ea* pada berbagai kondisi relatif benar, namun nilai absolut dari pantulan spektral *Ea* mempunyai kesalahan, yaitu bernilai negatif untuk rentang 600-700 nm. Karenanya, analisis tambahan diterapkan pada *white* dan *dark reference intensity* untuk mencari penyebab nilai negatif tersebut.

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *dark reference* pada beberapa panjang gelombang banyak yang kurang atau bahkan lebih dari batas minimum yaitu 0 dan nilai *white reference* banyak yang kurang maupun lebih dari 100%. Ini menyebabkan perhitungan nilai reflektansi *Ea* menjadi banyak kesalahan. Untuk mengatasi masalah ini, nilai *white* dan *dark reference intensity* dinormalisasi dan kemudian digunakan untuk mengkalibrasi nilai reflektansi dari *Ea*. Hasil dari proses kalibrasi ini jauh lebih baik dibanding hasil pengukuran awal, dimana tidak ditemukan lagi nilai negatif pada respon spektral *Ea*. Respon Spektral *Ea* hasil kalibrasi *white* dan *dark reference intensity* dapat dilihat pada Gambar 5.

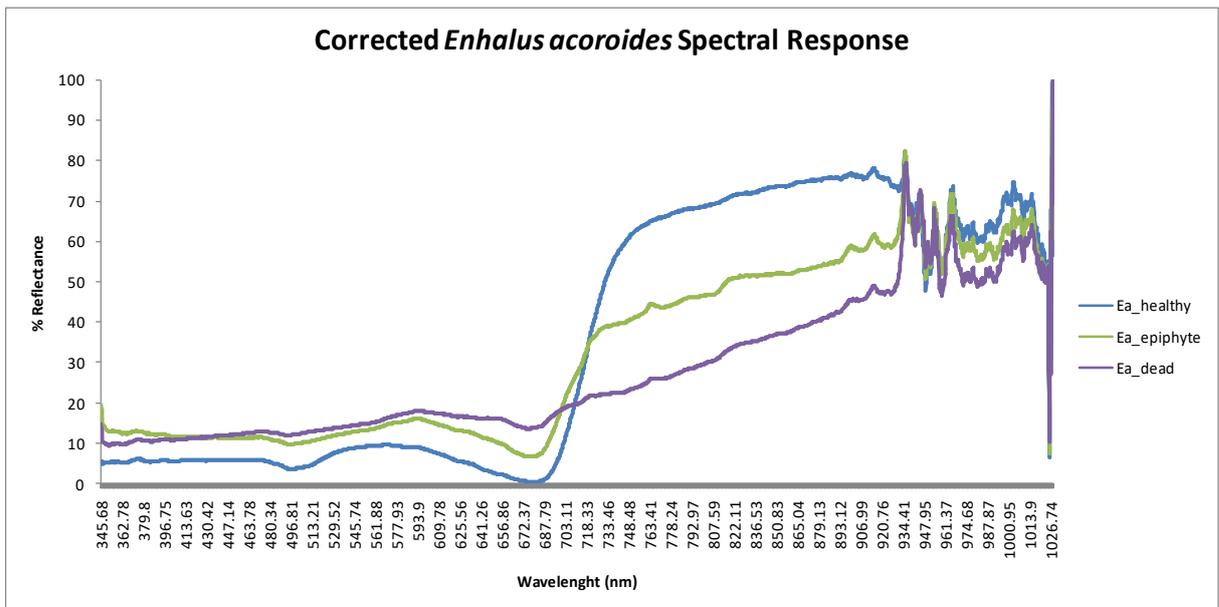
Respon spektral *Ea* hasil kalibrasi memberikan informasi tambahan berupa puncak

serapan *Ea* pada saluran biru yang sebelumnya tidak teridentifikasi. Serapan maksimal ada pada panjang gelombang 496 nm baik untuk *Ea* sehat, tertutup epifit dan rusak. Perbedaan utama ada pada intensitas serapan dimana pada *Ea* tertutup epifit dan rusak serapan lebih rendah karena berkurangnya klorofil pada daun.

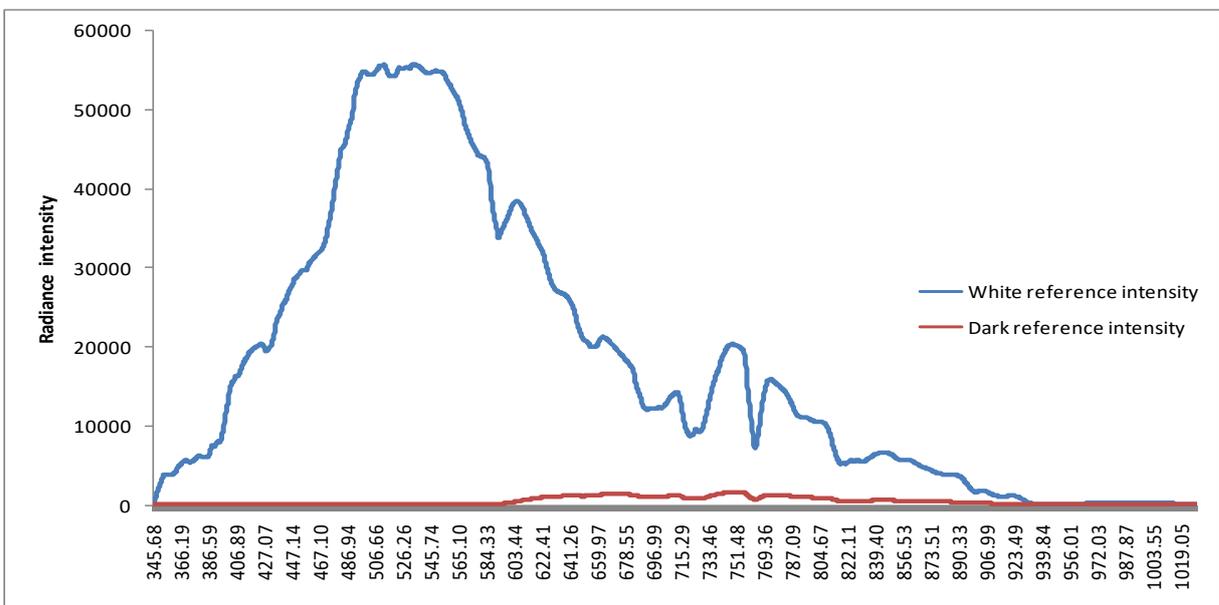
Cymodocea rotundata

Pengukuran respon spektral *Cr* tidak menemui masalah seperti pada *Ea*, sehingga proses kalibrasi ulang *white* dan *dark reference intensity* tidak perlu dilakukan. Grafik *white reference* dan *dark reference intensity* untuk pengukuran *Cr* dapat dilihat pada Gambar 6. Sama seperti pada *Ea*, pengukuran respon spektral *Cr* pada berbagai kondisi dilakukan pada beberapa spesimen dan pada beberapa lokasi daun untuk masing-masing spesimen. Hasil pengukuran respon spektral *Cr* pada kondisi sehat dan tertutup epifit dapat dilihat pada Gambar 7. Respon spektral *Cr* pada kondisi rusak tidak dapat diproses karena data mengalami kerusakan. Informasi respon spektral *Cr* rusak akan diukur ulang pada penelitian selanjutnya.

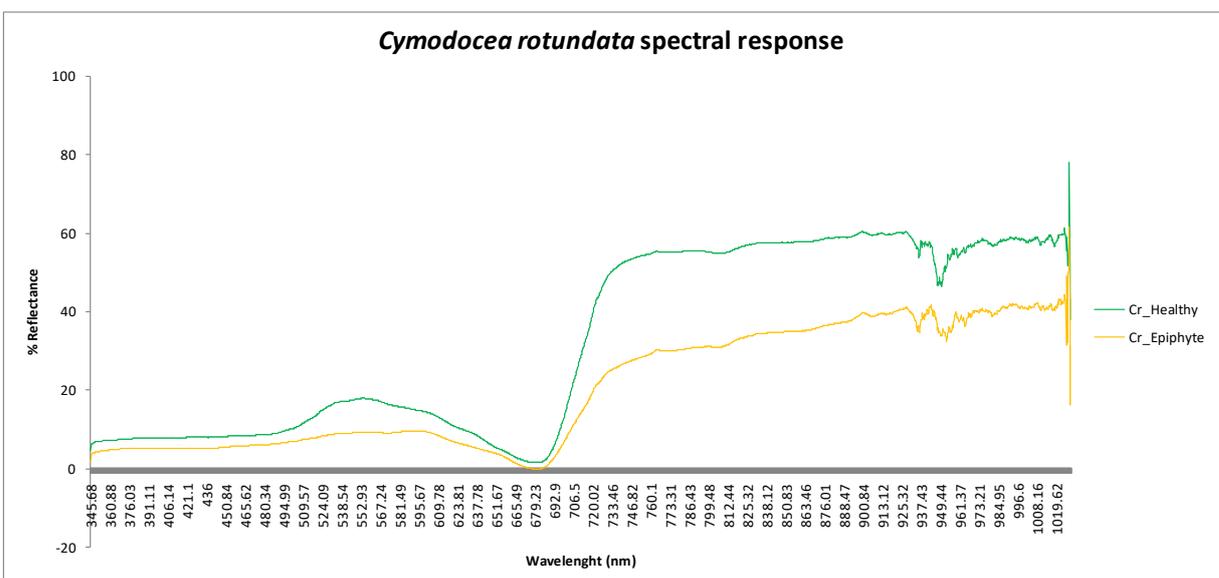
Pola respon spektral dari *Cr* mirip dengan *Ea* dan vegetasi pada umumnya. Puncak pantulan pada saluran tampak terletak pada panjang gelombang hijau pada 552 nm, pada panjang gelombang yang lebih pendek dibanding *Ea*. Puncak serapan pada saluran biru ada pada panjang gelombang 480 nm sedangkan pada saluran merah ada pada panjang gelombang 679 nm. Respon spektral pada NIR pada kisaran 60% dan lebih rendah dibanding *Ea*. Hal ini dikarenakan ukuran daun *Ea* yang jauh lebih besar dan struktur internal daunnya jauh lebih kompleks sehingga menyebabkan *leaf internal scattering* oleh energi NIR menjadi lebih tinggi.



Gambar 5. Respon Spektral *Ea* Hasil Kalibrasi *White* dan *Dark Reference Intensity*.



Gambar 6. *White Reference* and *Dark Reference Intensity* untuk Pengukuran Respon Spektral *Cr*.



Gambar 7. Respon Spektral *Cr* pada Kondisi Sehat dan Tertutup Epifit.

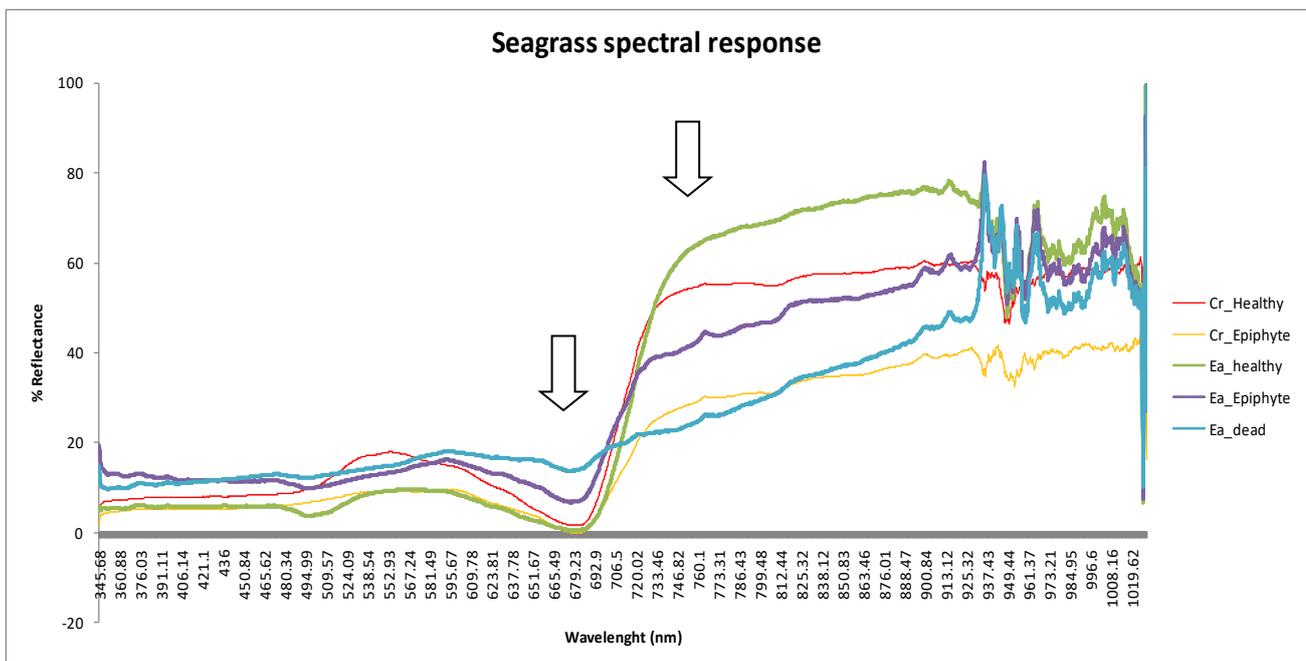
Pada *Cr* tertutup epifit, puncak pantulan bergeser ke panjang gelombang yang lebih panjang yaitu pada 596 nm dan sangat dekat dengan puncak pantulan epifit pada *Ea*. Meskipun demikian intensitas serapan epifit pada *Cr* berbeda dengan *Ea*, ditunjukkan dengan lebih rendahnya pantulan *Cr* ber-epifit pada saluran tampak dibandingkan *Cr* sehat. Kemungkinan besar jenis epifit yang menempel pada *Ea* dan *Cr* berbeda komposisi pigmen dan strukturnya. *Cr* tertutup epifit juga mempunyai puncak pantulan yang lebih rendah yaitu pada 552 nm yang berasal dari klorofil. Pada *Cr* tertutup epifit, kandungan klorofil masih relatif tinggi, ditunjukkan dengan tingginya serapan pada saluran biru dan merah dengan lokasi puncak serapan yang sama dengan *Cr* sehat. Sama seperti *Ea*, pada *Cr* tertutup epifit, pantulan pada saluran NIR lebih rendah.

Perbandingan respon spektral *Ea* dan *Cr*

Jika respon spektral dari kedua spesies tersebut dibandingkan, maka dapat diidentifikasi panjang gelombang mana yang paling efektif untuk membedakan variasi kondisi kedua spesies tersebut. Secara sederhana, dari **Gambar 8** dapat dilihat bahwa cukup sulit untuk membedakan kelima variasi kondisi lamun tersebut menggunakan saluran tampak, dimana semuanya hampir mirip. *Cr* ber-epifit dan *Ea* sehat mempunyai respon yang hampir sama pada seluruh saluran tampak. Analisis statistik lanjut untuk secara signifikan mengetahui separabilitas respon spektral kondisi lamun tersebut belum dilakukan dan menjadi fokus utama dalam penelitian lanjutan. Pada saluran tampak, hanya pada julat 650 – 690 nm terdapat kemungkinan

untuk membedakan kondisi lamun tersebut, dan hanya ada tiga kelas yang bisa dibedakan yaitu: 1) *Ea* rusak, 2) *Ea* tertutup epifit dan 3) *Ea* sehat, *Cr* sehat, dan *Cr* tertutup epifit. Pada saluran NIR antara 733 – 888 nm, kelima kelas tersebut dapat dibedakan. Kelas *Ea* rusak dan *Cr* ber-epifit adalah yang paling sulit dibedakan pada rentang ini. Apabila yang dipertimbangkan hanya *Ea* dan *Cr* sehat, maka seluruh panjang gelombang dapat digunakan untuk membedakannya kecuali panjang gelombang kurang dari 480 nm dan antara 650-730 nm. Terutama pada saluran merah dan *red-edge*, *Ea* dan *Cr* mempunyai fitur serapan yang sangat mirip.

Hasil penelitian ini dapat dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, antara lain oleh Fyfe (2003), Thorhaug *et al.* (2002; 2003; 2006; 2007). Fyfe (2003) mengukur respon spektral spesies padang lamun *Zostera capricorni*, *Posidonia australis* dan *Halophila ovalis*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa ketiga spesies tersebut dapat dibedakan berdasarkan pantulan spektralnya secara konsisten, pada kedalaman dan musim tertentu yang sama. Perbedaan pantulan spektral ketiganya tampak pada panjang gelombang 520-530 nm, 530-580 nm, 580-600 nm dan *red-edge* (680-700 nm), sehingga keempat julat spektral inilah yang dapat digunakan untuk membedakan spesies tersebut. Rentang 680 – 700 nm tersebut hampir sama dengan rentang yang diidentifikasi mampu membedakan beberapa kondisi *Ea* dan *Cr* (650-690 nm) pada penelitian ini. Sama halnya untuk *Ea* dan *Cr* sehat, panjang gelombang 480-620 nm mampu digunakan untuk membedakan keduanya.



Gambar 8. Perbandingan Respon Spektral *Ea* dan *Cr* pada Berbagai Kondisi.

Thorhaug *et al.* (2002; 2003) menemukan bahwa ada pergeseran lokasi *red-edge* pada *Thalassia sp.* dan spesies lamun lain saat mengalami stres dan penuaan, dimana keduanya berhubungan dengan berkurangnya kandungan klorofil dalam daun. Lebih lanjut, Thorhaug *et al.* (2006) menganalisis pantulan spektral spesies *Thalassia sp.* pada berbagai kondisi salinitas perairan dan menemukan bahwa ada pergeseran lokasi *red-edge* pada daun *Thalassia sp.* yang terpapar pada perairan dengan salinitas rendah. Pada penelitian ini, pergeseran puncak pantulan spektral juga terjadi, yaitu pada spesies yang tertutup epifit dan rusak. Pada **Gambar 8** dapat dilihat bahwa puncak pantulan spektral kedua spesies pada saluran tampak bergeser pada panjang gelombang yang lebih panjang. Lokasi *red-edge* untuk spesies sehat dan tertutup epifit relatif tidak berubah, namun bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih pendek pada *Ea* rusak.

Hasil penelitian ini merupakan langkah awal dalam pembuatan pustaka spektral padang lamun dan habitat benthik di Indonesia. Penelitian kedepan adalah mengukur respon spektral spesies lamun lain yang ada di Indonesia, melakukan analisis derivatif spektral, serta melakukan analisis laboratorium untuk mendapatkan informasi kandungan dan komposisi pigmen aktual pada masing-masing spesies lamun.

KESIMPULAN

Hasil pengukuran respon spektral *Ea* dan *Cr* pada berbagai kondisi menunjukkan bahwa variasi pigmen dan struktur internal daun adalah dua faktor utama yang mengontrol pola pantulan spektral spesies lamun tersebut. Masing-masing spesies pada berbagai kondisi mempunyai komposisi pigmen yang unik. Pigmen pada epifit juga ikut berpengaruh pada respon spektral spesies lamun. Struktur internal daun lamun yang rusak cenderung menyerap energi inframerah dekat dibandingkan daun yang sehat.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada julat panjang gelombang 650–690 nm terdapat kemungkinan untuk membedakan kondisi lamun menjadi tiga kelas yaitu Kelas (1) *Ea* rusak, Kelas (2) *Ea* tertutup epifit dan Kelas (3) *Ea* sehat, *Cr* sehat, dan *Cr* tertutup epifit. Sedangkan pada saluran NIR antara 733–888 nm, kelima kelas tersebut dapat dibedakan meskipun akan sulit untuk membedakan Kelas *Ea* rusak dan *Cr* ber-epifit. Untuk *Ea* dan *Cr* sehat, respon spektralnya berbeda hampir pada semua panjang gelombang kecuali pada 650–730 nm dan kurang dari 480 nm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari Hibah Penelitian Dosen Fakultas Geografi Universitas

Gadjah Mada yang didanai melalui Dana Bantuan Pendanaan Perguruan Tinggi Berbadan Hukum Universitas Gadjah Mada Tahun Anggaran 2016.

DAFTAR PUSTAKA

- Bjork, M., Short, F., Mcleod, E., & Beer, S. (2008). *Managing Seagrasses for Resilience to Climate Change* (No. 3). IUCN.
- Costanza, R. R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., et al. (1997). The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, 387, 253-260.
- FAO. (2007). *The world's mangroves 1980-2005*. FAO Forestry Paper 153. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M. A., et al. (2012). Seagrass Ecosystems as a Globally Significant Carbon Stock. *Nature Geoscience*, 5, 505-509.
- Fyfe, S. K. (2003). Spatial and Temporal Variation in Spectral Reflectance: Are Seagrass Species Spectrally Distinct? *Limnology and Oceanography*, 48 (1, part 2), 464-479.
- Green, E. P., & Short, F. T. (Eds.). (2003). *World Atlas of Seagrasses*. Los Angeles: University of California Press.
- Hossain, M. S., Bujang, J. S., Zakaria, M. H., & Hashim, M. (2015). The Application of Remote Sensing to Seagrass Ecosystems: an Overview and Future Research Prospects. *International Journal of Remote Sensing*, 36 (1), 61-113.
- Kamal, M., Adi, N. S., & Arjasakusuma, S. (2012). *Jaz EL-350 VIS NIR Portable Spectrometer: Panduan operasional pengukuran dan pengelolaan data pantulan spektral obyek* (Edisi 1 ed.). Yogyakarta, Indonesia: Laboratorium Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Laffoley, D., & Grimsditch, G. (2009). *The Management of Natural Coastal Carbon Sinks*. (G. Grimsditch, Ed.) Gland, Switzerland: IUCN.
- Nababan, M. G., Munasik, Yulianto, I., Kartawijaya, T., Prasetya, R., Ardiwijaya, R. L., et al. (2010). *Status Ekosistem di Taman Nasional Karimunjawa: 2010*. Bogor: Wildlife Conservation Society-Indonesia Program.
- Nelleman, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdes, L., De Young, C., Fonseca, L., et al. (2009). *Blue Carbon. A Rapid Response Assessment*. (G. Grimsditch, Ed.) United Nations Environment Programme, GRID-Arendal.
- Phinn, S. R., Roelfsema, C. M., Brando, V., & Anstee, J. (2008). Mapping Seagrass Species, Cover and Biomass in Shallow Waters: An Assessment of Satellite Multi-Spectral and Airborne Hyper-Spectral Imaging Systems in Moreton Bay (Australia). *Remote Sensing of Environment*, 112, 3413-3425.
- Short, F. T., & Coles, R. G. (2001). *Global Seagrass Research Methods*. (R. G. Coles, Ed.) Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Short, F. T., & Waycott, M. (2010). *Cymodocea rotundata*. The IUCN Red List of Threatened Species 2010: e.T173363A6999692. Cited In <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2010-3.RLTS.T173363A6999692.en>. [13 Maret 2016]
- Thorhaug, A., Berlyn, G. P., & Richardson, A. D. (2002). Spectral Reflectance Measurements of *Thalassia Testudinum*: Low Salinity Tolerance. *American Journal of Botany*, 89, 91-92.

- Thorhaug, A., Berlyn, G. P., & Richardson, A. D. (2003). Spectral Reflectance Measurements of Low Salinity on Three Seagrasses: *Syringodium Filiforme*, *Halodule Wrightii*, and *Zostera Marina* [abstract]. *American Journal of Botany*, 90, 31-32.
- Thorhaug, A., Berlyn, G. P., & Richardson, A. D. (2006). Spectral reflectance of *Thalassia Testudinum* (Hydrocaritaceae) Seagrass: Low Salinity Effects. *American Journal of Botany*, 93, 94-101.
- Thorhaug, A., Richardson, A. D., & Berlyn, G. P. (2007). Spectral Reflectance of the Seagrasses: *Thalassia Testudinum*, *Halodule wrightii*, *Syringodium Filiforme* and Five Marine Algae. *International Journal of Remote Sensing*, 28 (7), 1487 - 1501.
- Waycott, M., McMahon, K., Mellors, J., Calladine, A., & Kleine, D. (2004). *A Guide to Tropical Seagrasses of the Indo-West Pacific*. Townsville: James Cook University.
- Wicaksono, P., & Hafizt, M. (2013). Mapping Seagrass from space: Addressing the Complexity of Seagrass LAI Mapping. *European Journal of Remote Sensing*, 46, 18-39.

EFEKTIVITAS TRANSFORMASI INDEKS VEGETASI PENEKAN PENGARUH ATMOSFER BERBASIS CITRA SPOT-6 UNTUK ESTIMASI PRODUKSI TANAMAN KELAPA SAWIT (ELAEIS GUINEENSIS JACQ) DI SEBAGIAN KABUPATEN INDRAGIRI HULU, RIAU

(Effectiveness of Vegetation Index Transformation for Reducing the Effect of Atmospheric Based Image Spot - 6 for Estimating Production of Oil Palm Plant (Elaeis Guineensis Jacq) in part District Indragiri Hulu, Riau)

Heratania Aprilia Setyowati¹, Sigit Heru Murti B.S. dan Sukentyas Estuti Siwi²

¹Prodi Kartografi dan Penginderaan Jauh, Departemen Sains Informasi Geografis

²Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, LAPAN

Fakultas Geografi UGM, Sekip Utara, Sleman, Yogyakarta 55281, Indonesia

E-mail:heratania.a.s@mail.ugm.ac.id

Diterima (received): 18 Agustus 2016; Direvisi (revised):03 Januari 2017; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 31 Maret 2017

ABSTRAK

Kondisi atmosfer cukup signifikan untuk mempengaruhi nilai refleksi objek dari data penginderaan jauh, akibatnya mempengaruhi ekstraksi informasi dari data penginderaan jauh termasuk perkiraan produksi tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kemampuan transformasi indeks vegetasi dasar (generik) yakni *Ratio Vegetation Index* (RVI) dan indeks vegetasi yang mampu mengurangi pengaruh kondisi atmosfer yakni *Atmospherically Resistant Vegetation Index* (ARVI) dan *Visible Atmospherically Resistant Index* (VARI) untuk memperkirakan produksi tanaman kelapa sawit menggunakan citra SPOT-6. Daerah penelitian di perkebunan kelapa sawit PT. Tunggal Perkasa Plantations, Air Molek, Indragiri Hulu. Metode yang digunakan adalah penerapan transformasi RVI, ARVI dan VARI dan analisis regresi statistik menggunakan citra SPOT-6 tanggal 13 Juni 2013. Metode pemilihan sampel menggunakan stratified random sampling. Analisis regresi dilakukan antara tahun tanaman, indeks vegetasi, dan produksi dari lapangan untuk menghasilkan formula berdasarkan parameter pengaruh produksi, nilai indeks vegetasi dan perkiraan produksi. Hasil penelitian menunjukkan nilai estimasi produksi untuk transformasi RVI adalah 141.710 ton, ARVI adalah 143.317,5 ton dan VARI adalah 148.122,4 ton. Dibandingkan dengan produksi data lapangan sebesar 181.702,6 ton. Akurasi perkiraan produksi sebesar 77,99% dari transformasi RVI, 78,87% dari transformasi ARVI dan 81,52% dari transformasi VARI. Jadi transformasi terbaik untuk memperkirakan produksi kelapa sawit adalah transformasi VARI. Hasil penelitian membuktikan bahwa efek atmosfer pada citra penginderaan jauh dapat ditekan dengan menggunakan ARVI dan VARI transformasi.

Kata kunci: transformasi indeks vegetasi, citra SPOT-6, estimasi produksi tanaman, tanaman kelapa sawit

ABSTRACT

The atmosphere condition is quite significant to influence the object reflection value from the remote sensing data, so it can be affecting the information extraction from a remote sensing data including crop production estimates. This study aims to assess the ability of the transformation of vegetation index base (generic) is Ratio Vegetation Index (RVI) and the vegetation index which capable of reducing the influence of the atmosphere condition are Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) and Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) to estimate crop production of oil using SPOT-6 imagery. The study area is an oil palm plantation PT. Tunggal Perkasa Plantations, Air Molek, Indragiri Hulu. The method used role in this research is the remote sensing method by applying RVI, ARVI and VARI transformation and statistical regression analysis on SPOT-6 imagery recorded on 13 June 2013. The sample selection method used was stratified random sampling. Regression analysis was conducted between the year of crops, vegetation index, and also the production from the field to produce a formula based on the parameters the influence of production, vegetation index value and production estimate. Results showed the estimated value of production for the transformation of RVI was 141,710 tons, ARVI was 143.317,5 tons and VARI is 148.122,4 tons. Compared with the data field production amounted to 181.702,6 tons. The accuracy of estimated production amounted to 77,99% from RVI transformation, 78,87% from ARVI transformation and 81,52% from VARI transformation. So the best transformation to estimate production of palm oil is the VARI transformation. The research results prove that the atmosphere effect on the remote sensing image can be suppressed by using the ARVI and VARI transformation.

Keywords: vegetation index transformation, SPOT-6 image, crop production estimates, palm oil

PENDAHULUAN

Tanaman Kelapa Sawit atau dalam bahasa ilmiah bernama *Elaeis guineensis jacq* merupakan tanaman yang berasal dari Nigeria dan juga Brazil (Corley dan Tinker, 2003). Kelapa sawit tersusun dalam Tandan Buah Segar (Astra Agro Niaga, 1995) yang beratnya dapat mencapai 40-50 kilogram per tandan (Gilbert, 2013). Kabupaten Indragiri Hulu merupakan salah satu Kabupaten di Provinsi Riau yang memiliki komoditas tanaman utama yakni tanaman kelapa sawit (BPS, 2014). Perkembangan perkebunan tanaman kelapa sawit di Negara Indonesia berawal di Pantai Timur Sumatera dan Aceh yang menjadi daerah pertama dibuatnya perkebunan tanaman kelapa sawit (Fauzi et al., 2002) kemudian merambah hingga sebagian besar Pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan juga Papua (Sunarko, 2007).

Kontribusi kelapa sawit di Provinsi Riau terhadap total produksi minyak sawit di Indonesia menempati peringkat pertama (Maulidar, 2014) dan Indonesia menjadi produsen minyak sawit terbesar (Hasan, 2014) sedangkan kegiatan manajemen perkebunan yang optimal dituntut agar produksi selalu maksimal. Kebutuhan kecepatan akses informasi terhadap taksasi atau estimasi jumlah produksi kelapa sawit, yang efektif dan efisien sangat dibutuhkan sehingga diperlukan metode yang cocok untuk mengatasi hal tersebut, yakni penginderaan jauh. Pemanfaatan penginderaan jauh membutuhkan ketersediaan data yang baik terutama kondisi citra yang digunakan. Sayangnya, tidak semua citra merekam area dengan tanpa gangguan.

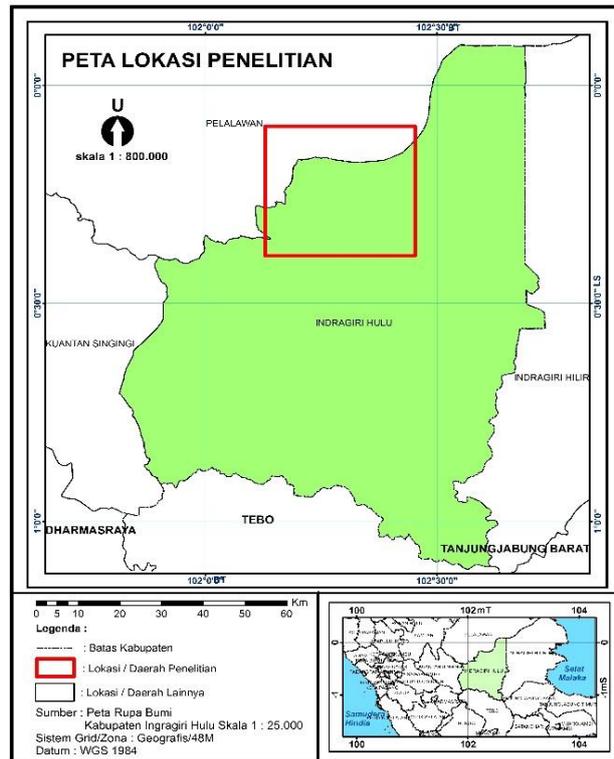
Keadaan iklim (kelembaban dan curah hujan yang tinggi) serta pengaruh kegiatan industri kelapa sawit berupa asap menyebabkan kondisi citra terpengaruh oleh kondisi atmosfer sehingga diperlukan suatu koreksi untuk menekan pengaruh atmosfer tersebut. Penggunaan transformasi indeks vegetasi menekan pengaruh atmosfer pada citra SPOT-6 yang memiliki saluran peka terhadap vegetasi dan atmosfer dianggap dapat memperbaiki nilai spektral yang dihasilkan. Integrasi penginderaan jauh, transformasi indeks vegetasi dan faktor produksi dapat digunakan sebagai sarana estimasi produksi kelapa sawit.

Secara umum tujuan penelitian ini adalah mengkaji kemampuan transformasi indeks vegetasi dasar (*generic*) yakni *Ratio Vegetation Index* (RVI) dan transformasi indeks vegetasi yang mampu mengurangi pengaruh atmosfer yakni *Atmospherically Resistant Vegetation Index* (ARVI) dan *Visible Atmospherically Resistant Index* (VARI) untuk estimasi produksi tanaman sawit berbasis citra SPOT-6.

METODE

Penelitian ini dilakukan pada sebagian daerah Kabupaten Indragiri Hulu, Provinsi Riau tepatnya pada perkebunan kelapa sawit milik PT.Tunggal

Perkasa Plantations yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi Kajian Penelitian.

Data yang digunakan Citra SPOT-6 multispektral yang memiliki resolusi spasial 6 meter perekaman tanggal 13-06-2013 (arsip LAPAN). Data lain yang digunakan adalah Peta Rupa Bumi Indonesia Skala 1:50.000 Lembar 0915-41 Simpang Kelayang, Peta Rupa Bumi Indonesia Skala 1:50.000 Lembar 0915-42 Air Molek, Peta Rupa Bumi Indonesia Skala 1:50.000 Lembar 0915-43 Ukui Satu, Peta Rupa Bumi Indonesia Skala 1:50.000 Lembar 0915-44 Pangkalan Kapau, dan Peta Blok Perkebunan yang digunakan untuk ekstraksi batas area dan informasi-informasi dasar. Kemudian data tahun tanam yang digunakan untuk menentukan sampel produksi.

Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh (2014) pada Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional menurunkan informasi koreksi radiometrik untuk citra satelit SPOT-6 dapat dilakukan dengan koreksi radiometrik *Top Of Atmosfer* (TOA). Koreksi TOA menghilangkan kekaburan sehingga data citra yang dihasilkan menjadi lebih tajam dan jelas secara visual. Koreksi TOA memerlukan input sudut *zenith* ($\cos \theta$) (90-sudut elevasi), sudut elevasi, sudut pengamatan (*inciden angle*), *gain* setiap kanal (G_i), *bias* setiap kanal (B_i), *solar irradiance* setiap kanal (*solar ESUN_i*), yang terdapat pada file metadata yang menyertai setiap *scene* hasil perekaman satelit dan jarak bumi-matahari (d^2) yang dapat dihitung dari parameter-parameter tersebut. Seluruh input dimasukkan pada formula yang diterapkan pada setiap kanal (DN_i) dengan formula yang disajikan pada **Persamaan 1**.

$$Reflectance (TOA): \frac{\pi(\frac{DN_i}{G_i} + Bi)d^2}{ESUN_i \cdot \cos \theta} \dots\dots\dots(1)$$

Transformasi indeks vegetasi yang digunakan dalam penelitian ini yakni Transformasi Indeks Vegetasi Dasar (Generik) dan Transformasi Indeks Vegetasi yang menekan pengaruh Atmosfer dengan formulasi sebagai berikut (Danoedoro (2012) dengan tambahan kombinasi Hatfield *et al.* (2008) dalam Susetyo (2012)):

a. Transformasi Indeks Vegetasi Dasar (Generik)

RVI (*Ratio Vegetation index*) merupakan formulasi indeks vegetasi yang paling sederhana dengan formulasi pada **Persamaan 2**.

$$RVI = NIR / Red \dots\dots\dots(2)$$

b. Transformasi Indeks Vegetasi yang Menekan Pengaruh Atmosfer

ARVI (*Atmospherically Resistant Vegetation Index*) merupakan transformasi indeks vegetasi yang dikembangkan untuk mengurangi sensitivitas terhadap efek atmosfer dengan menerapkan normalisasi terhadap radiansi di saluran biru, merah, dan inframerah dekat dengan formulasi pada **Persamaan 3** dan **Persamaan 4**.

$$ARVI : \frac{(Near\ Infra\ Red - rb)}{(Near\ Infra\ Red + rb)} ARVI : \frac{(Near\ Infra\ Red - rb)}{(Near\ Infra\ Red + rb)} \dots\dots\dots(3)$$

$$rb : Red - (\Gamma(Red - Blue))rb : Red - (\Gamma(Red - Blue)) \dots\dots\dots(4)$$

Gamma biasanya bernilai 1

VARI (*Visible Atmospherically Resistant Indices*) merupakan transformasi indeks vegetasi yang menggunakan nilai selisih antara saluran hijau dengan merah dengan formulasi disajikan pada **Persamaan 5**.

$$VARI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \dots\dots\dots(5)$$

Analisis regresi yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua tahapan. Pertama, digunakan analisis regresi linier antara tahun tanam kelapa sawit yang menunjukkan umur tanaman dengan nilai indeks vegetasi yang mewakili tiap tahun tanam. Hasil regresi tahap satu ini diaplikasikan untuk membuat citra tahun tanam. Kedua, analisis regresi yang digunakan untuk pembuatan model estimasi produksi pada tanaman kelapa sawit, menggunakan dua variabel indeks vegetasi, dan umur sebagai variabel x dan produksi sebagai variabel y. Jenis regresi yang digunakan yaitu regresi linear berganda, atau analisis *multivariate*. Hasil dari regresi ini diaplikasikan untuk membuat citra produktivitas, berikut formulanya yang disajikan pada **Persamaan 6** dan **Persamaan 7**.

a. Regresi Linier

$$Y = a + bx \dots\dots\dots(6)$$

dimana:

Y : variabel terikat (dependen) (tahun tanam);

a, b : koefisien regresi;

x : variabel bebas (independen) (transformasi indeks vegetasi)

b. Regresi Linier Berganda

$$Y = a + bx + cx^2 \dots\dots\dots(7)$$

dimana:

Y : variabel terikat (dependen) (produksi);

a, b, c, ...n : koefisien regresi;

x : variabel bebas (independen) (transformasi indeks vegetasi dan umur)

Uji akurasi model estimasi produksi berdasarkan parameter pengaruh produksi dan nilai indeks vegetasi dihitung dengan menggunakan formula yang digunakan pada penelitian milik Susetyo (2012) yang menggunakan simpangan hasil selisih antara produksi estimasi dan produksi realita yang kemudian dapat dihitung tingkat akurasi. Nilai simpangan semakin baik jika mendekati 0 dan tingkat akurasi semakin tinggi jika persentasinya mendekati 100 %, sedangkan untuk mengecek hasil akurasi interpretasi melalui klasifikasi digunakan *confusion matrix*. Formula uji akurasi model yang digunakan disajikan pada **Persamaan 8** dan **Persamaan 9**.

$$Simpangan = Produksi\ Estimasi - Produksi\ Realita \dots\dots(8)$$

$$Akurasi\ (\%) = 100\% - \left(\frac{Nilai\ Simpangan}{Produksi\ Realita} \times 100\% \right) \dots\dots(9)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hampir 100% areal perkebunan tertutup kabut asap tipis dan juga tebal. Pengaruh kabut asap tersebut mempengaruhi nilai spektral yang terekam sehingga diperlukan *pre-processing* yang lebih lanjut. Koreksi radiometrik hingga tahap ToA mampu mengurangi pengaruh kabut asap tersebut sehingga nilai spektral dapat mewakili nilai obyek yang ada pada kenyataan lapangan. Penggunaan transformasi indeks vegetasi yang dapat menekan pengaruh atmosfer dan kombinasi saluran biru yang dimiliki Citra SPOT-6 juga mampu mengurangi pengaruh kabut asap tersebut. Tampilan Citra SPOT-6 dengan penajaman *Equalization (Equalization Enhancement)* disajikan pada **Gambar 2**.

Secara visual, **Gambar 3**. citra yang belum terkoreksi dengan citra yang sudah terkoreksi tidak

terlalu terlihat perbedaannya, hanya kenampakan kabut asap yang lebih berkurang dan kenampakan obyek vegetasi yang terlihat lebih tajam, akan tetapi perbedaan tersebut dapat dilihat pada nilai piksel yang dihasilkan dari sebelum koreksi dan sesudah koreksi.

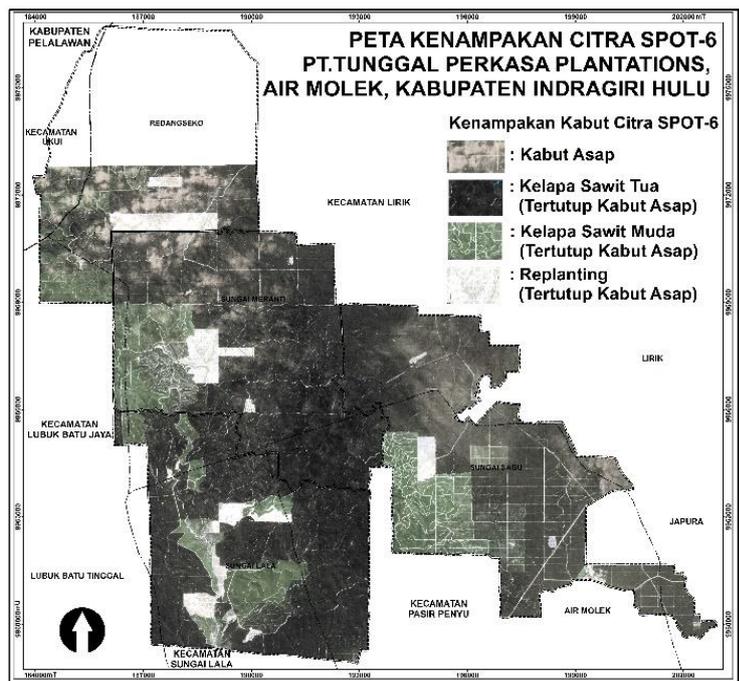
Hasil analisis korelasi antara indeks vegetasi, tahun tanam, dan juga produksi dari transformasi RVI memiliki nilai yang paling rendah. Hasil yang diperoleh ini berkaitan dengan rumus yang digunakan di mana transformasi RVI menggunakan saluran merah dan infra merah yang sangat peka terhadap obyek vegetasi namun kurang peka terhadap gangguan atmosfer. Kondisi di lapangan menunjukkan adanya kegiatan manajemen perkebunan juga ikut mempengaruhi kondisi perekaman citra. Adanya sistem *prunning* atau pemangkasan pelepah daun secara berkala guna mengurangi penguapan dan guna membuka tutupan kanopi agar sinar matahari bisa sampai ke permukaan tanah membuat kondisi kanopi atau tutupan daun sawit di tahun tanam atau umur yang berbeda bisa menjadi sama dan pantulan obyek lain selain kelapa sawit juga mengakibatkan nilai

spektral yang terekam menjadi berbeda. Transformasi RVI menghasilkan formula regresi tahun tanam disajikan pada **Persamaan 10**.

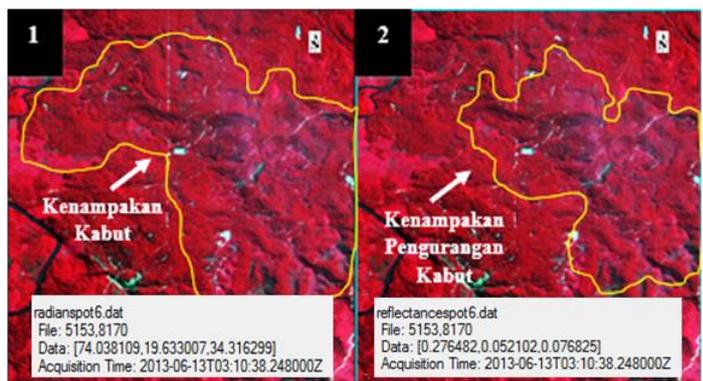
$$Y = 1967.361 + (4.751) * RVI \dots \dots \dots (10)$$

Transformasi selanjutnya yakni ARVI dikembangkan untuk meminimalisir pengaruh atmosfer, dimana formula transformasi ARVI melibatkan saluran biru, saluran merah, dan saluran inframerah dekat. Saluran yang ada pada formula transformasi ARVI tersebut peka terhadap gangguan atmosfer, dan hasil korelasi yang diperoleh lebih baik dari transformasi RVI. Kepekaan terhadap gangguan atmosfer sehingga dapat meminimalisir efek atmosfer dan peka terhadap vegetasi membuat transformasi ini memiliki korelasi yang tinggi seperti pada penelitian Santoso *et al.* (2010) dalam identifikasi penyakit tanaman kelapa sawit. Transformasi ARVI menghasilkan formula regresi tahun tanam disajikan pada **Persamaan 11**.

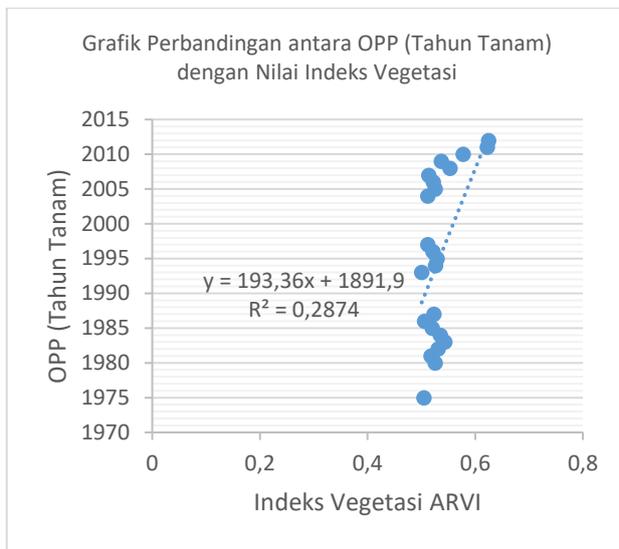
$$Y = 1891.894 + (193.357) * ARVI \dots \dots \dots (11)$$



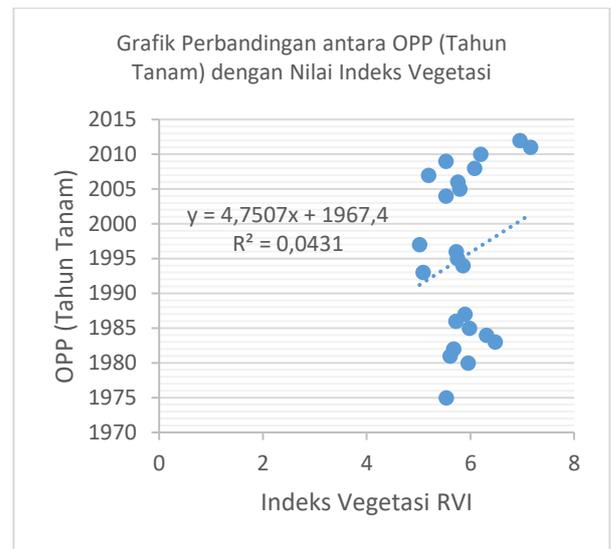
Gambar 2. Kenampakan Kondisi Citra SPOT-6 yang diperoleh.



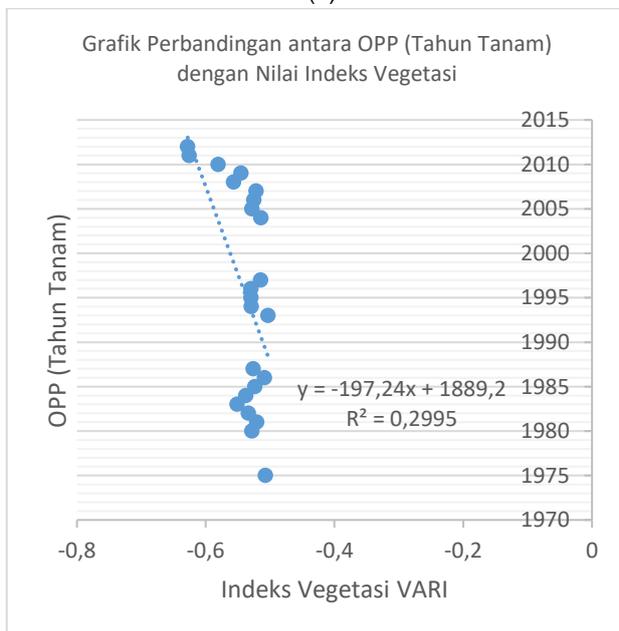
Gambar 3. (1) Kenampakan Kabut dan Nilai Piksel pada Citra Komposit 432 sebelum Koreksi dan (2) Berkurangnya Luasan Kabut Secara Visual dan Nilai Piksel Setelah Koreksi *At Sensor Reflectance*.



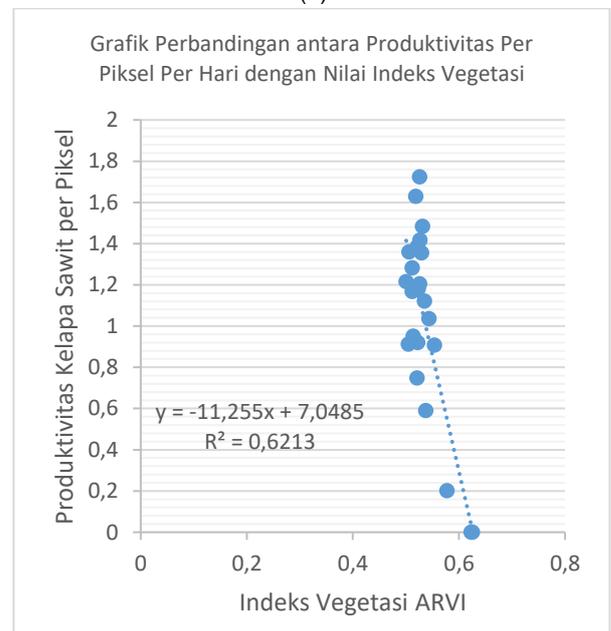
(1)



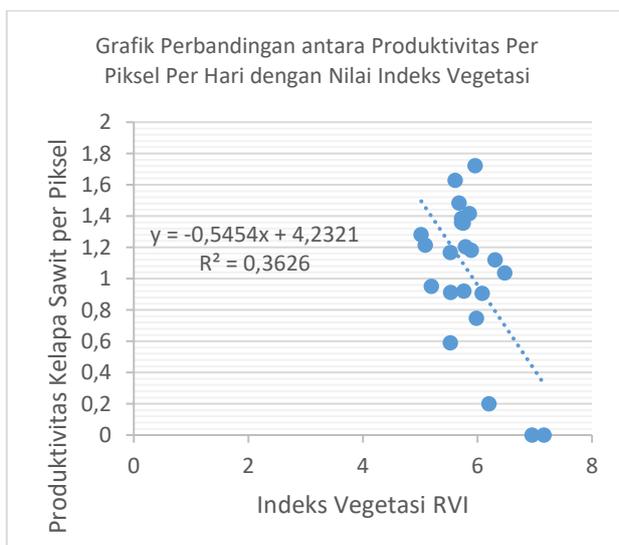
(2)



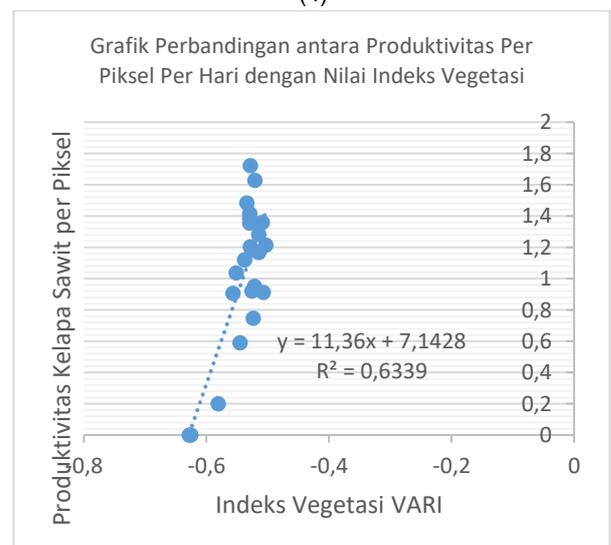
(3)



(4)



(5)



(6)

Gambar 4. (1, 2, dan 3) Korelasi Indeks Vegetasi dan OPP (Tahun Tanam) dan (4, 5, dan 6) Korelasi Indeks Vegetasi dan Produktivitas.

Metode yang sama juga diaplikasikan pada penelitian Sawaludin (2010) yang melakukan penelitian kesesuaian lahan tambak udang di Sulawesi Tenggara. Interpretasi Citra SPOT-5 yang dilakukan dengan penajaman citra untuk interpretasi bentuklahan, klasifikasi *maximum likelihood* menghasilkan akurasi Citra SPOT-5 untuk menyadap parameter biofisik lahan untuk kesesuaian lahan tambak udang mencapai 89%. Hal ini menunjukkan bahwa metode *maximum likelihood* dapat diaplikasikan untuk pemetaan dengan cakupan area yang cukup luas.

Tabel 1 menunjukkan nilai R dan R² dari tahapan regresi yang dilakukan sehingga menampilkan besarnya hubungan korelasi antar variabel dan juga arah dari hubungan yang dibangun. Penggabungan beberapa variabel atau parameter pengaruh produksi dalam satu formula regresi dapat mempengaruhi nilai regresinya. Variabel yang memiliki hubungan dan pengaruh yang kuat menghasilkan nilai regresi yang kuat, sedangkan variabel yang memiliki pengaruh atau hubungan yang kuat bila digabungkan dengan variabel yang memiliki pengaruh atau hubungan yang lemah menurunkan nilai regresi.

Model produksi tanaman kelapa sawit dibangun dengan menggunakan tiga variabel yakni umur (Idrus, 1998), indeks vegetasi, dan produksi itu sendiri. Pembuatan model tersebut dilakukan dengan dua tahapan yakni regresi antara tahun tanam dengan indeks vegetasi yang diaplikasikan pada citra transformasi indeks vegetasi sehingga menghasilkan citra baru yang menggambarkan sebaran umur. Kemudian regresi antara semua variabel yang menghasilkan citra baru yang menggambarkan sebaran produktivitas. Tahapan ini menghasilkan formula estimasi produksi sebagai berikut:

Formula ARVI

$$Y=29.667 + (-0.012)*OPP + (-8.943)*ARVI.....(13)$$

Formula RVI

$$Y=45.964 + (-0.021)*OPP + (-0.445)*RVI.....(14)$$

Formula VARI

$$Y=28.718 + (-0.0129)*OPP + (9.107)*VARI.....(15)$$

Pengolahan formula estimasi produksi menghasilkan citra yang menggambarkan nilai produktivitas tanaman sawit per pikselnya dalam satu tahun sehingga didapatkan nilai total produksi dalam satu tahun dari penjumlahan seluruh nilai piksel yang ada. **Gambar 6** menunjukkan perbandingan kenampakan dan juga hasil citra produktivitas dari transformasi ARVI, RVI, dan VARI.

Hasil analisis estimasi produksi dengan menggunakan transformasi VARI memiliki nilai yang paling besar yakni akurasi 81.52%. Hasil yang

diperoleh ini berkaitan dengan rumus yang digunakan di mana transformasi VARI menggunakan saluran hijau dan infra merah yang sangat peka terhadap obyek vegetasi khususnya daun. Hasil akurasi estimasi produksi pada transformasi ARVI cukup tinggi yakni 78.87%. Hal ini menunjukkan meskipun transformasi ARVI menggunakan saluran biru yang peka terhadap gangguan atmosfer, hal ini belum tentu menjamin besarnya akurasi yang dihasilkan karena kepekaan saluran terhadap obyek yang direkam dan kombinasi saluran yang digunakan juga dapat mempengaruhi hasil yang didapatkan. Hal tersebut juga dijumpai pada penelitian milik Santoso, et al. (2010) yang melakukan penelitian deteksi dan pemetaan penyakit pada tanaman kelapa sawit menggunakan Citra Quickbird dan transformasi ARVI memiliki akurasi 67%, akurasi yang paling tinggi diantara transformasi GBNDVI dan SR.

Selanjutnya transformasi RVI menghasilkan nilai akurasi estimasi sebesar 77.99% yang dinilai masih kurang baik untuk estimasi produksi. Berbeda dengan hal tersebut, Murti (1997) melakukan penelitian mengenai estimasi produksi tanaman tembakau di Kabupaten Temanggung. Metode yang dilakukan yakni integrasi antara system informasi geografis dan juga transformasi indeks vegetasi salah satunya RVI yang diolah pada citra Landsat TM, hasil yang diperoleh justru memiliki akurasi estimasi produksi sebesar 98.98% dan akurasi pemetaan yakni 97.28%. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh atmosfer berupa pantulan kabut asap masih sangat besar sehingga hasil yang diperoleh kurang begitu baik dan nilai akurasi yang dihasilkan paling rendah bila dibandingkan dengan transformasi ARVI dan VARI. Transformasi RVI kurang cocok diaplikasikan pada citra yang memiliki gangguan atmosfer yang cukup banyak.

Sebanyak 120 sampel blok perkebunan ditentukan secara *stratified random sampling*. Sampel pada kegiatan penelitian ini menggunakan informasi mengenai tahun tanam tanaman kelapa sawit yang diwakili oleh indeks vegetasi. Besarnya jumlah sampel tiap tahun tanam bergantung pada jumlah blok yang ada di tahun tanam tertentu. Semakin banyak blok yang mewakili tahun tanam maka semakin banyak sampelnya.

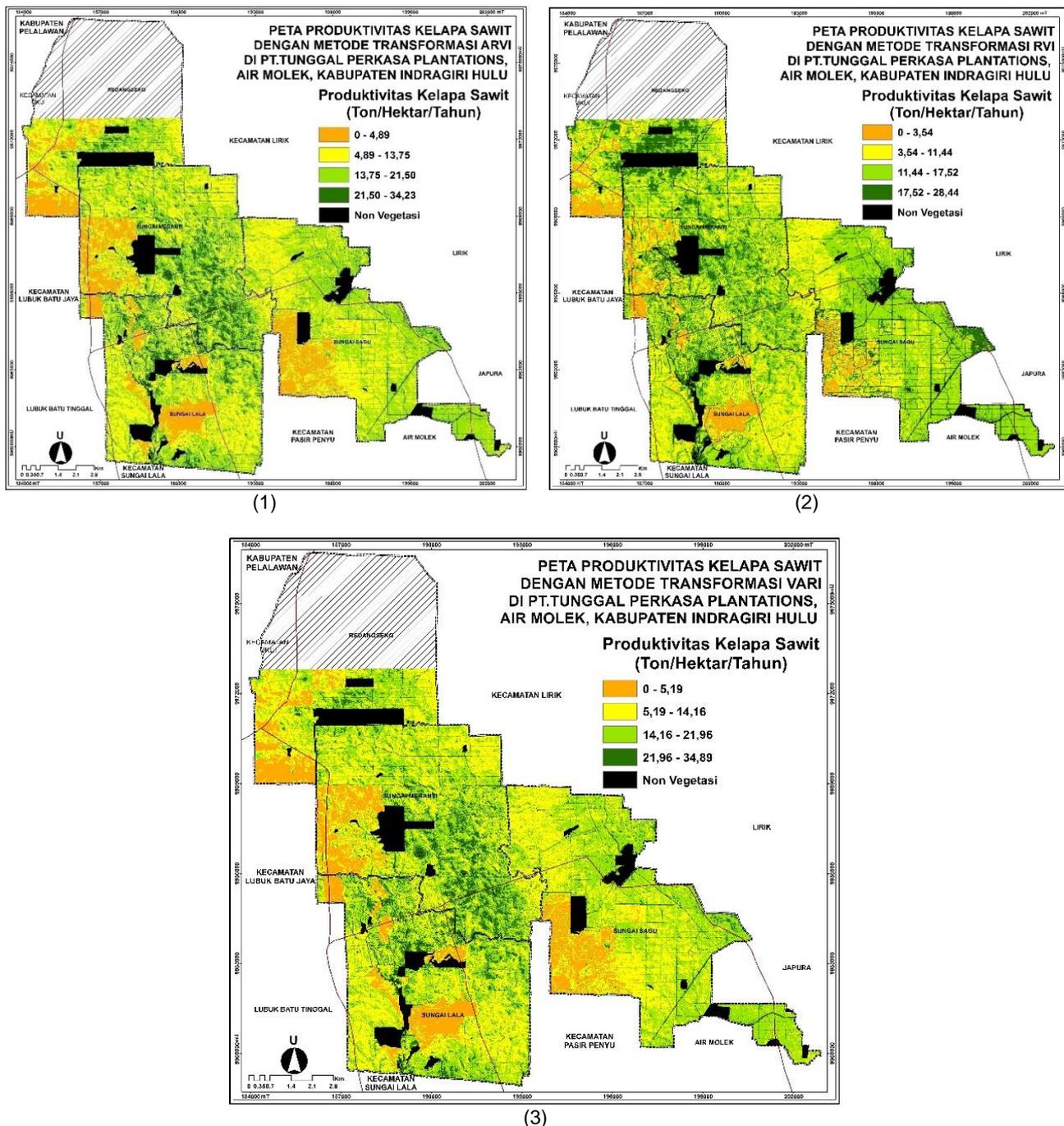
Keseluruhan hasil uji akurasi yang tinggi terdapat pada klasifikasi penutup lahan sebesar 96% dan klasifikasi tanaman sawit tua atau tanaman menghasilkan mencapai 99.46% dengan menggunakan analisis citra pada komposit 432 *false color*. **Tabel 2** merupakan hasil uji akurasi interpretasi dan juga uji akurasi model estimasi produksi menunjukkan variasi akurasi estimasi yang berkisar antara 78 hingga 82%. Hasil estimasi produksi ini masih belum baik karena memiliki akurasi kurang dari 90% sesuai dengan ketetapan ahli agronomi pada Danoedoro (2012) untuk kelas-kelas tanaman.

Tabel 1. Hasil Korelasi dan Regresi pada Transformasi ARVI, RVI dan VARI.

INDEKS VEGETASI	OPP DAN IV (R ²)	(R)	IV DAN PROD (R ²)	(R)	OPP, IV, PROD (R ²)	(R)
ARVI	0,536	0,732	-0,788	0,887	0,68634	0,828
RVI	0,207	0,456	-0,602	0,776	0,63738	0,798
VARI	-0,547	0,739	0,796	0,892	0,69219	0,831

Tabel 2. Hasil Akurasi Estimasi Produksi pada Transformasi ARVI, RVI dan VARI.

Indeks vegetasi	Produksi Estimasi	Produksi Real	Simpangan	N	Akurasi
ARVI	143.317,46	181.702,585	-38385	-21,13	78,87
RVI	141.709,966	181.702,585	-39992	-22,01	77,99
VARI	148.122,376	181.702,585	-33580	-18,48	81,52



Gambar 6. Kenampakan Hasil Akhir Citra Produktivitas Transformasi (1) ARVI, (2) RVI dan (3) VARI.

Ketiga transformasi menunjukkan bahwa transformasi indeks vegetasi VARI merupakan transformasi yang terbaik dalam kajian estimasi produksi tanaman kelapa sawit di penelitian ini. Pemanfaatan formula sederhana yang menonjolkan obyek vegetasi dengan penisbahan saluran hijau dan inframerah membuat hasil yang diperoleh lebih baik daripada beberapa transformasi indeks vegetasi lainnya yang lebih kompleks dan memanfaatkan saluran yang lebih beragam dengan kepekaan terhadap obyek lainnya seperti jaringan palisade vegetasi, kandungan zat hijau dalam daun atau klorofil, serta gangguan atmosfer yang ketiganya terdapat pada kenyataan di lapangan.

Kondisi tanah dan perbedaan ketinggian tempat mempengaruhi nilai indeksvegetasi yang dihasilkan dari tiap jenis indeks vegetasi seperti yang ada pada penelitian milik Wiratmoko (2014). Kondisi lapangan secara kualitatif menunjukkan bahwa faktor permukaan tanah dan topografi memiliki kemungkinan untuk dapat menimbulkan gangguan. Kondisi tanah tanah di areal perkebunan mengalami proses pengolahan seperti proses *replanting*, *furrowing*, *subsoiling*, *ripping*, dan juga manajemen perkebunan seperti pemupukan yang intensif. Hal ini memungkinkan adanya perubahan kondisi tanah yang ada di daerah tersebut. Selain itu daerah penelitian memiliki dominasi topografi yang beragam mulai dari daerah berbukit dengan ketinggian antara 50 meter hingga 200 meter di atas permukaan air laut dengan luas mencapai 82,18% kemudian daerah yang memiliki topografi bergelombang mencapai 8,87% kemudian daerah yang memiliki topografi berombak atau landai sebesar 6,58% dan daerah yang memiliki topografi datar hanya seluas 2,37% dari keseluruhan luasan daerah penelitian.

KESIMPULAN

Transformasi ARVI dan VARI terbukti mampu menekan pengaruh atmosfer berupa kabut asap pada hasil perekaman citra penginderaan jauh SPOT-6. Hasil penelitian menunjukkan nilai estimasi produksi untuk tranformasi RVI adalah 141.710 ton, ARVI adalah 143.317,5 ton dan VARI adalah 148.122,4 ton. Jika dibandingkan dengan data produksi lapangan sebesar 181.702,6 ton, maka akurasi estimasi produksi transformasi RVI sebesar 77,99%, ARVI sebesar 78,87% dan VARI sebesar 81,52%. Hasil estimasi produksi kelapa sawit terbaik diperoleh pada transformasi VARI.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Administratur PT. Tunggul Perkasa Plantations, Bapak Sumarno yang telah memberikan ijin penelitian dan seluruh staff yang membantu kegiatan penelitian, dan Kepala Afdeling dan Mandor yang membantu kegiatan lapangan. Kepala Bidang Pengolahan Data LAPAN, Bapak

Drs. Kustiyo, M.Si. yang telah memberikan akses citra SPOT-6 dalam penelitian ini dan seluruh staff.

DAFTAR PUSTAKA

- Astra Agro Niaga. (1995). *Pedoman Brevet Dasar-1 Tanaman Pabrik Teknik*. PT. Astra Agro Lestari, Tbk, Jakarta.
- Badan Pusat Statistik. (2014). *Statistik Daerah Kabupaten Indragiri Hulu 2014*, ISBN 979 484 650 3, Riau: BPS (Badan Pusat Statistik) Kabupaten Indragiri Hulu.
- Corley, R.H.V., Tinker, P.B. (2003), *The Oil Palm (fourth edition)*, USA :Blackwell Science Ltd- Blackwell Publishing Company.
- Danoedoro, Projo. (2012), *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*, Yogyakarta: ANDI Yogyakarta.
- Fauzi, Yan., Widyastuti, Y. E., Setyawibawa, I., dan Hartono, R.. (2002), *Kelapa Sawit: Budidaya, Pemanfaatan Hasil dan Limbah , Analisis Usaha dan Pemasaran. Edisi revisi*.Penebar Swadaya, Jakarta.
- Gilbert, Danyo. (2013). Oil Palm and Palm Oil Industry in Ghana : A Brief History. *International Research Journal of Plant Science* (ISSN:2141-5447) Vol. 4(6) pp.158-167.
- Hasan, Fadhil. (2014). *Refleksi Industri Kelapa Sawit 2013 dan Prospek 2014.Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia*. www.gapki.co.id. (7 Oktober 2014)
- Hatfield ,J. L., Gitelson, A. A., Schepers, J. S. and .Walthall C. L. (2008). Application of *Spectral Remote Sensing for Agronomic Decisions*. *Agronomy Journal* S-117.
- Idrus, Erwin. (1998), Analisis Digital Data SPOT Multispektral untuk Estimasi Agihan Produktivitas Kelapa Sawit di Kebun Sawit Sebrang, Sumatera Utara. *Skripsi*. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Maulidar, Indri. (2014), *Kemendag: Eropa Tanggapi Positif CPO Indonesia*. Ditulis pada 10 Juni 2014 . www.tempo.com. (7 Oktober 2014).
- Murti B.S., Sigit Heru. (1997), Estimasi Produksi Daun Tembakau Berdasarkan Integrasi Pengolahan Citra Landsat Thematic Mapper dengan Sistem Informasi Geografis. *Skripsi*. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Pusat Data dan Teknologi Penginderaan Jauh, LAPAN. (2014). *Koreksi Radiometrik Data Satelit Spot-*. <http://pustekdata.lapan.go.id/>. (12 Oktober 2014).
- Purwadhi, Florentina Sri Hardiyanti.; Haryani, Nanik Suryo.; Siwi, Sukentyas Estuti. (2010), Informasi Spasial Sebaran dan Potensi Perkebunan Kelapa Sawit dari data Penginderaan Jauh di Propinsi Sumatera Selatan. *Majalah Berita Inderaja*. Pekayon, Jakarta Timur: Pusat Data Penginderaan Jauh, LAPAN. Vol.IX No.16 Juli 2010ISSN 1412-4564.
- Santoso, Heri., Gunawan, Totok., Jatmiko, Retnadi Heru., Darmosarkoro, Witjaksana., Minasny, Budiman. (2010), Mapping and Identifying Basal Stem Rot Disease in Oil Palms in North Sumatra with Quickbird Imagery, *International Journal of Remote Sensing*. Springer. Precision Agric (2011) 12:233–248 DOI 10.1007/s11119-010-9172-7.
- Sawaludin. (2010). Pemanfaatan Citra Satelit SPOT-5 untuk Kajian Kesesuaian Lahan Tambak Udang Berbasis Karakteristik Biofisik Lahan (Kasus : di Kabupaten Bombana, Provinsi Sulawesi

- Tenggara). *Thesis*. Yogyakarta : Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada
- Setyowati, Heratania Aprilia. (2015). *Aplikasi Citra SPOT-6 Berbasis Transformasi Indeks Vegetasi untuk Estimasi Produksi Kelapa sawit (Elaeis guineensis jacq) (Kasusu Perkebunan Kelapa Sawit PT. Tunggal Perkasa Plantations, Air Molek, Kaupaten Indragiri Hulu, Propinsi Riau, Sumatera)*. *Skripsi*. Fakultas Geografi Universitas, Yogyakarta:
- Sunarko. (2007), *Petunjuk Praktis Budidaya dan Pengolahan Kelapa Sawit*. Agromedia Pustaka, Jakarta.
- Susetyo, Imam. (2012), *Permodelan Estimasi Produksi Tanaman Karet (Hevea brasiliensis Muell.-Arg) Berbasis citra Satelit, Potensi genetik, dan Data Satuan Medan (Studi Kebun Getas, PTPN IX Salatiga, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah)*, *Thesis*. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wiratmoko, Dhimas. (2014). *Penggunaan Citra World View-2 untuk Estimasi Produksi Kelapa Sawit (Elaeis guineensis jacq) sebagai Implementasi Pertanian Presisi. (Studi di Kebun Adolina PT. Perkebunan Nusantara IV, Kabupaten Serdang Berdagai, Propinsi Sumatera Utara)*. *Thesis*. Yogyakarta : Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.

AKURASI LUAS AREAL KEBAKARAN DARI DATA LANDSAT-8 OLI DI WILAYAH KALIMANTAN

(Burned Area Validation of Landsat-8 OLI Data in Kalimantan)

Any Zubaidah, Sayidah Sulma, Suwarsono, Yenni Vetrira, M. Priyatna dan Kusumaning Ayu D
Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN
Jl. Kalisari No. 8, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta 13710, Indonesia
E-mail: baidah_any@yahoo.com

Diterima (received): 01 Agustus 2016; Direvisi (revised): 20 Oktober 2017; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 31 Maret 2017

ABSTRAK

Informasi luas area kebakaran sangat diperlukan sebagai salah satu pendekatan untuk penghitungan emisi gas rumah kaca. Data Landsat merupakan salah satu jenis citra penginderaan jauh optis resolusi menengah yang banyak dipergunakan untuk memetakan luas dan sebaran areal kebakaran. Tujuan penelitian adalah melakukan verifikasi hasil deteksi lahan bekas kebakaran hutan/lahan guna tersedianya hasil verifikasi *burned area* (BA) dari data Landsat-8 untuk dukungan penyusunan pedoman identifikasi BA. Pada penelitian ini dilakukan analisis verifikasi lahan bekas kebakaran yang diperoleh dari data satelit Landsat-8 sensor *Operational Land Imager* (OLI) menggunakan metode *Normalized Burn Area* (NBR). Data referensi yang digunakan dalam proses verifikasi adalah data lahan bekas kebakaran yang didelineasi dari citra SPOT-5. Citra ini memiliki resolusi spasial lebih tinggi dibandingkan dengan Landsat-8 OLI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat akurasi *Burned Area* BA Landsat-8 OLI dengan metode Δ NBR memiliki nilai akurasi (*overall accuracy*) sebesar 87%, dengan *commission error* sebesar 2%, dan *ommission error* sebesar 11%. Tingkat akurasi *burned area* (BA) hasil estimasi dari data Landsat-8 dengan menggunakan metode Δ NBR memiliki nilai koefisien korelasi (r) 0,98 dengan persamaan $Y = 0,928X - 21,07$ dan koefisien determinasi (R^2) = 0,96. Hasil ini menunjukkan bahwa sebesar 96% wilayah yang diklasifikasikan atau diestimasi sebagai wilayah yang terbakar adalah benar sebagai wilayah yang terbakar. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa metode Δ NBR yang diaplikasikan pada data Landsat-8 terbukti dapat digunakan untuk mendeteksi *burned area*.

Kata Kunci: areal kebakaran, Landsat-8, *Normalized Burn Area* (NBR)

ABSTRACT

Information of burned area is needed as one among approaches on the calculation of greenhouse gas emissions. Landsat is one of the main types of remote sensing imageries frequently used to map the distribution of burned area. The purpose of this research is to verify the result of burned area (BA) analysis obtained from Landsat-8 satellite data acquired with Operational Land Imager (OLI) sensor. The results of verification burned area of the Landsat-8 to support the preparation of guidelines for the identification of BA. The BA analysis used Normalized Burn Area (NBR) method. The verification process used a manually digitized SPOT-5 image as the reference data, since it has higher spatial resolution than Landsat-8 OLI. The results of this study shows that BA Landsat-8 OLI using Δ NBR have accuracy values (Overall Accuracy) by 87%, with the commission error by 2%, and ommision error by 11%. The accuracy of BA which was estimated from Landsat-8 using Δ NBR has a correlation coefficient (r) of 0.98 with the equation $Y = 0.928X - 21.07$ and the coefficient of determination (R^2) = 0.96. These results indicate that 96% area classified or estimated as the burned area was real burned area. Thus, it can be concluded that the method Δ NBR applied on Landsat-8 proved it can be used to detect the burned area.

Keywords: burned area, Landsat-8, *Normalized Burn Area* (NBR)

PENDAHULUAN

Dukungan penginderaan jauh (inderaja) untuk mitigasi bencana kebakaran hutan/lahan di Indonesia dirasakan semakin besar. Disamping data *hotspot*, isu kebutuhan nasional atas pemetaan daerah bekas kebakaran (*Burned Area/BA*) juga semakin sering dibicarakan, terutama sejak program *Reducing Emission from Degradation and Deforestation* (REDD) yang membutuhkan data dan metode standar yang

mempunyai sifat *Measurable, Reportable, and Verifiable* (MRV) pada perhitungan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari kebakaran yang terjadi.

Penelitian untuk memetakan daerah bekas terbakar (*Burned Area/BA*) dengan menggunakan data penginderaan jauh (MODIS dan Landsat) telah banyak dilakukan oleh berbagai peneliti. Data satelit *Landsat Thematic Mapper* (TM) digunakan untuk melakukan pemetaan daerah bekas terbakar di wilayah subtropics Spanyol (Chuvieco et al., 2002). Mitri dan Gitas (2004)

melakukan penelitian dengan menggunakan citra yang sama di lokasi berbeda yaitu di pulau Yunani. Hudak dan Brockett (2004) juga melakukan penelitian di wilayah berbeda yaitu Afrika Selatan. Di wilayah yang sama juga pernah dilakukan penelitian namun dengan sumber citra lain yaitu Landsat ETM+ (Smith *et al.*, 2007). Pemetaan daerah bekas terbakar menggunakan gabungan citra Landsat dan MODIS juga telah dilakukan oleh Torralbo dan Benito (2012) dan Giglio *et al.* (2009). Demikian juga Chuvieco *et al.* (2005) menggunakan data citra MODIS dan AVHRR untuk pemetaan lahan terbakar. Sebagian besar dari penelitian-penelitian tersebut menggunakan citra resolusi rendah seperti NOAA-AVHRR (*National Oceanic and Atmospheric Administration-Advanced Very-High-Resolution Radiometer*) dan MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*) yang dilakukan di atas hutan produktif/pinus. Adapun penelitian di wilayah Indonesia belum banyak dilakukan sehingga tidak banyak penelitian yang dapat diacu sebagai referensi.

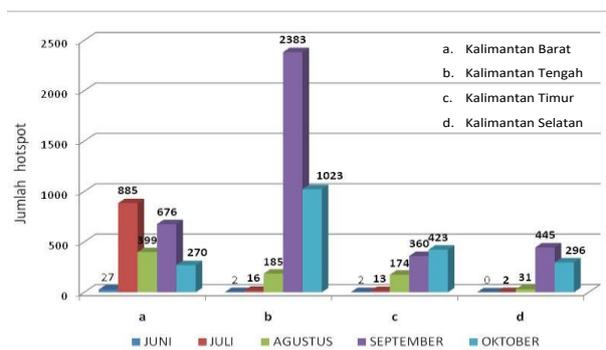
Penelitian daerah bekas terbakar telah dilakukan dengan menggunakan berbagai metode diantaranya pemetaan *burned area* dengan metode deteksi perubahan NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) multi temporal dari data NOAA AVHRR di wilayah Bunnol Afrika dengan jenis hutan pinus (Martin dan Chuvieco, 1995). Penelitian menggunakan indeks vegetasi yang sama juga dilakukan oleh Fraser *et al.* (2000) di hutan Canada yaitu memetakan lahan bekas terbakar menggunakan NDVI yang disinergikan dengan data *hotspot*. Suwarsono *et al.* (2009) melakukan penelitian untuk deteksi BA berdasarkan perubahan nilai NDVI dari data MODIS 16 harian di Kalimantan Tengah. Secara konseptual *burned area* dapat dilihat dari penurunan nilai NDVI yang cukup drastis sesaat setelah terbakar (Suwarsono, 2014). Indeks tersebut menggunakan ciri khas dari berkurangnya reflektansi panjang gelombang *Near Infra Red* (NIR) pada lahan bekas terbakar untuk membedakan antara lahan bekas terbakar dan tidak terbakar (Smith *et al.*, 2007).

Metode lain yang juga telah banyak digunakan secara luas untuk pemetaan BA adalah indeks kebakaran NBR (*Normalized Burn Ratio*). Pada indeks ini selain menggunakan sifat reflektansi pada panjang gelombang NIR, secara bersamaan dilihat adanya peningkatan reflektansi panjang gelombang *Short Wave Infrared* (SWIR) pada lahan bekas terbakar (Smith, *et al.*, 2007). Penelitian menggunakan NBR diantaranya dilakukan oleh Key dan Benson (2000) yang memetakan lahan terbakar di Montana dengan menggunakan data Landsat 5 TM. Cocks *et al.* (2005) melakukan penelitian untuk memetakan BA menggunakan perbedaan NBR (dNBR) dari data Landsat 7 ETM. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa metode NBR dapat diandalkan terutama untuk lahan terbakar parah.

Penelitian yang telah dilakukan di Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh-LAPAN diantaranya adalah penelitian oleh Parwati *et al.* (2012) yang membandingkan dNDVI dan dNBR dari data SPOT 4 untuk memetakan BA di lahan gambut Riau. Hasil penelitian menunjukkan dNBR lebih sesuai untuk deteksi BA, sedangkan dNDVI lebih sensitif untuk deteksi pembukaan lahan tanpa bakar. Hal ini dapat dilihat dari nilai indeks NBR saat setelah (*post*) dan sebelum (*pre*) terbakar memiliki perbedaan (dNBR) yang lebih besar dibandingkan perbedaan NDVI saat sesudah dan sebelum kebakaran.

Verifikasi BA dapat dilakukan dengan cara pengamatan langsung (pengecekan lapangan/survei) dan tidak langsung (interpretasi visual dan/digital *burned area* dan membandingkannya dengan referensi data lain). Martin dan Chuvieco (1995), dalam penelitian deteksi BA dari data NOAA-AVHRR, menggunakan data pengukuran lapangan dengan GPS juga data resolusi lebih tinggi yaitu Landsat TM sebagai referensi untuk verifikasi. Bastarrika *et al.* (2011) membandingkan hasil interpretasi visual dari Landsat TM/ETM+ sebagai referensi untuk verifikasi BA berdasarkan pengolahan digital dari data Landsat TM/ETM+. Smith *et al.* (2007) membandingkan pemetaan BA dari Landsat ETM+ dengan data IKONOS yang memiliki spasial resolusi lebih baik, sedangkan untuk verifikasi BA berdasarkan data MODIS digunakan data Landsat ETM+ dengan waktu yang bersamaan sebagai referensi.

Berdasarkan beberapa penelitian di atas maka dipandang perlu untuk menguji lebih lanjut pemanfaatan data satelit berbagai resolusi untuk deteksi BA terutama dengan indeks kebakaran yang sudah banyak dimanfaatkan. Sejak tahun 2013 telah tersedia secara operasional generasi terbaru dari satelit Landsat yaitu Landsat-8 LDCM yang membawa sensor *Operasional Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Sementara berdasarkan kejadian kebakaran hutan/lahan di wilayah Provinsi Kalimantan Tengah pada periode bulan Juni 2014 sampai dengan Oktober 2014 yang dilakukan oleh LAPAN terjadi puncak kebakaran hutan/lahan antara bulan September-Oktober 2014 seperti disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Grafik Distribusi *Hotspot* Periode Juni - Oktober 2014 di Wilayah Kalimantan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan verifikasi hasil deteksi lahan bekas kebakaran hutan/lahan, dengan sasarannya adalah tersedianya hasil verifikasi *burned area* (BA) dari data Landsat-8 untuk dukungan penyusunan pedoman identifikasi BA. Lokasi penelitian difokuskan di wilayah Kalimantan Tengah. Selain itu, ditentukan juga berdasarkan tersedianya data Landsat-8 dan SPOT-5 yang relatif bebas awan (Sumber: Katalog data LAPAN).

METODE

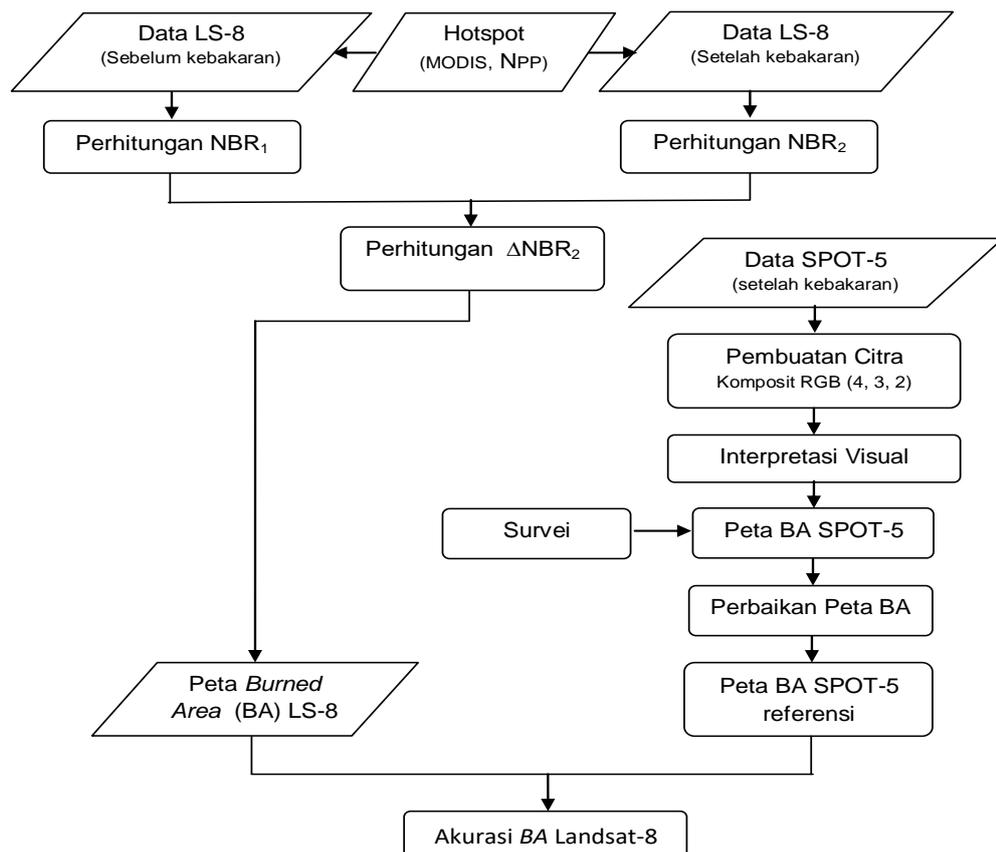
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data Landsat-8 OLI, data SPOT-5, dan data *hotspot* MODIS yang diperoleh dari Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh-LAPAN. Pemilihan data ditentukan berdasarkan distribusi *hotspot* MODIS (Terra/Aqua) yang mempunyai frekuensi kejadian kebakaran tertinggi di wilayah Kalimantan pada periode kebakaran hutan bulan Juni 2014 sampai dengan Oktober 2014.

Data Landsat-8 yang digunakan adalah *path-row* 118-062 yang terdiri dari dua tanggal perekaman yakni tanggal 1 September 2014 dan 3 Oktober 2014. Metode yang digunakan dalam penelitian ini, secara umum dijelaskan dalam tahapan yang ditunjukkan seperti diagram alir pada **Gambar 2**.

Gambar 3 merupakan citra Landsat-8 RGB 654 *full scene* sebelum terbakar (kiri) dan citra Landsat-8 RGB 654 *full scene* setelah/pada saat

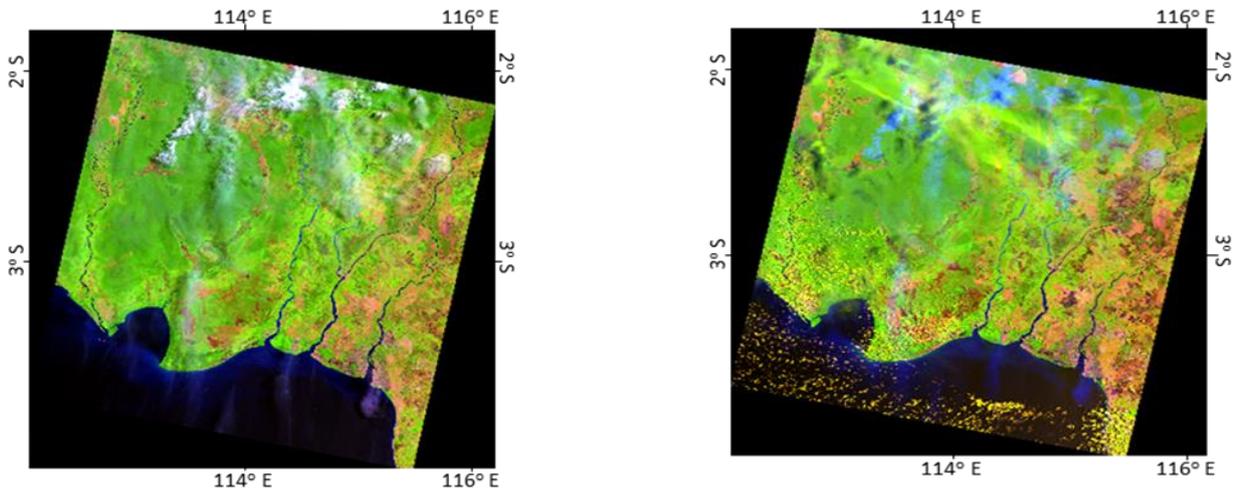
terbakar (kanan). Sedangkan citra SPOT-5 yang digunakan adalah citra yang wilayahnya termuat dalam citra Landsat-8 antara periode tersebut, yakni K/J 296/354 (24 September 2014), K/J 296/355 (24 September 2014), K/J 297/356 (3 dan 29 September 2014), K/J 298/355 (24 September 2014). Sebagai data pendukung digunakan data *hotspot* MODIS (Terra/Aqua) periode kebakaran hutan/lahan bulan Juni sampai dengan Oktober 2014. Data lainnya adalah peta administrasi wilayah Indonesia dari Badan Informasi Geospasial (BIG), dan survei lapangan pada beberapa lokasi di Indonesia

Metode deteksi BA dapat dilakukan dengan dua pendekatan yaitu secara digital maupun interpretasi visual (Suwarsono, 2012). Metode deteksi secara digital atau otomatis merupakan suatu cara kerja ilmiah untuk memperoleh suatu informasi (spasial) daerah bekas terbakar dengan urutan langkah-langkah secara otomatis, yang mana proses pendeteksiannya secara keseluruhan atau sebagian besar dilakukan secara digital. Metode visual yaitu suatu cara kerja ilmiah untuk memperoleh suatu informasi (spasial) daerah bekas terbakar dengan urutan langkah-langkah secara manual yang mana proses pembacaan citra secara keseluruhan atau sebagian besar menggunakan pemahaman berdasarkan penglihatan visual mata manusia dengan menggunakan elemen-elemen interpretasi (Suwarsono, 2012)



Sumber: Key dan Benson 2002; Eidsink et al., 2007; Suwarsono et al., 2015

Gambar 2. Diagram Alir Tahapan Kegiatan Validasi Akurasi BA Landsat-8.



a. Citra RGB 654 Sebelum Terbakar 1 September 2014. b. Citra RGB 654 Setelah/Pada Saat Terbakar 3 Oktober 2014.

Gambar 3. (a) Citra Landsat-8 RGB 654 *Full Scene* Sebelum Terbakar dan (b) Setelah/Saat Terbakar.

Peta BA Landsat-8 OLI diperoleh melalui metode secara digital yaitu menggunakan formula *Normalized Burn Area (NBR)*. Metode ini membutuhkan dua citra yakni citra sesaat sebelum terjadi kebakaran (*pre*) dan citra setelah kebakaran lahan selesai (*post*). Citra *pre* dan citra *post* dipilih pada periode puncak kebakaran hutan/lahan selama bulan Juni 2014 hingga Oktober 2014 berdasarkan distribusi *hotspot*. Nilai indeks kebakaran menggunakan formula NBR pada citra *pre* (NBR_1) dan citra *post* (NBR_2), kemudian perhitungan perubahan nilai indeks antara dua nilai NBR sebagai ΔNBR . Daerah dengan perbedaan nilai indeks (ΔNBR) tertentu akan diklasifikasikan menjadi lahan bekas terbakar. Menurut penelitian Suwarsono *et al.* (2015), nilai *threshold* delta NBR_1 yang digunakan untuk wilayah Kalimantan adalah 0,0943 dan nilai *threshold* NBR_2 adalah 0,2206. Deteksi BA Landsat-8 OLI dengan formula NBR ditunjukkan pada **Persamaan 1, 2 dan 3** di bawah ini (Key dan Benson 2002; Eidensink *et al.*, 2007; Suwarsono *et al.*, 2015)

$$NBR = (\rho^5 - \rho^7) / (\rho^5 + \rho^7) \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta NBR = NBR_1 - NBR_2 \dots\dots\dots (2)$$

$$BA = \Delta NBR \geq t_1, \text{ dan } NBR \geq t_2 \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

- ρ^i : Nilai reflektan pada band ke i ($i=5$ dan 7)
- NBR_1 : NBR sebelum kebakaran
- NBR_2 : NBR saat/sesaat setelah kebakaran
- BA : *Burned Area*
- t_1 : *Threshold Burned Area* berdasarkan perubahan $\Delta NBR = 0,0943$
- t_2 : *Threshold Burned Area* berdasarkan NBR saat kebakaran = 0,220

Untuk menghitung seberapa besar tingkat akurasi BA dari citra Landsat8-OLI dilakukan dengan menggunakan citra BA pembandingan (referensi). Penentuan BA pembandingan pada

penelitian ini menggunakan dasar referensi dari *The Southern Afrika Fire Network Regional Burned-Area Product-Validation Protocol* (Roy *et al.*, 2005). BA pembandingan dibuat berdasarkan interpretasi visual dengan menggunakan citra multitemporal resolusi lebih tinggi yaitu SPOT-5. Pada penelitian ini, pembuatan peta BA SPOT-5 yang digunakan sebagai referensi diperoleh dengan melakukan interpretasi secara visual (manual) dari citra dengan melakukan delineasi berdasarkan kenampakan citra komposit RGB 432 (SWIR, NIR, Red) yang memiliki keunggulan dalam kemampuan untuk analisis vegetasi. Kanal 4 adalah merupakan kanal SWIR (*Shortwave Infrared*) memiliki panjang gelombang 1.580-1750 nm, kanal 3 adalah kanal NIR (*Near Infrared*) memiliki panjang gelombang 780-890 nm, dan kanal 2 adalah kanal Red dengan panjang gelombang 610-680 nm pada citra SPOT-5. Oleh karena itu karakteristik spektral objek pada citra SPOT komposit RGB 432 adalah vegetasi berwarna hijau sebagai akibat pantulan yang tinggi pada saluran 3, tanah kering berwarna merah terang sebagai akibat pantulan yang tinggi pada saluran 3 dan 4, objek air dan tanah lembab berwarna biru gelap sebagai akibat pantulan yang rendah pada saluran 3 dan 4. Pada citra SPOT komposit RGB 432 lahan bekas kebakaran nampak berwarna merah gelap. Kepastian kenampakan lahan bekas terbakar didukung dengan adanya *hotspot* yang terjadi pada lokasi tersebut dan survei lapangan pada beberapa lokasi. Hasil survei lapangan menjadi acuan untuk perbaikan hasil delineasi dan pembuatan peta BA SPOT-5.

Nilai akurasi BA Landsat-8 OLI dihitung dengan melakukan tumpang susun antara peta BA Landsat-8 dengan BA SPOT-5. Dalam penelitian ini BA SPOT-5 digunakan sebagai referensi karena memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi, dan diasumsikan memiliki akurasi yang lebih baik. Setelah didapatkan hasil poligon tumpang susun dibuat suatu luasan dari setiap

kelompok kebakaran yang membatasi kedua poligon tersebut sebagai himpunan semesta (S). Dalam praktek operasionalnya, terdapat beberapa batasan-batasan dalam penggunaan formula NBR antara lain: jika pada data *pre* di suatu daerah sudah terdeteksi adanya lahan bekas terbakar, maka hasil pemetaan BA dengan metode NBR tidak akan menunjukkan hasil bekas terbakar di daerah tersebut, karena tidak ada perbedaan yang signifikan antara nilai indeks sebelum dan sesudah, atau dapat diasumsikan bahwa wilayah tersebut sudah terjadi kebakaran pada periode sebelumnya. Selain itu, formula NBR tidak dapat digunakan jika pada citra *pre* dan/atau *post* tertutup oleh awan maupun bayangan awan. Hasil tumpang susun antara BA Landsat-8 dan BA SPOT-5 selanjutnya dianalisa dengan kriteria sebagai berikut:

- Apabila poligon BA Landsat-8 sesuai dengan poligon BA SPOT-5 di dalam S, maka dikatakan bahwa BA Landsat-8 tersebut tepat (*corrected*).
- Apabila terdapat BA Landsat-8 di dalam S, namun tidak ditemukan adanya BA SPOT-5 di wilayah tersebut maka dikatakan bahwa BA Landsat-8 adalah salah deteksi (*commision error*).
- Apabila di dalam S tidak terdeteksi adanya BA Landsat-8, namun ditemukan adanya BA SPOT-5, maka dikatakan sebagai *ommission error*.

Sehingga diperoleh persamaan nilai akurasi BA Landsat-8 yang ditunjukkan pada **Persamaan 4, 5, dan 6**:

- $Overall\ Accuracy\ (\%) = (\sum \text{luas Corr} / \text{luas (Corr+Comm+Omm)}) * 100 \dots\dots\dots(4)$
- $Commission\ error\ (\%) = (\sum \text{luas Comm} / \text{luas (Corr+Comm+Omm)}) * 100 \dots\dots\dots(5)$
- $Omission\ error\ (\%) = (\sum \text{luas Omm} / \text{luas (Corr+Com+Omm)}) * 100 \dots\dots\dots(6)$

Selain itu, untuk mendapatkan gambaran besarnya akurasi, dipergunakan metode analisis korelasi *Pearson Product Moment*. Dalam hal ini,

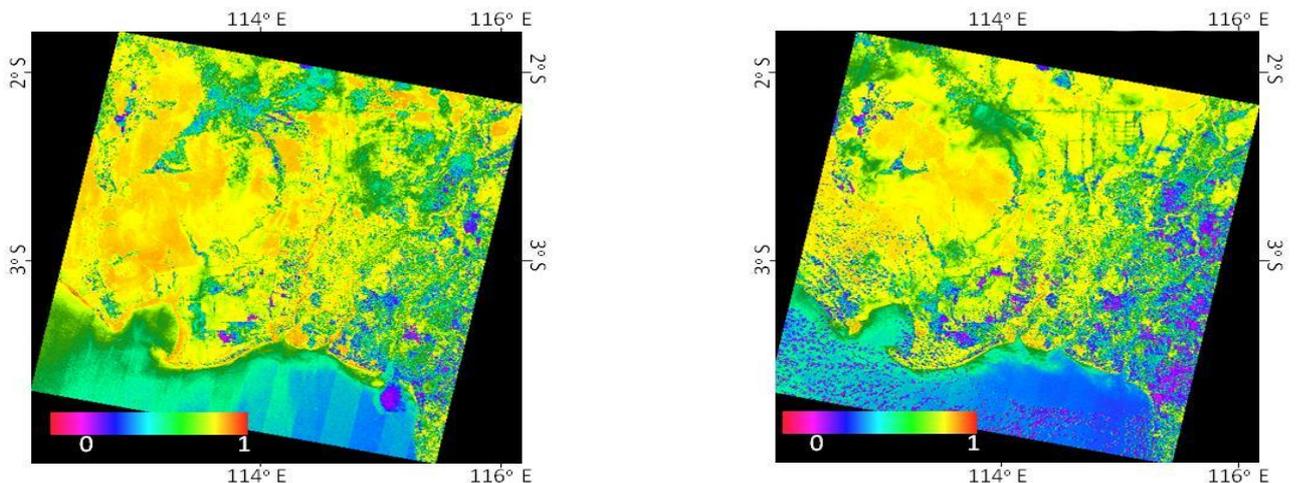
luas piksel-piksel area terbakar hasil estimasi dikorelasikan poligon area terbakar yang lokasi bersesuaian yang dihasilkan dari proses delineasi (sebagai data referensi). Model pengujian akurasi seperti ini pernah dilakukan oleh Loboda *et al.* (2007).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deteksi Burned Area (BA) Landsat-8

Peristiwa kebakaran hutan dan lahan pada lahan-lahan bervegetasi akan mempengaruhi nilai dan pola reflektansi yang terekam oleh sensor satelit. Peristiwa ini akan menyebabkan penurunan nilai reflektansi pada spektrum tampak untuk kanal 1 (*blue*), 2 (*blue*), dan 3 (*green*) pada Landsat-8 sensor OLI (Suwarsono *et al.*, 2015). Lebih lanjut disebutkan bahwa lahan bekas terbakar dicirikan oleh adanya penurunan reflektansi yang besar pada kanal inframerah dekat (NIR) dan peningkatan reflektansi yang besar pada kanal-kanal SWIR, yaitu kanal 6 dan 7. Hasil analisis terhadap dua tanggal perekaman citra Landsat-8 di lokasi penelitian ini menunjukkan hasil yang menguatkan hasil penelitian Suwarsono *et al.* (2015).

Tahap awal dalam penelitian ini adalah ekstraksi nilai NBR dari setiap data citra Landsat-8 sebelum dan sesaat/sesudah terbakar. Contoh penyajian hasil ekstraksi nilai NBR masing-masing citra Landsat-8 disajikan pada **Gambar 4**. Semakin rendah nilai NBR mengindikasikan bahwa lahan tersebut adalah lahan terbuka dan bekas terbakar. Hal ini ditunjukkan dengan warna mendekati merah muda. Pada indeks NBR menggunakan panjang gelombang NIR yang memiliki pantulan rendah pada lahan bekas terbakar, dan secara bersamaan adanya peningkatan pantulan gelombang *Short Wave Infra Red* (SWIR) pada lahan bekas terbakar (Smith *et al.*, 2007).



a) Citra NBR₁ sebelum terbakar 1 September 2014. b) Citra NBR₂ setelah/pada saat terbakar 3 Oktober 2014.

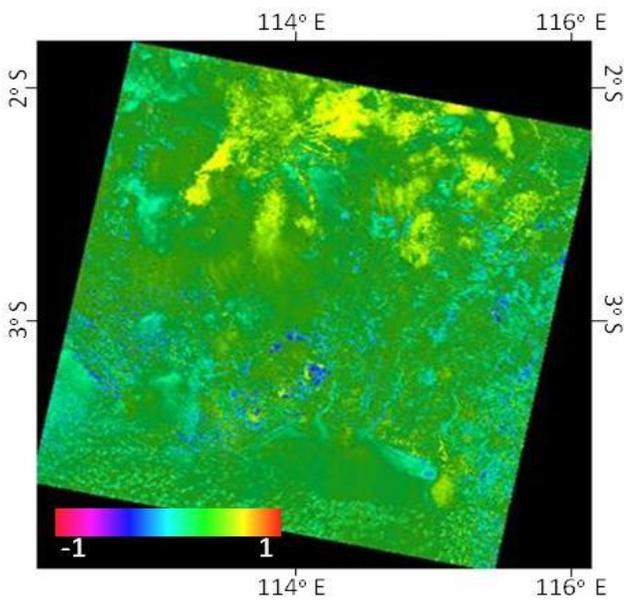
Gambar 4. Hasil Ekstraksi Nilai NBR untuk Masing-masing sebelum (kiri) dan setelah (kanan) Terbakar.

Lahan bekas terbakar akan memberikan respon pantulan yang berbeda dengan daerah yang bervegetasi, sehingga lahan bekas terbakar akan memiliki nilai pantulan yang berubah jika dibandingkan saat sebelum terjadi kebakaran/masih bervegetasi (Suwarsono, 2014). Oleh karena itu, lahan bekas terbakar dapat dilihat dari adanya penurunan nilai NBR yang cukup dratis sesaat setelah terbakar.

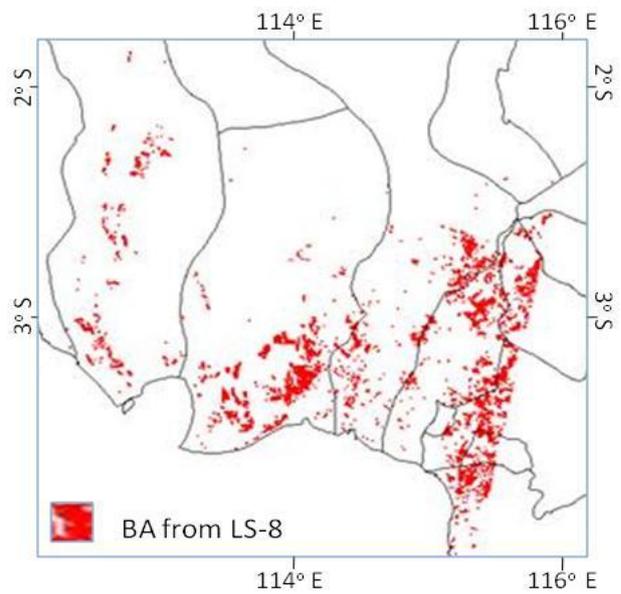
Citra hasil perubahan nilai NBR (Δ NBR) periode 1 September s/d 3 Oktober 2014 ditunjukkan pada **Gambar 5** (kiri). Sehingga diperoleh hasil pengolahan BA Landsat-8 di wilayah Kalimantan Tengah *path-row* 118-062

periode 1 September 2014 - 3 Oktober 2014 yang disajikan pada **Gambar 5** (kanan).

Dalam proses deteksi BA Landsat-8 menggunakan metode NBR terdapat beberapa kasus yang mempengaruhi hasil pemetaan BA Landsat-8. Contoh kasus dapat dilihat pada **Gambar 6** dan **Gambar 7**. **Gambar 6a**, pada data *pre* tanggal 1 September 2014 dapat dilihat bahwa di lokasi tersebut sudah terdapat area lahan bekas terbakar, dan telah terjadi perluasan area lahan bekas terbakar yang ditunjukkan pada citra *post* tanggal 3 Oktober 2014 seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 6b**.

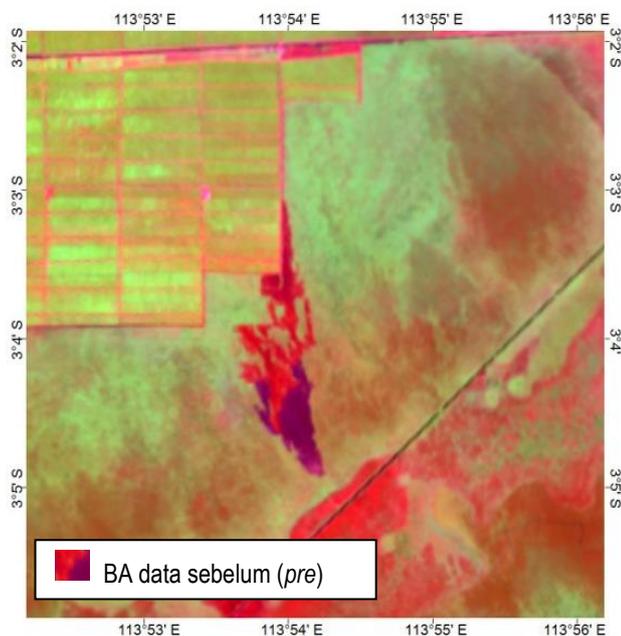


a. Citra Δ NBR Periode 1 September - 3 Oktober 2014.

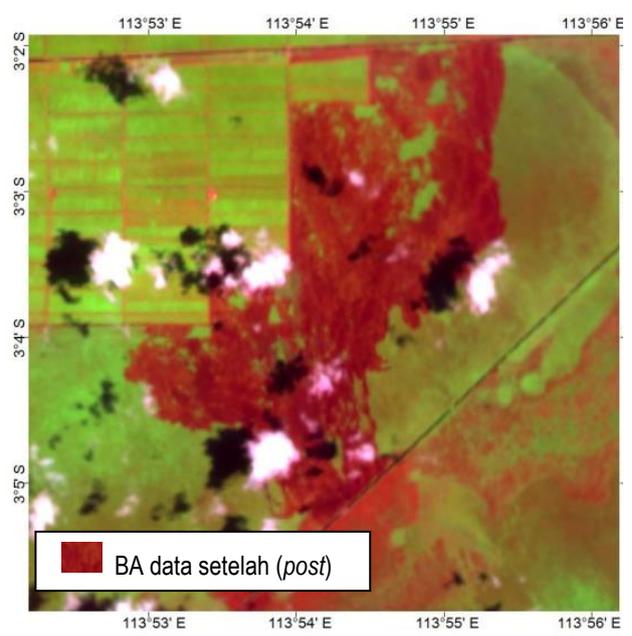


b. BA Landsat-8 Periode 1 September - 3 Oktober 2014.

Gambar 5. Perubahan Nilai NBR (Δ NBR) (a), dan BA Landsat-8 Periode 1 September – 3 Oktober 2014 (b).

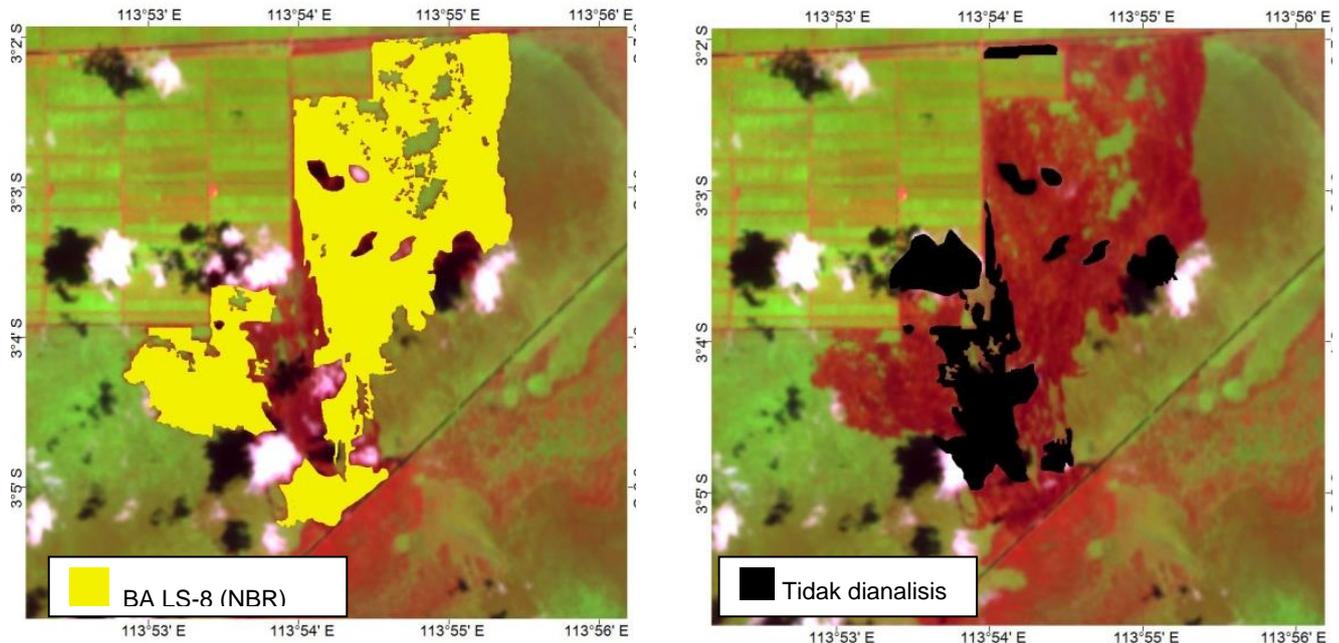


(a) BA Tanggal 1 September 2014.



(b) BA Tanggal 3 Oktober 2014.

Gambar 6. Contoh Sebagian Citra sebelum (a) dan Data Sesaat setelah (b) Kebakaran.



(a) Hasil Deteksi *Burnt Area* dengan NBR.

(b) Pembatasan Daerah Kajian.

Gambar 7. Contoh Kasus Pembatasan Daerah untuk Analisis Akurasi Deteksi *Burned Area* dengan Metode NBR.

Gambar 7a merupakan hasil deteksi lahan bekas terbakar menggunakan metode NBR (warna kuning), pada gambar tersebut dapat dilihat ada beberapa lahan bekas terbakar (di bagian selatan) yang tidak terdeteksi sebagai lahan bekas terbakar padahal lahan tersebut bekas terbakar. Hal ini dikarenakan sudah terjadi kebakaran sebelum tanggal data *pre*. Sehingga untuk analisis akurasi perlu dibatasi kasus-kasus seperti ini termasuk data yang tertutup awan atau bayangan awan. **Gambar 7b** adalah contoh pembatasan daerah yang tidak dianalisis (warna hitam).

Sehingga dalam kasus pengolahan deteksi BA Landsat-8 di atas diperoleh batasan-batasan untuk formula NBR seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Batasan-Batasan untuk Formula NBR.

Lahan PRE	Lahan POST	BA
Vegetasi	Terbakar	Terindikasi BA
Terbuka & lahan lainnya	Terbakar	Terindikasi BA
Vegetasi	Awan & bayangan awan	Tidak terindikasi BA
Awan & Bayangan Awan	Terbakar	Tidak terindikasi BA
Terbakar		Tidak terindikasi BA

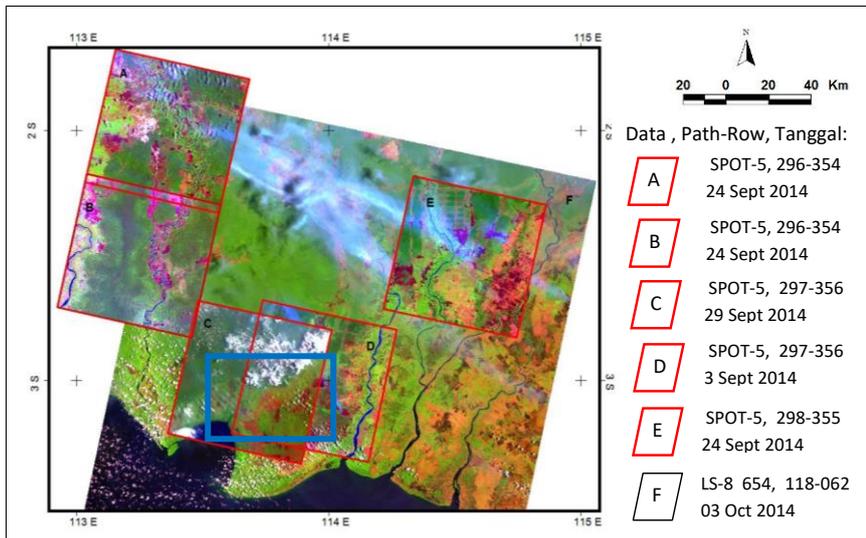
Deteksi *Burned Area* (BA) SPOT-5.

Deteksi BA digunakan metode delineaasi visual citra SPOT-5. Bersesuaian dengan tanggal perolehan data Landsat-8 yang digunakan, tersedia 5 (lima) data SPOT-5 yang digunakan

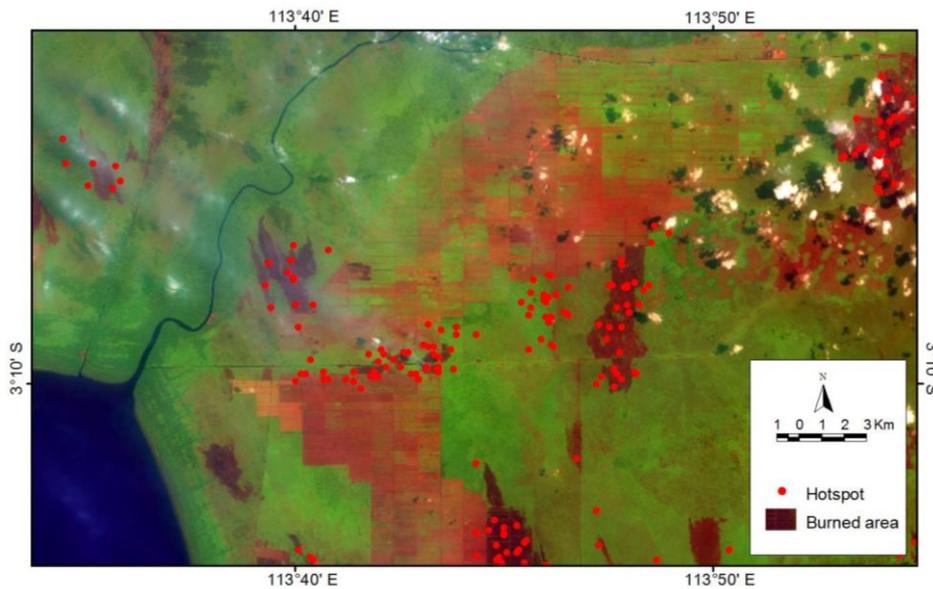
untuk verifikasi BA Landsat-8. Dari kelima data SPOT-5 ini dibuat citra komposit RGB 432 untuk dilakukan delineaasi dan interpretasi visual. Kenampakan citra komposit RGB 432 dari citra SPOT-5 ditunjukkan pada **Gambar 8** (kotak warna merah) yang ditumpangsusun dengan citra Landsat-8.

Perbesaran sebagian kenampakan citra komposit RGB 432 di wilayah Kalimantan Tengah K/J 297/356 tanggal 29 September 2014 yang ditumpangsusun dengan *hotspot* tanggal 1 September hingga 3 Oktober 2014 ditunjukkan pada **Gambar 9**, dan keseluruhan hasil delineaasi visual citra dari setiap *scene* SPOT-5 ditunjukkan pada **Gambar 10**.

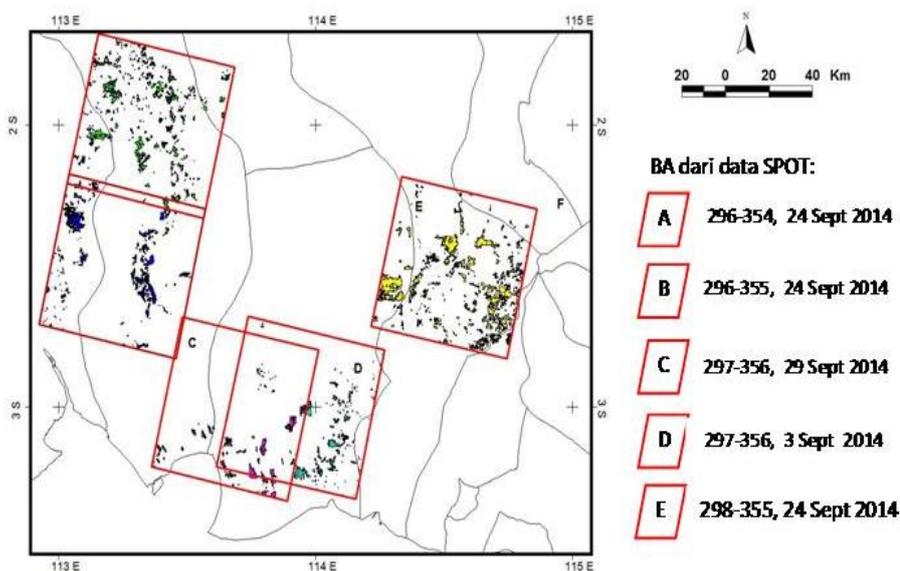
Berdasarkan kasus hasil survei lapangan yang dilakukan di Provinsi Riau pada bulan Februari 2014 (LAPAN, 2015), diketahui bahwa ada beberapa hasil delineaasi BA dari data SPOT-5 yang perlu diperbaiki sesuai dengan kondisi di lapangan. Sebagai contoh kasus, perhatikan **Gambar 11** yang memperlihatkan perbandingan hasil delineaasi BA SPOT-5 dengan hasil pengecekan lapangan. Titik-titik merah merupakan titik survei. Kondisi saat survei lapangan di lokasi daerah bekas kebakaran tampak sudah mulai diisi dengan sawit muda, dan sebagian lainnya masih dalam bentuk belukar. Di sebagian wilayah masih ditemukan adanya tanaman karet dan sawit yang sudah cukup besar dan tidak ditemukan adanya bekas-bekas lahan di wilayah tersebut terbakar. Hal ini juga dapat dibedakan dengan jelas pada citra dimana pada daerah yang tidak terbakar terlihat warna merah yang lebih terang.



Gambar 8. Kenampakan Citra Komposit RGB 432 dari Lima Data SPOT-5.

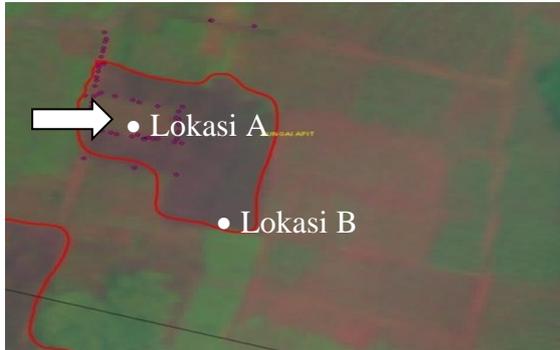


Gambar 9. Perbesaran sebagian Kenampakan Citra Komposit 4,3,2 Data SPOT-5 K/J 297/356 Tanggal 29 September 2014 (Kotak Biru pada **Gambar 8**).



Gambar 10. Hasil Interpretasi Visual dan Delineasi BA dari Setiap Scene Citra SPOT-5.

Dari hasil pengecekan lapangan tampak bahwa peta yang dibuat harus diperbaiki dengan mengurangi sebagian area sebagai wilayah yang tidak terbakar yang merupakan wilayah dengan karet agak jarang dengan cara digitasi ulang pada daerah tersebut seperti yang ditunjukkan pada panah putih pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Panah Putih Menunjukkan Area yang Harus didelineasi Ulang karena Tidak Termasuk Area Bekas Kebakaran.

Dengan demikian, perbaikan yang dilakukan menghasilkan area seperti yang disajikan pada **Gambar 12**. Poligon warna merah merupakan lokasi bekas terbakar yang dicek. Sedangkan warna kuning merupakan hasil perbaikan setelah pengecekan. Kondisi tutupan lahan di lokasi survei berturut-turut pada lokasi A dan lokasi B dapat dilihat pada foto yang ditampilkan di **Gambar 13 dan Gambar 14**. Dari kasus ini dapat disimpulkan bahwa dalam pembuatan BA SPOT-5 perlu diperhatikan rona/warna tampilan citra yang akan didelineasi.



Gambar 12. Hasil Pemetaan Baru setelah Perbaikan dari Hasil Pengecekan Lapangan.

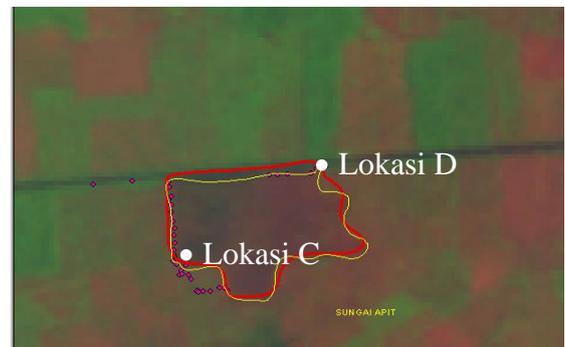


Gambar 13. Kondisi Tutupan Lahan di Lokasi Survey di Lahan Bekas Terbakar (Lokasi A).



Gambar 14. Kondisi Tutupan Lahan di Lokasi Survey di Lahan Bekas Terbakar (Lokasi B).

Kasus pengamatan lapangan lainnya, yakni dilakukan di sekitar kawasan hutan tanaman industri (HTI) dimana wilayah yang terbakar ini diklaim sebagai wilayah kebun masyarakat yang berbatasan langsung dengan HTI tersebut. Hasil interpretasi BA SPOT-5 memperlihatkan bahwa hasilnya sesuai dengan hasil pengamatan di lapangan, namun ditemukan adanya sedikit garis warna merah yang menjorok ke wilayah kanal/saluran air, hal ini dimungkinkan karena skala citra yang digunakan pada saat mendelineasi citra SPOT-5, sehingga akan mempengaruhi ketelitian hasil delineasi seperti yang disajikan pada **Gambar 15**.



Gambar 15. Interpretasi Visual di Lokasi HTI Berdasarkan Citra SPOT 5 bulan Februari 2014.

Poligon warna merah merupakan lokasi bekas kebakaran yang dicek. Sedangkan warna kuning merupakan hasil perbaikan usai pengecekan, dengan ketepatan geometrik citra yang digunakan di lapangan sangat baik atau tepat. Kondisi tutupan lahan di lokasi survei berturut-turut pada lokasi C dan lokasi D dapat dilihat pada foto yang ditampilkan di **Gambar 16 dan Gambar 17**. Oleh karena itu, perbaikan hasil interpretasi visual atau delineasi BA SPOT-5 di wilayah Kalimantan Tengah dapat menggunakan referensi hasil beberapa kasus pengamatan lapangan di wilayah Provinsi Riau, dengan memperhatikan beberapa hal antara lain: kenampakan objek pada citra komposit yang digunakan, dan perbesaran atau skala optimal citra pada saat proses delineasi. Adapun skala optimal citra SPOT-5 yang digunakan adalah 1:10.000.



Gambar 16. Kondisi Tutupan Lahan di Lokasi Survey (Lokasi C).



Gambar 17. Kondisi Tutupan Lahan di Lokasi Survey (Lokasi D).

Analisis Akurasi BA Landsat-8 berdasarkan BA SPOT-5 tervalidasi.

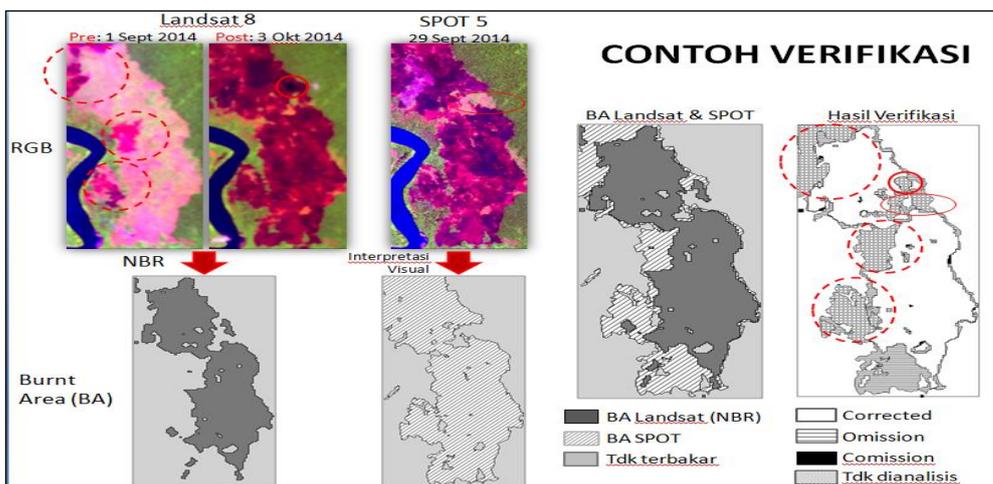
Proses analisis akurasi BA Landsat-8, dilakukan dengan tumpang-susun antara hasil BA Landsat-8 dengan BA SPOT-5. Berdasarkan batasan-batasan metode NBR yang telah diuraikan di atas, maka perlu pemilihan daerah yang akan dianalisis. **Gambar 18** merupakan contoh pemilihan daerah dalam satu kelompok area kebakaran yang akan dianalisis. Berdasarkan hasil tumpang-susun antara BA Landsat-8 dan BA SPOT-5 dibuat suatu himpunan semesta (S) di setiap kelompok area kebakaran untuk membatasi daerah yang akan dianalisis.

Pada **Gambar 18** terdapat sekelompok area kebakaran yang terdiri dari sebagian citra RGB

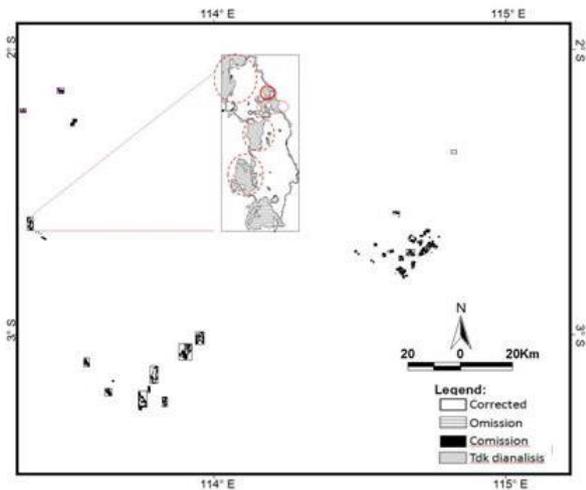
Landsat-8 yakni kotak data *pre* tanggal 1 September 2014 dan kotak data *post* tanggal 3 Oktober 2014, dan sebagian citra RGB SPOT-5 tanggal 29 September 2014. Poligon warna abu-abu tua merupakan hasil deteksi BA dari data Landsat-8, poligon dengan arsiran diagonal merupakan hasil interpretasi visual dari data SPOT-5, dan warna abu muda merupakan luasan lahan yang tidak terbakar. Hasil tumpang-susun diperoleh beberapa kelas lahan: yang tepat atau *corrected* (Cor) apabila poligon BA Landsat-8 sesuai dengan poligon BA SPOT-5 atau merupakan lahan yang sama-sama menunjukkan lahan tidak terbakar (ditunjukkan dengan warna putih). Selanjutnya jika dalam himpunan semesta (S) terdapat lahan BA Landsat-8, namun tidak ditemukan adanya lahan BA SPOT-5 di wilayah tersebut maka dikatakan bahwa BA Landsat tersebut salah deteksi disebut sebagai *commission error* (Com) yang ditunjukkan dengan warna hitam. Apabila di dalam S tidak terdeteksi adanya lahan BA Landsat-8, namun ditemukan adanya lahan BA SPOT-5, maka dikatakan sebagai *ommision error* yang ditunjukkan dengan poligon arsiran horizontal.

Adapun poligon arsiran bulat-bulat adalah suatu lahan yang tidak dianalisis karena adanya batasan-batasan dalam metode NBR yang digunakan, dengan penjelasan sebagai berikut: lingkaran putus-putus menunjukkan bahwa pada area tersebut sudah terbakar pada tanggal citra *pre* yang digunakan, lingkaran warna merah tebal menunjukkan area yang tertutup awan atau bayangan awan baik pada citra *pre* atau *post*, lingkaran warna merah tipis menunjukkan bahwa adanya perluasan kebakaran yang terjadi antara tanggal citra SPOT-5 (29 September 2014) hingga tanggal data citra Landsat-8 *post* (3 Oktober 2014).

Secara keseluruhan lokasi yang dijadikan sampel dalam analisis akurasi adalah sebanyak 54 kelompok area kebakaran, dimana dari proses tumpang-susun diperoleh 1300 poligon yang terdiri dari poligon *corrected*, *commission*, dan *ommision* seperti yang disajikan pada **Gambar 19**.



Gambar 18. Contoh Kasus Pemilihan Daerah atau Poligon yang akan Dianalisis pada Area Kelompok Kebakaran.



Gambar 19. Kelompok Area Kebakaran yang akan Dianalisis.

Secara keseluruhan diperoleh jumlah luasan lahan sebagai himpunan semesta sebesar 199.345.667,95 m² atau 19.934,57 Ha, namun terdapat luasan lahan yang tidak dapat dianalisis sebesar 18.683.376,80 m² atau 1.868,34 Ha oleh karena adanya batasan-batasan seperti yang diuraikan di atas. Sehingga jumlah luasan lahan yang dapat dianalisis (*Cor*, *Com*, *Omm*) menjadi 180.662.291,15 m² atau 18.066,23 Ha. **Tabel 2** merupakan hasil analisis akurasi deteksi BA Landsat-8 menggunakan metode NBR dengan referensi BA SPOT-5. Analisis menunjukkan bahwa deteksi BA Landsat-8 memiliki tingkat akurasi (*Overall Accuracy*) sebesar 87%, dengan *commission error* sebesar 2%, dan *ommission error* sebesar 11%. Hal ini menunjukkan bahwa lahan bekas terbakar yang belum terkelaskan (*ommission error*) oleh citra Landsat-8 lebih banyak dibandingkan dengan *commission error*. Dengan mengacu pada metode pengujian akurasi oleh Loboda et al. (2007), dapat diketahui bahwa *burned area* hasil estimasi dari data Landsat-8 dengan menggunakan metode Δ NBR memiliki tingkat akurasi yang tinggi yaitu 87%.

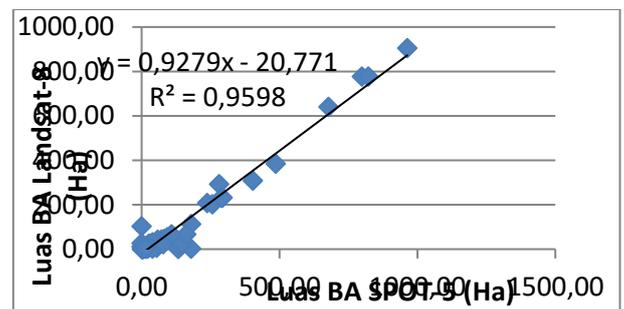
Tabel 2. Analisis Akurasi Deteksi BA Landsat-8 berdasarkan BA SPOT-5.

Analisa	Jumlah Poligon Tumpang Susun	Total Luas (m ²)	(%)
<i>Cor</i>	484	156.284.749	87
<i>Com</i>	286	3.893.714	2
<i>Omm</i>	264	20.483.827	11
X	266	18.683.377	-

Sebagai perbandingan adalah penelitian yang dilakukan oleh Suwarsono et al., 2013, yaitu membandingkan indeks NDVI dan NBR dari data MODIS untuk memetakan BA di Wilayah Kalimantan, diperoleh ketelitian NBR lebih baik yaitu sebesar 63,5 % dengan *commission error* sebesar 24,6 % dan *omission error* 11,9 %, dimana verifikasi dilakukan dengan data Landsat-

7 dan SPOT-4 sebagai referensi. Dengan kata lain, pemetaan BA Landsat-8 OLI dengan metode NBR memiliki akurasi yang lebih baik dari pada MODIS. Hal ini dikarenakan resolusi spasial citra Landsat yang lebih tinggi.

Untuk mengetahui seberapa besar tingkat akurasi estimasi BA hasil deteksi Landsat-8 terhadap hasil observasi BA SPOT-5, dilakukan juga perhitungan koefisien korelasi *Pearson Product Moment*. Luas BA hasil deteksi dari Landsat-8 (sumbu Y) dikorelasikan dengan luas BA referensi hasil delineasi dari SPOT-5 (sumbu X). Hasilnya menunjukkan nilai koefisien korelasi (*r*) 0,98 dengan persamaan $Y = 0,928X - 21,07$ dan koefisien determinasi (R^2) = 0,96. Hasil ini menunjukkan bahwa luas BA hasil estimasi memiliki hubungan yang kuat dengan luas BA hasil observasi, dan sebesar 96% BA hasil observasi dapat dijelaskan oleh BA hasil estimasi. **Gambar 20** merupakan hubungan antara BA hasil deteksi dari Landsat-8 dan hasil BA SPOT-5.



Gambar 20. Hubungan Antara BA Hasil Deteksi dari Landsat-8 dan Hasil BA SPOT-5

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil verifikasi dapat disimpulkan bahwa: *Burned Area* (BA) Landsat-8 OLI menggunakan metode Δ NBR memiliki nilai akurasi (*Overall Accuracy*) sebesar 87%, dengan *Commission error* sebesar 2%, dan *Omission error* sebesar 11%. Tingkat akurasi *Burned area* (BA) hasil estimasi dari data Landsat-8 dengan menggunakan metode Δ NBR memiliki nilai koefisien korelasi (*r*) 0,98 dan koefisien determinasi (R^2) = 0,96 dengan persamaan $Y = 0,928X - 21,07$. Hasil ini menunjukkan bahwa luas *burned area* hasil estimasi memiliki hubungan yang kuat dengan luas *burned area* hasil observasi, dan sebesar 96% *burned area* hasil observasi adalah benar sebagai wilayah yang terbakar. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa metode Δ NBR yang diaplikasikan pada data Landsat-8 terbukti dapat digunakan untuk mendeteksi *burned area*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada Kepala Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN dan Kepala Bidang Lingkungan dan Mitigasi Bencana yang telah memfasilitasi kegiatan

penelitian ini, Kepala Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh LAPAN yang telah menyediakan data Landsat 8 dan SPOT 5, serta Bapak Drs. Taufik Maulana MBA yang telah memberi masukan dan saran dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bastarrika, A., Chuvieco, E., & Martín, M. P. (2011). Mapping Burned Areas from Landsat TM/ETM+ Data with a Two-Phase Algorithm: Balancing Omission and Commission Errors. *Remote Sensing of Environment*, 115(4), 1003-1012.
- Chuvieco, E., Martín, M. P., & Palacios, A. (2002). Assessment of Different Spectral Indices in the Red-Near-Infrared Spectral Domain for Burned Land Discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23(23), 5103-5110.
- Chuvieco, E., Ventura, G., Martín, M. P., & Gómez, I. (2005). Assessment of Multitemporal Compositing Techniques of MODIS and AVHRR Images for Burned Land Mapping. *Remote Sensing of Environment*, 94(4), 450-462.
- Cocke, A. E., Fulé, P. Z., & Crouse, J. E. (2005). Comparison of Burn Severity Assessments Using Differenced Normalized Burn Ratio and Ground Data. *International Journal of Wildland Fire*, 14(2), 189-198.
- Fraser, R. H., Li, Z., & Cihlar, J. (2000). Hotspot and NDVI Differencing Synergy (HANDS): A New Technique for Burned Area Mapping Over Boreal Forest. *Remote Sensing of Environment*, 74(3), 362-376.
- Giglio, L., Loboda, T., Roy, D. P., Quayle, B., & Justice, C. O. (2009). An Active-Fire Based Burned Area Mapping Algorithm for the MODIS Sensor. *Remote Sensing of Environment*, 113(2), 408-420.
- Hudak, A. T., & Brockett, B. H. (2004). Mapping Fire Scars in a Southern African Savannah using Landsat Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 25(16), 3231-3243.
- Key, C.H., & Benson, N.C. (2000). Measuring and Remote Sensing of Burn Severity. Poster Abstract in U.S. Geological Survey Wildland Fire Workshop, New Mexico.
- Key, C.H., & Benson, N.C. (2002). Measuring and Remote Sensing of Burn Severity, U.S. Geological Survey Wildland Fire Workshop.
- Lembaga Penerbangan dan Antariksa nasional-LAPAN. (2015). Laporan Survei Lapangan. Pengembangan Model Pemanfaatan Penginderaan Jauh Untuk Bencana Kekeringan dan Kebakaran Hutan/Lahan. Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN.
- Loboda, T., O'Neal, K.J., & Csiszar, I. (2007). Regionally adaptable dNBR-based algorithm for burned area mapping from MODIS data. *Remote Sensing of Environmet*, 109, 429-442.
- Martin, M. P., & Chuvieco, E. (1995). Mapping and Evaluation of Burned Land from Multitemporal Analysis of AVHRR NDVI images. *EARSel Advances in Remote Sensing*, 4, 7-13.
- Mitri, G. H., & Gitas, I. Z. (2004). A Performance Evaluation of a Burned Area Object-Based Classification Model when Applied to Topographically and Non-Topographically Corrected TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 25(14), 2863-2870.
- Parwati, P., Zubaidah, A., Vetrira, Y., Yulianto, F., DS, K. A., & Khomarudin, M. R. (2012). Kapasitas Indeks Lahan Terbakar Normalized Burn Ratio (Nbr) dan Normalized Difference Vegetation Index (Ndv) dalam Mengidentifikasi Bekas Lahan Terbakar Berdasarkan Data Spot-4. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 18(1).
- Roy, D.P., P.G.H. Frost, C.O. Justice, T. Landmann, J.L. Le Reoux, K. Gumbo, S. Mankungwa, K. Dunham, R.D. Toit, K. Mhwandagara, A. Zacarias, B. Tacheba, O.P. Dube, J.M.C. Pereira, P. Mushove, J.T. Morissette, S.K.S. Vannan, D. Davies, (2005). The Southern Africa Fire Network (SAFNet) Regional Burned-area Product-validation Protocol, *International Journal of Remote Sensing*. 26(4), 4265-4292.
- Smith, A. M. S., Drake, N. A., Wooster, M. J., Hudak, A. T., Holden, Z. A., & Gibbons, C. J. (2007). Production of Landsat ETM+ Reference Imagery of Burned Areas within Southern African Savannahs: Comparison of Methods and Application to MODIS. *International Journal of Remote Sensing*, 28(12), 2753-2775.
- Suwarsono, Yulianto, F., Parwati & Suprpto, T. (2009). Pemanfaatan Data Modis untuk Identifikasi Daerah Bekas Terbakar (Burned Area) Berdasarkan Perubahan Nilai Ndv di Provinsi Kalimantan Tengah Tahun 2009. *Jurnal Penginderaan Jauh*. Vol.6, 2009, 54-64.
- Suwarsono. (2012). *Daerah Bekas Kebakaran Hutan dan Lahan (Burned Area) di Kalimantan*. Tesis. *Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*. Program Studi Magister Ilmu Geografi. Universitas Indonesia Depok
- Suwarsono, Rokhmatuloh & Waryono, T. (2013). Pengembangan Model Identifikasi Daerah Bekas Kebakaran Hutan dan Lahan (Burned Area) Menggunakan Citra MODIS di Kalimantan. *Jurnal Penginderaan Jauh Vol.10. No.2, 2013*, 93-112.
- Suwarsono. (2014). *Deteksi Daerah Bekas Kebakaran Hutan/Lahan (Burned Area) Menggunakan Citra Penginderaan Jauh, Suatu Tinjauan*. *Bunga Rampai Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Mitigasi Bencana*. LAPAN.
- Suwarsono, Yenni V., Parwati, Muhammad P., & Khomarudin M. R. (2015). Karakteristik Reflektansi Daerah Bekas Kebakaran Hutan dan Lahan (Burned Area) Dari Data Landsat-8 Operational Land Imager. *Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer-Antariksa (SNSAA)*. Bandung.
- Torrallbo, A.F., & Benito, P.M. (2012). *Landsat and MODIS Images for Burned Areas Mapping in Galicia, Spain*. *Master's of Science Thesis in Geoinformatics TRITA-GIT EX 12-006*. School of Architecture and the Built Environment Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden.

PEMANTAUAN SEBARAN ABU VULKANIK MENGGUNAKAN PENGINDERAAN JAUH SATELIT HIMAWARI-8 DAN AURA/OMI (OZONE MAPPING INSTRUMENT)

(Volcanic Ash Monitoring using Himawari-8 and
OMI (Ozone Mapping Instrument) Remote Sensing Satellites)

Fatkhuroyan¹ dan Trinhah Wati²

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan, BMKG

²Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara, BMKG

Jl. Angkasa I no.2, Kemayoran, Jakarta, Indonesia

E-mail: fatkhuroyan@bmkgo.id

Diterima (received): 20 Oktober 2016; Direvisi (revised): 14 Desember 2016; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 31 Maret 2017

ABSTRAK

Indonesia mempunyai jalur gunung api mulai dari Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, Banda, Maluku hingga Papua. Hal ini menyebabkan Indonesia rawan terjadinya bencana akibat erupsi gunung berapi seperti lahar, abu vulkanik serta pencemaran udara yang mengandung zat berbahaya seperti sulfur dioksida (SO₂) dan hidrogen sulfida (H₂S). Sebaran abu vulkanik letusan gunung berapi menimbulkan banyak kerugian di sektor pertanian, kesehatan dan juga penerbangan. Pemantauan sebaran abu vulkanik menggunakan analisis penginderaan jauh satelit Himawari-8 dan AURA/OMI dilakukan pada peristiwa erupsi Gunung Raung, Gamalama dan Rinjani pada tahun 2015 bertujuan untuk mendeteksi dan memantau abu vulkanik gunung berapi serta arah pergerakannya dan dikaitkan dengan aktivitas gunung tersebut. Analisis menggunakan teknik komposit warna RGB (*Red Green Blue*) pada beberapa kanal visible dan inframerah dengan perangkat lunak Sataid pada citra satelit Himawari-8, sedangkan pada citra satelit AURA/OMI dengan pendeteksian emisi gas SO₂. Hasil Pantauan satelit Himawari-8 menunjukkan abu vulkanik hasil kombinasi RGB dapat dideteksi dengan visual warna merah terang, sedangkan dari satelit OMI berdasarkan emisi SO₂ dapat digunakan untuk melacak keberadaan abu vulkanik dan berkaitan dengan aktivitas gunung. Pemantauan menggunakan penginderaan jauh dengan resolusi temporal yang cukup tinggi pada satelit Himawari-8 (10 menit) dan OMI (harian) dapat digunakan untuk melacak keberadaan abu vulkanik dan arah sebaran yang bermanfaat untukantisipasi bahaya dari abu vulkanik tersebut sehingga dapat dimanfaatkan untuk penyelamatan kebencanaan.

Kata kunci: Abu Vulkanik, Himawari-8, OMI, penginderaan jauh

ABSTRACT

Indonesia volcanic zone lanes sweep through along Sumatera, Java, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, Banda, Molucca to Papua. It caused Indonesia become very vulnerable to disaster due to material from volcanic eruptions such as lava, volcanic ash and air pollution containing hazardous substances such as sulfur dioxide (SO₂) and hydrogen sulfide (H₂S). The distribution of Volcanic Ash due to volcanic eruption has caused many losses in the agricultural, health and aviation sectors. In this study, we observed the spread of volcanic ash using remote sensing analysis of satellite Himawari-8 and AURA / OMI at eruptions of Mount Raung, Gamalama and Rinjani in 2015. The aims are to detect and to monitor the volcanic ash as well as the direction of its movement that were associated to the mountain's activities. The analysis used the technique of color composite RGB (Red Green Blue) on several visible and infrared channels using Sataid software on satellite images Himawari-8 and SO₂ gas emissions detection on satellite image AURA / OMI. The result of RGB combination from Himawari-8 showed light red color for volcanic ash visualization, while SO₂ gas emissions from OMI can be used to track the volcanic ash. The analysis showed that remote sensing with high temporal resolution of Himawari-8 (every 10 minutes) and OMI (daily) can be used to track the presence of volcanic ash and its direction of distribution and very useful to anticipate the hazards and for disaster rescue.

Keywords: Volcanic Ash, Himawari-8, OMI, remote sensing

PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai jalur gunung api yang rawan erupsi di sepanjang *ring of fire* mulai dari Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi-

Banda, Maluku hingga Papua (USGS,1999). Jalur gunung api tersebut berada di zona subduksi (zona batas pertemuan dua lempeng yang bersifat konvergen, bergesekan satu sama lain) dan merupakan jenis gunung komposit yang dapat

mengeluarkan lahar panas, awan panas, abu vulkanik dan material lainnya yang cukup besar yang dapat mempengaruhi kondisi atmosfer serta menyebabkan gempa vulkanik, longsor, hingga tsunami (jika berasal dari gunung api laut) (Hinga, 2015). Di Indonesia terdapat sekitar 127 gunung api yang tersebar di berbagai pulau dari Sabang sampai Merauke disajikan pada **Gambar 1** dan beberapa diantaranya ialah Gunung Raung di Jawa Timur, Gunung Gamalama di Ternate dan Gunung Rinjani di Lombok.

Gunung Raung terletak di koordinat 8°07' LU 114°02' BT dengan ketinggian 3.344 m berada di perbatasan Kabupaten Banyuwangi, Bondowoso dan Jember, Provinsi Jawa Timur. Sedangkan Gunung Gamalama yang terletak di koordinat 0°48' LU 127°20' BT dengan ketinggian 1.715 m berada di Pulau Ternate, Provinsi Maluku Utara. Gunung Rinjani terletak di koordinat 8°25' LU 116°28' BT dengan ketinggian 3.726 m berada di Pulau Lombok, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Ketiga gunung tersebut merupakan gunung berapi di Indonesia yang masih aktif dan menyemburkan lava dan lahar dingin yang akan jatuh dan mengalir di permukaan bumi, dan abu vulkanik yang akan melayang di udara bahkan hingga stratosfir dengan ketinggian 15-20 km (ICAO, 2007) yang dapat merusak sumberdaya lahan pertanian (Rahayu, 2014), tanah sekitar (Barasa, 2013), hasil tanaman dan ternak masyarakat, jaringan irigasi, kesehatan (Damby, 2013) serta keselamatan penerbangan (Prata, 2013).

Pemantauan abu vulkanik dalam penerbangan sangat diperlukan karena seorang pilot tidak bisa selalu melihat adanya abu vulkanik, terutama pada malam hari. Beberapa gas abu vulkanik seperti SO₂

dan H₂SO₄ merupakan gas yang tidak terlihat. Untuk keselamatan penerbangan, sangatlah penting untuk menghindari awan abu vulkanik

Teknologi penginderaan jauh mempunyai potensi dalam mengekstraksi data dan informasi mengenai sumber daya alam dan lingkungan. Data satelit penginderaan jauh dapat diolah, diinterpretasi dan dianalisis untuk memperoleh informasi sesuai dengan kebutuhan tertentu. Kelebihan yang dimiliki adalah data satelit penginderaan jauh dapat mencakup liputan yang luas, frekuensi pencitraan yang sering, multi resolusi spasial dan spektral merupakan sumber data yang memadai dalam melakukan pemantauan sebaran abu vulkanik.

Adanya kemajuan teknologi penginderaan jauh saat ini membuat satelit dapat mendeteksi abu vulkanik secara langsung dan kontinyu. Banyak penelitian telah dilakukan mengenai pemantauan abu vulkanik dengan menggunakan satelit.

Kaneko *et al.* (2010) meneliti penggunaan data MODIS, MTSAT dan GCOM-C1 untuk memantau aktifitas gunung berapi di Asia Timur. Lee dan Lee (2015) meneliti tentang pemanfaatan satelit GK-2A untuk pemantauan abu vulkanik. Satelit dapat mendeteksi sebaran abu vulkanik pada semua level ketinggian pada area yang luas (Pavolonis *et al.*, 2013). Tupper *et al.* (2004) melakukan studi awan vulkanik di wilayah Pasifik Timur dan Indonesia untuk memvalidasi performa teknik penginderaan jauh dalam membantu International Airways Volcano Watch (IAVW). Analisa pola dan *reverse absorption* menggunakan data GMS-5/VISSR, MODIS dan AVHRR menunjukkan bahwa teknik *reverse absorption* satelit geostasioner GMS-5 secara signifikan mempertajam kemampuan untuk memonitor awan abu vulkanik di wilayah tersebut.



Sumber: Topinka, USGS 1997
Gambar 1. Gunung Berapi di Indonesia.

Satelit geostasioner memiliki keuntungan dengan berada di atas permukaan bumi yang sama sepanjang waktu. Hal ini membuat pemantauan abu vulkanik dapat dilakukan secara terus menerus baik area luasan maupun waktunya. Namun, resolusi citra satelit berkurang dengan bertambahnya lintang permukaan bumi dalam melakukan pemantauan abu vulkanik pada lintang tinggi.

Citra satelit polar dapat memantau abu vulkanik untuk wilayah lintang tinggi lebih baik namun frekuensi pengamatan satelit polar tidak sebanyak satelit geostasioner pada wilayah yang sama (Pologne, 2015; Prata *et al.*, 2013).

Dalam penelitian ini, dilakukan analisa penginderaan jauh satelit geostasioner Himawari-8 dan satelit polar OMI dengan mengkaji sebaran abu vulkanik gunung berapi dengan menggunakan satelit Himawari-8 berdasarkan teknik komposit warna RGB (*Red Green Blue*) dan satelit AURA/OMI berdasarkan pemantauan emisi gas SO₂ di Gunung Raung, Gamalama dan Rinjani tahun 2015. Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mendeteksi dan memantau abu vulkanik gunung berapi serta arah pergerakannya dan dikaitkan dengan aktivitas gunung tersebut.

METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra satelit Himawari-8 dan AURA/OMI pada Gunung Raung di Jawa Timur pada tanggal 16-17 Juli 2015, Gunung Gamalama di Ternate pada tanggal 17-18 Juli 2015 dan Gunung Rinjani di Pulau Lombok pada tanggal 3-4 November 2015 dan citra satu hari sebelum erupsi.

Satelit meteorologi merupakan instrumen utama dalam memonitor awan-awan vulkanik. Himawari-8 adalah satelit meteorologi geostasioner terbaru, yang diluncurkan oleh JMA (*Japan Meteorological Agency*) dan mulai beroperasi pada Juli 2015. Satelit ini memiliki 16 kanal, yang terdiri dari 3 kanal visible, 3 kanal near infrared dan 10 kanal infrared dengan resolusi temporal 10 menit, dan resolusi spasial hingga 0,5 km (Shimizu, 2015). Selain dimanfaatkan untuk memantau keadaan cuaca, seperti pergerakan siklon tropis dan terjadinya hujan lebat, Himawari-8 juga dapat dimanfaatkan untuk memantau aktifitas sebaran abu vulkanik gunung berapi yang membahayakan keselamatan penerbangan, kesehatan, infrastruktur dan kerugian materiil lainnya.

Pengamatan yang terus menerus serta identifikasi perkembangan abu vulkanik sangat diperlukan untuk meminimalkan risiko. Penggunaan Sataid diperlukan untuk mengkombinasikan warna RGB dari kanal 11, 13 dan 15 satelit Himawari-8 (Shimizu, 2015). Sataid merupakan sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh JMA sebagai aplikasi untuk menampilkan hasil citra satelit, analisa cuaca harian termasuk pemantauan siklon tropis. Salah satu versi Sataid yang terkenal ialah GMSLPD (*Geo Meteorological Satellite Loop for Dovorak*) yang memiliki fungsi spesial untuk

analisa Dvorak, *display* dan *overlay* citra satelit serta model numerik, yang memiliki banyak fungsi seperti *vertical cross-sectional chart* dan *time-series chart* (Tanaka, 2009).

Citra komposit RGB merupakan sebuah teknik untuk menampilkan gambar berwarna dengan memakai 3 warna primer. Dalam proses pencitraan satelit, teknik RGB dipakai untuk mengkombinasikan beberapa kanal satelit untuk membuat sebuah gambar yang lebih baik daripada hanya menggunakan sebuah kanal (Shimizu, 2015).

Terdapat dua metode algoritma untuk abu vulkanik yang dimodifikasi oleh JMA untuk Himawari-8 (Bessho, 2016) yaitu algoritma EUMETSAT (Prata, 2011) dan algoritma NOAA/NESDIS (Pavolonis dan Sieglaff, 2012) Dalam penelitian ini metode algoritma abu vulkanik yang digunakan yaitu algoritma EUMETSAT modifikasi JMA.

Interpretasi abu vulkanik dan panjang gelombang dalam teknik RGB Himawari-8 mengikuti EUMETSAT (Meted, 2013) yaitu:

- Awan SO₂: warna hijau aqua (lintang rendah dan tengah) dan warna kuning (pada lintang yang lebih tinggi)
- Abu vulkanik: tergantung ketinggian, suhu dan ukuran partikel, abu vulkanik dapat berwarna merah terang hingga merah muda (ketika dingin) dan berwarna magenta (ketika panas/hangat) dapat juga berwarna kuning jika komposisinya terdiri dari partikel kecil debu.
- Panjang gelombang kombinasi RGB yaitu komponen Merah: kanal 15 dikurangi kanal 13 dengan panjang gelombang 12.35 minus 10.45 μm IR *BT* (*Brightness Temperature difference* diistilahkan dengan S1, komponen Hijau: kanal 13 dikurangi kanal 11 dengan panjang gelombang 10.45 minus 8.60 μm IR *BT difference* diistilahkan dengan S2, dan komponen Biru: 10.45 μm IR dengan istilah I4 (untuk deteksi malam hari) atau 0.64 μm *Visible* dengan istilah VS (deteksi siang hari).

OMI (*Ozone Monitoring Instrument*) adalah pemantau *near Ultra Violet / Visible* spektrometer CDD satelit AURA EOS (*Earth Observing System*) NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) dari titik nadir bumi. OMI pertama diluncurkan pada tanggal 15 Juli 2004 dengan orbit polar (*sun-synchronous*) dan waktu melewati ekuator pada jam 1:45 pm. Pengumpulan data dimulai pada tanggal 17 Agustus 2004 (482 orbit) dan berlanjut hingga saat ini.

OMI merupakan kontribusi dari NIVR (*Netherlands Institute for Air and Space Development*) DELF berkolaborasi dengan FMI (*Finnish Meteorological Institute*) Finlandia untuk misi EOS AURA. Data SO₂ OMI merupakan total kolom vertikal SO₂ dengan satuan Dobson Unit (DU). 1 DU = 2,69 x 10⁶ molekul/cm² yang berada di PBL (*Planetary Boundary Layer*), troposfir bawah dan tengah, stratosfir bawah yang berasal dari sumber: pembakaran bahan bakar fosil, *smelter*, gas vulkanik dan erupsi vulkanik. Data SO₂ merupakan

produk OMI level 2 dengan resolusi spasial 13 x 24 km² pada titik nadir (Tim OMI, 2009).

SO₂ (*Sulphur dioxide*) memiliki penyerapan yang kuat pada gelombang ultra violet dan gangguan yang rendah di atmosfer. Pengukuran emisi SO₂ dari gunung berapi memberikan informasi yang bermanfaat dalam monitoring gunung berapi dan mitigasi bencana. Erupsi gunung berapi seringnya didahului dengan adanya perubahan emisi SO₂ (Daag *et al.*, 1996; McGee *et al.*, 2010) dan dapat mengindikasikan proses dalam gunung berapi seperti *influx*/masuknya magma baru (Daag *et al.*, 1996), penutupan saluran (Fischer *et al.*, 1996; Carn *et al.*, 2008) atau pergerakan air hidrotermal (Symonds *et al.*, 2001).

Awan erupsi gunung berapi sering mengandung abu selain SO₂ dan (*spesies volatile*/ yang mudah menguap) sehingga deteksi emisi SO₂ berbasis satelit dapat digunakan untuk melacak keberadaan awan abu vulkanik dan berpotensi membantu mengurangi bahaya abu untuk penerbangan ketika pendeteksi abu vulkanik secara konvensional tidak dapat diaplikasikan (Carn *et al.*, 2009 ; Thomas dan Prata, 2011).

Lopez *et al.* (2013) melakukan validasi emisi SO₂ berdasarkan OMI dengan peralatan airborne SO₂ menunjukkan korelasi sebesar 0,75 pada kasus erupsi Gunung Redoubt Alaska. Sensitivitas pengukuran SO₂ oleh OMI pada Gunung Soufriere Hill, Montserrat menunjukkan secara rata-rata OMI dapat mendeteksi gumpalan gas SO₂ 4 – 6 kali lebih sering selama periode ebusif dibandingkan pada periode tenang selama tahun 2008-2010. OMI sangat baik dalam memantau gunung tersebut selama periode pertumbuhan kerucut lava dan aktivitas eksplosif (Hayer *et al.*, 2016). Monitoring gas SO₂ menggunakan sensor OMI pada satelit EOS-AURA memungkinkan untuk memonitor aktivitas dan erupsi vulkanik dalam skala global dan

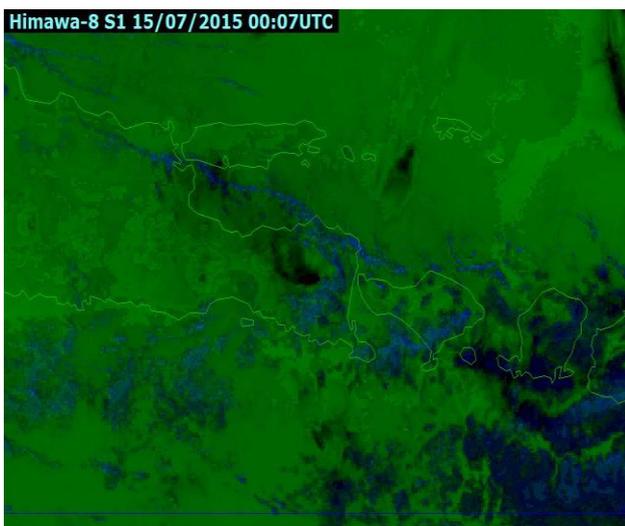
berbasis harian yang bermanfaat untuk deteksi dini pemantauan abu vulkanik (Levelt *et al.*, 2006 ; Carn *et al.*, 2008).

Teknik penginderaan telah banyak menyumbang pendefinisian paradigma baru dalam pengamatan vulkanologi (Pieri dan Abram S, 2004). Pengamatan, pemahaman dan prediksi bahaya di sekitar lingkungan gunung berapi yang lebih baik dapat dilakukan dengan penginderaan jauh melalui pengamatan spektrum citra (hiperspektral citra) baik berdasarkan pantulan surya maupun proporsi termal spektrum salah satunya adalah dengan identifikasi deformasi SO₂ di permukaan dan pemantauan debu vulkanik (Tralli *et al.*, 2005).

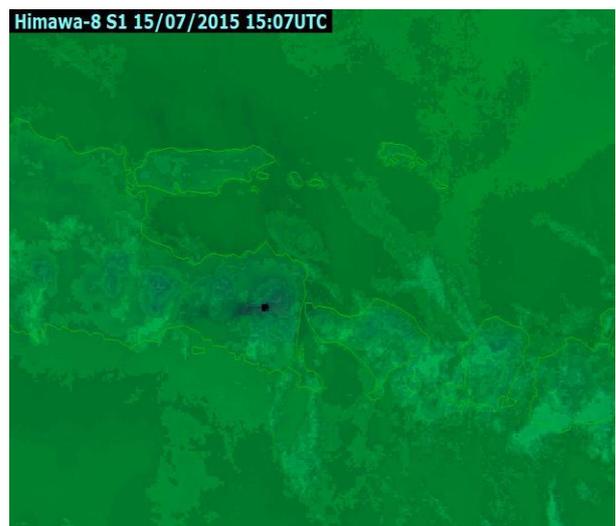
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gunung Raung, 16-17 Juli 2015

Erupsi Gunung Raung pada tanggal 16 dan 17 Juli 2015 berdasarkan pantauan satelit Himawari-8 disajikan pada **Gambar 2** hingga **Gambar 5**. Kombinasi warna RGB dari kanal 11, 13 dan 15 satelit Himawari-8 mendeteksi abu vulkanik dengan warna merah. Analisis spektral warna merah menandakan adanya abu vulkanik keluaran dari erupsi gunung. Pantauan pada satu hari sebelumnya yaitu pada tanggal 15 Juli 2015 pada **Gambar 2a** dan **2b** menunjukkan belum ada penampakan abu vulkanik tapi hanya menunjukkan adanya sebaran awan konvektif penghasil hujan. **Gambar 3a** merupakan pantauan pada 16 Juli 2015 pada jam 00 UTC yang menunjukkan sebaran abu vulkanik Gunung Raung mengarah ke barat laut hingga sejauh 152 km. Sedangkan pada malam hari pukul 15 UTC, seperti pada **Gambar 3b**, nampak sebaran abu vulkanik bergerak ke arah barat daya sejauh 156 km.

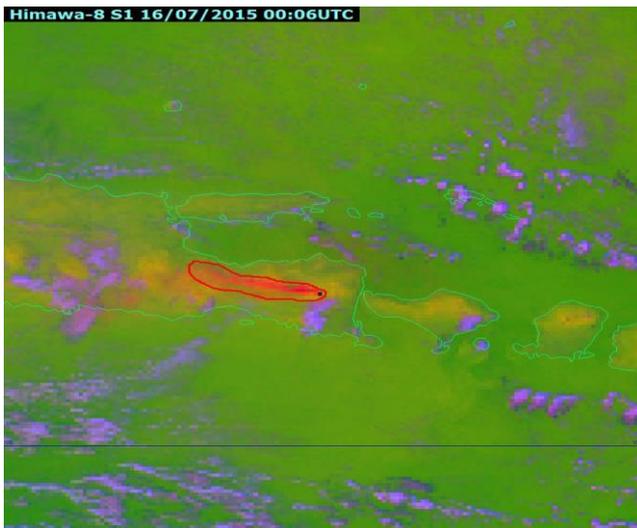


(a)

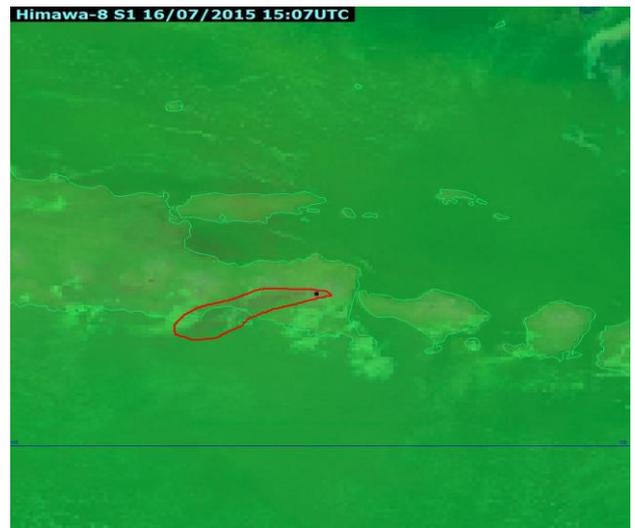


(b)

Gambar 2. Pantauan Sebelum Kejadian Erupsi Gunung Raung oleh Satelit Himawari-8 Tanggal 15 Juli 2015 (a) Jam 00 UTC. (b) Jam 15 UTC.

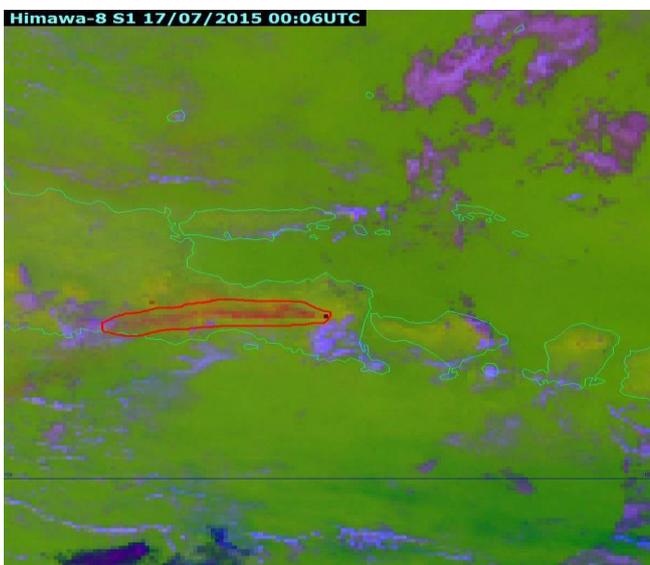


(a)

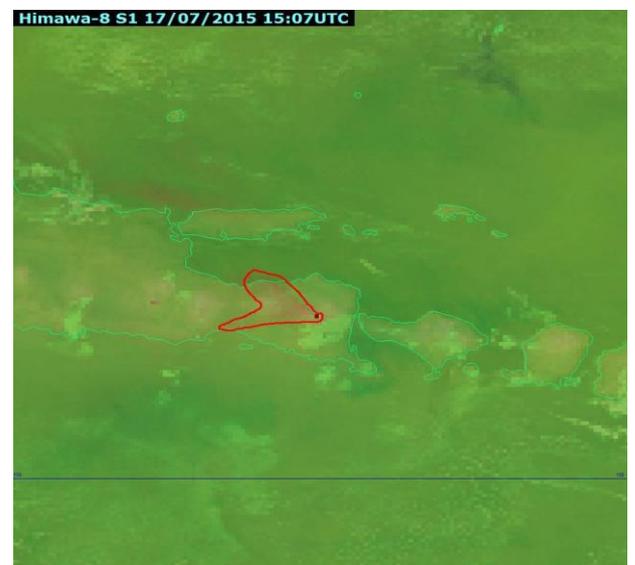


(b)

Gambar 3. Pantauan Sebaran Abu Vulkanik Gunung Raung oleh Satelit Himawari-8 Tanggal 16 Juli 2015 (a) Jam 00 UTC. (b) Jam 15 UTC.



(a)



(b)

Gambar 4. Pantauan Sebaran Abu Vulkanik Gunung Raung oleh Satelit Himawari-8 Tanggal 17 Juli 2015 (a) Jam 00 UTC. (b) Jam 15 UTC

Gambar 4a merupakan pantauan citra satelit Himawari-8 pada 17 Juli 2015 pada jam 00 UTC yang menunjukkan sebaran abu vulkanik Gunung Raung yang mengarah ke barat hingga sejauh 224 km. Sedangkan pada malam hari pukul 15 UTC, seperti pada **Gambar 4b**, nampak sebaran abu vulkanik masih bergerak ke arah barat sejauh 126 km.

Berdasarkan pemantauan satelit OMI yang disajikan pada **Gambar 5** di wilayah sekitar Gunung Raung, pada tanggal 14 Juli seperti **Gambar 5a** emisi gas SO₂ sebesar 1,0 hingga 2,02 DU dengan luasan yang terdampak sekitar 42.735 km². Hasil pantauan ini melengkapi pantauan satelit Himawari-8 karena adanya tutupan awan. Pada tanggal 15 Juli seperti pada **Gambar 5b** tidak terpotret oleh OMI wilayah sekitar Gunung Raung, namun sebaran SO₂ mulai menyebar ke arah barat dan semakin meluas pada **Gambar 5c** dan **Gambar 5d** hingga seluas

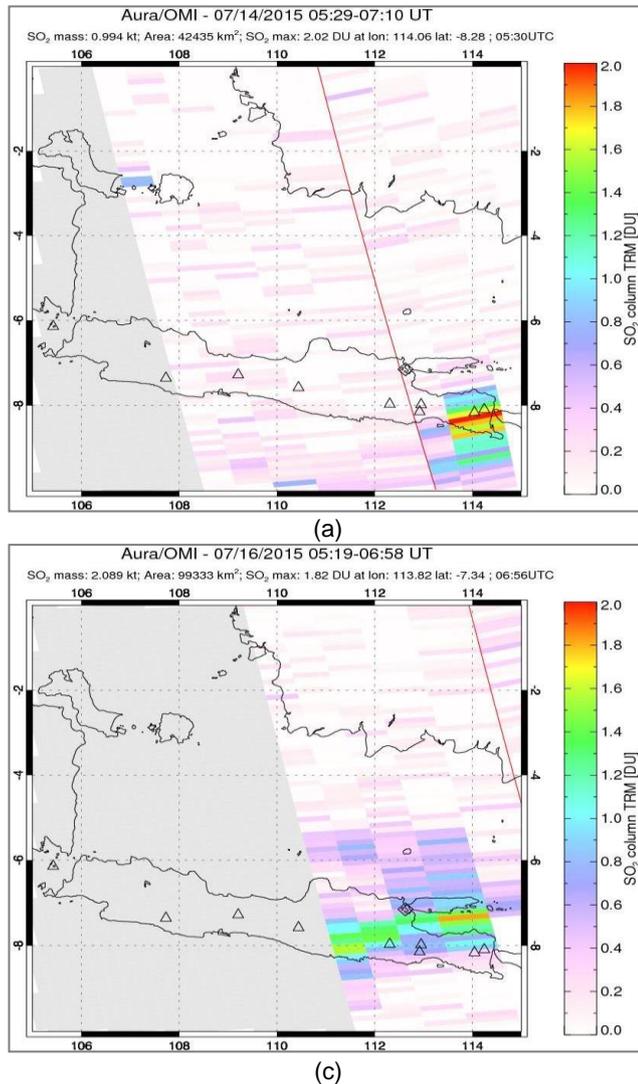
222.403 km². Pada tanggal 16 Juli terdeteksi emisi gas SO₂ hingga 1,82 DU dan paling tinggi pada tanggal 17 Juli hingga sebesar 2,20 DU.

Menurut Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi Badan Geologi (PVMBG, 2015) pada tanggal 17 – 22 Juli 2015 terdapat pergerakan magma di Gunung Raung dari tempat yang dalam ke tempat yang lebih dangkal, terjadi pula kejadian gempa vulkanik yang cukup tinggi dan level aktivitas berada pada level siaga. Penelitian mengenai deteksi gejala erupsi Gunung Raung pernah dilakukan oleh Suwarsono *et al.* (2015) dengan menggunakan data satelit Landsat-8 dan MODIS yang menitik beratkan pada spektrum termal dengan parameter NTI (*Normalized Thermal Index*) dari data MODIS. Gejala erupsi dapat diketahui dari nilai NTI di daerah kaldera yang meningkat dengan nilai ambang NTI = 0,06.

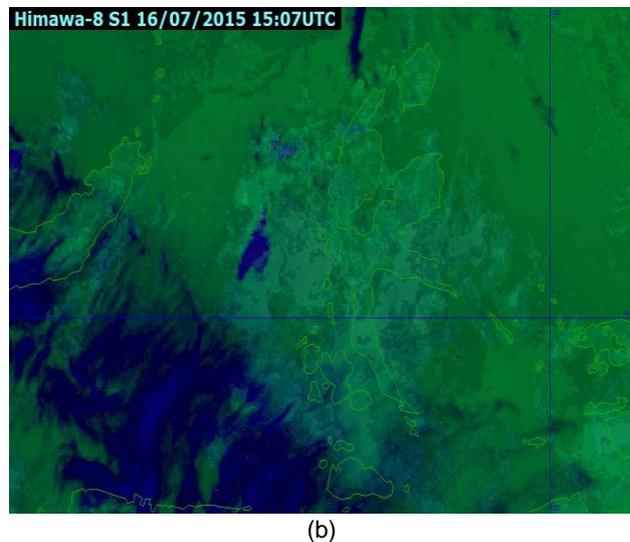
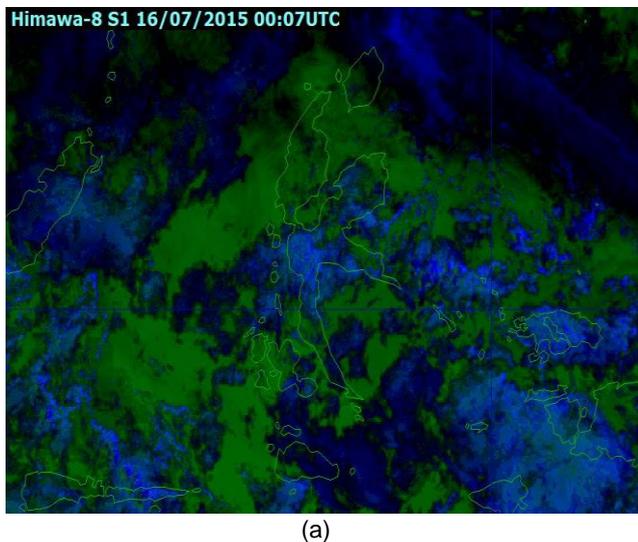
Gunung Gamalama, 17-18 Juli 2015

Pemantauan abu vulkanik pada kejadian erupsi Gunung Gamalama pada tanggal 17 – 18 Juli 2015 seperti yang disajikan pada **Gambar 6** hingga

Gambar 9. Pemantauan Himawari-8 pada satu hari sebelumnya tanggal 16 Juli 2015 disajikan pada **Gambar 6a** dan **6b** belum menunjukkan adanya abu vulkanik, tutupan awan cukup banyak dan tidak terdeteksi adanya abu vulkanik.



Gambar 5. Pantauan Sebaran Abu Vulkanik Gunung Raung oleh Satelit OMI Tanggal 14 Juli (a) 15 Juli (b) 16 Juli (c) dan 17 Juli (d) Tahun 2015.

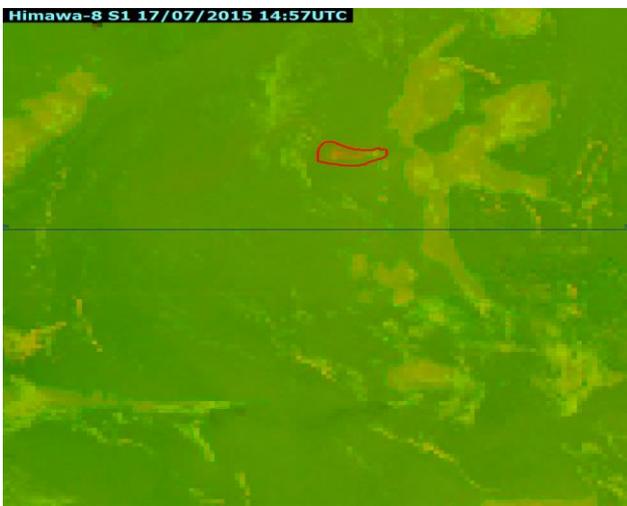


Gambar 6. Pantauan Sebelum Kejadian Erupsi Gunung Gamalama oleh Satelit Himawari-8 Tanggal 16 Juli 2015 (a) Jam 00 UTC. (b) Jam 15 UTC.

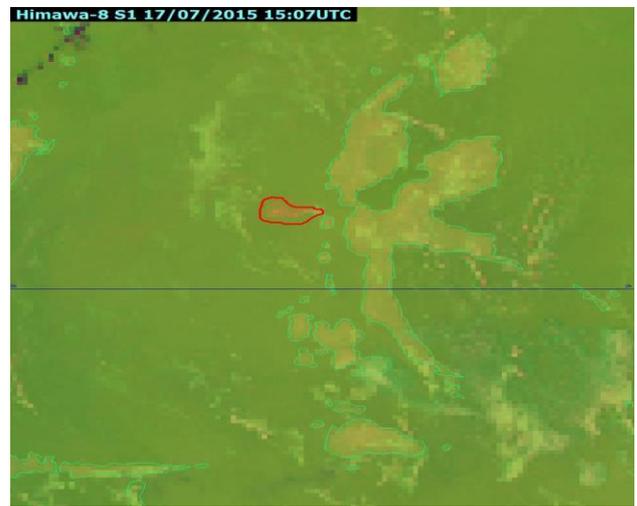
Gambar 7a merupakan pantauan citra satelit Himawari-8 pada 17 Juli 2015 pada jam 00 UTC yang menunjukkan sebaran abu vulkanik Gunung Gamalama yang mengarah ke barat sejauh 85 km. Sedangkan pada malam hari pukul 15 UTC, seperti pada **Gambar 7b**, nampak sebaran abu vulkanik masih bergerak ke arah barat sejauh 53 km. Pada tanggal 18 Juli 2015, seperti pada **Gambar 8a** hasil pantauan citra satelit Himawari-8 pada jam 00 UTC menunjukkan sebaran abu vulkanik gunung Gamalama yang mengarah ke barat hingga sejauh 130 km. Sedangkan pada malam hari pukul 15 UTC, seperti pada **Gambar 8b**, tampak sebaran abu vulkanik masih bergerak ke arah barat sejauh 38 km.

Sebaran Gas SO₂ hasil abu vulkanik yang terdeteksi oleh OMI pada kejadian erupsi Gunung Gamalama disajikan pada **Gambar 9**. Pantauan

OMI pada tanggal 15 Juli 2015 pada Gambar 9a menunjukkan belum adanya sebaran SO₂ dari Gunung Gamalama. Sedangkan untuk tanggal 16 Juli 2015 disajikan pada **Gambar 9b**, namun wilayah Pulau Halmahera tidak terpotret sehingga tidak diketahui kondisi sebaran gas SO₂ pada tanggal tersebut. Pada tanggal 17 Juli 2015 gas SO₂ yang terdeteksi oleh OMI hanya sebesar 0,52 DU disajikan pada **Gambar 9c**, sedangkan pada tanggal 18 Juli 2015 pada **Gambar 9d** terpantau emisi gas SO₂ hingga 1,77 DU di wilayah sekitar Gunung Gamalama hingga cakupan seluas 24.159 km² dengan arah sebaran ke arah barat. Menurut PVMBG, Gunung Gamalama mengalami erupsi pada tanggal 16 Juli 2015 dilaporkan bahwa material piroklastik masih berada dalam radius yang direkomendasikan pada level tingkat waspada.

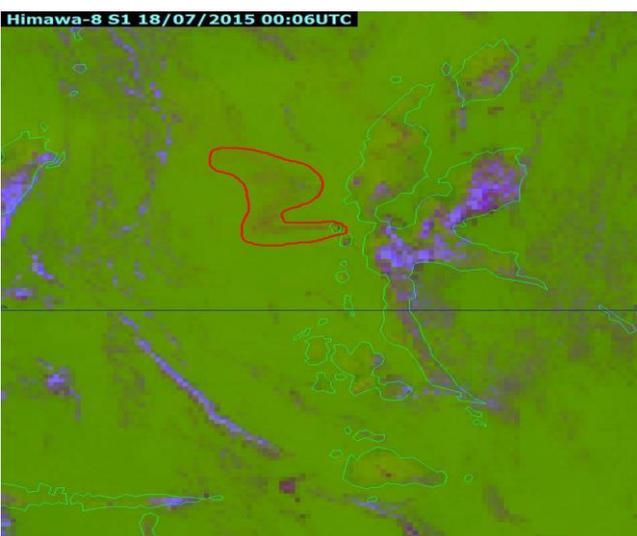


(a)

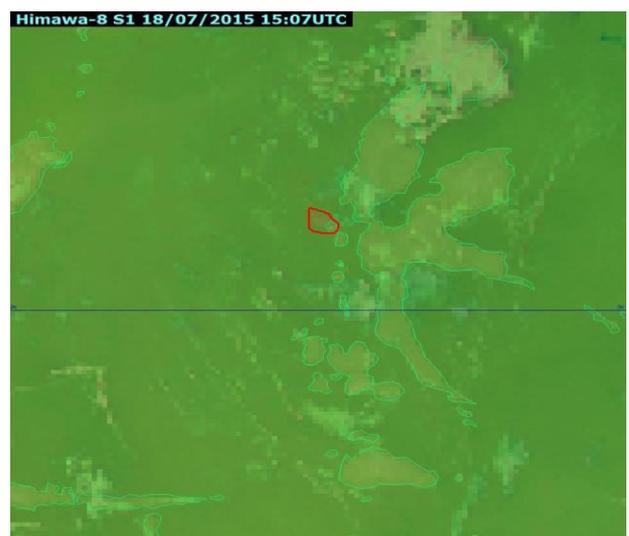


(b)

Gambar 7. Pantauan Sebaran Abu Vulkanik Gunung Gamalama oleh Satelit Himawari-8 Tanggal 17 Juli 2015 (a) Jam 00 UTC. (b) Jam 15 UTC

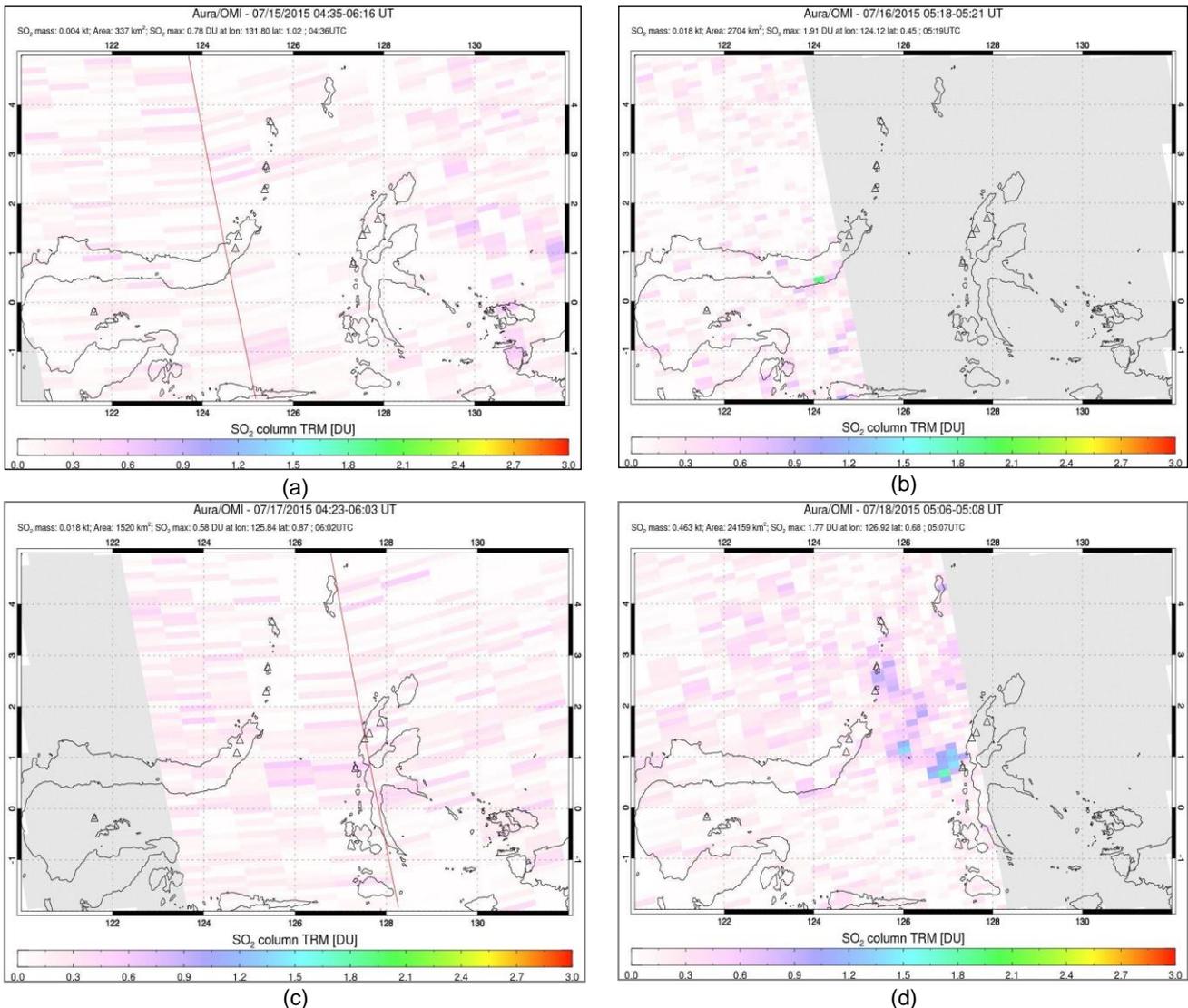


(a)



(b)

Gambar 8. Pantauan Sebaran Abu Vulkanik Gunung Gamalama oleh Satelit Himawari-8 Tanggal 18 Juli 2015 (a) Jam 00 UTC. (b) Jam 15 UTC.



Gambar 9. Pantauan Sebaran Abu Vulkanik Gunung Gamalama oleh Satelit OMI Tanggal (a) 15 Juli (b) 16 Juli (c) 17 Juli (d) 18 Juli Tahun 2015.

Gunung Rinjani, 3-4 November 2015

Pantauan kejadian erupsi Gunung Rinjani pada tanggal 3 – 4 November 2015 menggunakan satelit Himawari-8 dan OMI ditunjukkan pada **Gambar 10** hingga **Gambar 13**. Pada tanggal 2 November 2015 yang disajikan pada **Gambar 10a** dan **10b** menunjukkan belum adanya abu vulkanik pada citra Himawari-8. **Gambar 11a** merupakan pantauan sebaran abu vulkanik Gunung Rinjani pada 3 November 2015 pada jam 03 UTC. Hasil pantauan menunjukkan pergerakan abu vulkanik ke arah barat hingga ke Pulau Bali sejauh 150 km. Sedangkan pada malam hari pukul 21 UTC, seperti pada **Gambar 11b**, tampak sebaran abu vulkanik bergerak ke arah barat daya sejauh 186 km.

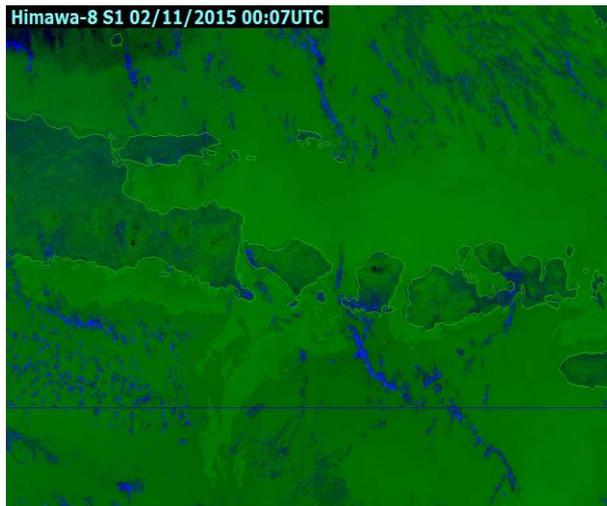
Gambar 12 merupakan pantauan sebaran abu vulkanik Gunung Rinjani pada 4 November 2015 pada jam 03 UTC yang dipantau oleh satelit Himawari-8. Hasil pantauan menunjukkan pergerakan abu vulkanik ke arah barat daya hingga ke Jawa Timur dan Samudera Hindia sejauh 371 km disajikan pada **Gambar 12a**. Sedangkan pada malam hari pukul 15 UTC, seperti yang disajikan

pada **Gambar 12b**, nampak sebaran abu vulkanik bergerak ke arah barat sejauh 218 km. Berdasarkan satelit OMI, emisi gas SO₂ di sekitar Gunung Rinjani pada tanggal 2 November 2015 tidak terpotret disajikan pada **Gambar 13a**, sedangkan pada 3 November 2015 pada **Gambar 13b** mencapai 0,89 DU dengan sebaran ke arah barat hingga ke Pulau Bali. Area yang terdampak seluas 4.680 km². Sedangkan pada tanggal 4 November 2015 tidak terpotret oleh satelit OMI di wilayah Lombok seperti disajikan pada **Gambar 13c**, namun terlihat sebaran abu vulkanik sudah mencapai Pulau Jawa dengan arah sebaran ke arah barat daya (Samudera Hindia).

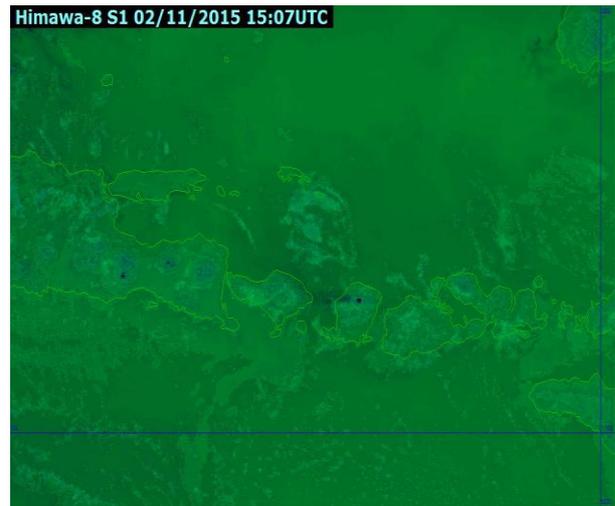
Gambar 13d menunjukkan pada tanggal 5 November sebaran abu vulkanik sudah ke arah barat daya. Emisi SO₂ yang terdeteksi hingga 0,98 DU dan luasan 7.499 km² pada tanggal 5 November. Menurut PVMBG, pada tanggal 2–5 November 2015 terjadi letusan Gunung Rinjani yang mengeluarkan asap kawah coklat dengan peningkatan gempa letusan yang berkorelasi dengan erupsi secara terus menerus dari kerucut anak Gunung Rinjani. Erupsi anak Gunung Rinjani

menghasilkan abu vulkanik, jatuhnya piroklastik dan aliran lava yang berada di dalam kaldera Rinjani.

Tingkat aktivitas Gunung Rinjani berada pada level waspada.

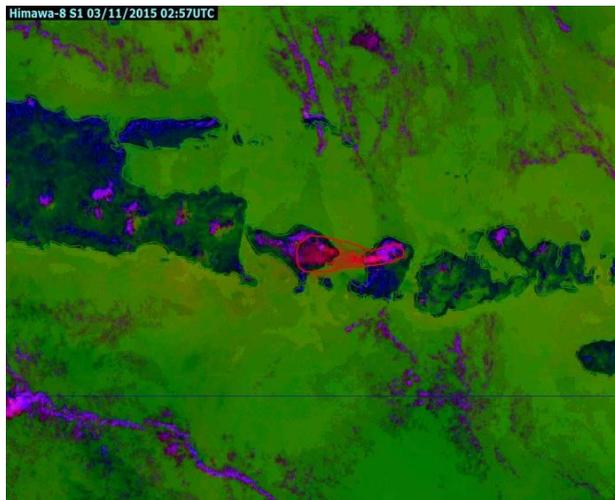


(a)

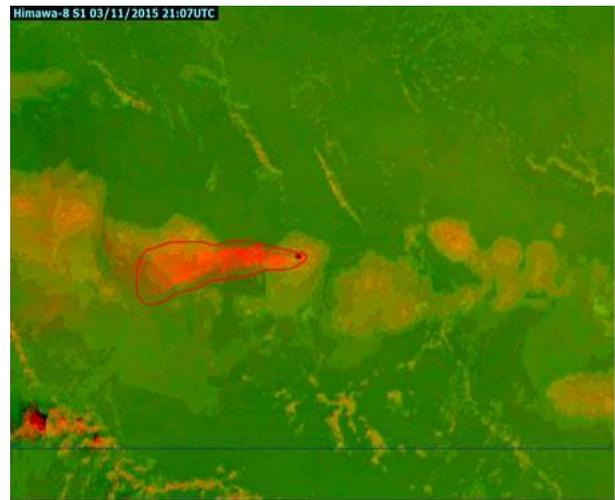


(b)

Gambar 10. Pantauan Sebelum Kejadian Erupsi Gunung Rinjani oleh Satelit Himawari-8 Tanggal 2 November 2015 (a) Jam 03 UTC. (b) Jam 15 UTC.

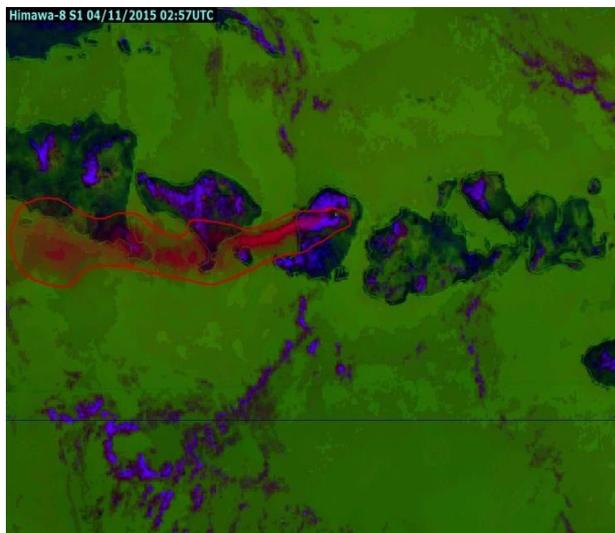


(a)

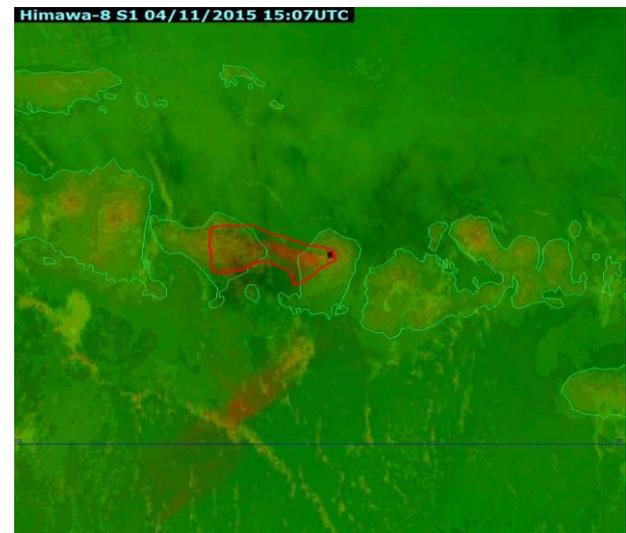


(b)

Gambar 11. Pantauan Sebaran Abu Vulkanik Gunung Rinjani oleh Satelit Himawari-8 Tanggal 3 November 2015 (a) Jam 03 UTC. (b) Jam 21 UTC

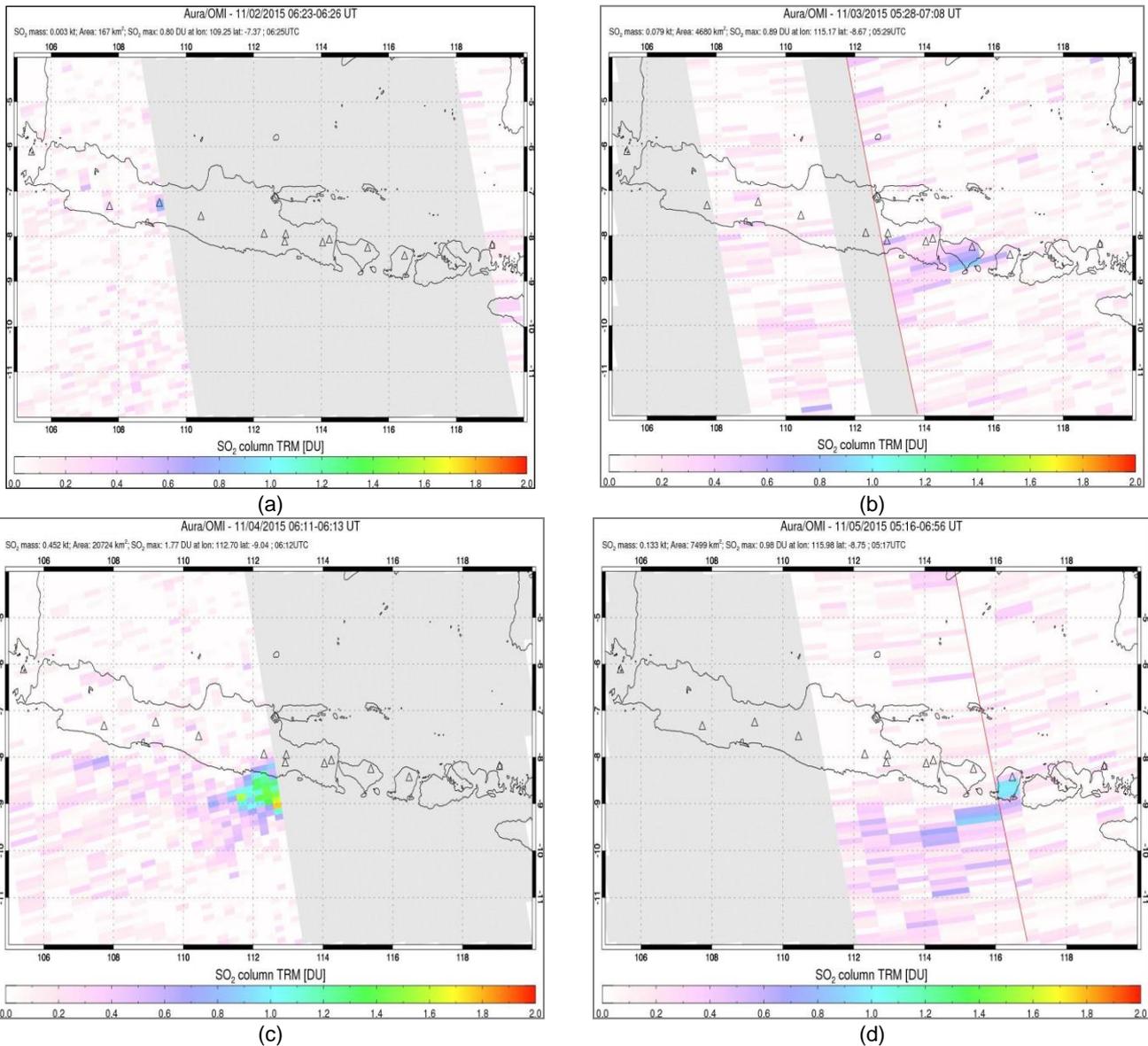


(a)



(b)

Gambar 12. Pantauan Sebaran Abu Vulkanik Gunung Rinjani oleh Satelit Himawari-8 Tanggal 4 November 2015 (a) Jam 03 UTC. (b) Jam 15 UTC.



Gambar 13. Pantauan Sebaran Abu Vulkanik Gunung Rinjani oleh satelit OMI Tanggal 2 November (a) 3 November (b) 4 November (c) 5 November (d) tahun 2015.

Analisis abu vulkanik erupsi Gunung Sinabung dan Kelud pada tahun 2014 sebelumnya pernah dilakukan oleh Stewart (2015) menggunakan MTSAT-2 dan OMI. Metode pantulan termal satu-kanal satelit MTSAT-2 dipasangkan dengan data massa gas SO₂ OMI dapat digunakan untuk menginterpretasikan proses vulkanik termasuk identifikasi aktivitas kerucut lava dan proses emplasemen kerucut Gunung Sinabung. Metode *Brightness Temperature Difference* dari satelit MTSAT-2 digunakan untuk mendeteksi debu vulkanik Gunung Kelud, namun data SO₂ tidak diperoleh oleh satelit OMI. Hasil analisis kedua satelit saling melengkapi untuk pemantauan abu vulkanik pada kedua gunung tersebut.

Satelit Himawari-8 merupakan kelanjutan dari satelit MTSAT-2, adanya Instrumen AHI (*Advanced Himawari Imagers*) meningkatkan performa Himawari-8 melebihi MTSAT-2 yaitu dalam hal jumlah kanal, resolusi spasial dan frekuensi temporal. AHI memiliki 16 kanal lebih lengkap dibandingkan MTSAT-2 dengan lima kanal, resolusi

spasial 0,5-2 km sedangkan MTSAT-2 1- 4 km dan temporal setiap 10 menit dibandingkan setiap 30 menit pada MTSAT-2 (Bessho *et al.*, 2016). Beberapa kanal VIS (visual) dan IR (Infra merah) MTSAT-2 memiliki karakteristik yang sama dengan Himawari-8 sehingga dapat dilakukan untuk melanjutkan penggunaan kanal-kanal tersebut (Murata *et al.*, 2015). Penggunaan Himawari-8 dalam memonitor abu vulkanik Gunung Klyuchevskoy di Semenanjung Kamchatka, Rusia mengalami peningkatan performa dibandingkan MTSAT-2 (Cimss, 2015).

Penggunaan satelit Himawari-8 yang dilengkapi dengan satelit OMI cukup baik dan dapat digunakan untuk pemantauan abu vulkanik dan arah penyebaran abu vulkanik. Kendala tutupan awan pada penggunaan satelit Himawari-8 dapat dilengkapi dengan menggunakan pantauan satelit OMI dalam mendeteksi abu vulkanik. Penggunaan satelit dengan resolusi temporal dan spasial tinggi serta geostasioner dari satelit Himawari-8 dilengkapi dengan satelit polar dari satelit OMI yang lebih

sensitif terhadap SO₂ dapat memberikan pengamatan yang lebih komprehensif mengenai proses dinamik gunung berapi.

KESIMPULAN

Sebaran abu vulkanik Gunung Raung dan Gamalama pada bulan Juli dan Gunung Rinjani pada bulan November 2015 dapat terpantau oleh penginderaan jauh satelit Himawari-8 dan OMI. Warna merah hasil dari teknik kombinasi RGB *false color* mengindikasikan adanya sebaran abu vulkanik. Sebaran abu vulkanik yang ditampilkan menggunakan kombinasi 3 kanal, yaitu S1 sebagai komponen warna merah (*Red*), S2 sebagai komponen warna Hijau (*Green*) dan I4 atau VS

DAFTAR PUSTAKA

- Barasa, R. F., Rauf, A., & Sembiring, M. (2013). *Dampak Debu Vulkanik Letusan Gunung Sinabung terhadap Kadar Cu, Pb, dan B Tanah di Kabupaten Karo*. Agroekoteknologi, 1(4).
- Bessho, K., Hayashi, M., Ikeda, A., Inoue, H., Kumagai, Y., Miyakawa, T., ... & Sasaki, Y. (2016). *An Introduction to Himawari-8/9—Japan's New-Generation Geostationary Meteorological Satellites*. Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II, 94(2), 151-183.
- Cimss. (2015). *Improvement in Volcanic Ash Detection with Himawari-8*. Disitasi dari <http://cimss.ssec.wisc.edu/goes/blog/archives/17816> [3 Desember 2016]
- Carn, S. A., Krueger, A. J., Arellano, S., Krotkov, N. A., & Yang, K. (2008). *Daily Monitoring of Ecuadorian Volcanic Degassing from Space*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 176(1), 141-150.
- Carn, S. A., Krueger, A. J., Krotkov, N. A., Yang, K., & Evans, K. (2009). *Tracking Volcanic Sulfur Dioxide Clouds for Aviation Hazard Mitigation*. Natural Hazards, 51(2), 325-343.
- Daag, A., Tubianosa, B., Newhall, C., Tungol, N., Javier, D., Dolan, M., Delos-Reyese, P., Arboleda, R., Martinez, M., & Regalado, T., (1996). *Monitoring sulfur dioxide emissions at Mount Pinatubo*. In: Newhall, C., Punongbayan, R. (Eds.), *Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines*. University of Washington, Seattle, pp. 409-414.
- Damby, D. E., Horwell, C. J., Baxter, P. J., Delmelle, P., Donaldson, K., Dunster, C., Tetley, T. D. (2013). *The Respiratory Health Hazard of Tephra from the 2010 Centennial Eruption of Merapi with Implications for Occupational Mining of Deposits*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 261, 376-387.
- Fischer, T. P., Arehart, G. B., Sturchio, N. C., & Williams, S. N. (1996). *The Relationship Between Fumarole Gas Composition and Eruptive Activity at Galeras Volcano, Colombia*. Geology, 24(6), 531-534.
- Hayer, C. S., Wadge, G., Edmonds, M., & Christopher, T. (2016). *Sensitivity of OMI SO₂ Measurements to Variable Eruptive Behaviour at Soufrière Hills Volcano, Montserrat*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 312, 1-10.
- Hinga, B. D. R. (2015). *Ring of Fire: An Encyclopedia of the Pacific Rim's Earthquakes, Tsunamis, and* sebagai komponen warna Biru (*Blue*), sehingga abu vulkanik teramati dengan spektral warna merah terang. Kelebihan satelit Himawari-8 adalah memiliki resolusi temporal yang tinggi yaitu setiap 10 menit sehingga dapat memantau aktifitas abu vulkanik setiap saat secara *real time*. Deteksi emisi SO₂ dari satelit OMI dapat digunakan untuk melacak keberadaan abu vulkanik dan berpotensi membantu mengurangi bahaya abu baik untuk penerbangan, kesehatan, dan pertanian.
- ## UCAPAN TERIMA KASIH
- Ucapan terima kasih disampaikan kepada Sub Bidang Satelit Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika atas data satelit Himawari-8.
- Volcanoes: An Encyclopedia of the Pacific Rim's Earthquakes, Tsunamis, and Volcanoes*. ABC-CLIO.
- ICAO [International Civil Aviation Organization]. (2007). *Manual on Volcanic Ash, Radioactive Material and Toxic Chemical Clouds*. ICAO-2nd Edition, 2007.
- Kaneko, T., Yasuda, A., Aoki, Y., Kajiwara, K., & Kitagawa, S. (2010). *Realtime Monitoring of Active Volcanoes in East Asia using MODIS and MTSAT data and its Advancement by GCOM-C1 SGLI*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, 38.
- Lee, K. H., & Lee, K. T. (2015). *Volcanic Ash Retrieval Using a New Geostationary Satellite*. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40(7), 67.
- Levelt, P. F., van den Oord, G. H., Dobber, M. R., Malkki, A., Visser, H., de Vries, J., ... & Saari, H. (2006). *The Ozone Monitoring Instrument*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 44(5), 1093-1101.
- Lopez, T., Carn, S., Werner, C., Fee, D., Kelly, P., Doukas, M., ... & Schneider, D. (2013). *Evaluation of Redoubt Volcano's Sulfur Dioxide Emissions by the Ozone Monitoring Instrument*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 259, 290-307.
- McGee, K. A., Doukas, M. P., McGimsey, R. G., Neal, C. A., & Wessels, R. L. (2010). *Emission of SO₂, CO₂, and H₂S from Augustine Volcano, 2002-2008: Chapter 26 in The 2006 Eruption of Augustine Volcano, Alaska* (No. 1769-26, pp. 609-627). US Geological Survey.
- Meted. (2013). *Multispectral Satellite Applications : RGB Products Explained*. Disitasi dari https://www.meted.ucar.edu/satmet/multispectral_top_ics/rgb/print.php#page_6-11-0 [3 Desember 2016]
- Murata, H., Takahashi, M., & Kosaka, Y. (2015). *VIS and IR Bands of Himawari-8/AHI Compatible with those of MTSAT-2/Imager*. MSC technical note, 60, 1-18.
- Pavolonis, M., and J. Sieglaff. (2012.) *GOES-R Advanced Baseline Imager (ABI) Algorithm Theoretical Basis Document For Volcanic Ash (Detection and Height)*. Version 3.0, NOAA NESDIS Center for Satellite Applications and Research. [Available at <http://www.goes-r.gov/products/baseline-volcanic-ash.html>.]
- Pavolonis, M., Sieglaff, J., & Cintineo, J. (2013). *Development of a System for Quantitatively Analyzing Volcanic Clouds*. 2nd IUGG-WMO Workshop on Ash Dispersal Forecast and Civil Aviation November 18 -20, 2013.
- Pieri, D., & Abrams, M. (2004). *ASTER Watches the World's Volcanoes: a New Paradigm for Volcanological Observations from Orbit*. Journal of

- Volcanology and Geothermal Research, 135(1), 13-28.
- Pologne, L. (2015). *Tools and dispersion models For Observing, and Forecasting Volcanic Ash*. WMO Seminar /Workshop for Aeronautical Competencies and SIGMETs NAM/CAR Regions. Costa Rica, 25-27 August 2015.
- Prata, F., (2011). *Volcanic Information Derived from Satellite Data*. EUMETSAT Volcanic Ash and SO₂ Pilot Project Report, EUMETSAT.
- Prata, F., (2013). *Volcanic Ash Products, Science and Applications*. CGMS-41. Tsukuba, 8–12 July 2013.
- Prata, A. J., Zehner, C., & Stebel, K. (2013). *Earth observations and volcanic ash*. In A report of the ESA/Eumesat Workshop (pp. 4-7).
- PVMBG [Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi]. (2015). *Evaluasi Tingkat Aktivitas Level III (siaga) G. Raung hingga 24 Juli 2015*. Disitasi dari <http://www.vsi.esdm.go.id> [15 Oktober 2016]
- Rahayu, R., Ariyanto, D. P., Komariah, K., Hartati, S., Syamsiyah, J., & Dewi, W. S. (2014). *Dampak Erupsi Gunung Merapi terhadap Lahan dan Upaya-Upaya Pemulihannya*. Caraka Tani-Jurnal Ilmu Ilmu Pertanian, 29(1), 61-72.
- Shimizu, A. (2015). *Outline of RGB Composite Imagery*. Meteorological Satellite Center. Japan Meteorology Agency (JMA).2015.
- Suwarsono, Hidayat,Suprpto, T., Yulianto, F., Sari, N. M.,Parwati & Asriningrum, W. (2015). *Deteksi Gejala Erupsi Strombolian Gunungapi Raung Jawa Timur Menggunakan Normalized Thermal Index dari Data Modis*. Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan data Citra Digital, 12(2).
- Symonds, R. B., Gerlach, T. M., & Reed, M. H. (2001). *Magmatic Gas Scrubbing: Implications for Volcano Monitoring*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 108(1), 303-341.
- Tim OMI. (2009). *Ozone Monitoring Instrument (OMI) data user's guide*. 2012-01-05) http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/Aura/data-holdings/additional/documentation/README_OMI_DUG.pdf. [5 Oktober 2016]
- Thomas, H. E., & Prata, A. J. (2011). *Sulphur Dioxide as a Volcanic ash Proxy during the April–May 2010 Eruption of Eyjafjallajökull Volcano, Iceland*. Atmos. Chem. Phys, 11(14), 6871-6880.
- Topinka, USGS.1997. *Map of Indonesian Volcanoes*.U.S. Geological Survey.
- Tralli, D. M., Blom, R. G., Zlotnicki, V., Donnellan, A., & Evans, D. L. (2005). *Satellite remote sensing of earthquake, volcano, flood, landslide and coastal inundation hazards*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 59(4), 185-198.
- Tupper, A., Carn, S., Davey, J., Kamada, Y., Potts, R., Prata, F., & Tokuno, M. (2004). *An Evaluation of Volcanic Cloud Detection Techniques during Recent Significant Eruptions in the Western 'Ring of Fire'*. Remote Sensing of Environment, 91(1), 27-46.
- USGS (U.S Geological survey). (1999). *This Dynamic Earth : The Story of Plate Tectonic*. Disitasi dari <http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/dynamic.html> [27 agustus 2016].

MODEL KEKRITISIAN INDEKS LINGKUNGAN DENGAN ALGORITMA URBAN HEAT ISLAND DI KOTA SEMARANG

(Model of Environmental Criticality Index with Urban Heat Island Algoritm in Semarang City)

Bandi Sasmito dan Andri Suprayogi

Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
E-mail: bandy.geo96@gmail.com

Diterima (received):09 September 2016; Direvisi (revised):13 Desember 2016; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted):31 Maret 2017

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur di Kota Semarang berkembang sangat pesat sebagai pusat bisnis, ekonomi, industri, hiburan, dan pendidikan. Pembangunan memberikan dampak positif bagi masyarakat kota, namun terdapat juga dampak negatif yang terjadi yaitu penurunan kualitas lingkungan. Meningkatnya suhu udara adalah salah satu dampak dari penurunan kualitas lingkungan. Puncak atap dan dinding dari gedung bertingkat, tempat parkir, jalan, dan trotoar cenderung memiliki albedo yang rendah. Permukaan rendah albedo menyerap energi panas radiasi matahari lebih tinggi dari objek sekitarnya. Akibatnya, jumlah kelebihan energi panas menumpuk di sekitarnya menjadi pulau-pulau panas atau *Urban Heat Island* (UHI). Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi terjadinya fenomena kekritisian lingkungan akibat UHI dengan menganalisis suhu permukaan dan sebaran vegetasi di wilayah studi. Ada dua langkah metode dalam penelitian ini, pertama adalah membuat peta sebaran suhu permukaan tanah dan peta sebaran kerapatan vegetasi di tahun 2013 sampai 2016. Peta suhu permukaan dibuat dengan model algoritma *Land Surface Temperature* (LST) dan sebaran vegetasi adalah dengan algoritma *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). LST didapatkan dengan mengolah Citra Landsat-8 band TIRS (*Thermal Infrared Red Sensor*), sedangkan NDVI didapatkan dengan mengolah Citra Landsat-8 band OLI (*Operation Land Imager*). Langkah kedua adalah membuat peta kekritisian lingkungan dengan algoritma ECI (*Environmental Criticality Index*). ECI didapatkan dari nilai LST dibagi NDVI yang direntangkan histogram spektralnya menjadi 8 bit. Melalui hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa suhu permukaan di Kota Semarang meningkat dan sebaran kelas suhu tinggi meluas setiap tahun. Kekritisian lingkungan akibat UHI terdeteksi di pusat kota, yaitu wilayah Utara Kota Semarang.

Kata kunci: *Urban Heat Island* (UHI), *Land Surface Temperature* (LST), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Environmental Criticality Index* (ECI)

ABSTRACT

Infrastructure in Semarang City develops rapidly as a center of business, economics, industry, entertainment, and education. Development gives positive impact to citizen, however environmental degradation as the negative impact also occurred. Temperatures rising is one of environmental degradation impact. Roof top and wall of a building, parking lot, road, and sidewalk tend to have a low albedo. The low surface albedo absorbs thermal energy from solar radiation higher than the surrounding objects. As a result, the amount of excess heat accumulate in the vicinity into heat islands or Urban Heat Island (UHI). This study aims to detect the occurrence of environmental criticality due to UHI phenomenon by analyzing the surface temperature and the distribution of vegetation in the study area. There are two steps in this research, first step is to createland surface temperature distribution map and vegetation density distribution map in the year of 2013 to 2016. The surface temperature map created byLand Surface Temperature (LST) algorithm model and vegetation distribution created by Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)algorithm. LST is obtained by processing Landsat-8 band TIRS (Thermal Infrared Sensor Red), while the NDVI obtained by processing Landsat-8 band OLI (Operation Land Imager). The second step is to create environmental criticalitymap with ECI (Environmental Criticality Index) algorithm. ECI is obtained from LST value divided by NDVI spectral histogram stretched to 8 bits. From this research, can be concluded that the heat coverage in Semarang City increase and distribution of vegetation density index spread every year. Environmental criticality due to UHI occurred in downtown area, specifically in the northern side of Semarang City.

Keywords: *Urban Heat Island* (UHI), *Land Surface Temperature* (LST), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Environmental Criticality Index* (ECI)

PENDAHULUAN

Setengah populasi dunia tinggal di wilayah perkotaan. Kota sebagai pusat bisnis, ekonomi, industri, hiburan, dan pendidikan memicu terjadinya gelombang urbanisasi. Sementara itu, pembangunan infrastruktur di kota juga terus meningkat dengan pesat. Pesatnya pembangunan menimbulkan terjadinya dampak negatif, yaitu penurunan kualitas lingkungan. Meningkatnya suhu udara adalah salah satu dampak dari penurunan kualitas lingkungan.

Urban Heat Island (UHI) adalah fenomena yang terjadi di sebuah kota atau wilayah metropolitan yang secara signifikan lebih panas dibandingkan sekitarnya, akibat dari aktivitas yang lebih besar di wilayah tersebut. Fenomena ini pertama kali diselidiki dan dijelaskan oleh Luke Howard tahun 1818 (Babazadeh & Kumar, 2015). Meningkatnya suhu udara akibat UHI, terutama selama musim panas, dapat mempengaruhi lingkungan dan kualitas hidup. UHI berdampak meningkatnya konsumsi energi, polusi udara, dan gas rumah kaca yang pada akhirnya mempengaruhi kesehatan dan kenyamanan manusia yang ada disekitarnya (EPA, 2008). Puncak-puncak atap dan dinding dari gedung bertingkat, tempat parkir, jalan, dan trotoar cenderung memiliki albedo yang rendah. Permukaan rendah albedo menyerap energi panas dari radiasi matahari lebih tinggi dari objek sekitarnya. Akibatnya, jumlah kelebihan energi panas menumpuk di sekitarnya. Fenomena ini menyebabkan daerah perkotaan memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah pedesaan (Comarazamy *et al.*, 2010; Senanayake *et al.*, 2013).

Berkurangnya vegetasi adalah penyebab lain dari pembentukan UHI. Vegetasi dapat menurunkan suhu permukaan tanah/*Land Surface Temperature* (LST) dengan memberikan keteduhan. Vegetasi menurunkan suhu udara melalui proses evapotranspirasi, yaitu uap air dilepaskan ke atmosfer sekitarnya. Sayangnya vegetasi digantikan oleh permukaan tanah buatan seperti jalan, bangunan, trotoar, lapangan parkir beton, dan lain-lain (Hung *et al.*, 2010; Senanayake *et al.*, 2013). Sifat bahan yang digunakan dalam pembangunan struktur perkotaan menimbulkan emisivitas panas, sebagai sebab utama dalam pembentukan UHI. Limbah panas yang dihasilkan oleh pabrik, pendingin ruangan (AC) dan kendaraan bermotor di daerah perkotaan berkontribusi juga dalam pembentukan UHI (Senanayake *et al.*, 2013; Isima *et al.*, 2016; Li & Norford, 2016; Fazeli *et al.*, 2016).

Pembentukan UHI di daerah tropis bersamaan dengan perubahan iklim dapat membawa konsekuensi serius, sehingga mitigasi UHI harus menjadi bagian dari desain tataruang perkotaan masa kini dan masa depan. (Kolokotroni *et al.*, 2012; Krüger & Emmanuel, 2013)

Deteksi UHI dengan pengukuran lapangan langsung akan sulit dan memerlukan waktu yang lama pada wilayah kajian seluas wilayah perkotaan. Teknologi modern dibutuhkan untuk memecahkan masalah ini. Teknologi tersebut haruslah dapat digunakan untuk mendeteksi dengan cepat, efektif, dan efisien. Deteksi diperlukan dengan cepat untuk menganalisis kekritisian lingkungan akibat fenomena UHI, dan hasil analisisnya digunakan sebagai bahan untuk merencanakan pencegahan. Penginderaan jauh dapat memberikan solusi dalam pengamatan dan pengukuran fenomena UHI. Penginderaan jauh mempunyai keunggulan antara lain: data yang diperoleh dalam bentuk data digital; berbasis keruangan (spasial); dan analisis dapat meliputi area yang luas (Roy *et al.*, 2014; Loveland & Irons, 2016).

Pembangunan harus melihat semua aspek yang berhubungan dengan kondisi lingkungan, jika tidak maka akan menjadi bom waktu yang akan menyebabkan bencana di masa depan. Pembangunan di Kota Semarang sangat pesat, mulai dari pertumbuhan pusat-pusat bisnis, ekonomi, industri, perumahan, hiburan sampai dengan pendidikan. Pembangunan ini memungkinkan timbulnya efek buruk, salah satunya adalah terjadinya degradasi lingkungan. Suhu udara di wilayah kota terasa lebih panas dan meningkat dari tahun ke tahun. Vegetasi juga terus berkurang kerapatannya di wilayah kota. Penelitian ini menggunakan perubahan suhu dan kerapatan vegetasi sebagai rumusan masalah untuk dideteksi seberapa besar efeknya menimbulkan kekritisian lingkungan akibat UHI.

Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi terjadinya fenomena kekritisian lingkungan akibat UHI dengan menganalisis suhu permukaan dan sebaran vegetasi di wilayah studi. Sebaran suhu permukaan tanah dan sebaran kerapatan vegetasi dianalisis dari data temporal citra satelit tahun 2013 sampai 2016. Hasil yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah pengaplikasian penginderaan jauh untuk mendeteksi perubahan suhu dan vegetasi secara temporal serta menilai terjadinya fenomena UHI di Kota Semarang dengan penggabungan data 4 tahun. Analisis dilakukan secara spasial, sehingga diketahui dimana lokasi/posisi, seberapa besar nilai dan sebaran suhu, vegetasi, serta UHI.

METODE

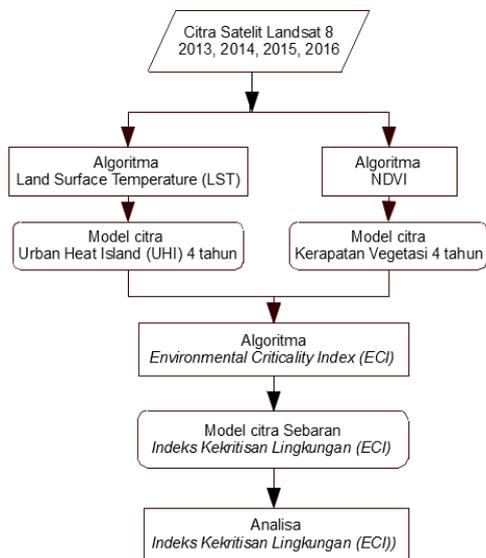
Penelitian ini dilaksanakan di Kota Semarang Jawa Tengah. Data yang digunakan adalah Citra Landsat 8. Citra di-*download* dari situs milik USGS (*United States Geological Survey*) di situs <http://glovis.usgs.gov/>. Citra yang digunakan dalam penelitian ini merupakan arsip pada *path*: 120, dan *row*: 65 yang mana liputan rekamannya memuat Kota Semarang. Citra dipilih *time series* 4 tahun yaitu tanggal 24 Juni 2013, 10 Mei 2014, 14 Juni 2015, dan 03 Agustus 2016. Syarat pemilihan citra

antara lain: liputan awan kurang dari 20% dan pada bulan yang mendekati sama tiap tahunnya. Syarat pada bulan yang berdekatan digunakan untuk meminimalkan perbedaan musim pada saat perekaman citra. Daftar citra yang digunakan ada pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Daftar Citra Landsat 8 yang digunakan.

Scene Id	Date Aquired	Output format	Data Type
LC81200652016216LGN00	24 Juni 2013	GEOTIFF	L1T
LC81200652014130LGN00	10 Mei 2014	GEOTIFF	L1T
LC81200652015165LGN00	14 Juni 2015	GEOTIFF	L1T
LC81200652016216LGN00	3 Agustus 2016	GEOTIFF	L1T

Metode pengolahan data dijelaskan dalam diagram alir yang ditunjukkan **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Pengolahan.

Berdasarkan diagram alir metode pengolahan pada **Gambar 1**, langkah pertama adalah pembentukan *Land Surface Temperature (LST)*. LST adalah pengukuran seberapa panas (suhu) dari permukaan tanah. Suhu diukur dari emisi panas permukaan tanah akibat radiasi matahari. Emisi panas permukaan tanah ditangkap oleh sensor citra satelit pada rentang spektrum infra merah *thermal*. Sensor mengkonversi emisi panas menjadi perbedaan kecerahan pada sebuah saluran (*band*) citra. Landsat 8 adalah salah satu citra yang memiliki saluran (*band*) infra merah *thermal*, saluran tersebut adalah TIRS (*Thermal Infrared Red Sensor*) pada saluran nomor 10 dan 11. Pada penelitian ini LST dibuat dari data Citra Landsat 8 perekaman sensor TIRS dari daftar data citra pada **Tabel 1**. Sebelum citra landsat dibentuk menjadi LST, dilakukan konversi *Digital Number (DN)* asli citra menjadi *Spektral Radiance*. Langkah konversi TIRS Landsat 8 DN ke Nilai *Spektral Radiance* menggunakan **Persamaan (1)**.

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

dimana:

- L_{λ} : Nilai *Spektral Radiance*,
- M_L : *Radiometric rescaling grup* pada *radians mult band* yang ada di file Metadata (.MTL),
- Q_{cal} : DN asli band TIRS,
- A_L : *Radiometric rescaling grup* pada "*radians add band*" yang ada di file Metadata.

Selanjutnya, nilai-nilai *radianse* yang didapatkan dikonversi ke nilai suhu LST, nilai suhu tersebut mempunyai satuan *Kelvin*. LST didapatkan dengan menerapkan algoritma *Planck* seperti yang ditunjukkan pada **Persamaan 2** (Li *et al.*, 2012; USGS, 2015; Shahmohamadi *et al.*, 2010).

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

- T_s : Suhu LST dalam derajat *Celcius*,
- $K_1 K_2$: Konstanta kalibrasi *Spektral Radiance*
- L_{λ} : Nilai *Spektral Radiance*

Nilai suhu LST dalam satuan *Kelvin (K)* dikonversi menjadi satuan derajat *Celcius (C)* menggunakan **Persamaan (3)**. Alasan digunakan satuan *Celcius* karena memiliki rentang lebih baik untuk kejelasan dalam interpretasi citra (Senanayake *et al.*, 2013).

$$T(C) = T(K) - 273.15 \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

- $T(C)$: Suhu LST dalam derajat *Celcius*,
- $T(K)$: Suhu LST dalam derajat *Kelvin*, dan nilai 273.15 adalah konstanta konversi *Kelvin* ke *Celcius*.

Selanjutnya nilai LST yang didapat dari band TIRS 10 dan 11 di rata-rata menggunakan **Persamaan 4** untuk mendapatkan nilai-nilai LST yang lebih tetap dalam setiap perekaman citra. Hasil spasial LST ditunjukkan **Gambar 2** bagian A.

$$TY = \text{Mean} (T(C) \text{ Band}_{10} + T(C) \text{ Band}_{11}) \dots\dots(4)$$

dimana:

- TY : Suhu LST rata-rata dalam perekaman
- $T(C) \text{ Band}_{10}$: Suhu LST dari Band 10
- $T(C) \text{ Band}_{11}$: Suhu LST dari Band 11

TIRS pada band 10 dan 11 digunakan dalam proses ini. Nilai LST adalah hasil rata-rata dari kedua saluran tersebut. Nilai suhu LST yang didapatkan dari *time series* 4 tahun digabungkan untuk mendapatkan nilai rata-rata suhu dalam 4 tahun tersebut menggunakan **Persamaan 5**. Hasil penggabungan nilai rata-rata LST 4 tahun ditunjukkan pada **Gambar 2** bagian B.

$$Tm = \text{Mean} (T_1 + T_2 + T_3 + T_4) \dots\dots\dots(5)$$

dimana:

- Tm : suhu LST rata-rata pengamatan temporal
- T_1, T_2, T_3, T_4 : suhu LST tahun pertama (T_1), tahun kedua (T_2), dan seterusnya

Langkah kedua adalah membentuk indeks kerapatan vegetasi dimana dipakai algoritma *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). NDVI telah dikenal dan dipakai secara luas. NDVI pertama kali diungkapkan oleh Rouse di tahun 1973 (Julien *et al.*, 2011; Gonsamo & Pellikka, 2012). NDVI adalah indeks yang menggambarkan tingkat kehijauan suatu tanaman. Indeks vegetasi merupakan kombinasi matematis antara *band* merah dan *band* NIR (*Near-Infrared Radiation*).

Vegetasi nampak gelap dalam spektrum tampak (*visible*) tetapi cemerlang/terang dalam rentang panjang gelombang inframerah dekat/NIR (Senanayake *et al.*, 2013). NDVI dihitung berdasarkan per-piksel dari selisih normalisasi antara *band* merah spektrum tampak dan inframerah dekat/NIR pada citra.

Sebelum pengolahan NDVI terlebih dahulu citra asli Landsat 8 dikoreksi radiometrik *Top of Atmosfer* (TOA), koreksi ini dilakukan untuk memperbaiki kualitas visual citra dan sekaligus memperbaiki nilai-nilai piksel yang tidak sesuai dengan nilai pantulan atau pancaran spektral objek

yang sebenarnya. *Band* 4 (*visible RED*) dan *Band* 5 (NIR) diberikan koreksi dengan **Persamaan 6**.

$$\rho\lambda = \frac{M_p Q_{cal} + A_p}{\sin(\theta_{SE})} \dots \dots \dots (6)$$

dimana:

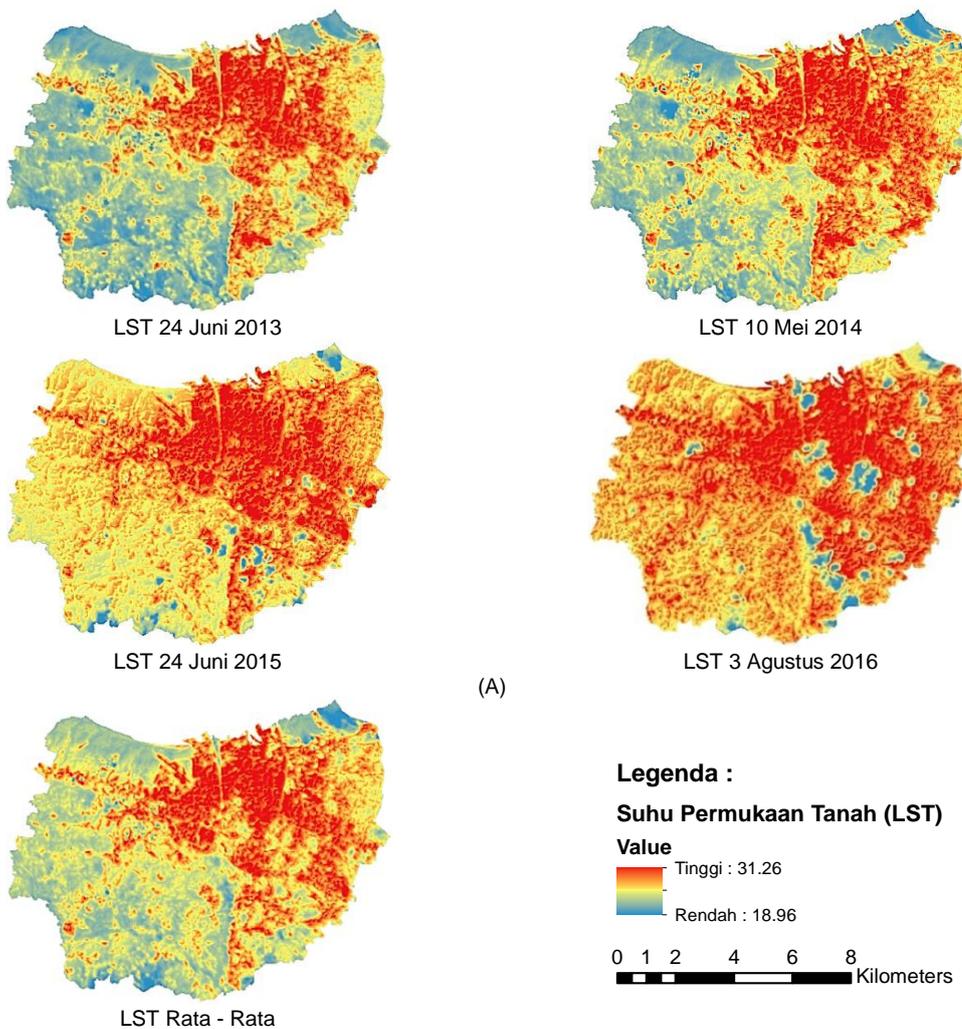
- PL : nilai piksel yang terkoreksi *Top Of Atmosfer* (TOA) *reflectance*,
- Mp : *Band*-spesifik faktor *rescaling* perkalian dari metadata,
- Ap : *Band*-spesifik faktor aditif *rescaling* dari metadata,
- Qcal : *Digital Number* (DN) *Band*, dan
- θSE : sudut matahari saat perekaman citra.

Dalam menghitung NDVI, *band* merah mewakili spektrum tampak dibandingkan dengan spektrum inframerah (NIR). **Persamaan 7** menjelaskan metode menghitung NDVI (Julien *et al.*, 2011; Gonsamo & Pellikka 2012).

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})} \dots \dots \dots (7)$$

dimana:

- ρNIR : Nilai *radiance* saluran Inframerah,
- ρRED : Nilai *radiance* spektrum tampak merah



Gambar 2. (A) LST Kota Semarang Multi Temporal 4 Tahun (2013 – 2016), (B) LST Rata-rata Kota Semarang Multi Temporal 4 Tahun (2013 – 2016).

NDVI berkisar dari -1 sampai +1. Badan air cenderung memiliki nilai NDVI minus. Tanah kosong menunjukkan nilai NDVI dekat dengan nilai 0, sementara nilai-nilai vegetasi hijau berada pada nilai + 1. NDVI dibentuk dari citra Landsat 8 yaitu *band 4 (visible RED)*, dan *band 5 (NIR)*. Begitupun dengan multitemporalnya dengan 4 tahun perekaman sehingga didapatkan hasil 4 buah citra NDVI.

Gambar 3 bagian A menggambarkan NDVI dari 4 waktu yang berbeda. NDVI dari pengolahan citra 4 tahun yang berbeda digabungkan untuk mendapatkan nilai rata-rata suhu dalam 4 tahun dengan **Persamaan 8**.

$$N_m = Mean (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) \dots \dots \dots (8)$$

dimana :

Nm : NDVI rata-rata pengamatan temporal

N₁, N₂, N₃, N₄ : NDVI tahun pertama (N₁), tahun kedua (N₂), dan seterusnya

Hasil penggabungan nilai rata-rata NDVI 4 tahun digambarkan pada **Gambar 3** bagian B.

Langkah ketiga adalah melakukan identifikasi tingkat kekritisan lingkungan ECI (*Environmental*

Criticality Index) dilakukan dengan membandingkan nilai LST dan ketersediaan tutupan vegetasi NDVI. Layer spasial LST dan NDVI sebelum dibandingkan terlebih dahulu disamakan nilai spektralnya. Nilai spektral disamakan dengan membentangkan histogram ekualisasi nilai piksel ke 1-255 untuk meningkatkan kejelasan dan kontras dari layer spasial untuk menghindari keterbatasan nilai indeks ECI akibat nilai 0 pada piksel dari algoritma NDVI. Persamaan ECI dijelaskan pada **Persamaan 9** (Senanayake *et al.*, 2013).

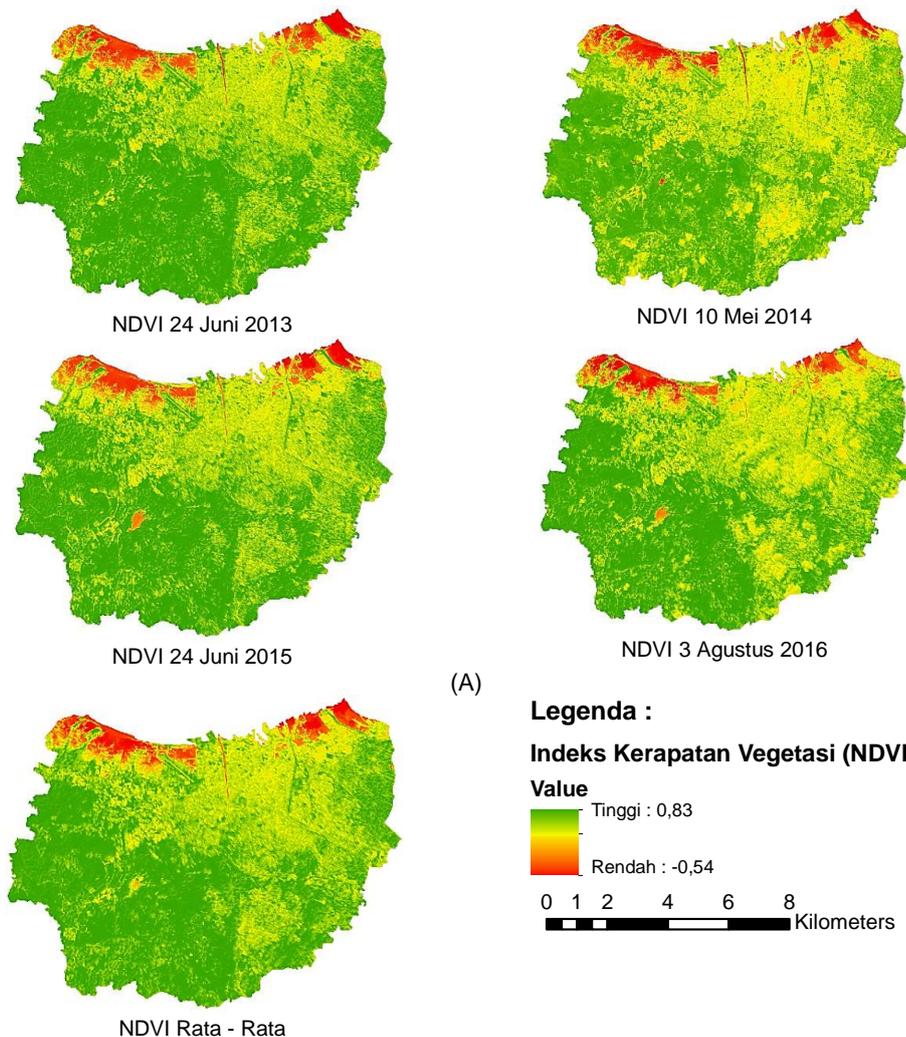
$$ECI_{(LST-VEG)} = \frac{LST_{(Stretched\ 1-255)}}{NDVI_{(Stretched\ 1-255)}} \dots \dots \dots (9)$$

dimana:

ECI : Adalah indeks kekritisan lingkungan

LST(*Stretched 1-255*) : LST yang dilakukan perentangan nilai spektral menjadi 1-255,

NDVI(*Stretched 1-255*) : NDVI yang dilakukan perentangan nilai spektral menjadi 1-255.



Gambar 3.(A) NDVI Kota Semarang Multi Temporal 4 Tahun (2013 – 2016), (B) NDVI rata-rata Kota Semarang Multi Temporal 4 Tahun (2013 – 2016).

Hasil dari Identifikasi tingkat kekritisan lingkungan ECI (*Environmental Criticality Index*) yaitu penerapan Persamaan (9) dilakukan pengkelasan untuk menunjukkan kelas kerentanan lingkungan. Hasil dapat dilihat pada **Gambar 4**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis sebaran suhu permukaan (LST) seperti yang ditunjukkan **Gambar 2**, terlihat bahwa suhu yang lebih tinggi dari sekitarnya terjadi pada pesisir utara kota menuju ke arah tengah, terdapat pelabuhan dan infrastruktur pendukungnya berupa gedung-gedung yang padat dengan aktivitas yang sangat sibuk. Suhu tinggi juga terdeteksi di wilayah tengah kota yang berisi gedung-gedung hotel, perkantoran, perbelanjaan, dan permukiman padat sebagai pusat aktivitas ekonomi masyarakat Kota Semarang. Berbeda dengan wilayah selatan kota yang berupa daratan tinggi menampilkan sebaran suhu yang lebih rendah. Sebaran suhu permukaan (LST) sesuai dengan penelitian terdahulu menunjukkan suhu lebih tinggi terdapat di wilayah terbangun yang padat (Sharma, 2016, Lauwaet *et al.*, 2016). Permukaan beton pada gedung-gedung lebih banyak menyerap energi panas daripada memantulkannya sehingga membuat naiknya suhu di wilayah sekitar gedung (Comarazamy *et al.*, 2010; Senanayake *et al.*, 2013).

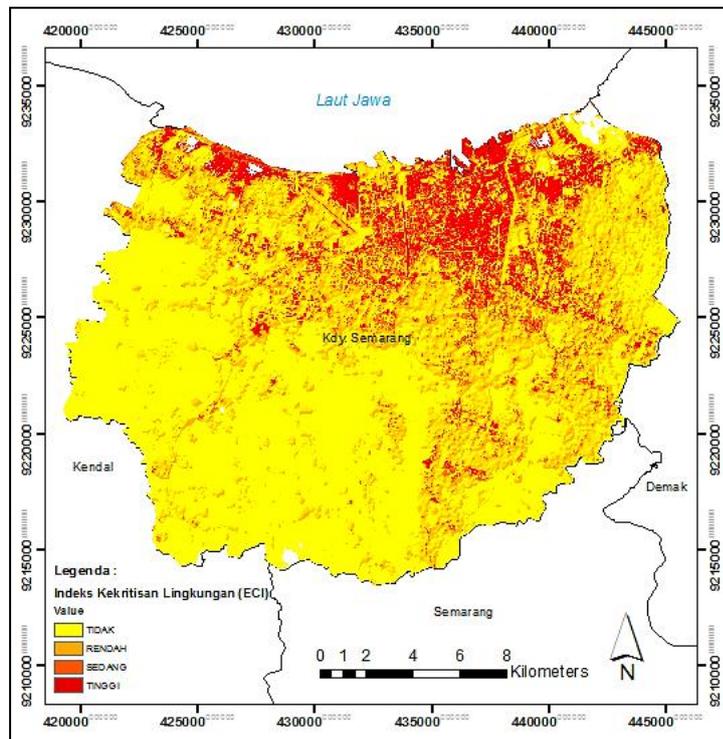
Sebaran kerapatan vegetasi ditunjukkan **Gambar 3**, terlihat bahwa wilayah utara dan tengah kota yang teridentifikasi memiliki suhu tinggi menunjukkan sebaran kerapatan vegetasi yang rendah, sedangkan pada wilayah selatan kota sebaran kerapatan vegetasi terlihat rapat

memiliki sebaran suhu lebih kecil. Sesuai dengan penelitian terdahulu bahwa sebaran kerapatan vegetasi berbanding terbalik dengan kenaikan suhu permukaan (LST) (Comarazamy *et al.*, 2010; Senanayake *et al.*, 2013).

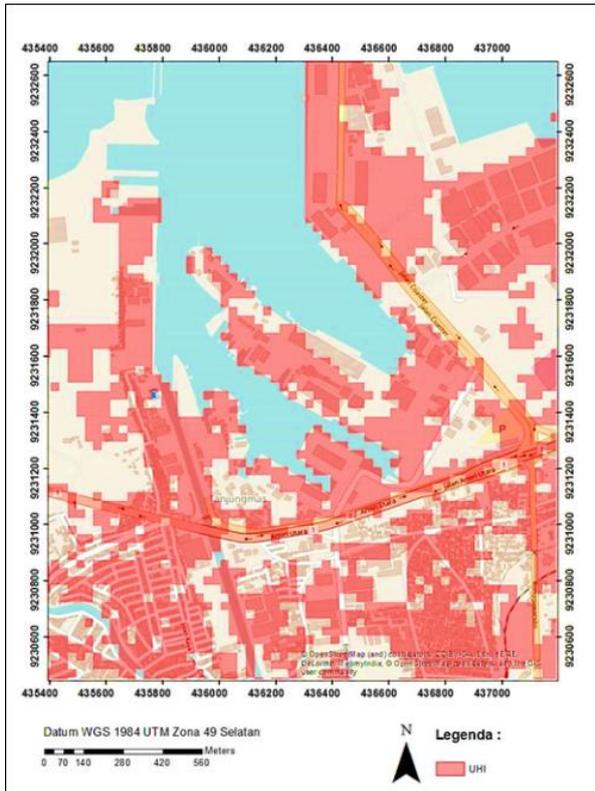
Vegetasi yang semakin berkurang dan meningkatnya suhu mempengaruhi kualitas lingkungan. Kualitas lingkungan dinilai dengan indeks hasil rasio dari LST dan NDVI, rasio disebut indeks kekritisan lingkungan/*Environmental Criticality Index* (ECI) (Senanayake *et al.*, 2013). Hasil ECI **Gambar 4** menunjukkan sebaran kelas kekritisan tinggi ada pada wilayah pusat kota dan pesisir utara, sebaliknya kelas kritis rendah sampai tidak kritis terdapat di wilayah selatan kota.

Kekritisan lingkungan tinggi hasil dari algoritma ECI diidentifikasi sebagai pulau panas (UHI) (Senanayake *et al.*, 2013). Untuk memperjelas wilayah kritis akibat UHI ini dilakukan *overlay* dengan peta yang mempunyai skala lebih besar. Peta ECI hanya dipakai pada kelas "Tinggi" selanjutnya di *overlay* dengan peta dari *OpenStreetMap*.

Pada Peta Indeks Kekritisan Lingkungan pada **Gambar 4**, terlihat bahwa wilayah yang memiliki kekritisan tinggi terindikasi terjadi fenomena pulau panas (UHI) (Senanayake *et al.*, 2013). Kekritisan lingkungan pada kelas "Tinggi" di-*overlay* dengan *Open Street Map* untuk menunjukkan beberapa wilayah Kota Semarang yang paling kritis. Kawasan Pelabuhan Tanjung Mas dengan infrastruktur yang mengelilinginya teridentifikasi mempunyai kekritisan lingkungan tinggi sehingga terdapat pulau-pulau panas (UHI), sebaran spasialnya ditunjukkan pada **Gambar 5**.

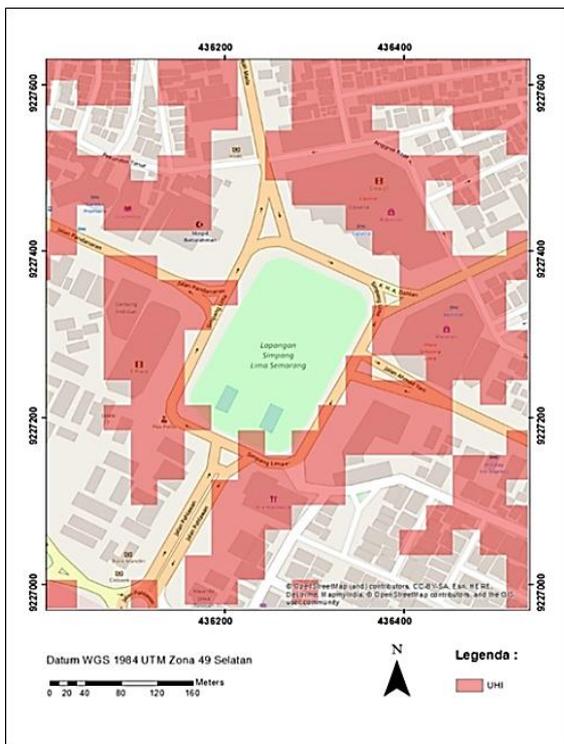


Gambar 4. Peta IndeksKekritisan Lingkungan (ECI) Kota Semarang.



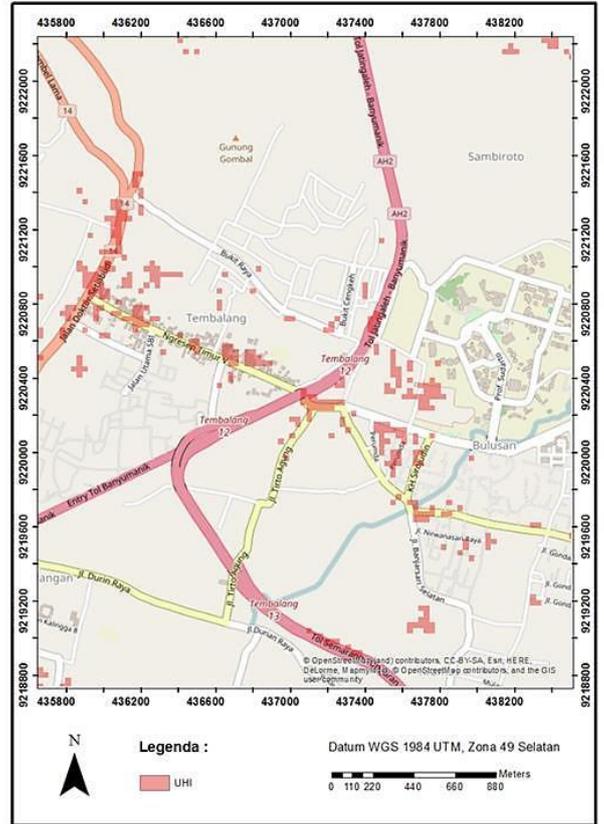
Gambar 5. UHI di Kawasan Pelabuhan Tanjung Mas Kota Semarang.

Simpang Lima adalah *landmark* yang dikenal di Kota Semarang menjadi pusat aktivitas yang terdapat berbagai bangunan disekitarnya dengan pusat perbelanjaan, perkantoran, hotel, permukiman padat, dan tentunya infrastruktur jalan aspal maupun beton yang lebar menampakkan adanya UHI, ditunjukkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. UHI di Kawasan *Landmark* Simpang Lima Kota Semarang.

Wilayah selatan kota yang dikenal dengan “Semarang atas” dengan dataran tinggi Gombel memiliki sebaran UHI yang terlihat parsial. Tutupan lahan yang memang masih didominasi vegetasi rapat berupa hutan membuat wilayah ini kecil terimbas kerentanan lingkungan atau UHI, ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. UHI di Wilayah Kota Semarang Atas (Gombel dan sekitarnya).

KESIMPULAN

Suhu permukaan di Kota Semarang meningkat pada setiap tahun serta sebaran kelas suhu tinggi semakin luas. Selain itu, sebaran indeks kerapatan vegetasi menurun pada setiap tahunnya. Fenomena terjadinya UHI menunjukkan hubungan langsung dengan jumlah tutupan vegetasi, sesuai dengan penelitian-penelitian terdahulu oleh Comarazamy *et al.* (2010); Senanayake *et al.* (2013), Sharma (2016), dan Lauwaet *et al.* (2016). Kekritisan lingkungan akibat UHI berbanding terbalik dengan kerapatan vegetasi.

Wilayah utara dan tengah Semarang diidentifikasi sebagai wilayah lingkungan yang paling kritis berdasarkan LST dan ketersediaan tutupan vegetasi. Pelabuhan dan pusat kota penuh dengan bangunan beton dan aspal jalan menimbulkan albedo rendah diidentifikasi sebagai sumber utama LST tinggi serta kecilnya sebaran vegetasi di wilayah tersebut berakibat menimbulkan pulau-pulau panas (UHI).

Model kekritisan indeks lingkungan dengan algoritma *urban heat* dapat dimanfaatkan dandiadopsi di pusat-pusat perkotaan lain. Hasil penilaian kekritisan indeks lingkungan dapat direkomendasikan sebagai salah satu data pelengkap dalam pengembangan dan perencanaan kota.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada panitia program penelitian PNBP UNDIP 2016, dukungan dari laboratorium Fotogrametri dan Penginderaan Jauh Departemen Teknik Geodesi - Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, dan USGS serta NASA dalam pengumpulan data Landsat 8.

DAFTAR PUSTAKA

- Babazadeh, M., dan Kumar, P. (2015). Estimation of the Urban Heat Island in Local Climate Change and Vulnerability Assessment for Air Quality in Delhi. *European Scientific Journal, ESJ*, 11(10).
- Comarazamy, D. E., González, J. E., Luvall, J. C., Rickman, D. L., dan Muleró, P. J. (2010). A Land-Atmospheric Interaction Study in the Coastal Tropical City of San Juan, Puerto Rico. *Earth Interactions*, 14(16), 1-24.
- EPA (Environmental Protection Agency). (2008). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Urban Heat Island Basics. , pp.1-22.
- Fazeli, R., Ruth, M., dan Davidsdottir, B. (2016). Temperature Response Functions for Residential Energy Demand—A Review of Models. *Urban Climate*, 15, 45-59.
- Gonsamo, A., dan Pellikka, P. (2012). The Sensitivity Based Estimation of Leaf Area Index from Spectral Vegetation Indices. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 70, 15-25.
- Hung, W. C., Chen, Y. C., dan Cheng, K. S. (2010). Comparing Landcover Patterns in Tokyo, Kyoto, and Taipei using ALOS Multispectral Images. *Landscape and Urban Planning*, 97(2), 132-145.
- Isima, Kenobi, Chan, Andy, Aekbal, Siti, Chel, Maggie, Ooi, Gee, Yaasiin, Muhammad, Abdalla, Yousif. (2016). Urban Climate Numerical study on the urbanisation of Putrajaya and its interaction with the local climate , over a decade. *URBAN CLIMATE*, 16, pp.1-24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim>. [1 Februari 2016].
- Julien, Y., Sobrino, J. A., Mattar, C., Ruescas, A. B., Jimenez-Munoz, J. C., Soria, G., ... dan Cuenca, J. (2011). Temporal Analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Land Surface Temperature (LST) Parameters to Detect Changes in the Iberian Land Cover between 1981 and 2001. *International Journal of Remote Sensing*, 32(7), 2057-2068.
- Kolokotroni, M., Ren, X., Davies, M., dan Mavrogianni, A. (2012). London's Urban Heat Island: Impact on Current and Future Energy Consumption in Office Buildings. *Energy and buildings*, 47, 302-311.
- Krüger, E. and Emmanuel, R. (2013). Landscape and Urban Planning Accounting for atmospheric stability conditions in urban heat island studies: The case of Glasgow , UK. *Landscape and Urban Planning*, 117, pp.112-121.
- Lauwaet, D., De Ridder, K., Saeed, S., Brisson, E., Chatterjee, F., van Lipzig, N.P.M., Maiheu, B., Hooyberghs, H. (2016). Assessing the current and future urban heat island of Brussels, *Urban Climate*, 2016 vol: 15 pp: 1-15, ELSEVIER
- Li, X. and Norford, L.K. (2016). Urban Climate Evaluation of cool roof and vegetations in mitigating urban heat island in a tropical city , Singapore. *Urban Climate*, 16, pp.59-74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim>. [2 Desember 2015].
- Li, Y. Y., Zhang, H., dan Kainz, W. (2012). Monitoring Patterns of Urban Heat Islands of the Fast-Growing Shanghai Metropolis, China: using time-series of Landsat TM/ETM+ data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 19, 127-138.
- Loveland, T.R. and Irons, J.R. (2016). Remote Sensing of Environment Landsat 8 : The plans , the reality , and the legacy. *Remote Sensing of Environment*, 185, pp.1-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse>. [3 Juli 2016]
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Allen, R. G., Anderson, M. C., ... dan Scambos, T. A. (2014). Landsat-8: Science and Product Vision for Terrestrial Global Change Research. *Remote Sensing of Environment*, 145, 154-172.
- Sharma, R., dan Joshi, P. K. (2016). Mapping Environmental Impacts of Rapid Urbanization in the National Capital Region of India using Remote Sensing Inputs. *Urban Climate*, 15, 70-82.
- Senanayake, I. P., Welivitiya, W. D. D. P., dan Nadeeka, P. M. (2013). Remote Sensing Based Analysis of Urban Heat Islands with Vegetation Cover in Colombo City, Sri Lanka using Landsat-7 ETM+ data. *Urban Climate*, 5, 19-35.
- Shahmohamadi, P., Che-Ani, A. I., Abdullah, N., Tahir, M. M., Maulud, K. N. A., dan Mohd-Nor, M. F. I. (2010). The Link between Urbanization and Climatic Factors: a Concept on Formation of Urban Heat Island. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 6(11), 754-768.
- USGS (United States Geological Survey), (2015). Landsat 8 (L8) data users handbook.

THE EFFECTIVENESS OF SPATIAL DATA SHARING IN INDONESIA-SDI: CASE STUDY IN MINISTRY OF ENVIRONMENT AND FORESTRY AND PROVINCIAL GOVERNMENT OF WEST JAVA

(Efektifitas Berbagi Pakai pada Indonesia-SDI: Studi Kasus Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dan Pemerintah Provinsi Jawa Barat)

Wulan Yustia Sahroni¹, M. Buce Saleh² dan Antonius B. Wijanarto³

¹Magister Information Technology for Natural Resources Management (MIT), Seameo Biotrop

²Department of Management Forestry, Forestry Faculty, Bogor Agricultural University (IPB)

³Geospatial Information Agency (BIG)

Jl. Raya Tajur KM.6, West Java 16134, Indonesia

E-mail: wulan.yustia@gmail.com

Diterima (received): 18 Agustus 2016; Direvisi (revised): 29 Desember 2016; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 31 Maret 2017

ABSTRACT

It has been almost ten years since the issuance of Presidential Decree No. 85 Year 2007 on the National Spatial Data Infrastructure (NSDI) as a milestone of data sharing in Indonesia. Even since Law No. 4 of 2011 on Geospatial Information was established, the implementation of the NSDI among institutions and local governments has still not been effective yet, which can be seen from the amount of participants in Ina-Geoportal. Not all agencies and local government involved and active in the data sharing through Ina-Geoportal. The study was conducted in order to identify the problems causing the ineffectiveness of data sharing and give the recommendations as solutions, taking the case in the Ministry of Environment and Forestry and the Provincial Government of West Java. The problems will be analyzed from the component of policy, institutional, technology, standard, and human resources. Method conducted are in a form of interviews, questionnaire, content analysis, and statistical descriptive to determine the rank of each component in each agency. The result showed that the effectiveness of data sharing in three agencies are 67,36% with institutional as the most ineffective and technology as a good and supportive component. Provide a road-map for the clarity of the work in each agency, applying metadata standard and feature catalogue of Indonesia, complements a topographic map as a reference map, and a strong commitment from all parties involved are the recommendations given so that the process of data sharing runs effectively in support of national development planning.

Keywords: spatial data sharing, NSDI, policy, regulation, content analysis, descriptive statistic

ABSTRAK

Sudah hampir sepuluh tahun sejak diterbitkannya Peraturan Presiden Nomor 85 Tahun 2007 tentang Infrastruktur Data Spasial Nasional (IDSN) sebagai tonggak berjalannya data sharing di Indonesia. Bahkan sejak Undang-undang Nomor 4 tahun 2011 tentang Informasi Geospasial diresmikan sebagai payung hukum yang lebih kuat, pelaksanaan NSDI antar instansi dan daerah belum berjalan dengan efektif, terlihat dari jumlah partisipan dalam Ina-Geoportal sebagai infrastruktur berbagi pakai. Belum seluruh instansi dan pemerintah daerah terlibat dalam Ina-Geoportal. Penelitian ini ditulis untuk mengidentifikasi permasalahan penyebab belum efektifnya berbagi-pakai data di Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dan Pemerintah Provinsi Jawa Barat, serta memberikan rekomendasi sebagai solusi dalam komponen kebijakan, pengaturan kelembagaan, teknologi, standar, dan sumber daya manusia. Metode deskriptif kuantitatif dalam bentuk interview, kuesioner, analisis konten, dan deskriptif statistik dilakukan untuk mengetahui peringkat setiap komponen dalam pelaksanaan berbagi pakai di tiap instansi. Hasil analisa menunjukkan tingkat efektivitas berbagi pakai di tiga instansi tersebut sebesar 67,36% dimana pengaturan kelembagaan menjadi komponen yang dianggap paling tidak menunjang dan teknologi menjadi komponen yang paling baik dari sudut pandang pengguna. Rekomendasi diberikan sebagai solusi untuk setiap permasalahan dalam tiap komponen, diantaranya perlu adanya road-map untuk kejelasan pekerjaan, menerapkan standar metadata dan katalog unsur geografi Indonesia, melengkapi peta Rupabumi Indonesia sebagai acuan pemetaan, dan komitmen kuat dari seluruh pihak yang terlibat. Rekomendasi ini diberikan untuk menunjang kegiatan berbagi pakai yang efektif dalam mendukung perencanaan pembangunan nasional.

Kata Kunci: berbagi pakai data spasial, NSDI, kebijakan, peraturan, perundangan, analisa konten, statistik deskriptif

INTRODUCTION

Spatial data and information play an important role in national development as a tool for decision making in natural resources and disasters management. More than 80% of the data used in most organizations and institutions activities, planning and management have a spatial nature and characteristics (Budic *et al.*, 1999 in Toomanian, 2012). Sometimes the data produced by an agency are used by others, but cannot be used properly due to some differences. The differences are especially in methods of data and acquisition, processing, and visualization. The problems arise due to lack of coordination and led to data duplication or data mismatch. The acquisition and production of spatial data are usually time-consuming, costly, and needs good competency of human resources.

To anticipate the differences and the difficulties of spatial data between institutions, the government develops a National Spatial Data Infrastructure (NSDI) as a collaborative environment for managing, storing, and sharing/exchanging spatial data and as an umbrella concept covering the entire spatial data handling domain. NSDI can accommodate the high demand for spatial data exchange up to the local government (Toomanian, 2012).

Indonesia has implemented NSDI to facilitate the data sharing since the Presidential Decree No. 85 Year 2007 on the National Spatial Data Infrastructure. In consideration for stronger legal framework, Law No 4 Year 2011 on Geospatial Information (GI) was issued followed by Presidential Decree 27 of 2014 in the National Network of Geospatial Information (*Jaringan Informasi Geospasial Nasional-JIGN*). Data sharing increases data quality when many people work on a specific task and try to discover and edit errors within the data (Feeney *et al.* 2003).

The government also launched the One Map Policy as one of the implementations of data sharing involving all ministries / agencies and local governments. JIGN held through means of information network-based information and communication technology, which is implemented through a web address www.tanahair.indonesia.go.id (Ina-Geoportal).

Based on Geospatial Information (GI) Standardization Study: SDI Readiness Index (Sutanta, 2014), apparently, not all regions ready to implement the data sharing with the aspects involved. On the other hand, NSDI was nearly 10 years old while it has been not implemented effectively. It must be analyzed why data sharing is difficult to be implemented in the region, even though we understand that regions and institutions are serves as a network node that will support the effectiveness of data sharing.

Nedović-Budić, *et al.* (2008) had done a research in SDI effectiveness from the user perspective using literature review and multiple

case studies by recognizing both the current and potential users and attempting to fulfill their needs regarding data and services by determining contextual factors and outcomes. The result shows that such effectiveness of data sharing was manifested primarily through an individual level and perceptions. Another research for evaluating spatial data was conducted by McDougall, Rajabifard, and Williamson (2006) by applying a mixed method in Australia. McDougall, Rajabifard, and Williamson (2006) examined past research and theory in spatial data and examined the characteristics of a number of existing data sharing model and frameworks. The result shows a mixed method approach (qualitative and quantitative) provides a useful strategy to build on the existing theory and to more rigorously evaluate the success or otherwise of these partnership efforts.

In 2007-2014 Geospatial Information Agency (BIG, formerly Bakosurtanal) formed a partnership with the Japan International Cooperation Agency (JICA) to conduct NSDI Development Project involving 10 agencies, two of them were: the Ministry of Environment, Ministry of Forestry (now the Ministry of Environment and Forestry) and West Java Provincial Government. One of the facilities provided through this project is the construction of NSDI networking systems by providing common technology for 10 agencies.

This research focused on the implementation of data sharing in three representing institutions, Geospatial Information Agency (BIG) representing the network node connector, the Ministry of Environment and Forestry (MEF) representing a node from state ministries/agencies, and West Java Province representing a node from local government.

The objectives of this research are to identify problems causing the ineffectiveness of data sharing implementation in Indonesia and to provide necessary recommendation and action to overcome the problems. By analyzing the effectiveness of spatial data sharing in Indonesia-SDI, the stakeholders can have a description about the existing condition of Indonesia-SDI. The involved parties can notice the issues that hinder or being obstacles in the implementation of data sharing through NSDI. They also can implement the recommendations so that the effective NSDI will be achieved well.

METHOD

The method used in this study is a quantitative descriptive approach to identify problems through interviews, questionnaire, and the analysis was performed by content analysis, fishbone analysis, and statistical description. In previous studies, the component used consists of standards, technology, organization, and human resources. Only a few studies involving policy components, such Nedović-Budić, *et.al* (2008),

Subedi (2009), and Grus (2011). Policy included in this study as mandated in Law No 4/2011 in GI that policy as an integral part of the NSDI. In addition, policy is a clear legal rules for implementing the data sharing, especially in terms of natural and human resources.

The framework of this study is illustrated in Figure 1.

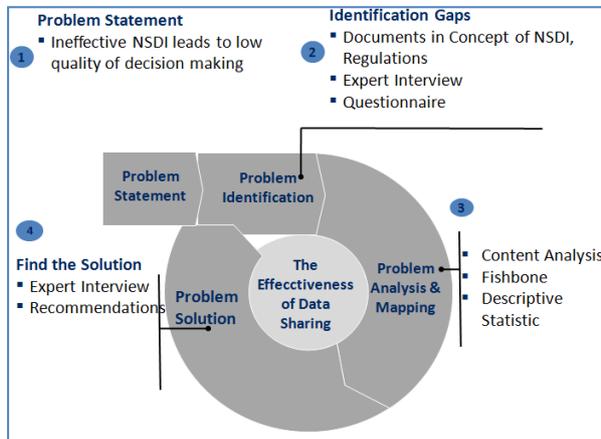


Figure 1. Framework of Research.

Assess the Implementation of NSDI

Interviews and questionnaire were conducted to determine the condition of the existing implementation and sharing of data in BIG (10 persons), MEF (5 persons) and Provincial Government of West Java (3 persons). The number of persons interviewed were ten people and some of them were respondents for questionnaire too, whose comes from different backgrounds and positions or job title. The participants were people in duties (staff and echelon 2/3) within the scope of the technical part or the clearing unit to provide a clear description in the implementation of data sharing in their place. The questions of each componets were referring to the questionnaire on the previous studies conducted by Subedi (2009) and Grus (2011).

Descriptive Statistic

The analysis of statistical description obtained from the questionnaire data processing which was done by searching for the average value of each question in each component. Likert Scale is used to measure the opinions of respondents in each component in each agency. Likert scale used to measure attitudes, opinions, and perceptions of a person or a group of social phenomenon (Sugiyono, 2011). In this study, Likert scale used is:

- 1= Strongly Disagree (SD)
- 2= Disagree (D)
- 3= Neutral (N)
- 4= Agree (A)
- 5= Strongly Agree (SA)

The questions in questionnaire are divided into five parts with total amount of sub-components is 50 questions: policy (3 sub-components), institutional (12 sub-components), technology (10 sub-components), standard (14 sub-components), and human resources (11 sub-components). Components of the question with the greatest values is a component that is considered to be in a good condition in the implementation of data sharing in the institution where the respondents worked. The greater the value generated, increasingly showing the effectiveness of these components.

Content Analysis on Existing Regulations

Analysis of regulations was done by reviewing each article in Law No. 4 of 2011 on Geospatial Information and validated through expert interview. Regulatory assessment was conducted to determine whether the regulation support towards the implementation of the NSDI and done with Seven Standards Textuality method based on Approach Dimensions "Text and Discourse Analysis" by De Beaugrande and Dressler in Titscher et.al (2009) (as cited in Lewenussa, 2014), as follows:

- Situational:** background of rules making, regarding to the factors that make a text relevant to the event situations;
- Intentionality:** expectation/intent of the rule maker;
- Intertextuality:** linkage between the texts of discourse. Pouring hot issue into the rules, whether the rules answer the problems;
- Acceptability:** Text must be acknowledged by the receiver in a given situation. Viewing the public response that the text has a benefit and relevance to the recipient;
- Informativity:** refers to the quantity of information to be expected in a text as well as the quality of the text presentation;
- Cohesion:** harmonious relationship among the elements in the text, clear, there are neither multiple interpretations nor ambiguity;
- Coherent:** A context does not stand alone; it has a relationship with others.

Fishbone

Fishbone diagram is made to identify the possibilities of problems, knowing why data sharing is not operating effectively from respondents point of view. Problems compiled for each component of the five components of NSDI and made the details of the causes that may appear in any of its components.

RESULT AND DISCUSSION

Regulation Analysis

Content analysis was conducted to determine regulatory support on the course of

NSDI. Through the text-dimensional method, a study of each chapter was conducted, and associated with the implementation of the NSDI. From the analysis, it is known that UIG born as a legal that supports the implementation of the NSDI in terms of ensuring the availability of the data, access, and training for human resources IG organizers.

The background of Law 4/2011 is the data availability that still in a big question mark, said the data is everywhere but in fact, the data is nowhere. Even among institutions, there is still a behavior to keep data and not to share it with other people or institutions. People who need the data do not know where to find the data. Additionally, at that moment there is no clarity about who has a responsibility for a mapping budget because the party responsible for map producer also unclear. At that time, Bakosurtanal takes a role as a coordinator so that if Bakosurtanal could not coordinate the entire data producer, this matter problem will forever unclear.

There are some events or issues which are then poured in the Act and expected as a solution to the problem or incident Sipadan-Ligitan boundary problem, seizure of territory between Lampung and Banten Province, the widespread use of Open Streets Maps and Google Maps without clear rules, and the investment potential. Article 18 mentions that Indonesia is made a topographical map up to the scale of 1: 1,000. This article appears to accommodate the purposes of land administration by National Land Agency. At first, BIG do not want to develop the base map up to the scale of 1: 1000, but the State Secretariat as a party that harmonizes the Law insisted that this map was made by BIG in order to make a mapping duty clear. Up to now the map of 1: 1000 has not been available yet for the whole of Indonesia. It is made based on the priority areas that have very rapid development. On the other hand, as mentioned by one of a founder of this Law that awareness and understanding of human as the executor of this Law is required to make it effective and can be implemented. The result of content analysis summarized in **Table 1**.

From the results of the textual description above, it can be concluded that the existence of the regulations is relevant and support the implementation of data sharing. The article in the regulations has led to the implementation of GI orderly and clearly involving custodians without any negative response from the public. The regulation also used to be a reference for other agencies or regions to draw up rules with a similar theme in order to guarantee the availability of accurate data and data sharing.

Problems Identification

In some studies that have been done, used a variety of methods to analyze the success and

effectiveness of SDI in many countries. Organization is an aspect that many researchers studied previously in knowing the effectiveness of data sharing, as practiced by Clausen et al. (2009) who analyzed why and how awareness plays a fundamental role in overcoming organizational constraints and in developing collaboration between organizations.

Table 1. Summary of Content Analysis of Law 4/2011 in GI.

Situationality	The unavailability of secure, accurate, reliable, complete (in terms of scale and themes), and responsible geospatial data; limited public access to the data needed; there were no guidance in the management and implementation of GI includes human resources, tools, executor, support facilities
Intentionality	The Law developed through 54 meetings involving various parties, including government, academia, professionals, practitioners, private, and public. In this case the government holds a dominant role in the formulation and preparation of the Law
Intertextuality	Border problems, land conflicts, overlaps and gaps in spatial planning, inaccurate disaster maps, and terrorism became a hot issue and lead to the publication of this Law
Acceptability	Providing clarity of public rights and role in the organization of geospatial information
Informativity	There are some derivatives rules that must be followed: five of Government Regulations, seven of Presidential Decree, and five of Head of Agency Regulations. Government Regulation No 9/2014 in Implementation of Law 4/2011 in GI has been made and contains the derivative five Government Regulations
Cohesion	There is the difference in the shoreline for topography and bathymetry map in Article 13. This difference can lead to ambiguity for the user. Another article is quite clear and does not rise the ambiguity so far, the user can understand the intent of each article clearly.
Coherent	There is an inconsistency between chapters and derivative rules, inconsistency in Article 22 that mentioned that the establishment of base map is carried out by Geospatial Information Agency while in Article 24 mentioned that the Agency can organize the development of thematic GI which has not been held by other agencies. This can lead to miss-focused on the job of the agency where the agency should focused in base map making and give the thematic maps production to the appropriate authorities.

Moreover, Bas (2005) using organizational theory method and found that organizational is an important aspect to changed to support the further development of NSDI. The organizational aspects that support the success of NSDI are a clear vision, leadership, and strategy of communication. In contrast to previous studies that focus on the organization and the relationship between parties, this study also digs up the information technology, data, and applicable laws and regulations implemented in agencies and local government.

To know the implementation of data sharing in each institution, in-depth interviews was done to

the parties involved considering the five components of Indonesia-NSDI.

1. Policy. Law 4/2011 used as a reference which in implementation is derived in the form of government regulations and local regulations. The analysis was performed to determine whether there are differences in the interpretation and understanding Law 4/2011 intent as outlined in Government regulation or local, whether all things in Law 4/2011 already accommodated in the regulation.
2. Technology. Consider the MEF and West Java are members of the 10 agencies involved in the JICA project, the technology used in both these agencies tend to have the same specifications, in terms of both hardware and software. The difference lies in the management and network-owned.
3. Data and Standard. Determine whether there is guidance in the form of national standards or ISO which used as a guide in spatial data producing, the creation of metadata, data formats similarity in terms of the reference coordinate system, scale, the type of data that are produced
4. Human Resources. The human aspect of an activity or organization can be viewed from two things: the capacity and motive. In terms of capacity, assessed the competencies of personnel who handle spatial data in the clearing unit in MEF and West Java. In terms of motive, examined the attitudes of personnel in conducting management of GI. How to implement the regulations into the practice of data sharing, the extent of the interest of personnel (staff and leaders) to share the data that has been produced, how the division of tasks within the institution and how to plan a budget to support data sharing.
5. Institutional Arrangements. MEF and West Java has built a unit clearing and divide custodian in the institution. The function and

coordination of each unit is already clear and included in related governmental regulation or Local Regulations.

The implementation of data sharing in three agencies can be seen in **Table 2**.

Fishbone Analysis

Fishbone diagram is made to identify the possibilities of problems from users point of view. Users means the three institutions. The diagram is described in **Figure 2**.

Ina-Geoportal

Ina-Geoportal is an integration application of geospatial information single reference web-based built with the participation of ministries, agencies, and local governments in Indonesia. Ina-Geoportal allows all government, agencies and the Indonesian community to be able to search, find, take advantage, and share the GI. Through Ina-Geoportal, the user can access and obtain various GI that are accountable, then overlay it with a variety of GI from other agencies.

To see whether the Ina-Geoportal work properly, topographical map data was downloaded from the portal. So far the number of users accessing the portal is as many as 12,935 visitors (as August 2016). It shows that many users know that the Ina-Geoportal was exist or may even already use. Topographical map downloaded is on a scale of 1: 25,000 Java area in the form of a geo-database file. The layer can also be downloading through existing MEF portal link on Ina-Geoportal.

From the picture above, it can be seen that the data displayed on Ina-Geoportal can be seen in **Figure 3a** as well as the data displayed on the MEF portal can be seen in **Figure 3b**. Unfortunately data available in a format layer (.lyr) only not in shapefile (.shp) so that people who need this data for spatial analysis still must submit a written request to the relevant agencies, not real time.

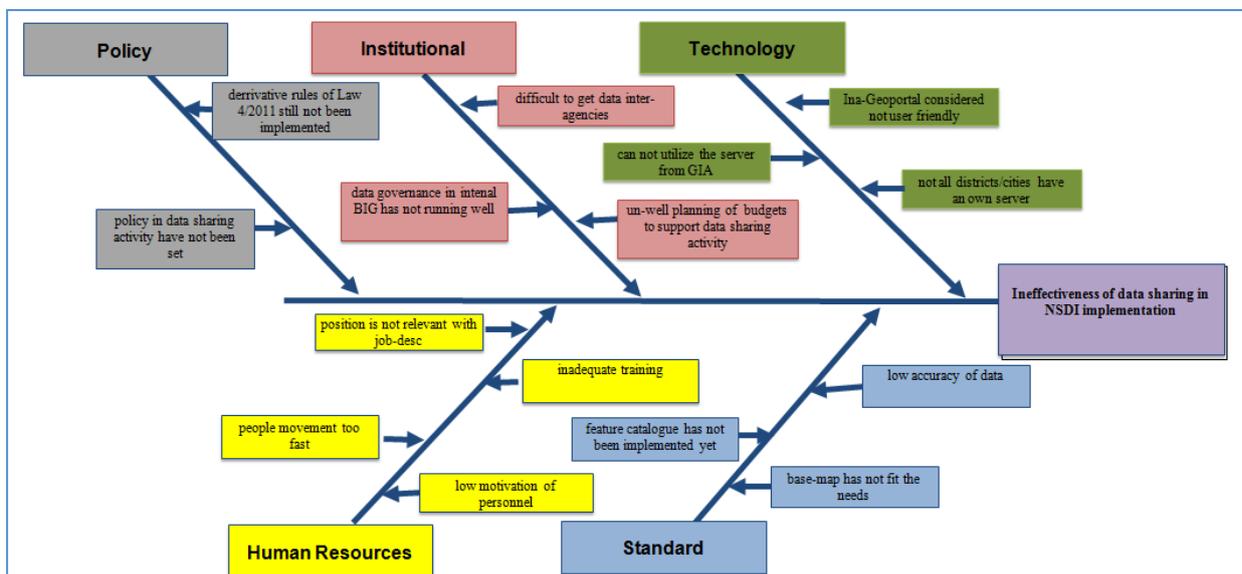


Figure 2. Fishbone Diagram of the Effectiveness of Data Sharing in BIG, MEF, and West Java.

Table 2. Implementation of NSDI in Three Institutions Based on Five Components.

Aspect	BIG	MEF	West Java
Policy	Law Number 4 year 2011 about Geospatial Information Presidential Decree 27/2014 in JIGN Peraturan Kepala Badan	P.28/MenLHK/Setjen/KUM.1/2/2016 in Geospatial Information Network in the Ministry of Environment and Forestry The regulation on the Management of GI is being prepared.	Regulation of West Java Province No.24/2012 in One Development Data of West Java Regulation of West Java Governor No.80/2015 in Guidelines for the Implementation of Regulation of Regulation of West Java Province No.24/2012 in One Development Data of West Java
Technology	Web service facility www.tanahair.indonesia.go.id (Ina-Geoportal) for downloading free basemaps Data center infrastructure still needs to be backup in case of power supply	BIG server has not been used due to administrative matters MEF has 6 servers Integrations applications through a web service is active, can be accessed at www.geoportal.menlhk.go.id	Independent server, owned by West Java (memory 4GB, Windows Server standard 2008) Software used: ArcGIS 10.2 Advance License, Geomatica 2013, ER Mapper, Global Mapper, Migration Tools Server condition is overloaded The existence of internal network nodes of West Java to help SKPD and District / City to publish the data: http://pusdalisbang.jabarprov.go.id/DNN9 . This internal network node is integrated well with the national portal
Data and Standard	Base GI produced yet all are not equipped with metadata and feature catalogue (Katalog Unsur Geografi Indonesia-KUGI) The existence of document/guidelines of data management Data is not one version Scale of basemaps needed by users is a scale of 1:5000 but currently it is not available yet for entire Indonesia	The amount of data is large, varied scale Several data are still have different projections Difficulties in adjusting KUGI for spatial data in MEF because the data has referred to Data Dictionary which has an own theme and scale There are 33 themes that become custodian of MEF	GI produced is already equipped with metadata and KUGI in Pusdalisbang level District and city have yet to implement metadata and KUGI, was not even aware of spatial data, has not made a map as a work tools Data Matrix as the clarity of task/custodianship of each district/city Utilization of data sharing through a portal is not run optimally in Bappeda, even many of them do not know that the portal is exist and have a function Demand for large scale of base map was not responded quickly by BIG thus hampering the making of spatial planning map
Human Resources	Supported by human resources that have related background in GI	Human resources n MEF who involve in data management and NSDI has a related background in GI and geo-ICT	The low awareness of data, especially at the district/city level and SKPD Using outsourced personnel to fill the lack of competence
Institutional arrangement	Center of Management and Dissemination of GI as a network node connector as well as a clearing house in BIG network node Center of Standardization and Institutional as units to provide guidance technical division as a custodian	Directorate of Inventory and Monitoring of Forest Resources, Directorate General of Forestry and Environmental Urban Design as a clearing house Custodian is appointed in accordance with the duties to carry out the GI implementation for 33 themes There is plan for the development of spatial data infrastructure	Bappeda as a network node Pusdalisbang as a clearing house SKPD as a custodian There are no data centers which integrated all the data in local district/city and SKPD Role of Center for Spatial Data Infrastructure Development (PusatPembangunanInfrastruktur Data Spasial-PPIDS) as a representative of BIG in regions yet to be felt

Nevertheless, of the two images can be seen the differences in the legend of the forest area. It shows one of these maps have been updated on the web, but not updated on other websites. **Figure 3c** shows the overlay between boundary administrative layer from the base map with forest area layer which is obtained directly from the institution, not from the website. The legend also has a different term with the previous maps can be seen in **Figure 3a** and **3b**.

Perception Used in Valuation of Ina-SDI

Based on the fishbone diagram conducted expert interviews and a questionnaire to confirm the actual conditions of data sharing in each institution. The results of the questionnaire are calculated in the total value and average of each question in each variable, then the diagrams

made to display the component with its number in the three institutions. The greater the value, the more effective of a component in the implementation of data sharing.

Data processing was done through the following stages:

- Each answer from the respondent is quantified on a scale of 1-5 with the greatest value (5) shows the condition of the most effective.
- Values then averaged for each component.
- Based on the comparison of each value can be known which components had the lowest value that is a major cause of ineffectiveness of data sharing in each institution.
- From the total value of each component can be also known sub-component which is act as the trigger of the biggest causes of ineffectiveness of data sharing.

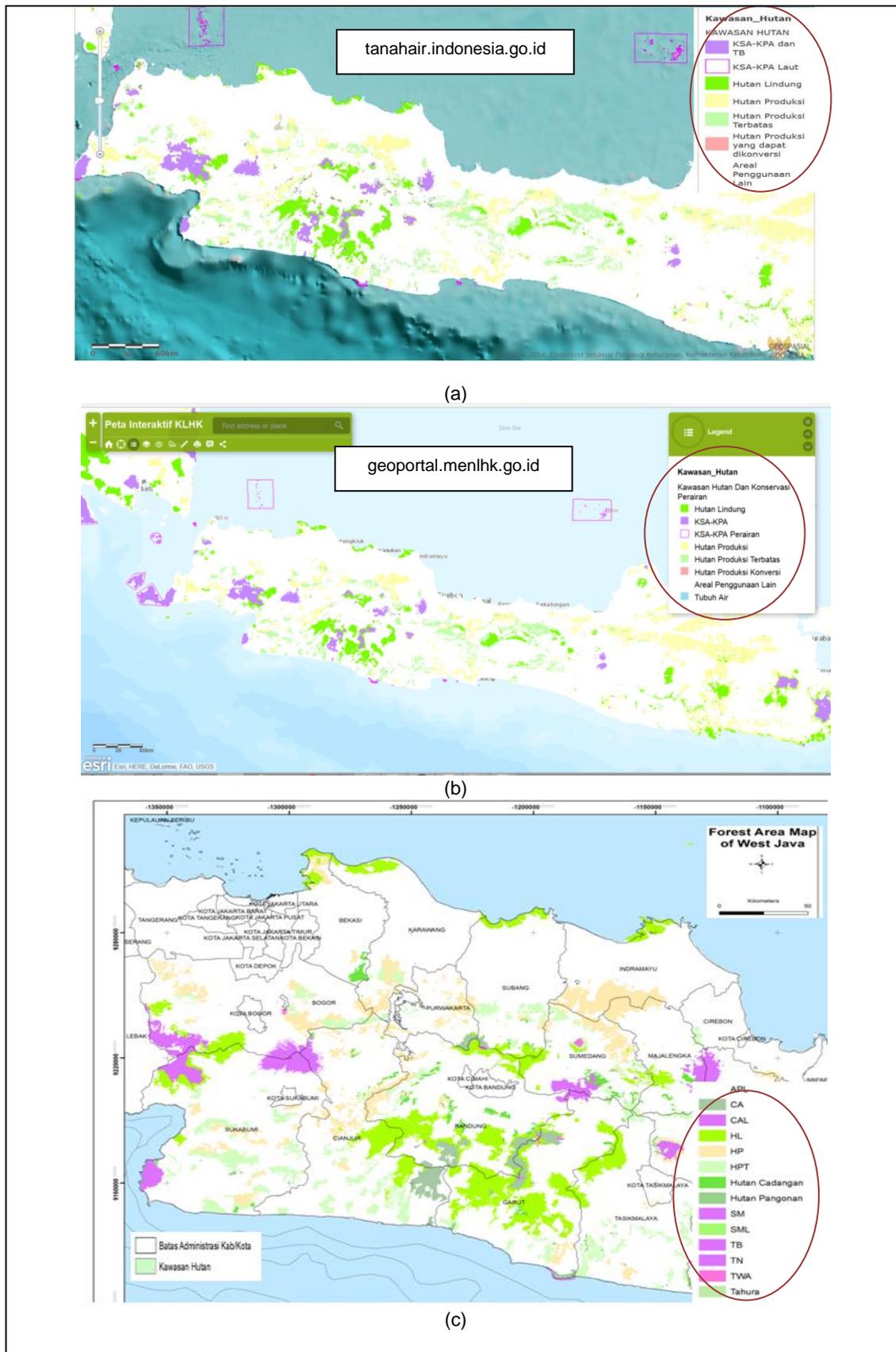


Figure 3. Differences in Legend of Forest Area Layer.

In general, the average calculation was done to determine the percentage of each component to the entire component, obtained the following result described in **Table 3**.

Figure 4 shows the result of questionnaire. It can be seen that Institutional Arrangement is a component that has the lowest value, which is 2,89 means it causes the ineffectiveness of data sharing in three institutions in general, while

technological component is the highest with 3,75 in average shows that technology has supported the data sharing as well in general.

Table 3. National Appraisal Perception of Ina-SDI.

Component	Average (per component)
Policy	3,67
Institutional	2,89
Technology	3,75
Standard	2,95
Human Resources	3,58
Total	16,84
Percentage	67,36%

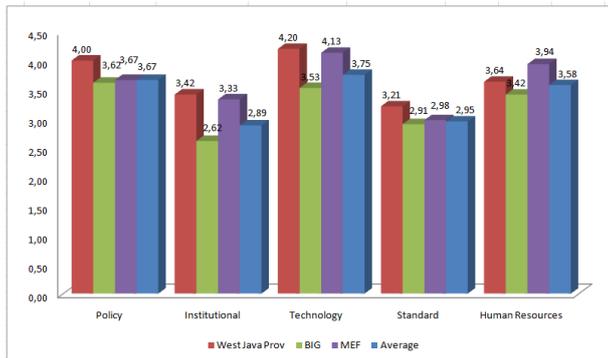


Figure 4. Average of user perception in NSDI.

The explanation about each component is described as follows:

1. With the greatest value of 3,75, technology considered as the most effective component even it has an administrative issues related to the handover servers from BIG as Property of the State. The main problems in technology is Ina-Geoportal as a tool of data sharing considered to be not user friendly and difficult to operate according to most respondents. Features in Ina-geoportal does not facilitate user in terms of finding, displaying, and downloading data. Another problem is not all agencies and regions have their own servers, they objected to the procurement of the server itself.

Some regional districts / cities still have difficulties of ownership and management of the server, where they still do not understand how to treat the server, even found the condition of the server which has no temperature controlled and no maintenance of the server room.

2. The component in the second place is policy with 3,67 in value. The role of regulation is already clear and supporting the implementation of NSDI, instead there are some differences in interpretation of regulations in institutions and regions.

For example, the regulations regarding metadata are already clearly stated in the Act, Regulation of JIGN, even Regulation of Head of Geospatial Information Agency Np.30/2013

in Standards for Metadata and/or History Data in the GI Implementation. In fact, even BIG has no metadata in the base maps produced. Another problem in the legislation is not all derivatives regulations required under Law 4/2011 already made and published. Whereas the implementing regulation describes the details related to the implementation of data sharing.

3. The third rank is human resources with 3,58 in value, with the most problematic sub-component is that the function of personnel do not correspond to their daily work. As occurred in MEF where the dominant functional position is the Forest Ecosystem Controller, while they daily job is related to the data management, mapping, and some technological things (handling the server operational). For the data sharing activities usually involve functional surveyors mapping or computer administration. A high frequency in the movement of personnel has also become one of the problems that occur and considered to inhibit the implementation of data sharing. In the regions, the personnels sometimes have ideas and high motivation to make a change, but can not define what the needs of the application, so the application unused when it finished. Generally, study of human resources usually based on two things: capacity and motive. For capacity, the competence of human resources involved in NSDI is less, particularly in regions. There is still lack of personnel who has less interest or low motivation in data sharing. For the motives, not all authorities see the benefits and importance of data sharing, so they do not prepare a budget to support the infrastructure, which requires a server, a stable internet connection, etc.

4. Component of standardis in fourth place with 2,95 in value. There has been no implementation of metadata in the base map (ISO Metadata Standard 19115:2012), including the unavailability of metadata catalogue. It also found out that the base-map used by other agencies is not in one version eventhough the related institutions can accessed the One Map through portal with given username and password. In addition format data production both base-map data or thematic data from agencies not in a format of Feature Catalogue yet in accordance with ISO 19110: 2015.

Feature catalogue is a system that contains elements and attributes that can be used by producers and users of GI in building the structures of geospatial data. The feature catalog contains all the elements in thirteen categories: boundaries, geology, hydrography, hipsografi, cadastre, the built environment, the spatial reference, soil, thematic, toponymy, transportation and utilities, vegetation, and specialized datasets. Based on the results of

the questionnaire it is also known that the topographical base map created by BIG considered incomplete and not up to date.

5. Institutional arrangement with 2,89 in value indicated as the most ineffective component. Institutional relates to who is producing what (custodian) which actually is now facilitated by the One Map Policy through Presidential Decree Number 9/2016 in Accelerating the Implementation of One Map Policy On the Map Scale Accuracy Level 1: 50.000. One map policy stated which data must be produced by a particular agency. According to some respondents, current conditions with the lack of clarity regarding the road map of tasks, what kind data needs to be provided, period of implementation of tasks and use of data in the agency's become the biggest problem in the data governance. This condition also raises the un-well planning related planning to the unplanned budget to support these activities. The data sharing process between technical in intern BIG has not gone well whereas it can be a model for other agencies to implement data sharing technically in their institution considering BIG as a network node connector. The role of Center for SDI Development in regions still has not contributed in helping the local government in spatial planning. The other problem is that the role of BIG in socializing and guidance to the network node is still lacking. Although the data sharing has been facilitated through the Ina-Geoportal and various collective agreements, there are still difficulties to obtain spatial data through the network of ministries/agencies and local government incorporated in JIGN. It is still common the data was obtained manually (with hard drive), whereas this way is extremely vulnerable to damage or incompleteness of data. Based on the calculations, the national perception of the user (BIG, MEF, West Java) of NSDI is 67,36%, means the gap is 32,64%. According to respondents, the five components of the NSDI still needs to be improved in the role and its implementation, especially in matters relating to the institutional and implementation of standards.

Gaps

In addition to analysis of all respondents, the grouping components was done based on the internal problems in the respondents office. The results explained as follows:

a. Geospatial Information Agency

Institutional arrangement with a value of 2,62 is a component that is considered most to be a problem in BIG. The sub components become the most significant cause according to

respondents is the lack of a road map for clarification of the task, the data must be provided, duration of employment, and the intended use / utilization data. The role of Center of Spatial Data Infrastructure Development also claimed to be the problematic sub-component which still has not contributed in helping the local government in spatial planning. Standard, human resources, technology, and policy row to be considered not a good component in the implementation of data sharing in the BIG. **Figure 5** shows a comparison between results of the analysis in BIG compared to the average value of three institutions. Generally , the value of perception of data sharing in BIG is below the average of all components.

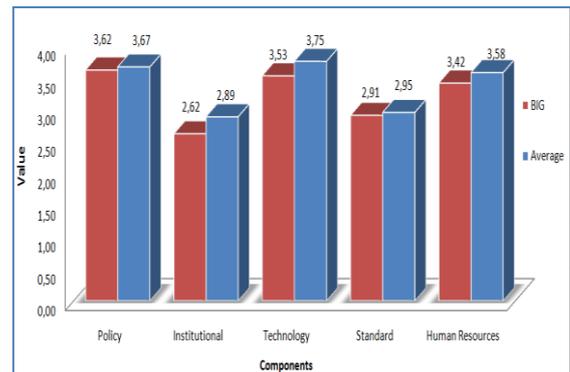


Figure 5. Comparison between BIG and National Average.

b. Ministry of Environment and Forestry

At MEF, the standard becomes a component with the lowest at 2,98. The most problematic sub-component is that the data production has not implemented in feature catalogue format. Spatial data that is used is in a large number of diverse scale and different projections. Geospatial database used was not referring to the features catalog that applies nationally namely Feature Catalogue of Indonesia (KUGI) as stated in ISO 19110, still, refers to the format of the Data Dictionary which has a theme and the scale corresponding to the production of forestry data. Implementation of metadata does not comply with the ISO 19115: 2012, still using simple metadata that contains a description of the data, made by whom and date of generation of data. Followed by institutional, policy, human resources, and technology. **Figure 6** shows a comparison between results of the analysis in MEF compared to the average value of three institutions.

c. Provincial Government of West Java

Based on the results of the questionnaire supported by deep interview found out that standard also became a major problem in the implementation of data sharing in West Java Province. Its value is 3,21 followed by components of institutional, human resources, policy, and technology.

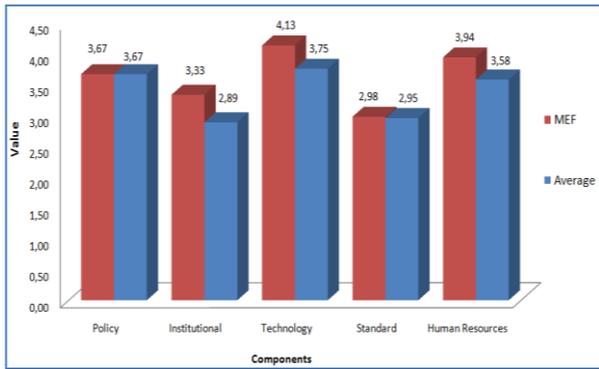


Figure 6. Comparison between MEF and National Average.

The most crucial sub-component in terms of standards in West Java is the base-map used as a reference in West Java in spatial planning yet have a complete data, up-to-date, equipped with metadata, also yet in a districts/cities. Besides, from the interview known that most of districts / cities has not refer to the topographical map by BIG as a reference and map work in spatial planning. In the institutional context, there is no division/special unit that handle data in agency, only some small of them. The data collected in the planning department. No for the technology component Center of Data Analysis and Development (*Pusdalisbang*) of West Java Province planning the development of cloud server to facilitate the districts/cities which has a difficulty in procuring the infrastructure, even though not easy to convince the leadership because it takes a huge cost. **Figure 7** shows a comparison between results of the analysis in West Java compared to the average value of three institutions.

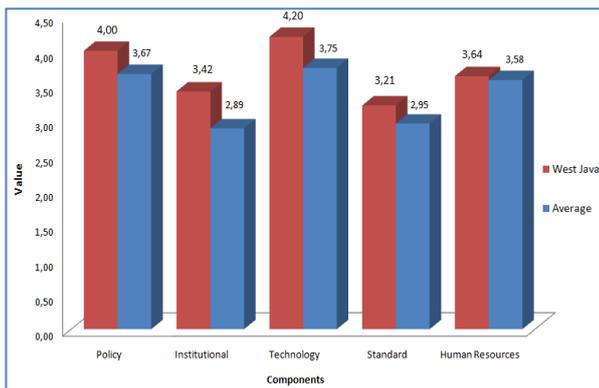


Figure 7. Comparison between West Java and National Average.

Solutions and Recommendations

By looking at the problems occur in the data sharing, there are several ways can be done to minimize the problems that occur so that data sharing activity in accordance with the purpose of the NSDI.

- To optimize the implementation of regulation,

BIG as the Network Node Connector need to push all parties to implement the substance of the rules in their agencies. BIG is needed to be more intense in socialization and training related to spatial data regulations and GI network, socialization of Ina-Geoportal and its function, and also the benefits from data sharing to communities, ministries/agencies, and local government.

- Today’s trend of technology is a cloud-based database. As a network node connector, BIG can build a cloud system to facilitate the problems related to unavailability of server in a network node. For those who have the willingness to share the data but limited in infrastructure can store their database in cloud servers provided by BIG. The things that can be taken in the near future is the clarity of the server status to be utilized immediately.
- One way that can be done to improve the data awareness in the districts/cities and other agencies is emulated what have been done by West Java Province. West Java is doing proactive method which is directly visited districts to make a clear custodianship. In this way, each district / city will have a better understanding of an importance of well-structured data, how to perform data processing in the right format, utilizing technology to disseminate data, knowing the benefit of data sharing, knowing the importance of using standard in the production of spatial data.
- All parties involved have to publish one version of map that can be achieved by the implementation of the provision of metadata for each data shared. This one version map also needed to be accessed easily by network node and published through portal. All parties should also have a strong commitment in increasing human resource skills through training and capacity building to run a good operation of data sharing.
- In terms of the role as a network node connector, BIG is needed to be more intense in socialization related to spatial data regulations and GI network, socialization of Ina-Geoportal and its function, and also the benefits from data sharing to communities, ministries/agencies, and local government so that interested parties can plan activities and provide a budget to support the implementation of data sharing in their institution.
- Provide a clear business process for data processing, quality control and data management in each technical unit in BIG.
- Improve the use of standards and completeness of metadata in agency and regions
- Synchronize the geospatial data and

- information between agencies/ministries.
- Complete the content of topographical map as a reference
 - Implemented the one map policy in the internal institution prior inter-agency

Table 4 shows the summary in gaps and recommendations can be done to improve the effectiveness of NSDI in agencies and regions.

Table 4. National Appraisal Perception of Ina-SDI.

Component	Gaps	Reccommendations
Policy	The derrivative rules of existing regulation has not been implemented	<ul style="list-style-type: none"> • Strong commitment of all parties involved, • disseminations of existing regulations
Institutional	<ul style="list-style-type: none"> • No road map of clear daily duty, • The role of BIG as network node connector still in low capacity 	<ul style="list-style-type: none"> • Doing a pro active method, • Provide the clarity of tasks with the time schedule included • Implement a good governance, • Improve the role of BIG
Technology	<ul style="list-style-type: none"> • BIG server placed in MEF and West Java still not utilized yet due to administrative problem; • Not readiness of infrastructure. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cloud technology, • Handovers the server of BIG placed in ministry and local government soon
Standard and Data	<ul style="list-style-type: none"> • Incomplete base-map, • Data is not in one version, • Still hard to get data inter-agency, • No implementation in metadata, • No implementation on feature catalogue 	<ul style="list-style-type: none"> • Complete the content of topographical map, • publish one version map, • synchronize the data inter-agency, • implement the metadata and feature catalogue standard in each data
Human Resources	<ul style="list-style-type: none"> • There is no suitability between function of personnel with their daily job; • High frequency of personnel movement; • Less competency of Geo-ICT 	<ul style="list-style-type: none"> • Conduct a training to improve personnel competency, • Make a documentation of daily work, • Enhance the functional correlated to the development of GI

CONCLUSION

NSDI development for nearly 10 years in Indonesia is considered ineffective seen from five component: policy, institutional, technology,

standard, and human resources. The value generated shows that the implementation of NSDI is about 67,36% for five components applied in Geospatial Information Agency, Ministry of Environment and Forestry, and Provincial Government of West Java. From the five components that were examined, institutional became the most influential component of the implementation of the NSDI in the absence of a road map and a clear plan in the work leading to low motivation and affect other components. Successive components that are considered influential are the implementation of standard, human resources who turned out mostly not fit between the functional position with daily tasks and high frequency of personnel movement, especially in the regions. The implementation of the policy also considered is still low whereas the regulations already exists and complete, and last is the technology that still problematic in the use of Ina-Geoportal which still not noticed much by many parties and the operational of the system were deemed to be less user friendly. By looking at these problems, the recommendations can be implemented are to strengthen the institutional arrangements between agencies at both the ministries or local, increase participation and active implementation of all the parties involved, obedient to any existing regulations, implementing standards in each data production, complements topographical map content soon, and increase the understanding of the data sharing importance sharing for national development planning.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors thank Magister of Information Technology for Natural Resources Management, SEAMEO BIOTROP which had supported the research. We also thank Forestry Faculty, Bogor Agricultural University (IPB), and Geospatial Information Agency (BIG).

REFERENCES

- Clausen, Christian., Abbas Rajabifard, Stig Enemark, Ian Williamson. (2009). *Awareness as a Foundation for Developing Effective Spatial Data Infrastructures*. Land Use Policy 26: 254-261.
- Feeney, M. E. and Williamson I. P. (2003). "The role of Mechanisms in Spatial Data Infrastructure Development that Support Decision-Making". *Journal of Cartography*, 3(2), pp. 21-37.
- Grus, Lukasz., et.al. 2011. An Assessment View to Evaluate Whether Spatial Data Infrastructures Meet Their Goals. *Computer, Environment and Urban System*, 35: 217-229.
- RI (Republic of Indonesia). (2011). Law No 4 Year 2011 on Geospatial Information in Indonesia. State Gazette Republic of Indonesia Year 2011 Number 49. State Secretariat. Jakarta
- Lewenussa, Aswita. (2014). *Tinjauan Kritis Kebijakan Alokasi dan Distribusi Manfaat Sumberdaya Hutan Terhadap Undang-Undang 41 Tahun 1999*.

- [master thesis]. Bogor (ID); Graduate School. Bogor Agricultural University.
- McDougall, Kevin., Abbas Rajabifard., Ian P Willaimson. (2006). *A Mixed Method Approach for Evaluating Spatial Data Sharing Partnerships for SDI Development*. University of Southern Queensland.
- Nedović-Budić, Z., Pinto, J. K. and Budhathoki, N. R. (2008). SDI Effectiveness from the User Perspective, In: A Multi-view Framework to Assess Spatial Data Infrastructures, Crompvoets, J.W.H.C.; Rajabifard, A.; Loenen, B. van; Delgado Fernandez, T., Melbourne, Australia : The Melbourne University. Press, pp 273 – 303.
- Subedi, Nab, Raj., 2009. Evaluation of Successs of National Geographic Information Infrastructure (NGII): User Satisfaction Perspective (A Case in Nepal). [Master Thesis]. Netherlands: International Institute for Geo-Information Sciencce and Earth Observation Enschede.
- Sugiyono. (2011). *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D)*. Bandung: Alfabeta.
- Sutanta, H., dkk. (2014). "I-SRI : an SDI Readiness Index for Local Government in Indonesia." Proceedings of the XXV FIG Congress, Kuala Lumpur, 16-21 June 2014
- Toomanian, Ara. (2012). *Methods to Improve and Evaluate Spatial Data Infrastructures*. GIS Centre, Department of Physical Geography and Ecosystem Science, Lund University. Sweden.

IDENTIFIKASI PERUBAHAN KERAPATAN VEGETASI KOTA MANADO TAHUN 2001 SAMPAI 2015

(Identification of Vegetation Density Change in Manado City Period 2001-2015)

Nurlita Indah Wahyuni¹, Diah Irawati Dwi Arini¹ dan Afandi Ahmad²

¹Balai Penelitian Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Manado

²Program Studi Ilmu Pengelolaan Hutan Sekolah Pascasarjana IPB

Jl. Raya Adipura Kelurahan Kima Atas, Kecamatan Mapanget, Indonesia

E-mail: nurlita.indah@gmail.com

Diterima (received): 8 Agustus 2016; Direvisi (revised): 11 Maret 2017; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 4 April 2017

ABSTRAK

Kebutuhan manusia akan lahan di wilayah perkotaan menyebabkan perubahan fungsi lahan terutama pada areal bervegetasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perubahan kerapatan vegetasi tahun 2001 dan 2015 di Kota Manado serta pengaruhnya terhadap kualitas lingkungan. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa citra satelit Landsat 7 tahun 2001 tanggal akuisisi 14 Februari 2001 dan Landsat 8 tanggal akuisisi 25 Maret 2015, data-data pendukung lainnya yaitu peta administrasi kota Manado tahun 2010, peta rupa bumi kota Manado skala 1:50.000. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah perbandingan nilai *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dengan kanal merah (*Red*) dan infra merah dekat (*NIR*) yang sudah dikonversi ke nilai reflektan. Teknik analisis menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan penginderaan jauh dengan menentukan kerapatan vegetasi dan diklasifikasikan menjadi kelas kerapatan. Hasil penelitian menunjukkan antara 2001 dan 2015 kerapatan vegetasi sangat rapat (hutan dan hutan mangrove) dan tidak bervegetasi (badan air) mengalami penurunan luas masing-masing sebesar 28,71% dan 0,08%. Peningkatan luas terjadi pada kerapatan vegetasi tidak rapat (lahan terbangun/pemukiman), cukup rapat (pertanian lahan kering) dan rapat (kebun dan semak belukar) masing-masing sebesar 4,37%, 10,70% dan 13,72%. Perubahan areal bervegetasi di Kota Manado signifikan terjadi karena kegiatan reklamasi pantai menjadi lahan terbangun serta lahan kosong dan perkebunan menjadi perumahan.

Kata kunci: Landsat, *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), kerapatan vegetasi, Kota Manado

ABSTRACT

Human demand for land in urban area has been changed the land cover, particularly on vegetation area. This study aims to identify vegetation density change between period 2001 and 2015 in Manado area along with its influence toward environment quality. The data which used in this study are Landsat 7 imagery with acquisition date on February 14th 2001 and Landsat 8 imagery with acquisition date on March 25th 2015., while supporting data i.e. administrative map of Manado City in 2010 and basic map of Manado City in scale 1:50.000. The method is comparison between Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) with red band and near infra red (NIR) band that converted into reflectan values. Geographic Information System (GIS) and remote sensing techniques were used to determine and classify crown density of vegetation. The result showed that the vegetation density class comparison between 2001 and 2015 were: highly dense (forest and mangrove forest) and non vegetation (water body) decreased 28,71% and 0,08% respectively; while the increasing occurred each in low dense (buildings and residence) 4,37%; moderately dense (dryland farming) 10,70% and dense (garden and shrub) 13,72%. The significant change of vegetation area in Manado City was occurred due to coast reclamation into building area as well as bare land and plantation become residence.

Keywords: Landsat, *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), vegetation density, Manado City

PENDAHULUAN

Manado adalah ibu kota dari propinsi Sulawesi Utara, memiliki bentang alam yang berbukit, bergunung dan berombak-ombak (Moniaga dan Takumansang, 2015). Kota yang berada di tepi pantai Laut Sulawesi tepatnya di Teluk Manado memiliki luas daratan 15.726 hektar. Manado

adalah sebuah kota yang memiliki garis pantai sepanjang 18,7 kilometer dan menjadi suatu wilayah yang menyimpan potensi ekonomi yang sangat besar (Sirapanji, 2013). Pertumbuhan ekonomi yang sangat pesat di Kota Manado berdampak pada peningkatan kebutuhan terhadap lahan. Areal pemukiman dan pusat perekonomian dibangun untuk memenuhi kebutuhan penduduk.

Pembangunan dan pengembangan kota cenderung mengarah pada konversi lahan. Salah satu areal yang sering terkena dampak konversi lahan adalah areal hijau seperti jalur hijau, taman kota, pekarangan, lahan pertanian dan hutan yang banyak dikonversi menjadi pusat perekonomian dan areal terbangun (Lestari dan Jaya, 2005).

Pertambahan jumlah penduduk menimbulkan perubahan fungsi lahan menjadi pemukiman terutama di kota-kota besar seperti Semarang, Surabaya, Makassar, Jakarta dan termasuk di Kota Manado (Krismasta *et al.*, 2015). Sempadan pantai Teluk Manado yang berfungsi sebagai zona pelindung kini menjadi lahan lingkungan buatan yang sangat berpotensi dapat merusak lingkungan. Kegiatan reklamasi pantai di Teluk Manado dimulai sejak tahun 1995 sebagai usaha pemerintah dalam memenuhi kebutuhan tanah yang menjadi sangat vital akibat ledakan penduduk (Sirapanji, 2013). Perubahan fungsi lahan selain terjadi di sepanjang Teluk Manado juga tampak nyata terjadi di sekitar kawasan Bandar Udara Sam Ratulangi yaitu sekitar Kecamatan Mapanget serta di beberapa wilayah pulau kecil sekitarnya. Kajian di Kecamatan Mapanget menunjukkan antara tahun 2003 hingga 2014 telah terjadi pertambahan luas lahan terbangun setiap tahunnya rata-rata seluas 20,25 ha atau 1% dari total luas wilayahnya. Serta pembangunan sarana pariwisata seperti yang terjadi di Pulau Bunaken (Lahamendu dan Kustiwan, 2014).

Sebagian besar lingkungan alami Kota Manado telah dikonversi menjadi lingkungan buatan, dengan demikian tentunya akan banyak konsekuensi yang harus diterima. Perubahan fungsi lahan tidak jarang mengorbankan areal-areal bervegetasi maupun Ruang Terbuka Hijau (RTH) seperti pembangunan sarana pariwisata di Pulau Bunaken yang mengkonversi wilayah sempadan pantai dan kawasan hutan mangrove, maupun yang terjadi dengan pembangunan pemukiman dan fasilitas umum (jalan raya) telah merubah sebagian besar areal pertanian dan perkebunan menjadi lahan terbangun.

Keberadaan areal bervegetasi atau ruang terbuka hijau sangat diperlukan guna meningkatkan kualitas lingkungan hidup terutama di wilayah perkotaan baik secara ekologis, estetika dan sosial. Secara ekologis ruang terbuka hijau mampu menciptakan habitat berbagai satwa, misalnya burung. Secara estetis, ruang terbuka hijau menciptakan kenyamanan, harmonisasi, kesehatan, dan kebersihan lingkungan. Secara sosial, ruang terbuka hijau mampu menciptakan lingkungan rekreasi dan sarana pendidikan alam. Ruang terbuka hijau yang dikelola sebagai tempat pariwisata dapat membawa dampak ekonomis seperti meningkatkan pendapatan masyarakat (Putra, 2012).

Perubahan terutama areal vegetasi di wilayah perkotaan menurut Sjafi'i *et al.* (2001) akan menimbulkan semakin berkembang dan kompleksnya permasalahan lingkungan hidup.

Peningkatan pembangunan telah mengakibatkan pergeseran pola pemanfaatan lahan yang terkadang tidak sesuai dengan kaidah penataan ruang, daya dukung serta kesesuaian lahan. Selain itu, sering terjadi pemanfaatan kawasan yang seharusnya merupakan kawasan lindung sebagai lokasi kegiatan yang tidak bersifat kegiatan perlindungan, sehingga fungsi dan tatanan lingkungan juga ikut mengalami perubahan.

Kajian perubahan tutupan lahan dan vegetasi dewasa ini telah berkembang dalam bentuk metode analisis atau sumber data yang digunakan (Hansen dan Loveland, 2012). Pemantauan terhadap perubahan lahan dan vegetasi dapat dilakukan secara cepat, akurat, efisien serta mencakup luasan yang besar melalui aplikasi teknologi penginderaan jauh. Penginderaan jauh pada dasarnya adalah sebuah ilmu untuk memperoleh informasi tentang fenomena alam pada objek (permukaan bumi) yang diperoleh tanpa kontak langsung dengan objek permukaan bumi namun melalui pengukuran pantulan (*reflection*) ataupun pancaran (*emission*) gelombang elektromagnetik (Suwargana, 2013).

Penginderaan jauh khususnya citra satelit Landsat adalah sarana yang paling banyak digunakan untuk kegiatan pemetaan (Jaya, 2010) terutama untuk perubahan tutupan lahan dan vegetasi di berbagai daerah. Deteksi perubahan kerapatan vegetasi pada umumnya menggunakan parameter indeks vegetasi (Xian *et al.*, 2009; Hansen dan Loveland, 2012). Nilai indeks vegetasi dapat memberikan informasi tentang persentase penutupan vegetasi, indeks tanaman hidup (*Leaf Area Index*), biomassa tanaman, fAPAR (*fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation*), kapasitas fotosintesis dan estimasi penyerapan karbondioksida (CO₂) (Horning, 2004; Ji and Peters, 2007). Nilai indeks vegetasi merupakan suatu nilai yang dihasilkan dari persamaan matematika dari beberapa kanal *band* yang diperoleh dari data penginderaan jauh. Kanal tersebut biasanya adalah kanal merah (*visible*) dan kanal inframerah dekat (*near infrared*) (As-syakur dan Adnyana, 2009). Beberapa metode dalam analisis indeks vegetasi yang dikenal seperti NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), EVI-2 (*Enhanced Vegetation Index-2*), dan SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) (Prameswari *et al.*, 2015).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan nilai kerapatan vegetasi di Kota Manado tahun 2001 dan 2015 melalui aplikasi penginderaan jauh yaitu dengan menggunakan analisis indeks vegetasi NDVI dari citra satelit Landsat 7 dan 8. Hasil analisis terhadap perubahan kerapatan vegetasi ini diharapkan dapat dipergunakan sebagai data pendukung dalam pengendalian alih fungsi lahan untuk mempertahankan tata ruang yang tetap pada fungsi dan daya dukungnya serta dapat memberikan kenyamanan bagi masyarakat.

METODE

Data citra yang digunakan dalam penelitian ini yakni citra digital Landsat *path/row* 112/59 untuk wilayah Kota Manado yang diperoleh dari website USGS terdiri dari Landsat 7 tanggal akuisisi 14 Februari 2001 dan Landsat 8 tanggal akuisisi 25 Maret 2015. Data *Google Earth* digunakan sebagai data pembanding perubahan penutupan lahan. Selain itu digunakan juga data pendukung berupa batas administrasi Kota Manado, data kecamatan Kota Manado yang digunakan dalam penelitian ini data kecamatan berdasarkan PERDA nomor 5 tanggal 27 September 2000 tentang pemekaran Kecamatan dan kelurahan wilayah kota Manado yang semula terdiri atas 5 Kecamatan dengan 68 kelurahan/desa dimekarkan menjadi 9 Kecamatan dengan 87 kelurahan, Peta Rupa Bumi (jalan dan sungai) skala 1:50.000 tahun 2007. Peta tutupan lahan Kota Manado tahun 2001 dan 2015 yang diperoleh dari Direktorat Jendral Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan. Peralatan yang digunakan terdiri atas perangkat lunak Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh Langkah-langkah dalam penelitian ini disajikan dalam **Gambar 1**.

Konversi DN ke ToA Reflectance

Citra landsat yang digunakan berupa citra multiwaktu sehingga perlu dilakukan konversi *digital number* (DN) ke nilai reflektan. Penggunaan citra yang telah terkoreksi atmosferik lebih baik karena telah mengurangi perbedaan jarak matahari dan bumi serta kondisi atmosfer saat perekaman (Chander *et al.*, 2009). Konversi nilai digital Landsat

menggunakan metode *gain and bias* (Chander *et al.*, 2009). Tahap pertama adalah konversi nilai digital ke radians dengan **Persamaan 1, 2 dan 3**.

$$L_{\lambda} = G_{rescale} \times Q_{cal} + B_{rescale} \dots \dots \dots (1)$$

$$G_{rescale} = \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{cal\ max} - Q_{cal\ min}} \dots \dots \dots (2)$$

$$B_{rescale} = LMIN_{\lambda} \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{cal\ max} - Q_{cal\ min}} \right) Q_{cal\ min} \dots \dots (3)$$

dimana :

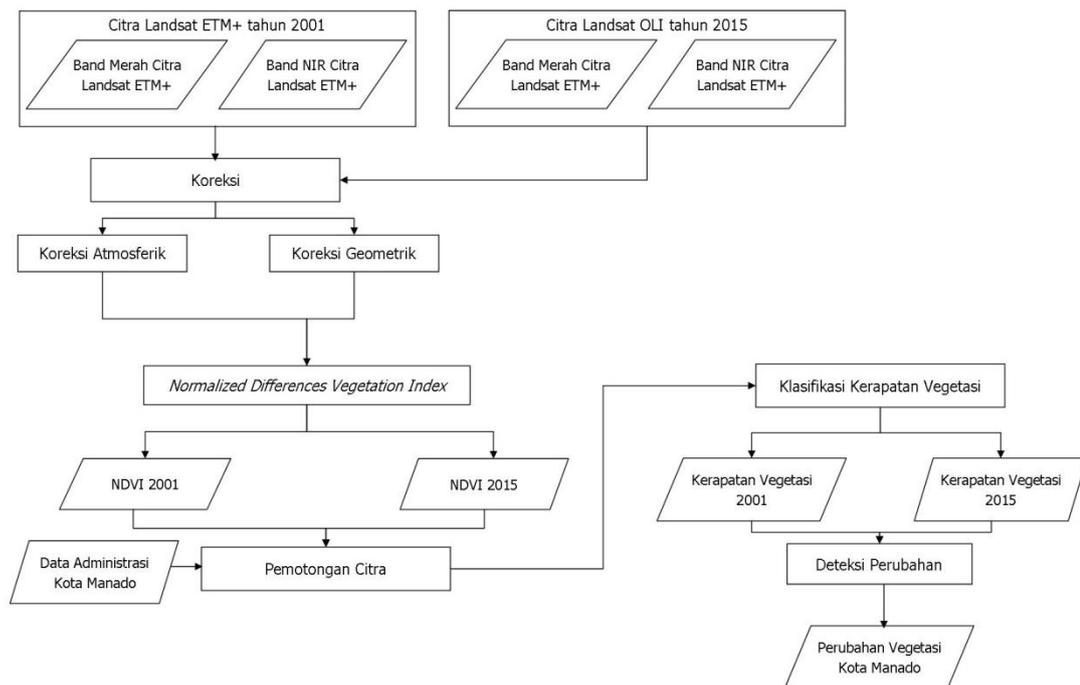
- L_{λ} : Spektrum radian pada sensor,
- Q_{cal} : Nilai digital piksel,
- $Q_{cal\ min}$: Kuantitas minimal nilai digital piksel,
- $Q_{cal\ max}$: Kuantitas maksimum nilai digital piksel,
- $LMAX_{\lambda}$: Nilai maksimal radian spectral,
- $LMIN_{\lambda}$: Nilai minimal radian spectral,
- $G_{rescale}$: Nilai *gain* dari citra landsat band ke-i,
- $B_{rescale}$: Nilai *offset* dari citra landsat ke-i.

Citra Landsat yang telah dikonversi ke nilai radians, selanjutnya dikonversi ke nilai reflektan di atas atmosfer (*ToA Reflectance*). Konversi nilai radian ke reflektan menggunakan **Persamaan 4**.

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s} \dots \dots \dots (4)$$

dimana:

- ρ_{λ} : Reflektan di atmosfer,
- π : Nilai phi 3.14159,
- L_{λ} : Spektrum radian pada sensor,
- d : Jarak matahari ke bumi,
- $ESUN_{\lambda}$: *Exoatmospheric solar irradiance*



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian.

Citra Landsat yang telah dikoreksi atmosferik kemudian digunakan untuk membuat citra indeks vegetasi yaitu NDVI (Parente, 2013).

Transformasi NDVI

Transformasi nilai NDVI diperoleh dengan perhitungan *Near Infrared* (NIR) dengan *Red* yang dipantulkan oleh tumbuhan. Nilai NDVI diperoleh dengan membandingkan data *Near Infrared* dan *Red* dengan formula yang disajikan pada **Persamaan 5**.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \dots \dots \dots (5)$$

Pada citra Landsat 7 NIR adalah *band* 4 dan Red adalah *band* 3, sedangkan pada citra Landsat 8 NIR adalah *band* 5 dan Red adalah *band* 4. Berdasarkan hasil transformasi IDV pada citra Landsat 7 tahun 2001 dan Landsat 8 tahun 2015 untuk wilayah Kota Manado dihasilkan nilai *maximum* dan *minimum* pada masing-masing hasil transformasi citra. Pada tahun 2001 nilai NDVI pada kisaran -0,42 sampai dengan 0,83, sedangkan pada tahun 2015 menunjukkan kisaran -0,41 sampai dengan 0,83. Untuk menentukan nilai kisaran kerapatan vegetasi ditentukan dari hasil tumpang tindih antara peta NDVI dan peta tutupan lahan kota Manado tahun 2001 dan 2015 dan kemudian diamati secara visual, sehingga diperoleh lima kelas kerapatan vegetasi yang disajikan dalam **Tabel 1**.

Tabel 1. Nilai Kisaran NDVI.

No	Tutupan lahan dominan	Nilai kisaran NDVI	Kategori Vegetasi
1.	Hutan primer, hutan sekunder, hutan mangrove	0,65 s/d 0,83	Sangat rapat
2.	Semak, kebun	0,65 s/d 0,40	Rapat
3.	Pertanian lahan kering, pertanian lahan kering campuran	0,40 s/d 0,20	Cukup rapat
4.	Pemukiman/lahan terbangun	0,20 s/d 0,00	Tidak rapat
5.	Badan air, awan	0,00 s/d -0,42	Tidak bervegetasi

Sumber : Data Primer (2016)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan Kerapatan Vegetasi Kota Manado

Kota merupakan pusat dari segala aktivitas manusia. Pembangunan pesat di beberapa kota di Indonesia turut mempengaruhi perubahan fungsi lahan menjadi lahan-lahan terbangun guna memenuhi kebutuhan manusia. Terbatasnya luas lahan di wilayah perkotaan menyebabkan ruang yang seharusnya diperuntukkan sebagai kawasan perkebunan dan pertanian atau difungsikan sebagai kawasan lindung, kawasan resapan air, maupun ruang terbuka hijau berubah fungsi menjadi peruntukan lain. Dewasa ini perubahan

fungsi lahan yang terjadi di kota Manado sangat pesat yang utamanya disebabkan oleh urbanisasi. Kota Manado memiliki peran besar sebagai pusat pelayanan jasa dan perdagangan juga sebagai Ibu Kota Provinsi Sulawesi Utara. Kota Manado menjadi salah satu daya tarik bagi penduduk untuk beraktivitas dan bertempat tinggal. Berdasarkan sensus tahun 2000 jumlah penduduk Kota Manado adalah 372.887 jiwa dan tahun 2014 meningkat sebesar 15,53% atau menjadi 430.790 jiwa.

Struktur luas wilayah atau luas lahan Kota Manado hanya 1,09% dari keseluruhan luas provinsi Sulawesi Utara. Dengan konsep perekonomian dan pengembangan daerah bisnis Manado mampu mengubah dan mereklamasi pinggiran pantai menjadi pusat bisnis dengan sebutan *Boulevard on bussines*. Kemajuan kota Manado ini menjadi daya tarik masuknya investor-investor dari luar wilayah Sulawesi Utara sampai dengan masuknya penduduk-penduduk dari luar kota Manado, baik itu untuk berbisnis maupun untuk status sosial lainnya. Hal ini sangat mempengaruhi dinamika kependudukan yang ada di kota Manado. Bertambahnya jumlah penduduk maka kebutuhan akan lahan juga tidak terhindarkan (Seng *et al.*, 2015).

Kota Manado dengan konsep pengembangan ekonomi, membutuhkan sumberdaya baik sumberdaya manusia maupun sumberdaya alam untuk menunjang pembangunan, dengan pemanfaatan yang semaksimal mungkin. Berdame (2013) menjelaskan saat ini pemanfaatan lahan di Kota Manado yang berlebihan belum terlalu terasa seperti di daerah Jawa, tetapi pembangunan yang dari sisi negatif menjadi salah satu pencetus kepadatan penduduk pelan tapi pasti akan membawa kota Manado kepada situasi yang disebut sebagai *overshoot* yaitu terlampauinya ketersediaan lahan oleh kebutuhan. Hal ini dapat diperparah karena pemanfaatan ruang tidak sesuai dengan kemampuan lahan (*land capacity*).

Berdasarkan hasil analisis citra Landsat 7 tahun 2001 dan Landsat 8 tahun 2015 untuk wilayah Kota Manado dengan menggunakan metode perbandingan nilai NDVI yang disajikan dalam **Tabel 2** dan **Gambar 2** telah terjadi perubahan kerapatan vegetasi seperti kelas sangat rapat yang mengalami penurunan sebesar 28,71 % atau berkurang sebesar 4.685,04 ha demikian pula dengan kelas kerapatan tidak bervegetasi yang mengalami penurunan sebesar 0,08% dari tahun 2001. Peningkatan dominan terjadi pada kelas vegetasi rapat yang mengalami peningkatan luas sebesar 13,72% atau 2.238,57 ha diikuti dengan peningkatan kelas cukup rapat sebesar 10,70% atau 1.747,08 ha dan kelas tidak rapat sebesar 4,37% atau 712,98 ha.

Pemanfaatan ruang atau lahan di Kota Manado pada awalnya lebih didominasi oleh lahan pertanian mencapai 11.037,10 ha, diikuti perumahan seluas 3.598,83 ha, dan hutan 662,70 ha, namun pada tahun 2015 luas hutan/perkebunan mengalami penurunan menjadi

201,82 ha (Sjafi'i et al. (2001); Seng et al., 2015). Pembangunan Kota Manado mengarah pada daerah-daerah perbukitan yang pada awalnya merupakan kawasan hutan atau semak belukar rapat maupun perkebunan dan pada kawasan pesisir melalui kegiatan reklamasi menjadi lahan terbangun termasuk pemukiman dan kawasan bisnis. Peningkatan lahan terbangun (permukiman) di Kota Manado dengan tutupan perkerasan beton tentunya akan menurunkan kualitas lingkungan dan penurunan lahan bervegetasi (perkebunan/RTH) yang berfungsi sebagai area konservasi air tanah dan iklim mikro.

Kota Manado terbagi ke dalam sembilan kecamatan. Berdasarkan **Tabel 3**, pada tahun 2001 terdapat enam kecamatan yang teridentifikasi memiliki kelas vegetasi sangat rapat berupa tutupan lahan hutan dan hutan mangrove yaitu Kecamatan Bunaken, Mapanget, Singkil, Wanea, Malalayang dan Tikala, sementara itu pada tahun 2015 bertambah satu kecamatan yaitu Tuminting. Vegetasi sangat rapat pada tahun 2001 dominan dijumpai pada Kecamatan Mapanget dan Bunaken. Penurunan kerapatan vegetasi sangat rapat terbesar dalam periode waktu 14 tahun berada di Kecamatan Mapanget yaitu sebesar 40,91%. Vegetasi sangat rapat teridentifikasi terdapat di hutan lindung Gunung Tumpa, kawasan hutan mangrove serta perkebunan kelapa. Hal senada diungkapkan oleh Putra (2012) yang menyatakan

lahan bervegetasi atau RTH aktual paling besar adalah pada wilayah Kecamatan Mapanget dan Bunaken. Hasil penelitian juga menunjukkan Kecamatan Sario dan Wenang tidak memiliki kelas vegetasi sangat rapat. Menurut hasil penelitian Sjafi'i et al. (2001) Kecamatan Sario dan Kecamatan Wenang didominasi oleh kawasan perumahan.

Selama kurun waktu 14 tahun, tingkat kerapatan vegetasi tidak rapat yang dipresentasikan dalam bentuk tutupan lahan terbangun dan pemukiman rata-rata mengalami peningkatan luas kecuali di Kecamatan Tuminting dan Wenang. Peningkatan terbesar untuk lahan terbangun terjadi di Kecamatan Mapanget 38,24% diikuti dengan Kecamatan Tikala yang meningkat sebesar 26,21% serta Kecamatan Malalayang dan Wanea masing-masing sebesar 13,92% dan 12,50%. Peta kerapatan vegetasi tahun 2015 seperti pada **Gambar 6** menunjukkan perubahan kerapatan vegetasi di beberapa kecamatan, salah satu contohnya adalah Kecamatan Mapanget yang banyak mengalami pembangunan wilayah perkantoran dan perumahan/pemukiman. Hal ini dipicu dari kejadian banjir besar tahun 2014 yang melanda di Kota Manado, dimana Kecamatan Mapanget adalah kawasan yang paling aman dari banjir sehingga pembangunan pemukiman lebih dititikberatkan pada wilayah ini.

Tabel 2. Luas Kerapatan Vegetasi Kota Manado Tahun 2001 dan 2015.

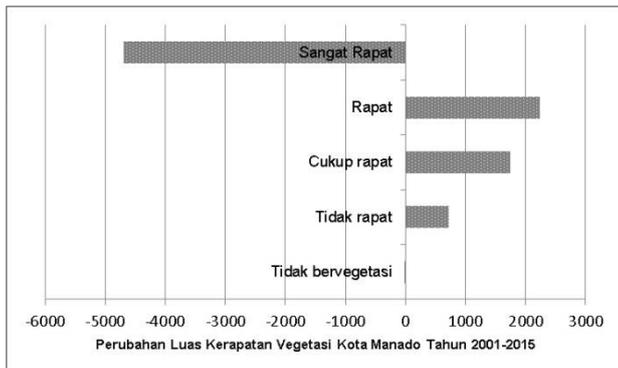
Kerapatan vegetasi dan tutupan lahan	2001		2015		Perubahan	
	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%
Tidak bervegetasi (badan air)	31,68	0,18	18,09	0,08	-13,59	0,08
Tidak rapat (lahan terbangun/pemukiman)	755,1	4,71	1.468,08	9,09	712,98	4,37
Cukup rapat (pertanian lahan kering)	2.062,17	12,86	3.809,25	23,44	1.747,08	10,70
Rapat (semak belukar dan perkebunan)	5.894,28	36,10	8.132,85	49,75	2.238,57	13,72
Sangat Rapat (hutan dan hutan mangrove)	7.577,01	46,15	2.891,97	17,63	-4.685,04	28,71
Jumlah	16.320,24	100,00	16.320,24	100,00		

Sumber : Data primer (2016)

Tabel 3. Kerapatan Vegetasi Berdasarkan Kecamatan di Kota Manado Tahun 2001 dan 2015.

Kecamatan	Tidak bervegetasi (badan air)		Tidak rapat (lahan terbangun/pemukiman)		Cukup rapat (pertanian lahan kering)		Rapat (semak dan perkebunan)		Sangat rapat (hutan dan hutan mangrove)	
	2001	2015	2001	2015	2001	2015	2001	2015	2001	2015
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)
Bunaken	30,24	13,50	44,91	55,26	283,23	319,59	1657,08	2135,07	2313,90	1805,85
Mapanget	0,00	0,00	41,13	337,42	270,00	1386,72	1979,19	3669,66	3881,07	777,33
Tuminting	0,00	0,00	155,61	136,80	158,58	131,94	26,64	66,24	0,00	5,85
Singkil	0,00	0,00	74,52	104,40	195,93	191,61	234,00	188,73	1,89	21,60
Wenang	0,00	0,00	186,75	180,63	157,50	140,76	18,99	41,85	0,00	0,00
Sario	0,00	0,00	110,79	111,69	89,73	80,73	5,40	13,50	0,00	0,00
Wanea	0,00	0,00	61,92	158,76	295,02	383,40	313,74	258,66	152,91	22,77
Malalayang	0,00	0,00	48,87	156,69	306,99	558,72	962,73	798,57	268,29	72,29
Tikala	0,00	0,00	50,22	253,26	356,58	661,14	738,03	1007,37	968,76	192,78

Sumber : Data primer (2016)



Gambar 2. Perubahan Luas Kerapatan vegetasi Kota Manado Tahun 2001 dan 2015.

Tabel 4 menunjukkan perubahan kerapatan vegetasi tahun 2001 dan 2015. Kelas vegetasi sangat rapat mengalami perubahan menjadi kelas vegetasi rapat atau cukup rapat. Hal ini menunjukkan telah terjadi konversi RTH menjadi tanah terbuka atau semak. Selain itu, terjadi peningkatan kerapatan vegetasi dari kelas tidak bervegetasi menjadi vegetasi tidak rapat sebesar 14 hektar. Pembangunan Kota Manado yang cukup pesat menyebabkan areal bervegetasi dikonversi menjadi pemukiman atau area terbangun.

Pariwisata merupakan salah satu program unggulan dari Pemerintah Kota Manado. Suksesnya program ini ditunjang dengan beberapa obyek pariwisata yang menarik seperti Taman Nasional Laut (TNL) Bunaken, Pulau Siladen, Pulau Manado Tua, Hutan Gunung Tumpa serta beberapa kawasan wisata kuliner yang dibangun di

sepanjang Teluk Manado, kawasan perbelanjaan, sarana pariwisata dan hotel yang dibangun sebagai penunjang. Pengembangan kawasan pariwisata yang dilakukan di sepanjang Teluk Manado sebagai pusat kota mencakup Kecamatan Malalayang, Sario dan Wenang dilakukan melalui reklamasi karena tidak tersedianya lahan untuk kegiatan pembangunan. Selanjutnya kebijakan Pemerintah Daerah Kota Manado dalam rangka mengatasi keterbatasan ruang dalam konteks pembangunan adalah menjadikan wilayah laut sebagai salah satu alternatif jalan keluar melalui reklamasi pantai Teluk Manado.

Kebijakan reklamasi pantai ini, di samping bertujuan untuk menyiapkan kawasan baru yang nantinya akan menyemarakkan kegiatan bisnis sebagai alternatif investasi terpadu yang memacu keramaian kota, juga untuk meningkatkan daya tarik Kota Manado dari arah pantai dengan konsep “Water Front City” di samping itu dapat menahan abrasi pantai (Sjafi'i *et al.*, 2001). Demikian juga yang terjadi di Pulau Bunaken, dimana kawasan hutan mangrove banyak terkonversi dengan kegiatan pembangunan untuk menunjang wisata (Lahamendu dan Kustiwan, 2014). Beberapa gambar terkait dengan perubahan lahan serta konversi areal bervegetasi menjadi peruntukan lain yang terjadi di Kota Manado disajikan dalam **Gambar 3**, **Gambar 4** dan **Gambar 5**. Peta hasil analisis perubahan kelas kerapatan vegetasi Kota Manado tahun 2001 dan 2015 disajikan dalam **Gambar 6**.

Tabel 4. Matrik Perubahan Kerapatan Vegetasi Kota Manado Tahun 2001 dan 2015.

Kerapatan 2001 (ha)	Kerapatan 2015 (ha)					Total
	Tidak bervegetasi	Tidak rapat	Cukup rapat	Rapat	Sangat Rapat	
Tidak bervegetasi	11.79	14.85	5.04	-	-	31.68
Tidak rapat	5.22	534.69	197.91	16.83	0.45	755.1
Cukup rapat	0.36	478.26	1.161.36	407.88	14.31	2.062.17
Rapat	0.54	171.36	1.483.83	3.471.84	766.71	5.894.28
Sangat Rapat	0.18	268.92	961.11	4.236.3	2.110.5	7.577.01
	18.09	1.468.08	3.809.25	8.132.85	2.891.97	16.320.24

Sumber : Data primer (2016)



2001



2015

Sumber: Data Google Earth tahun 2001 dan 2015

Gambar 3. Perubahan Kawasan Reklamasi Teluk Manado 2001 dan 2015.



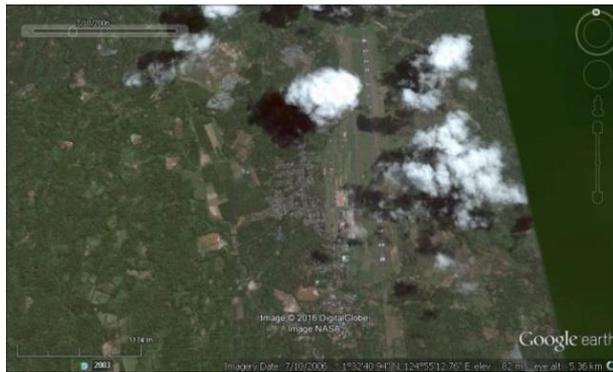
2001



2015

Sumber: Data Google Earth tahun 2001 dan 2015

Gambar 4. Perubahan Kawasan Ring Road Kota Manado 2001 dan 2015.



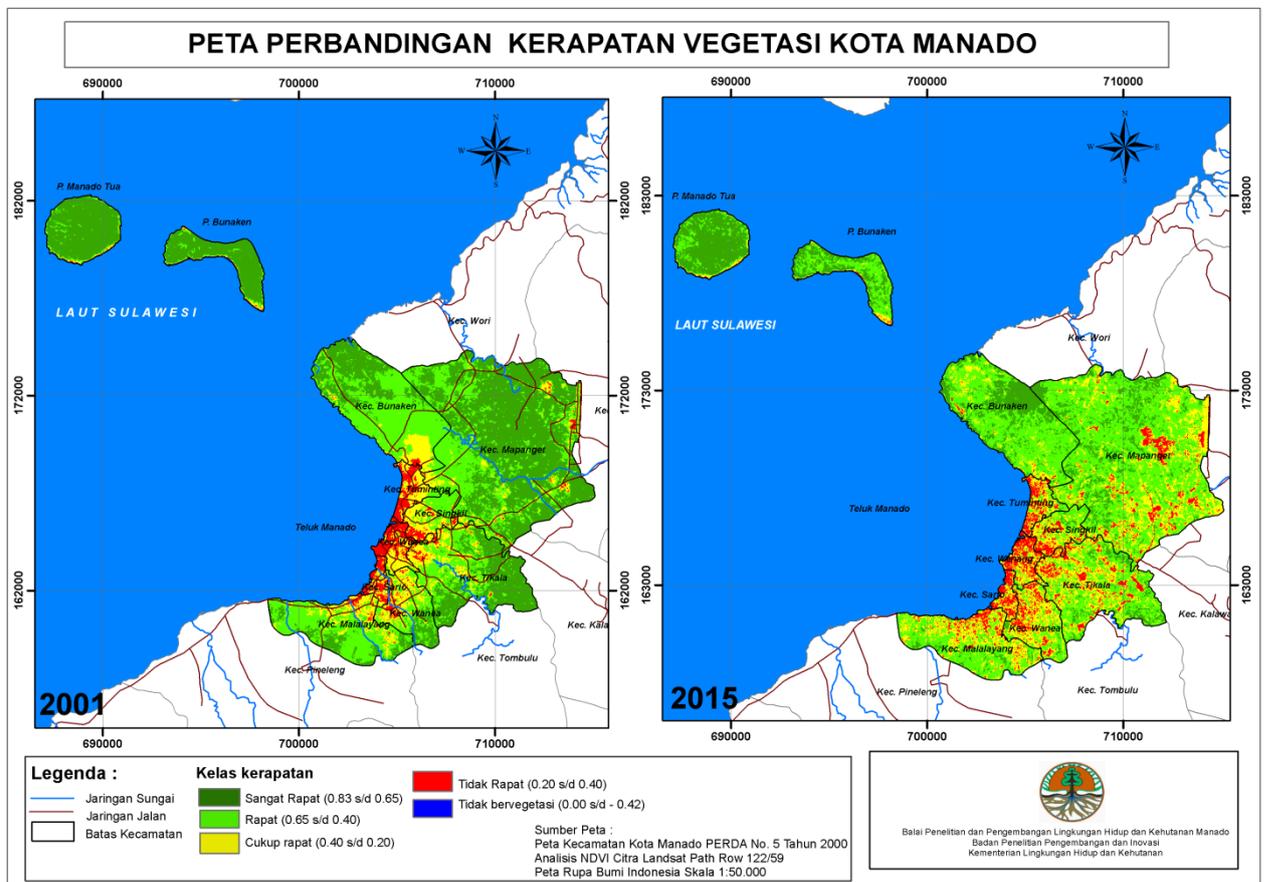
2001



2015

Sumber : Data Google Earth tahun 2001 dan 2015

Gambar 5. Perubahan Kawasan Sekitar Bandara Kota Manado 2001 dan 2015.



Gambar 6. Peta Perbandingan Kerapatan Vegetasi Kota Manado Tahun 2001 dan 2015.

Estimasi lahan bervegetasi atau Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Kota Manado adalah 12.549,44 ha atau 70% dari luas wilayah Kota Manado (Putra, 2012; Moniaga dan Takumansang, 2015), persentase ini jauh lebih besar dibandingkan yang dipersyaratkan dalam Undang-Undang Penataan Ruang No. 26 Tahun 2007 yang menjelaskan minimal 30% luas wilayah perkotaan diperuntukkan sebagai ruang terbuka hijau (RTH). Peraturan ini dipertegas dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 05/PRT/M/2008 tentang pedoman penyediaan dan pemanfaatan RTH di Kawasan Perkotaan bahwa proporsi tersebut merupakan ukuran minimal untuk menjamin keseimbangan ekosistem kota, maupun sistem ekologis lain yang dapat meningkatkan ketersediaan udara bersih yang diperlukan masyarakat kota.

Keberadaan ruang terbuka hijau sangat diperlukan bagi wilayah perkotaan. Selain menambah estetika dan keasrian kota, ruang terbuka hijau juga berfungsi menciptakan iklim mikro yang lebih sejuk, menjaga keseimbangan oksigen (O₂) dan karbondioksida (CO₂), mengurangi polutan serta membantu mempertahankan ketersediaan air tanah. Menurunnya kualitas dan kuantitas ruang terbuka hijau akan mengakibatkan menurunnya kualitas lingkungan seperti udara dan air bersih (Pancawati, 2010).

Pengaruh Perubahan Kerapatan Vegetasi terhadap Kualitas Lingkungan

Manado adalah kota pesisir yang dikenal karena keindahan alam serta ekosistem bawah laut yang kaya dan beranekaragam. Kota Manado berkembang pesat seiring dengan bertambahnya infrastruktur baru, perluasan kawasan pesisir untuk pembangunan yang membuka lapangan kerja baru serta pemenuhan kebutuhan manusia seperti pemukiman. Pembangunan yang terjadi ini tidak sedikit merubah bentang alam serta kawasan-kawasan bervegetasi menjadi lahan-lahan terbangun. Topografi yang berbukit-bukit di Kota Manado membawa kecenderungan pembangunan pemukiman pada kawasan dengan topografi curam atau dengan melakukan reklamasi pantai.

Keberadaan areal bervegetasi di kawasan perkotaan memberikan kontribusi utama dalam peningkatan kualitas lingkungan yang lebih baik. Carpenter *et al.* (1975) menyebutkan vegetasi memiliki kemampuan dalam menyerap panas dari radiasi matahari serta memantulkannya sehingga dapat menurunkan suhu iklim mikro. Vegetasi juga dapat mengurangi kecepatan angin, membantu menurunkan tingkat kebisingan, udara panas serta polusi. Sejalan dengan fungsi tersebut Purnomohadi (2006) menyempurnakan bahwa kehadiran ruang terbuka hijau di wilayah perkotaan dibedakan menjadi dua macam fungsi yaitu fungsi intrinsik dan fungsi ekstrinsik. Fungsi intrinsik atau fungsi utama yaitu sebagai fungsi ekologis yaitu

memberikan jaminan pengadaan RTH menjadi bagian dari sistem sirkulasi udara, pengatur iklim mikro, peneduh, produsen oksigen, penyerap populasi dan air hujan, penyedia habitat satwa dan penahan angin, sedangkan fungsi ekstrinsiknya adalah sosial dan budaya serta ekonomi dan estetika.

Hadirnya teknologi penginderaan jauh saat ini sangat membantu dalam pemantauan kualitas lingkungan seperti perubahan penggunaan lahan serta dapat prediksi dampak yang akan terjadi sebagai akibat perubahan lingkungan. Kerapatan vegetasi Manado yang diperoleh dari hasil analisis NDVI menyebutkan terdapat penurunan areal bervegetasi rapat (hutan dan hutan mangrove) sebesar 28,48% selama kurun waktu 14 tahun. Meskipun data menunjukkan areal bervegetasi di Kota Manado masih lebih besar dari yang dipersyaratkan dalam undang-undang namun perubahan areal bervegetasi tetap membawa berbagai macam dampak seperti penurunan keanekaragaman hayati, kenaikan suhu permukaan dan berkurangnya kawasan resapan air.

Keragaman hayati di wilayah perkotaan merupakan sumber daya vital, sebagai penyangga dan penyeimbang lingkungan hidup yang diperankan oleh karakter ekosistemnya. Berkurang dan berubahnya komunitas tumbuhan liar di jalur penyangga sempadan sungai dan pantai bukan saja akibat pengaruh alam, akan tetapi lebih nyata akibat desakan alih fungsi kawasan. Sebagai akibat yang ditimbulkannya, hilangnya jenis-jenis satwa liar karena daya dukung habitatnya yang tidak memadai lagi. Demikian halnya dengan semakin berkurang dan berubahnya kawasan-kawasan hijau penyangga, hingga menyebabkan kurang nyamannya mintakat kehidupan masyarakat di sekitarnya. Identifikasi lanskap koridor hijau di Kota Manado menunjukkan pola sebaran jumlah dan luas koridor yang tidak merata di setiap tingkat kecamatan. Diskontinuitas pada koridor hijau sungai dan pantai dapat menghambat serta menghalangi pergerakan beberapa spesies seperti reptil dan mamalia (Wuisang, 2015). Kecamatan Mapanget memiliki areal vegetasi paling besar dibandingkan kecamatan lain di Kota Manado didukung oleh keberadaan Hutan Lindung Gunung Tumpa (HLGT) yang menjadi kawasan konservasi serta habitat dari berbagai jenis satwa dan tumbuhan. Beberapa hasil penelitian menunjukkan setidaknya terdapat 53 jenis vegetasi seperti jenis *Alstonia rauvolfia*, *Calophyllum soulattri*, *Dillenia ochreate* dan *Dyospiros* sp. yang merupakan tumbuhan khas Sulawesi, 28 jenis burung dan 8 diantaranya adalah jenis endemik Sulawesi (Kainde *et al.*, 2011; Christita *et al.*, 2015). Perubahan kerapatan vegetasi akan menyebabkan perubahan komposisi terhadap jenis flora dan fauna pada kawasan tersebut.

Penurunan kerapatan vegetasi berdampak pada peningkatan suhu permukaan (Singh dan Grover, 2015). Pendapat tersebut dikuatkan oleh Zhou *et al.* (2011) bahwa bentuk penutupan lahan

yang sangat mempengaruhi naiknya suhu permukaan adalah areal terbangun, sebaliknya tutupan vegetasi cenderung menurunkan suhu permukaan. Suhu udara rata-rata Kota Manado cenderung konstan sepanjang tahun di antara 20-30°C. Kajian USAID (2014) mencatat pada periode tahun 2003–2012 terjadi trend peningkatan suhu sekitar 0,3°C. Peningkatan suhu udara ini sejalan dengan penurunan kerapatan vegetasi dan peningkatan areal terbangun sebagaimana hasil penelitian ini.

KESIMPULAN

Terjadi perubahan kerapatan vegetasi di Kota Manado selama kurun waktu 2001 hingga 2015. Perubahan terbesar terjadi pada tingkat kerapatan vegetasi sangat rapat yang dipresentasikan dengan bentuk tutupan lahan hutan maupun hutan mangrove yang mengalami penurunan sebesar 28,71% dari luas semula. Demikian pula dengan tingkat kerapatan tidak bervegetasi yang dipresentasikan dengan tutupan lahan berupa badan air terjadi penurunan sebesar 0,08% dari luas semula. Peningkatan kerapatan terjadi pada tiga kelas kerapatan vegetasi lainnya yaitu tidak rapat (lahan terbangun/pemukiman) sebesar 4,37%; cukup rapat (pertanian lahan kering) sebesar 10,70%; rapat (kebun dan semak belukar) sebesar 13,72%. Perubahan tingkat kerapatan vegetasi di Kota Manado disebabkan oleh beralihfungsinya kawasan hutan, lahan perkebunan menjadi lahan-lahan terbangun seperti pemukiman, perkantoran serta pusat-pusat perbelanjaan/bisnis. Dampak yang dirasakan dengan perubahan kerapatan vegetasi di Kota Manado adalah peningkatan suhu, penurunan keragaman hayati di wilayah perkotaan, serta bencana banjir dan tanah longsor. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengkaji dampak perubahan terhadap kualitas lingkungan secara terukur dan akurat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih diucapkan kepada para pihak yang telah membantu penulis dalam proses pengumpulan, pengolahan, analisa hingga tersajinya makalah ini yaitu teman-teman peneliti dan teknisi Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan (BP2LHK Manado).

DAFTAR PUSTAKA

- As-syakur, A.R dan Adnyana, I.W. S (2009). Analisis Indeks vegetasi Menggunakan Citra ALOS/AVNIR-2 dan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk Evaluasi Tata Ruang Kota Denpasar. *Jurnal Bumi Lestari*, 9(1), 1-11.
- Berdame, D. (2013). *Migrasi dan Kepadatan Penduduk di Kota Manado*. Retrieved from http://sulut.bkkbn.go.id/AnalyticsReports/Deybie_01.pdf.
- Carpenter, P. L., Walker, T. D., & Lanphear, F. O. (1975). *Plants in the Landscape*. WH Freeman & Co.
- Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors. *Remote sensing of environment*, 113(5), 893-903.
- Christita M, Suryawan A, dan Mayasari A. (2015). *Keragaman dan status konservasi jenis burung diurnal di Taman Hutan Raya Gunung Tumpa Manado, Sulawesi Utara*. Seminar Nasional Ornitologi, Bogor, Indonesia.
- Hansen, M. C., & Loveland, T. R. (2012). A Review of Large Area Monitoring of Land Cover Change Using Landsat Data. *Remote sensing of Environment*, 122, 66-74.
- Horning, N. (2004). *Global Land Vegetation : an Electronic Textbook*. NASA Goddard Space Flight Center Earth Science Directorate Scientific and Educational Endeavours (SEE). Retrieved from http://www.ccpo.odu.edu/SEES/veget/vg_class.html
- Jaya, I.N.S. (2010). *Analisis Citra Digital : Perspektif Penginderaan Jauh Untuk Pengelolaan Sumberdaya Alam*. Fakultas Kehutanan IPB, Bogor.
- Ji, L and Peters, A.J. (2007). Performance Evaluation of Spectral Vegetation Indices Using a Statistical Sensitivity Function. *Remote Sensing Environmental*, 106, 59-65.
- Kainde, R.P., Ratag, S.P, Tasirin, J.S, dan Faryanti, D. (2011). Analisis Vegetasi Hutan Lindung Gunung Tumpa. *Jurnal Eugenia*, 17(3), 1-11.
- Krismasta, V., Octavianus, H.A, Rogi, S.T dan Tilaar, S. (2015). Kajian Transformasi Wilayah Peri-Urban di Kota Manado (Studi Kasus : Kecamatan Mapanget). *Jurnal Spasial*, 2 (1), 1-9.
- Lahamendu, V dan Kustiwan, I. (2014). Evaluasi Pemanfaatan Lahan Berbasis Rencana Tata Ruang Wilayah di Pulau Bunaken. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 2(3), 809-814.
- Lestari, R. A. E., dan Jaya, I. N. S. (2005). Penggunaan Teknologi Penginderaan Jauh Satelit dan SIG untuk Menentukan Luas Hutan Kota: (Studi Kasus di Kota Bogor, Jawa Barat). *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 11(2), 55–69.
- Moniaga, I. L., dan Takumansang, E. D. (2015). *Pengembangan RTH Kota Berbasis Infrastruktur Hijau dan Tata Ruang*. Makalah dipresentasikan dalam Temu Ilmiah IPLBI, Manado, Indonesia.
- Pancawati, J. (2010). *Analisis Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau di Kota Tangerang*. (Thesis Sekolah Pascasarjana), IPB (Institut Pertanian Bogor), Bogor.
- Parente, C. (2013). TOA reflectance and NDVI calculation for Landsat 7 ETM+ images of Sicily. *Electronic International Interdisciplinary Conference, Slovakia, EDIS*
- Prameswari, A. A. S., Hariyanto, T., dan Sidik, F. (2015). Analisis Indeks Vegetasi Mangrove Menggunakan Citra Satelit Alos Avnir-2 (Studi Kasus : Estuari Perancak , Bali). *Geoid*, 11(1), 40–45.
- Purnomohadi, N. (2006). *Ruang Terbuka Hijau Sebagai Unsur Utama Tata Ruang Kota*. Direktorat Jendral Penataan Ruang, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Putra, E. H. (2012). Analisis Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Pendekatan Kebutuhan Oksigen Menggunakan Citra Satelit Eo-1 Ali (Earth Observer-1 Advanced Land Imager) di Kota Manado.

- Seng, A. A., Kumurur, V. A., dan Moniaga, I. L. (2015). Perubahan Penggunaan Lahan Perumusan Masalah Kawasan Resapan Air. *Jurnal Sabua*, 7(1), 423–430.
- Singh RB, Grover A. (2015). Spatial correlations of changing land use, surface temperature (UHI) and NDVI in Delhi using Landsat satellite images. *Urban Development Challenges, Risks and Resilience in Asian Mega Cities*; 2015; 83-97
- Sirapanji, D. (2013). Status Hukum Tanah Reklamasi Pantai Kota Manado berdasarkan Undang-Undang Agraria No. 5 Tahun 1960. *Lex Administratum*, 1(2), 79–88.
- Sjafi'i, B. I. E., Bengen, D. G., & Gunawan, I. (2001). Analisis Pemanfaatan Ruang Kawasan Pesisir Teluk Manado, Sulawesi Utara (The Space Use Analysis of Manado Bay Coastal Zone, North Sulawesi). *Indonesian Journal of Coastal and Marine Resource*, 4(41), 1410–7821.
- Suwargana, N, (2013). Resolusi Spasial, Temporal, dan Spektral pada Citra Satelit Landsat, Spot, dan Ikonos. *Jurnal WIDYA* 1(2): 167-174
- USAID. (2014). *Kajian Kerentanan Terhadap Perubahan Iklim Kota Manado*. Retrieved from www.kotakita.org/publicationsdocs/140919_Manado%20CCVA_IND.pdf.
- Xian, G., Homer, C., and Fry, J., (2009). Updating the 2001 National Land Cover Database land cover classification to 2006 by using Landsat imagery change detection methods. *Remote Sensing of Environment*, 113, 1133-1147.
- Wuisang, C. (2015). Konservasi biodiversitas di wilayah perkotaan: evaluasi lansekap koridor hijau di kota Manado. *Media Matrasain*, 12(2), 47–60.
- Zhou, W., G. Huang, and M.L. Cadenasso. (2011). Does spatial configuration matter? Understanding the effects of land cover pattern on land surface temperature in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning* 102: 54-63

INTEGRASI DATA INDERAJA DAN DATA GEOLOGI UNTUK Mendukung EKSPLOKASI TAMBANG EMAS

Studi Kasus di Kabupaten Paniai Provinsi Papua

(Remote Sensing and Geological Data Integration to Support Gold Mine Exploration, Case Study in Paniai Regency of Papua Province)

Iksal Yanuarsyah¹ dan Yatin Suwarno²

¹Universitas Ibn Khaldun

²Badan Informasi Geospasial

Jln. KH. Sholeh Iskandar Km. 2, Kedungbadak – Bogor, Indonesia

E-mail: iksal.80@gmail.com

Diterima (received): 04 April 2016; Direvisi (revised): 15 Maret 2016; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 31 Maret 2017

ABSTRAK

Pemetaan potensi sumberdaya geologi pertambangan khususnya potensi mineral perlu dilakukan sebagai awal pengelolaan sumberdaya pertambangan dalam tahapan eksplorasi pendahuluan. Penginderaan jauh (inderaja) merupakan alat bantu yang merekam rona lingkungan bumi termasuk informasi potensi eksplorasi mineral logam seperti emas. Dengan menggunakan data citra satelit, biaya eksplorasi akan lebih rendah, termasuk efisiensi dalam melakukan pengeboran. Tujuan dari studi ini untuk memperoleh gambaran deliniasi jalur alterasi mineralisasi dengan bantuan interpretasi citra satelit dalam mendukung kegiatan eksplorasi tambang yang lebih efektif dan efisien. Lokasi kajian berada di Distrik Bogobaida, Kabupaten Paniai, Provinsi Papua seluas 40.116 ha yang merupakan lokasi Izin Usaha Pertambangan (IUP) Eksplorasi PT. Kotabara Mitratama (izin berdasarkan Keputusan Bupati Paniai No. 017 Tahun 2010). Metode yang digunakan dalam kajian ini yaitu metode konseptual dengan memanfaatkan faktor geologi yang berpengaruh pada terbentuknya endapan mineral. Tahapan analisa dimulai dari pengumpulan data spasial (peta) dan non spasial (tabular), analisa interpretasi citra Landsat dan identifikasi kelurusan zona lemah (*lineament*) untuk menentukan zona mineralisasi. Berdasarkan hasil interpretasi citra Landsat dengan didukung analisa geologi, daerah Kabupaten Paniai berprospek Tembaga (Cu) dan Emas (Au) yang terbagi dalam 9 zona mineralisasi dengan luas mencapai 2.922,48 ha, yang terdiri dari 8 zona mineralisasi primer seluas 2.208,83 ha dan 1 zona mineralisasi aluvial seluas 713,65 ha.

Kata kunci: data inderaja, data geologi, eksplorasi emas

ABSTRACT

Geological mapping of the mineral potential has to be done as the preliminary stages of mining exploration. Remote sensing is a common tool that used to records the earth's environment and support the analyst through image interpretation such as gold mine potential exploration could be detected. By using satellite imagery data, exploration costs will be decreased, including efficiency in drilling activity. The aim of this study is to delineate alteration zone using satellite image interpretation in support mining exploration activities to be more effective and efficient. Research location is in Bogobaida District, Paniai Regency, Papua Province, covering an area of 40,116 hectares, in mining site of Legal Mining Exploration Permit (IUP) PT. Kotabara Mitratama (Paniai Regent Decree No. 017 of 2010). The method used is utilizing conceptual geological factors that alleged the formation of mineral deposits. Stages of analysis starting from spatial data (maps) and non-spatial (tabular) collection, then Landsat satellite imagery interpretation and identification of weak zones straightness (lineament) due to define the mineralized zones. Based on the results of image interpretation with geological analysis in Paniai Regency was prospected Copper (Cu) and gold (Au) which is divided into 9 Mineralization Zone with an area of 2,922.48 ha, that consist of 8 primary mineralized zone covering an area of 2,208.83 ha and 1 alluvial mineralized zone measuring of 713.65 ha.

Keywords: remote sensing, geological data, gold exploration

PENDAHULUAN

Secara geologi, mineral emas terbawa oleh larutan hidrotermal yang berasal dari magma, yang menerobos batuan yang lebih tua (Lindgreen, 1933; Eddy, 2009). Magma yang membeku

membentuk tubuh batuan intrusi, sebagian larutan masuk ke celah-celah batuan di sekitarnya membentuk urat-urat. Mineral emas yang dijumpai di tubuh batuan intrusi berupa butiran disebut *porphyry*, sedangkan mineral emas di dalam urat-urat menghambur dengan mineral kuarsa disebut *vein*. Baik emas *porphyry*

maupun emas *vein* konsentrasinya sangat kecil, sehingga biasa dinyatakan dalam ppm (*part per million*).

Mineral (misalnya emas) dapat dijumpai dalam bentuk primer dan sekunder. Emas primer masih menyatu dengan batuan induknya, yaitu dalam bentuk butiran (*porphyry*) dan dalam bentuk urat (*vein*). Sedangkan emas sekunder sudah terlepas dari batuan induknya, berupa rombakan bersama pasir dan tanah, terangkut dan kemudian diendapkan pada daerah-daerah yang lebih rendah seperti lembah-lembah sungai sebagai endapan plaser. Emas sekunder sering disebut emas plaser (*placer*). Keberadaan mineral (misalnya emas) pada umumnya ditemukan pada daerah bermedan berat, pegunungan tinggi dan terjal serta berhutan lebat. Kondisi yang demikian dibutuhkan biaya tinggi baik sejak eksplorasi pendahuluan maupun setelah eksplorasi detil. Oleh karena itu penting dicarikan cara bagaimana agar biaya bisa ditekan serendah-rendahnya, dengan waktu lebih pendek, tetapi hasilnya bisa maksimal (PT. Kotabara Mitratama, 2011).

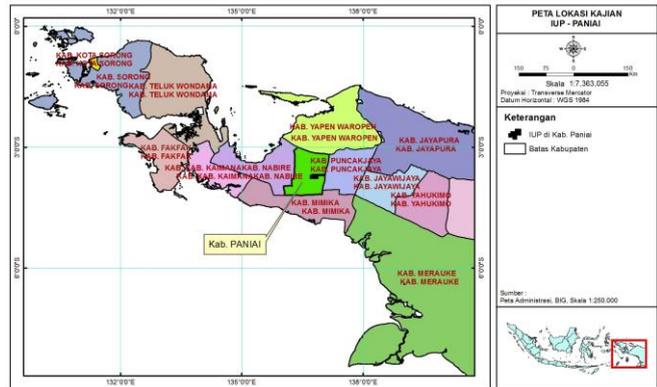
Zhou (2007) dalam Liu *et al.*, (2011) mengatakan secara umum, metode berbasis data yang Landsat sendiri sulit untuk menemukan zona mineralisasi ubahan dalam eksplorasi mineral karena keterbatasan fisik resolusi spektral dan resolusi spasial, karena campuran piksel tertentu umumnya menyebabkan gangguan. Namun dengan dukungan indikator geologi dan geokimia, seperti zona struktural dan anomali geokimia, mungkin dapat menggambarkan zona ubahan dengan lebih baik (Lillesand dan Kiefer, 1999).

Citra satelit belum mampu mengidentifikasi mineral emas dalam tubuh batuan, baik dalam bentuk butiran (*phorphyry*) maupun yang berupa urat (*vein*). Namun demikian, dengan cara dan metode tertentu, para analis dapat mengidentifikasi alterasi (ubahan) batuan yang diduga berasosiasi dengan mineral emas dengan memanfaatkan citra satelit. Identifikasi dari citra satelit ini penting sekali sebelum menentukan titik-titik lokasi pengeboran pada eksplorasi selanjutnya. Data geologi diperlukan untuk mengetahui jenis dan urutan umur batuan, sehingga dapat diduga di mana batuan sumber dan di mana batuan tempat terjebak mineral emas. Selain itu sejarah tektonik daerah setempat yang dimanifestasikan dengan kontrol struktur berguna untuk menafsirkan di mana mineralisasi emas terjadi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendelineasi jalur-jalur alterasi yang diduga terdapat mineralisasi emas. Penelitian ini mengkaji sejauh mana data citra satelit yang dikombinasikan dengan data geologi dapat mendukung untuk eksplorasi tambang emas.

METODE

Lokasi penelitian berada di Distrik Bogobaida, Kabupaten Paniai, Provinsi Papua (**Gambar 1**).



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Kabupaten Paniai.

Daerah penelitian seluas 40.116 ha, merupakan wilayah Ijin Usaha Pertambangan (IUP) Eksplorasi PT. Kotabara Mitratama (berdasarkan Keputusan Bupati Paniai No. 017 Tahun 2010). Batas-batas koordinat daerah penelitian seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Koordinat IUP PT. Kotabara Mitratama.

Titik	Lintang Selatan	BujurTimur
1	3°41'30,0"	136°41'04,5"
2	3°41'30,0"	136°43'30,0"
3	3°40'00,0"	136°43'30,0"
4	3°40'00,0"	137°04'05,9"
5	3°43'10,6"	137°04'05,9"
6	3°43'10,6"	136°53'26,6"
7	3°47'00,0"	136°53'26,6"
8	3°47'00,0"	136°41'04,5"

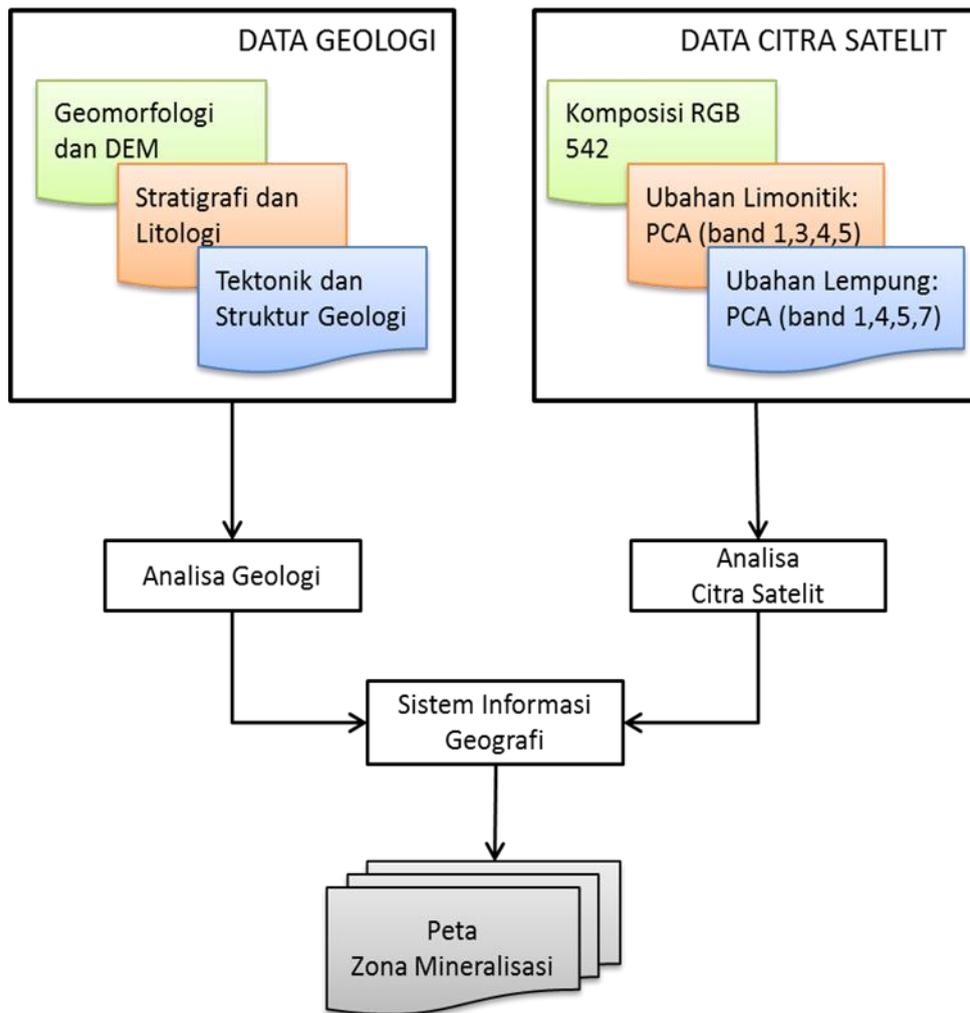
Sumber: PT. Kotabara Mitratama, 2011

Data yang yang digunakan adalah: (1) Citra satelit Landsat-7 TM pada *Path/Row* 103/63 perekaman tanggal 3 April 2009; (2) Peta Geologi skala 250.000 Lembar Beoga (Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi – ESDM); (3) Peta Rupabumi Indonesia Skala 50.000 Lembar 3212-(11-14) dan 3212-23 (Badan Informasi Geospasial).

Analisis citra Landsat dilakukan dengan menggunakan *Crósta Technique* untuk melihat adanya potensi anomali batuan yang tersimpan dari sebaran nilai objek permukaan terutama vegetasi. Hal ini didekati dengan pengamatan *covariance eigenvector* untuk masing-masing variasi kanal/*band* 1, 4, 5, 7 dan variasi kanal/*band* 1, 3, 4, 5.

Crósta Technique memanfaatkan transformasi komponen utama, yaitu teknik statistik dengan memilih kombinasi variabel linear yang berkorelasi (*eigenvector*), sedemikian rupa sehingga setiap kombinasi linear yang diekstrak berturut-turut atau komponen pokok memiliki varian yang lebih kecil (Crosta, 1989).

Crósta Technique merupakan formulasi untuk menentukan zona ubahan limonitik dan zone ubahan lempung, dilihat dari nilai *eigenvector loading* berdasarkan *Principal Component Analysis*. Untuk ubahan limonitik digunakan kombinasi *band* 1, 3, 4, dan 5, sedangkan untuk ubahan lempung digunakan kombinasi *band* 1, 4, 5, dan 7.



Gambar 2. Bagan Alir Tahapan Penelitian.

Analisis geomorfologi dari data *Digital Elevation Model* (DEM) yang diekstrak dari Peta Rupabumi, untuk mendapatkan gambaran kondisi medan secara 3D, sehingga diketahui dimana lembah dan dimana bukit/gunung. Pada umumnya, emas primer terdapat di daerah bukit/gunung, namun bisa juga dijumpai pada lembah-lembah sungai dalam bentuk emas sekunder berupa endapan plaser.

Analisis formasi batuan, yang meliputi jenis batuan (litologi) dan urutan umurnya (stratigrafi), untuk menafsirkan batuan sumber pembawa larutan hidrotermal yang mengandung mineral emas, serta batuan dinding (*hostrock*) tempat dimana mineral emas terakumulasi.

Analisis struktur geologi dilakukan untuk mengetahui pola-pola patahan yang ada, yang diduga sebagai manifestasi dari proses tektonik yang pernah terjadi. Pola-pola patahan saling memotong diduga telah terjadi beberapa kali periode tektonik. Wilayah sekitar patahan merupakan zona lemah, mudah diterobos larutan hidrotermal, sehingga dapat ditafsirkan sebagai tempat akumulasi mineral emas. Umumnya, patahan terjadi terlebih dulu, sebelum larutan hidrotermal menerobosnya.

Integrasi interpretasi citra satelit dan data geologi berupa ubahan limonit (*Iron oxide*) dan

ubahan lempung (*Clay hydroxile*) dengan hasil interpretasi geologi, terutama zona-zona patahan yang lemah dan rentan diterobos oleh larutan hidrotermal, menghasilkan indikasi zona-zona mineralisasi di sekitar patahan-patahan tersebut. Bagan alir tahapan dalam penelitian secara umum seperti pada **Gambar 2**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Interpretasi Citra Satelit

Komposit citra Landsat kanal 5, 4, dan 2 dapat digunakan untuk memetakan penutupan lahan dan kerapatan vegetasi di daerah penelitian. Objek vegetasi dimunculkan dalam gradasi warna hijau tua ke muda. Warna hijau tua menunjukkan hutan lebat dan sebaliknya. Untuk objek infrastruktur dan daerah terbuka seperti permukiman dan jalan dimunculkan dengan gradasi warna agak merah (tidak begitu tampak). Sedangkan objek perairan (sungai dan daerah tergenang) dimunculkan dengan gradasi dari hitam gelap sampai kebiruan.

Daerah penelitian sebagian besar merupakan hutan lebat, dengan di beberapa tempat terutama di lembah Sungai Darewo sudah terbuka disajikan pada **Gambar 3**.

Dukungan topografi dihasilkan dari data elevasi digital atau DEM yang dibangun dari peta kontur dengan interval 25 meter dari Peta Rupabumi Indonesia skala 1:50.000. Visualisasi DEM dapat menunjukkan model lembah (sungai) dan perbukitan (pegunungan) yang mendukung hasil interpretasi citra satelit.

Daerah penelitian berada pada ketinggian 1.300-3.600 meter dari permukaan laut, di mana Sungai Darewo membelah areal IUP PT. Kotabara Mitratama dengan arah relatif barat - timur seperti yang disajikan pada **Gambar 4**.

Analisa citra Landsat dilakukan untuk pengecekan nilai *covariance eigenvector* guna melihat adanya potensi anomali batuan. Nilai *covariance eigenvector* untuk masing-masing kombinasi layer 1, 4, 5, 7 dan kombinasi layer 1, 3, 4, 5 disajikan pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

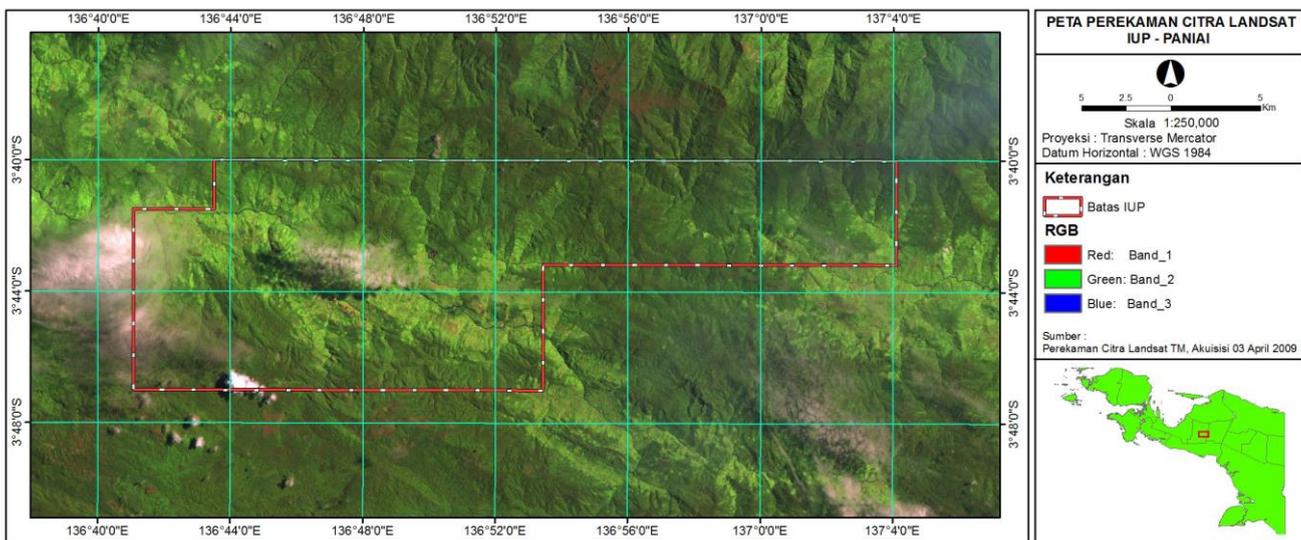
Pada **Tabel 2**, terdapat nilai PC4 negative (-0.789) pada *band 7*, artinya terdapat anomali objek terwakili oleh *Clay Hydroxil*. Sedangkan pada **Tabel 3**, terdapat nilai negatif pada PC3 (-0.776) dan PC4 (-0.195) untuk *band 5*, terdapat anomali objek terwakili oleh *Iron Oxide*.

Tabel 2. Covariance Eigenvector Komposit 1,4,5,7

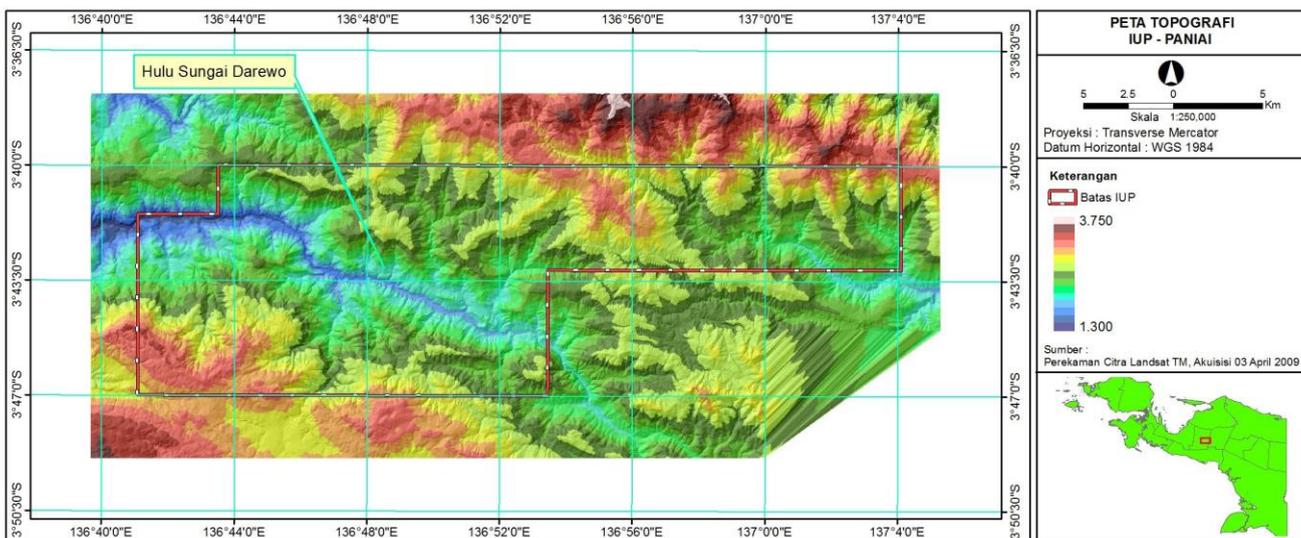
Band	PC1	PC2	PC3	PC4
1	0.330	0.726	-0.511	0.322
4	0.638	-0.559	-0.497	-0.182
5	0.596	-0.043	0.634	0.491
7	0.359	0.399	0.301	-0.789

Tabel 3. Covariance Eigenvector Komposit 1,3,4,5

Band	PC1	PC2	PC3	PC4
1	0.374	-0.567	0.320	-0.660
3	0.411	-0.562	0.003	0.718
4	0.599	0.578	0.544	0.107
5	0.576	0.169	-0.776	-0.195

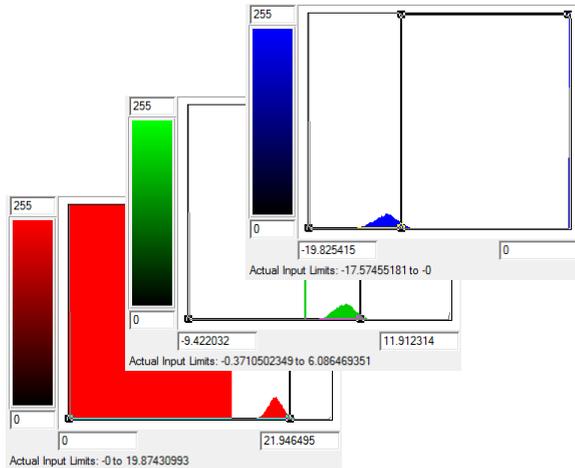


Gambar 3. Penutup Lahan Daerah Penelitian.



Gambar 4. Topografi Daerah Penelitian.

Dengan adanya informasi anomali tersebut yang tersimpan pada PC3 atau PC4, maka dilakukan penguatan (*enhancement*) dengan cara membalikkan objek (*invert*) agar anomali tersebut dapat ditonjolkan. Penonjolan nilai anomali dilakukan pada sebaran spektral (*threshold tranformation*) yang diwakili oleh nilai *digital number* ubahan lempung dan ubahan limonit disajikan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. *Threshold Tranformation.*

Karakteristik citra yang ditonjolkan adalah yang peka terhadap kandungan mineral, dalam hal ini terwakili oleh *Iron Oxide* dan *Clay Hydroxil*, menggunakan gelombang elektromagnetik *band 5* dan *band 7* (Crosta, 1989). Berdasarkan interpretasi dan analisis citra satelit dengan menggunakan Teknik Crosta (*Crosta Technique*), maka diperoleh hasil komposisi ubahan limonit (*Iron oxide*) dan ubahan lempung (*Clay hydroxile*). Untuk menghasilkan anomali ubahan limonit, teknik ini memanfaatkan variasi 4 *band* (1,3,4,5) untuk membuat *Principal Component Analysis (PCA)* menjadi PC1, PC2, PC3, dan PC4. Sementara untuk menghasilkan ubahan lempung, teknik ini variasi 4 *band* (*Band 1,4,5,7*) dalam membuat PCA menjadi PC1, PC2, PC3, dan PC4. PCA

merupakan analisis statistik multi variabel dengan mentransformasikan satu set variabel yang berkorelasi ke dalam suatu set variabel baru yang tidak berkorelasi.

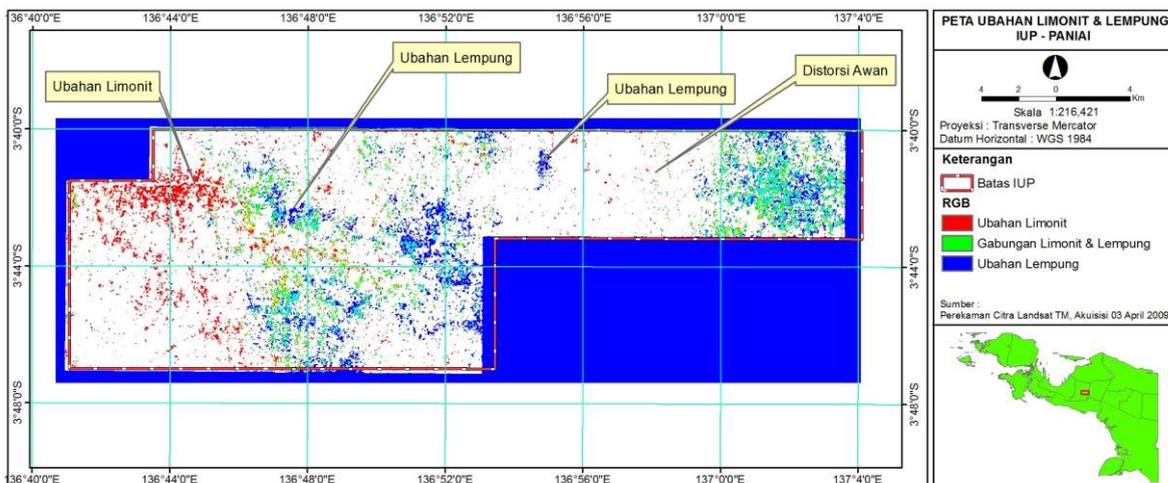
Proses transformasi berupa rotasi dari sumbu asli ke arah sumbu baru secara tegak lurus terhadap sumbu yang lain dan tidak memiliki korelasi antara variabel-variabelnya. PC1 atau PCA pertama, memiliki jumlah variasi maksimum dari semua '*band*' terhadap sumbu barunya. PC2 atau PCA kedua memiliki jumlah variasi maksimum dari semua '*band*' di luar PC1 dan tegak lurus terhadap PC1 dan seterusnya. Oleh sebab itu, zona mineralisasi yang didekati dari ubahan limonit dan ubahan lempung dihasilkan dengan cara membalikkan anomali batuan yang direkam oleh PC4 disajikan pada **Gambar 6**.

Hasil Interpretasi Data Geologi

Secara geologi, pergerakan dari penunjaman lempeng samudera ke arah bawah Pulau Papua, dengan demikian merupakan daerah yang secara tektonik tidak stabil, hal ini disebabkan oleh adanya pergerakan penunjaman lempeng Caroline yang merupakan bagian dari lempeng samudera Pasifik dari utara, yang pada gilirannya akan membentuk sesar-sesar aktif, baik berupa sesar naik ataupun sesar mendatar (Dow dan Sukamto, 1984). Sesar mendatar di daerah ini dikenal sebagai sesar besar Sorong (Hamilton, 1979) yang berarah ke sumbu barat-timur. Pergerakan lempeng inilah yang pada orde berikutnya membentuk sesar naik dan lipatan di daerah penelitian.

Zona sesar tarera-aiduna merupakan zona sesar mendatar di daerah selatan leher burung. Jalur lipatan anjakan lengguru secara tiba-tiba berakhir di zona berarah barat-timur ini (Dow dan Sukamto, 1984).

Struktur geologi yang berkembang di lokasi studi antara lain berupa perlipatan, pensesaran dan pengkekar. Sumbu perlipatan membentang dengan arah relatif barat-timur dan barat-laut-tenggara, umumnya membentuk struktur antiklin dan sinklin yang tidak simetris. Satuan batuan yang terlipat antara lain batuan sedimen Pra-Tersier (Batuan Malihan Korido) (Hamilton, 1979).



Gambar 6. Ubahan Lempung dan Ubahan Limonit.

Pensesaran di lokasi studi terdiri dari sesar naik hingga sungkup, sesar normal dan sesar geser. Akibat aktifnya pensesaran di daerah Papua merupakan jalan keluar bagi larutan hidrotermal yang membawa deposit logam emas, perak, tembaga, dan mineral lainnya.

Larutan hidrotermal adalah suatu cairan atau fluida panas, yang bergerak naik ke atas dengan membawa komponen-komponen mineral logam (Lindgren, 1993; dalam Feyumi, 2012). Fluida ini merupakan larutan sisa magma yang menerobos batuan lebih tua, sebagai intrusi.

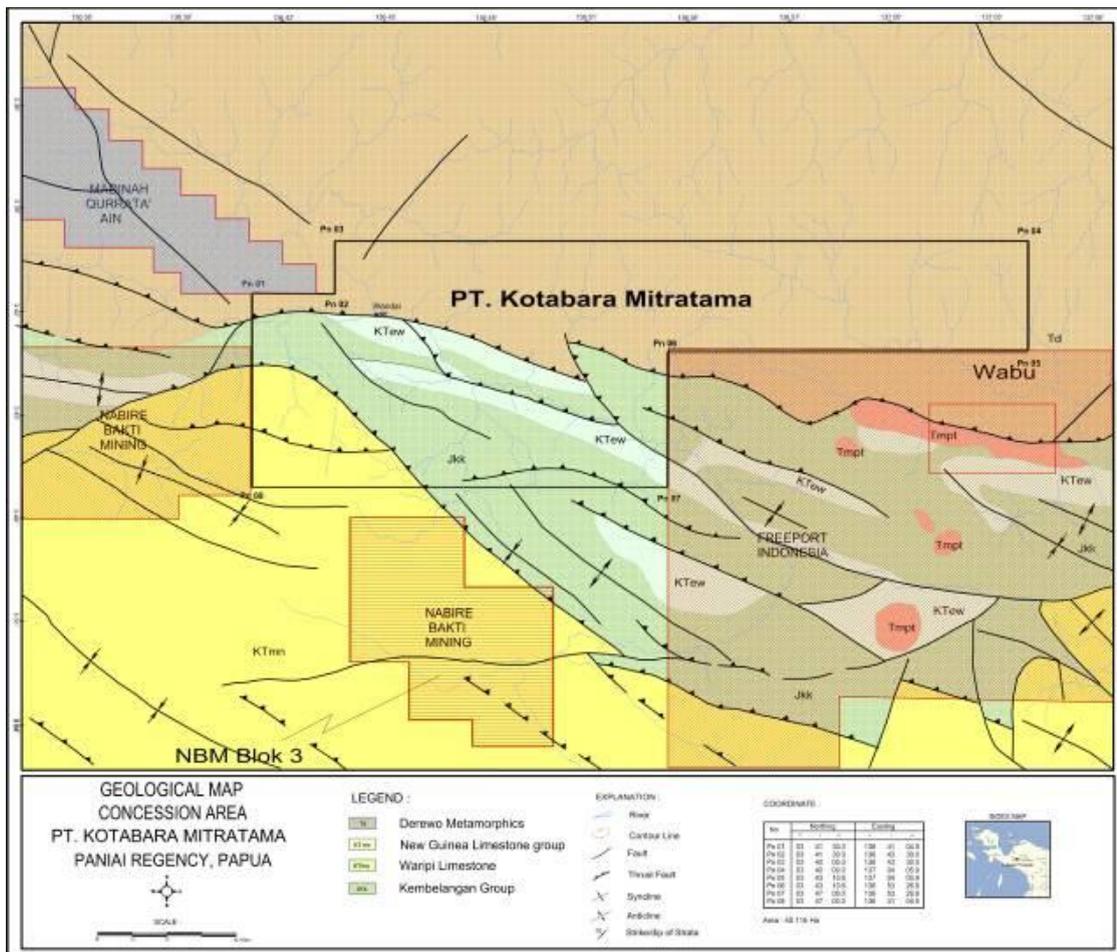
Batuan beku di daerah penelitian yang diperkirakan sumber larutan hidrotermal adalah Timepa Monzonite (Tmpt). Batuan ini tersebar luas di sebelah timur daerah penelitian disajikan pada **Gambar 7**. Diperkirakan batuan ini juga terdapat di daerah penelitian dengan sebaran tidak luas sehingga tidak terpetakan dalam peta geologi skala 1:250.000.

Batuan dinding (*hostrock*) adalah batuan dimana tempat konsentrasi mineral emas diperkirakan berada. Batuan dinding harus berumur lebih tua daripada batuan yang membawa larutan hidrotermal. Batuan dinding tidak kompak, banyak rekahan sehingga mudah diterobos oleh larutan hidrotermal.

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Beoga (Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi),

diduga ada beberapa kemungkinan batuan dinding adalah: (1) Batu Gamping Waripi (KTew), tersebar di bagian tengah, memanjang dengan arah relatif barat-laut – tenggara; (2) Kelompok Batu Gamping Nugini (KTmn), tersebar di bagian barat daya daerah penelitian; (3) Kelompok Batuan Malian Darewo (Td), satuan batuan ini tersebar luas di bagian utara tersaji pada **Gambar 7**.

Penarikan kelurusan berdasarkan panduan pola sebaran ubahan limonit dan ubahan lempung. Penarikan kelurusan ini dimaksudkan untuk menduga adanya patahan-patahan berdimensi lebih kecil dari patahan utama, yang tidak terpetakan pada peta geologi skala 1:250.000. Patahan-patahan tersebut (orde 2 dan 3) diduga hasil dari proses tektonik lanjutan pada periode waktu yang berbeda. Secara umum patahan-patahan orde lanjutan ini berarah ke barat laut – tenggara dan barat daya – timur laut, di mana arah gaya tektonik berasal dari utara dan selatan. Pada patahan-patahan silang (patahan saling memotong), diduga merupakan zona sangat lemah di mana larutan hidrotermal menerobos, yang kemudian terjadi mineralisasi. Pada zona-zona ini diduga terdapat mineralisasi emas. Hasil interpretasi kelurusan-kelurusan yang ditampilkan pada peta geologi seperti ditunjukkan pada **Gambar 8**.



Gambar 7. Peta Geologi Daerah Penelitian.

Alterasi hidrotermal merupakan proses yang kompleks yang melibatkan perubahan mineralogi, kimiawi, tekstur, dan hasil interaksi fluida dengan batuan yang dilewatinya (Faeyumi, 2012). Alterasi dan mineralisasi adalah suatu bentuk perubahan komposisi pada batuan baik itu kimia, fisika ataupun mineralogi sebagai akibat pengaruh cairan hidrotermal pada batuan. Perubahan yang terjadi dapat berupa rekristalisasi, penambahan mineral baru, larutnya mineral yang telah ada, penyusunan kembali komponen kimia atau perubahan fisik seperti permeabilitas dan porositas batuan (Pirajno,1992). Mineralisasi terindikasi pada wilayah-wilayah yang lemah sehingga mudah diterobos oleh larutan hidrotermal (Yetkin, 2003).

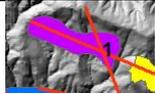
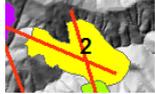
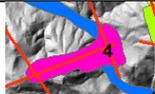
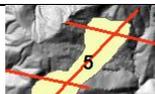
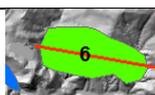
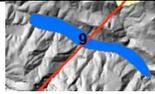
Hasil interpretasi kelurusan (*lineament*) yang kemudian dilakukan tumpang-tindih (*overlap*) terhadap hasil interpretasi ubahan lempung dan ubahan limonit, dihasilkan lokasi zona mineralisasi emas.

Zona mineralisasi ini terindikasi sebanyak 9 lokasi yang terdiri dari 8 lokasi zona mineral primer ditambah dengan 1 zona aluvial yaitu pada hulu Sungai Derewo disajikan pada **Gambar 9**. Zona mineralisasi primer umumnya berada pada perpotongan antar dua atau lebih kelurusan. Kelurusan-kelurusan ini diinterpretasikan sebagai patahan-patahan yang terbentuk lebih dari satu kali periode tektonik.

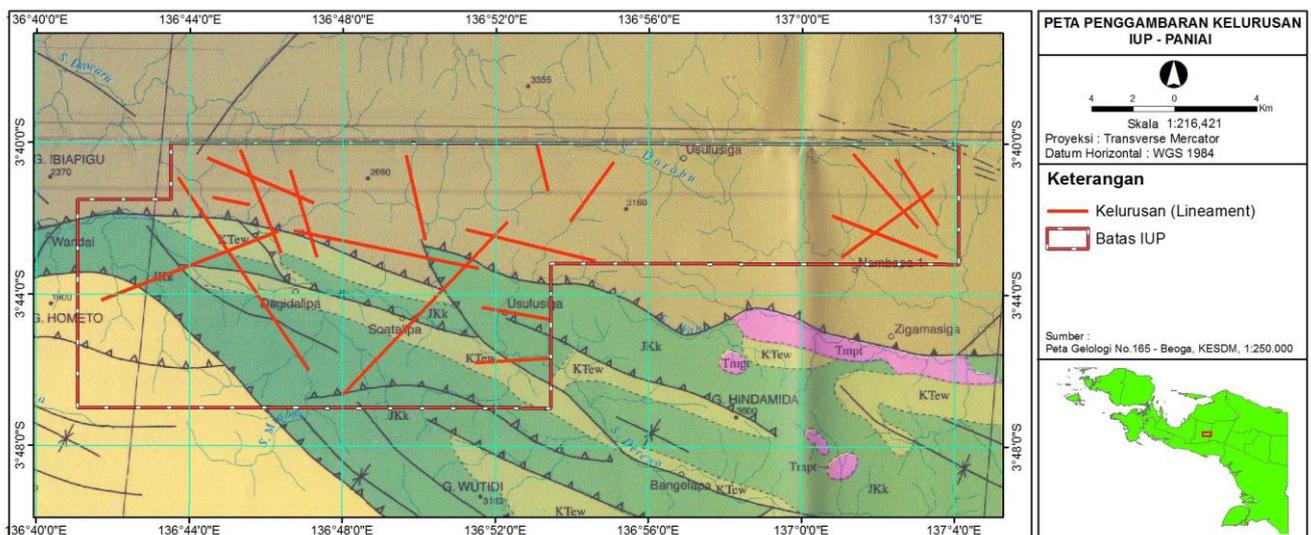
Total zona mineralisasi adalah 2.922,48 Ha, dimana 8 zona mineralisasi primer mencapai 2.208,83 Ha dan zona mineralisasi sekunder sekitar 713,65 Ha. Karakteristik dari masing-masing zona mineralisasi seperti pada **Tabel 4**.

Distribusi ubahan lempung dan ubahan limonit membentuk pola kelurusan yang diinterpretasikan sebagai patahan-patahan orde 2 dan orde 3, berdimensi lebih kecil sehingga tidak tergambar pada Peta Geologi skala 1:250.000. Zona patahan merupakan zona lemah, dimana cairan magma yang mengandung mineral emas akan menerobos zona potensi emas diperkirakan terkonsentrasi pada zona-zona patahan ini (**Gambar 9**).

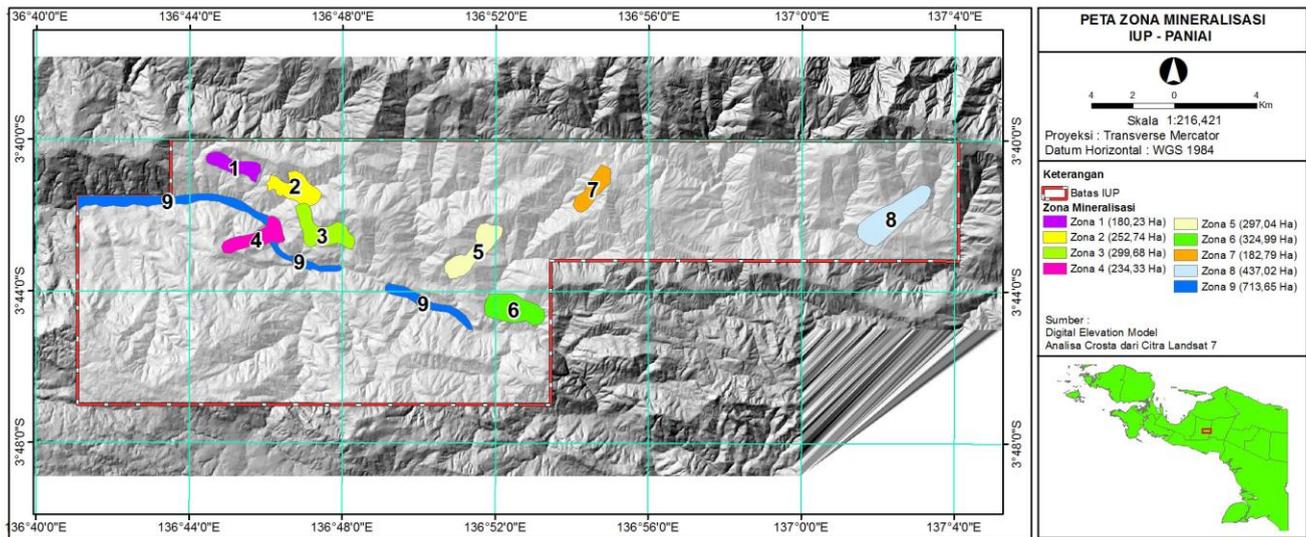
Tabel 4. Karakteristik dan Zona Mineralisasi.

Zona Mineralisasi	Deskripsi	Koordinat
	<ul style="list-style-type: none"> Luas : 180,23 Ha Tipe Deposit : Porfir & Vein 	136° 45' 35,30" BT 3° 40' 53,41" LS
	<ul style="list-style-type: none"> Luas : 252,74 Ha Tipe Deposit : Porfir & Vein 	136° 46' 48,60" BT 3° 41' 22,95" LS
	<ul style="list-style-type: none"> Luas : 299,68 Ha Tipe Deposit : Porfir & Vein 	136° 47' 9,28" BT 3° 42' 23,58" LS
	<ul style="list-style-type: none"> Luas : 234,33 Ha Tipe Deposit : Porfir & Skarn 	136° 46' 8,89" BT 3° 42' 24,99" LS
	<ul style="list-style-type: none"> Luas : 297,04 Ha Tipe Deposit : Porfir, Vein & Skarn 	136° 51' 17,35" BT 3° 43' 13,40" LS
	<ul style="list-style-type: none"> Luas : 324,99 Ha Tipe Deposit : Porfir & Skarn 	136° 52' 11,46" BT 3° 44' 25,57" LS
	<ul style="list-style-type: none"> Luas : 182,79 Ha Tipe Deposit : Porfir & Vein 	136° 54' 47,77" BT 3° 41' 0,01" LS
	<ul style="list-style-type: none"> Luas : 437,02 Ha Tipe Deposit : Porfir & Vein 	137° 2' 32,94" BT 3° 41' 50,60" LS
	<ul style="list-style-type: none"> Luas : 713,65 Ha Tipe Deposit : Plaser (Aluvial) 	136° 50' 26,11" BT 3° 44' 25,79" LS

Sumber: Hasil Analisis Tim, 2015



Gambar 8. Interpretasi Kelurusan (*Lineament*).



Gambar 9. Zona Mineralisasi di Daerah Penelitian.

KESIMPULAN

Citra Landsat merupakan alat bantu yang dapat digunakan untuk interpretasi potensi emas. Dengan menggunakan metode *Crosta Technique* diketahui pola-pola kelurusan distribusi sebaran ubahan mineral lempung dan ubahan limonit. Setelah ditumpang susun (*overlay*) dengan peta geologi, pola kelurusan dapat diinterpretasikan sebagai patahan orde 2 dan orde 3 yang diduga berpotensi emas. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa, di daerah penelitian terdapat 9 zona potensi emas dengan luas total 2.922,48 ha.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada pimpinan dan segenap karyawan PT. Kotabara Mitratama yang telah membantu menyediakan data dan biaya dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Crosta A., J. Moore. (1989). Enhancement of Landsat Thematic Mapper Imagery for Residual Soil Mapping in SW MinaisGerais State, Brazil: A Prospecting Case History in Greenstone Belt Terrain. *Proceedings of the 7th EBIM Thematic Conference: Remote Sensing For Exploration Geology*, pp. 1173–1187.

Dow, D.B., dan Sukamto, R. (1984). Western Irian Jaya: the end-product of oblique plate convergence in the Late Tertiary, *Tectonophysics*, 106, p.109-139.

Eddy, S. (2009). Tinjauan Emas Epitermal pada Lingkungan Vulkanik. *Kelompok Program Penelitian Bawah Permukaan*. Pusat Sumber Daya Geologi. Bandung.

Faeyumi, M. (2012). Sebaran Potensi Emas Epitermal di Areal Eksploitasi PT Antam Unit Geomin, Tbk Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Jakarta.

Hamilton, W.R. (1979) : *Tectonics of the Indonesian Region*, US Geological Survey Professional Paper 1078, 345 pp.

Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W. (1999). *Remote Sensing and Image Interpretation*. 4th Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York. 725 pp.

Lindgren, W. (1933). *Mineral Deposits*, 4th Ed.: New York, McGraw-Hill, 930 p.

Liu L., D. F. Zhuanga, J. Zhouc, D. S. Qiua. (2011). Alteration Mineral Mapping Using Masking and Crosta Technique for Mineral Exploration in Mid-Vegetated Areas: A Case Study in Areletuobie, Xinjiang (China). *International Journal of Remote Sensing*. <http://www.informaworld.com/smpp/title-content=t713722504>

Pirajno, F. (1992). *Hydrothermal Mineral Deposits. Principles and Fundamental Concepts for The Exploration Geologist*, xviii + 709 pp. Berlin.

PT. Kotabara Mitratama. (2011). *Laporan Eksplorasi Awal IUP PT Kotabara Mitratama Kabupaten Paniai Provinsi Papua*. Laporan Intern.

Yetkin, E. (2003). *Alteration Mapping by Remote Sensing: Application to Hasandağ – Melendiz Volcanic Complex*. A Thesis Submitted to The Graduate School of Natural and Applied Sciences of the Middle East Technical University.

PRIORITAS PENGEMBANGAN KAWASAN PERMUKIMAN PADA WILAYAH RAWAN BANJIR DI KOTA PADANG, PROVINSI SUMATERA BARAT

(Priority of Settlement Area Development on Flood Hazard Region in Padang, West Sumatera)

Iswandi Umar¹, Widiatmaka², Bambang Pramudya³ dan Baba Barus²

¹Sekolah Pascasarjana, IPB

²Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan Fakultas Pertanian, IPB

³Sistem dan Managemen Mekanisasi Pertanian, IPB

Jl. Kamper, Babakan, Dramaga, Bogor, Jawa Barat 16680, Indonesia

E-mail: iswandi_u@yahoo.com

Diterima (received): 12 Oktober 2016; Direvisi (revised): 01 Desember 2016; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 31 Maret 2017

ABSTRAK

Peningkatan angka pertumbuhan penduduk pada suatu wilayah berdampak kepada peningkatan kebutuhan lahan untuk kawasan permukiman. Sedangkan lahan yang dapat dimanfaatkan untuk kawasan permukiman sangat terbatas. Tujuan penelitian ini untuk menentukan prioritas pengembangan kawasan permukiman pada zona rawan dan berisiko banjir. Metode yang digunakan untuk menentukan prioritas pengembangan kawasan permukiman adalah *overlay* peta kesesuaian lahan untuk permukiman, peta rawan banjir, dan peta ketersediaan lahan dengan menggunakan analisis Sistem Informasi Geografi (SIG). Hasil analisis kesesuaian lahan untuk permukiman menunjukkan terdapat 18% kawasan sangat sesuai (S1), 72% lahan sesuai (S2), 6,2% lahan sesuai marginal (S3), dan 0,4% lahan tidak sesuai (N) untuk permukiman. Selanjutnya, berdasarkan zona kerawanan banjir sebesar 13,7% wilayah penelitian memiliki tingkat kerawanan tinggi, sebesar 14,7% zona kerawanan sedang, dan 71,5% zona kerawanan rendah. Selain itu, berdasarkan ketersediaan lahan untuk permukiman, lahan yang tersedia untuk pengembangan kawasan permukiman sekitar 6%. Analisis prioritas pengembangan kawasan permukiman menghasilkan sembilan tingkatan prioritas pengembangan kawasan permukiman. Berdasarkan prioritas pengembangan kawasan permukiman diharapkan masyarakat lebih membangun pada kawasan yang paling diprioritaskan untuk kawasan permukiman.

Kata kunci: kawasan prioritas, permukiman, lahan tersedia

ABSTRACT

Growth population rate in a region has affected the escalation of land necessity for residential areas. Meanwhile, the land that utilized for residential areas is very limited. The purpose of this research is to determine the development priorities of residential areas on flood hazard and risks zone. The method used to determine the priority is overlaid the land suitability for residential map, flood hazard map, and the land availability map by using analysis from Geographical Information System (GIS). Results of land suitability for residential analysis showed that there are 18% of the area is very suitable (S1) for residential, 72% were suitable for residential (S2); 6,2% were marginally suitable for residential (S3); and 0,4% were unsuitable for residential (N). Furthermore, approximately 13,7% of the research area has a high hazard area, 14,7% were moderate hazard area, and 71,5% are low hazard area. Based on land availability for residential, available land for develop residential area is about 6%. The development priorities analysis for residential area produces nine levels of residential area development priorities. Based on those, society could build residential in the most prioritized area.

Keyword: priority areas, residential, land availability

PENDAHULUAN

Kehidupan manusia tidak bisa terlepas dari pemanfaatan lahan. Lahan dan tanah merupakan sumberdaya penting bagi kehidupan manusia. Semakin banyak jumlah penduduk pada suatu wilayah, maka tekanan terhadap lahan semakin meningkat dan akan menimbulkan konflik kepentingan dalam pemanfaatan lahan. Sadyohutomo (2008) mengungkapkan bahwa peningkatan jumlah penduduk akan mendorong peningkatan kebutuhan penggunaan lahan. Luas

lahan yang dapat digunakan untuk mendukung kehidupan relatif tetap dan bersifat terbatas. Sebagai akibatnya, akan terjadi persaingan penggunaan lahan dan pada akhirnya akan terjadi konflik antar-pengguna serta penurunan kualitas lahan. Menurut Muta'ali (2012), pertumbuhan penduduk yang tinggi akan menyebabkan manusia memanfaatkan sumberdaya alam tanpa memperhatikan kemampuan dan daya dukung lingkungan. Sebagai akibatnya, terjadi penurunan kualitas lingkungan dan bencana alam.

Perubahan penggunaan lahan menjadi lahan terbangun berdampak terhadap peningkatan frekuensi dan luasan kawasan rawan banjir (Iwan *et al.*, 1999 dan Penning, 2003). Hal ini disebabkan karena: (a) terganggunya sistem pengendali banjir; (b) semakin berkurangnya drainase; dan (c) semakin sempitnya ruang terbuka hijau yang berfungsi sebagai daerah resapan untuk wadah penyimpanan air tanah (Kodoatie, 2013). Jumlah penduduk Kota Padang mengalami peningkatan setiap tahunnya. Periode tahun 2000-2014 tingkat pertumbuhan penduduk Kota Padang sebesar 1,3 persen per tahunnya. Peningkatan jumlah penduduk Kota Padang berdampak semakin luasnya kebutuhan lahan untuk permukiman. Penggunaan lahan untuk permukiman di Kota Padang periode 1994-2014 mengalami perluasan setiap waktu. Pada tahun 1994 luas penggunaan lahan untuk permukiman sekitar 11,9% dari luas wilayah, tahun 2007 menjadi 16,2% dari luas wilayah, dan akhir tahun 2014 bertambah menjadi 16,5%. Peningkatan jumlah penduduk dan pemanfaatan sumber daya alam mengakibatkan munculnya berbagai masalah baru terhadap pemanfaatan sumber daya lahan. Lahan dengan faktor-faktor pembatas yang sedikit menjadi tinggi pemanfaatannya untuk kebutuhan lahan tertentu. Terbatasnya lahan yang dapat dimanfaatkan untuk penggunaan tertentu menyebabkan konflik antar-pengguna lahan. Di Kota Padang lahan yang dapat dimanfaatkan sebagai kawasan budidaya sekitar 30% dari luas wilayah, dan sisanya sebesar 70% merupakan kawasan hutan lindung dan hutan suaka alam.

Antara tahun 1988-2014, di Kota Padang telah terjadi dinamika tutupan lahan. Lahan terbangun (permukiman) terus bertambah luasannya, sebaliknya luasan daerah resapan mengalami penyempitan dari tahun ke tahun. Luas Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Kota Padang sebesar 95,6% dari luas wilayah pada tahun 1988 dan mengalami penyempitan menjadi 88,1% dari luas wilayah tahun 1998, tahun 2008 berkurang menjadi 83,8% dari luas wilayah, dan pada tahun 2014 berkurang menjadi 83,5% dari luas wilayah. Antara tahun 1988-2014 RTH di Kota Padang mengalami konversi menjadi lahan terbangun sebesar 12,1% dari luas wilayah (BPS, 2015). Hermon (2012b) menjelaskan lebih rinci tentang perubahan tutupan lahan di Kota Padang dengan menggunakan citra Landsat 5+TM tahun 1988 dan citra Landsat 7+ETM tahun 2014. Hasil analisis menunjukkan bahwa periode 1988-2014 di Kota Padang telah terjadi perluasan lahan terbangun (permukiman) seluas 13.351 ha. Perubahan tutupan lahan di Kota Padang disajikan pada **Tabel 1**.

Perubahan pola pengembangan permukiman di Kota Padang berdampak terhadap semakin luasnya daerah banjir. Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Padang mencatat bahwa telah terjadi peningkatan perluasan daerah genangan banjir di wilayah penelitian dari tahun 2009-2012. Peningkatan dan perluasan daerah

banjir di Kota Padang tidak terlepas dari perubahan penggunaan lahan terbuka (resapan) menjadi lahan terbangun, khususnya untuk pengembangan permukiman. Perubahan RTH menjadi lahan terbangun akan mendorong terjadinya perluasan daerah berisiko banjir. Hal ini terjadi karena semakin sempitnya ruang untuk air melakukan infiltrasi dan sebaliknya terjadi peningkatan aliran permukaan dan wilayah genangan.

Tabel 1. Tutupan Lahan Kota Padang.

Tutupan Lahan	Luas (ha)	
	1988	2014
Permukiman	3.157	16.608
Lahan terbuka	1 2.009,7	1.174
Semak	4.419,4	2.316
Kebun campuran	13.307,4	7.511
Hutan	40.279,5	39.424
Sawah	6.743	2.083
Sungai dan rawa	380	380

Sumber : Hermon (2012)

Berdasarkan data Dinas Pekerjaan Umum (DPU) Sumatera Barat (2014) pada tahun 1988 sekitar 7% dari 3.157 ha permukiman mengalami banjir. Pada tahun 1998 meningkat menjadi 13% dari 8.288 ha luas permukiman, pada tahun 2008 meningkat menjadi 24% dari 11.287 ha luas permukiman, dan pada tahun 2014 meningkat menjadi 32% dari 16.608 ha. Bertambah luasnya kawasan terkena banjir disebabkan banyaknya pengembangan permukiman tanpa mempertimbangkan kesesuaian lahan untuk permukiman. Penelitian Umar (2016) di Kota Padang meunjukkan bahwa terdapat sekitar 13% wilayah rawan banjir dan sekitar 53% kawasan permukiman rawan terhadap bencana banjir. Menurut Jha, *et al.* (2011) dampak banjir yang ada pada saat ini dan ke depan menuntut semakin mendesaknya pengelolaan kawasan rawan banjir di wilayah permukiman. Oleh karena itu, perlu upaya mitigasi sebagai upaya mengurangi risiko banjir di masa yang akan datang.

UU No 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang menyatakan bahwa dalam penyusunan rencana tata ruang, terutama untuk kawasan permukiman, harus memperhatikan dan menghindari kawasan rawan bencana. UU No 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana dan BNPB (2012) menjelaskan bahwa rawan bencana merupakan kondisi atau karakteristik geologis, biologis, hidrologis, klimatologis, geografis, sosial, budaya, politik, ekonomi, dan teknologi pada suatu kawasan untuk jangka waktu tertentu yang mengurangi kemampuan untuk mencegah, meredam, mencapai kesiapan, dan mengurangi kemampuan untuk menanggapi dampak buruk bahaya tertentu.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah pada wilayah penelitian, yaitu: a) pertumbuhan penduduk yang tinggi mendorong peningkatan kebutuhan kawasan permukiman; b) telah terjadi konversi dari kawasan

terbuka menjadi lahan terbangun; dan c) semakin luasnya kawasan permukiman yang rawan banjir. Tujuan penelitian ini untuk menentukan prioritas pengembangan kawasan permukiman pada wilayah rawan banjir di Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat.

METODE

Lokasi penelitian terletak di Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat. Secara geografis, wilayah penelitian terdapat pada bujur 100°05'05"-100°34'09" BT dan lintang 00°44'00"-01°08'35" LS. Wilayah penelitian yang memiliki luas 69.496 ha dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Kebutuhan lahan untuk permukiman merupakan dasar dalam kebijakan penentuan prioritas pengembangan kawasan permukiman. Penentuan proyeksi kebutuhan lahan dapat menggunakan **Persamaan 1** yaitu metode aritmatika (Muta'ali, 2013).

$$P_n = P_o + r \times (T_n - T_o) \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

- P_n = Variabel yang diproyeksikan tahun ke n
- P_o = Variabel yang diproyeksikan tahun dasar
- r = Angka pertumbuhan variabel yang diproyeksikan
- T_n = Tahun ke n
- T_o = Tahun dasar

Kesesuaian lahan untuk permukiman dianalisis berdasarkan USDA (1971), Muta'ali (2012), Hermon (2012), dan Umar (2016) yaitu: drainase,

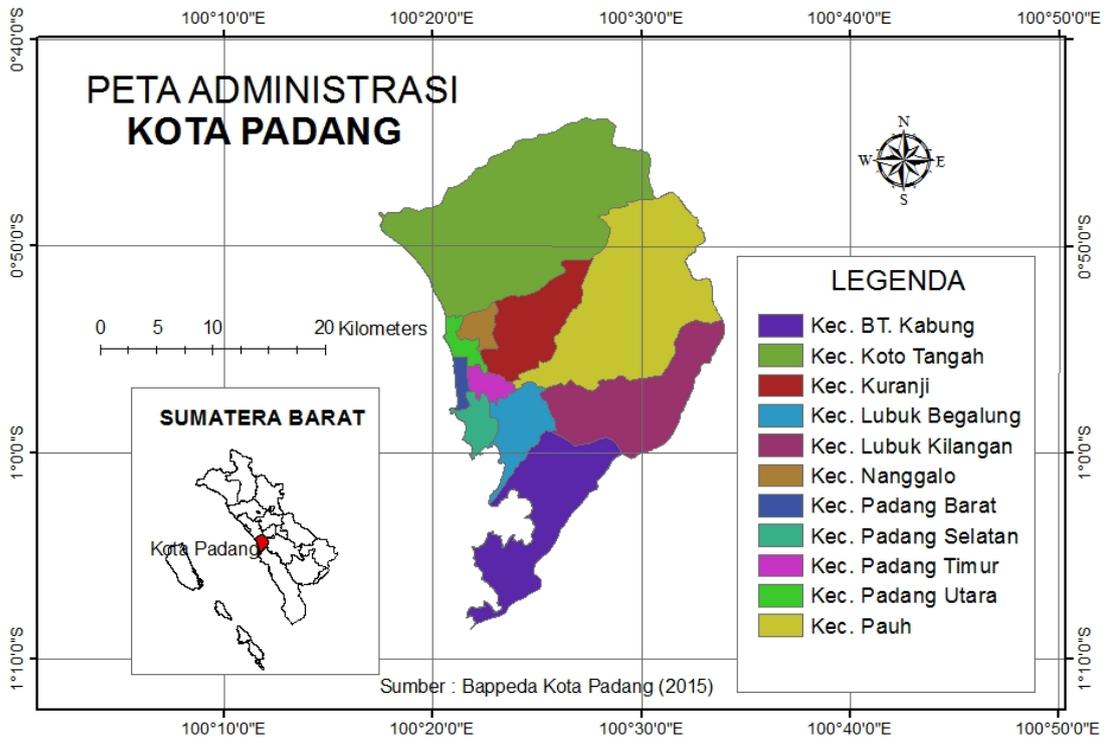
banjir, kemiringan lereng, batuan kerikil, tekstur, dan kedalaman efektif disajikan pada **Tabel 2**. Menurut Sitorus (2004) kelas kesesuaian lahan untuk permukiman dapat dibedakan atas empat kategori, yaitu: sangat sesuai (S1), sesuai (S2), sesuai marjinal (S3), dan tidak sesuai (N). Zona sangat sesuai (S1) merupakan kawasan yang sangat sesuai untuk kawasan permukiman dan tidak memiliki faktor pembatas. Zona sesuai (S2) merupakan lahan yang memiliki faktor pembatas cukup berat dan membutuhkan perbaikan untuk dapat dimanfaatkan sebagai kawasan permukiman. Selanjutnya, zona sesuai marjinal (S3) merupakan lahan yang memiliki faktor pembatas sangat berat dan membutuhkan biaya yang mahal dalam memperbaiki untuk dapat dimanfaatkan sebagai kawasan permukiman. Sedangkan zona tidak sesuai (N) merupakan lahan yang memiliki faktor pembatas sangat berat dan tidak dapat dilakukan perbaikan.

Hasil perkalian antara bobot dengan harkat akan diperoleh skor untuk masing-masing indikator. Untuk menentukan zonasi kesesuaian lahan untuk permukiman digunakan **Persamaan 2**.

$$I = \frac{c - b}{k} \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

- I = Besar jarak interval kelas
- c = Jumlah skor tertinggi
- b = Jumlah skor terendah
- k = Jumlah kelas yang diinginkan



Gambar 1. Lokasi Penelitian.

Tabel 2. Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Permukiman.

Indikator/Bobot	Sub Indikator	Harkat	Skor
Lereng (%) (14,5)	0-8	4	58
	9-15	3	43,5
	16-26	2	29
	>27	1	14,5
Banjir (25,2)	Tanpa	3	75,6
	Jarang	2	50,4
	Sering	1	25,2
Drainase (27,2)	Baik sampai sangat baik	3	81,9
	Sedang	2	54,4
	Agak buruk sampai terhambat	1	27,2
Batuan Kerikil (7,6)	Sedikit	3	22,8
	Sedang	2	15,2
	Banyak	1	7,6
Tekstur/besar butir (8,5)	Agak Kasar (lempung berpasir, pasir berlempung, pasir)	3	25,5
	Agak Halus (liat berpasir, lempung liat berdebu, lempung berliat, lempung liat berpasir)	2	17
	Halus (liat berdebu, liat)	1	8,5
Kedalaman Efekti f(7,8)	Dangkal (<50c m)	3	23,4
	Sedang (50-90 cm)	2	15,6
	Dalam (>90 cm)	1	7,8

Sumber: USDA (1971), Muta'ali (2012), Hermon (2012a) dan Umar (2016)

Hasil analisis menunjukkan total skor tertinggi sebesar 287,2 dan total skor terendah sebesar 90,8, maka dengan empat kelompok kelas diperoleh interval sebesar 49,1 seperti yang disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kelas Interval Kesesuaian Lahan untuk Permukiman.

Kelas Kesesuaian	Kelas Interval	Indeks Kesesuaian untuk Kawasan Permukiman
Sangat sesuai (S1)	238,3 – 287,2	Zona permukiman sangat sesuai
Sesuai (S2)	189,2 – 238,2	Zona permukiman sesuai
Sesuai marginal (S3)	140 – 189,1	Zona permukiman sesuai marginal
Tidak sesuai (N)	90,8 – 139,9	Zona permukiman tidak sesuai

Sumber: Umar (2016)

Deliniasi kawasan rawan banjir ditentukan dengan menggunakan tujuh indikator, yaitu lereng, elevasi, penggunaan lahan, curah hujan, bentuk lahan, jenis tanah, dan frekuensi banjir. Peta lereng dihasilkan dari Peta Rupabumi Indonesia (RBI) skala 1:50.000. Peta elevasi dihasilkan dari *Digital Elevation Model (DEM)* menggunakan citra *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc Second*. Peta curah hujan diperoleh dari interpolasi data

curah hujan BMKG Tabing Padang periode tahun 1975-2012 pada lima stasiun curah hujan di Kota Padang yang membentuk garis isohyet. Peta jenis tanah diturunkan dari Peta Jenis Tanah (PPT, 1990) skala 1:250.000. Bentuk lahan Kota Padang dihasilkan dari RePPPProT (1990) skala 1:250.000. Peta frekuensi banjir periode tahun 2005-2014 skala 1:50.000 dihasilkan dari data Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Padang (2015). Selanjutnya peta penggunaan lahan Kota Padang dihasilkan dari interpretasi citra *Landsat 7+ETM* tahun 2014 dan dikoreksi dengan citra *Quick Bird* 0.65m tahun 2010. Untuk dapat melakukan *overlay*, maka dilakukan penyamaan skala peta yaitu 1:50.000.

Indikator yang digunakan dalam penentuan zona rawan banjir didasarkan kepada MAFF-Japan Zain (2002), Hermon (2012a), Haryani *et al.*, (2012), Hardjowigeno dan Widiatmaka (2007). Terdapat tujuh indikator dalam penentuan rawan banjir yaitu: (1) jenis tanah; (2) lereng; (3) bentuk lahan; (4) curah hujan; (5) elevasi/ketinggian; (6) penggunaan lahan; dan (7) frekuensi banjir. Masing-masing indikator dirinci menjadi beberapa sub indikator. Skor ditentukan dari hasil perkalian antara bobot indikator dengan harkat masing-masing sub indikator.

Zonasi kerawanan banjir dihasilkan dari *overlay* tujuh peta tematik. Kelas kerawanan banjir dibedakan atas tiga kategori yaitu zona rawan tinggi, zona rawan sedang, dan zona rendah. Indikator rawan banjir yang digunakan dalam penentuan zonasi kawasan rawan banjir di Kota Padang. Pembuatan nilai interval kelas rawan banjir menggunakan **Persamaan 1** disajikan pada **Tabel 4**. Total skor tertinggi diperoleh sebesar 3.661, sedangkan total skor terendah diperoleh sebesar 543. Berdasarkan persamaan tersebut diperoleh interval sebesar 1.039. Distribusi kelas interval rawan banjir dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Ketersediaan lahan untuk permukiman dihasilkan dari *overlay* tiga peta tematik, yaitu: Peta Penunjukkan Kawasan Hutan skala 1:50.000 (Bappeda Kota Padang, 2009), Peta Pola Ruang skala 1:50.000 (RTRW Kota Padang 2008-2028), dan Peta Penggunaan Lahan skala 1:25.000. Peta Kawasan Hutan dan Pola Ruang Kota Padang diperoleh dari Bappeda Kota Padang (2009), dan Peta Penggunaan Lahan dihasilkan dari interpretasi citra *Landsat ETM +7* tahun 2014 dan dikoreksi dengan citra *Quick Bird* 0,65 m tahun 2010. Ketersediaan lahan untuk permukiman merupakan faktor pembatas (*limiting factor*). **Tabel 6** merupakan indikator yang digunakan dalam penentuan ketersediaan lahan. Selanjutnya, kelas ketersediaan dibedakan menjadi dua, yaitu: (1) lahan tersedia dengan skor 30; dan (2) lahan tidak tersedia dengan skor kurang dari 30.

Tabel 4. Indikator Rawan Banjir.

Indikator/Bobot	Sub. Indikator	Harkat	Skor
Jenis Tanah	Aluvial	24,7	249,5

(10,1)	Andosol	11,5	116,2
	Organosol	36,6	369,7
	Regosol	7,8	78,8
	Latosol	7,6	76,8
	Komp. Padsolik MK	12,1	122,2
Lereng (%) (20,6)	0-8	53,5	1.102,1
	9 -15	25,9	533,5
	16-26	13,1	269,9
	>27	7,5	154,5
Bentuk lahan (15,9)	Dataran Aluvial	8,3	132,0
	Kipas Aluvial	9,8	155,8
	Dataran Aluvial Pantai	9,5	151,1
	Beting Gesik	12,9	205,1
	Depresi Antar Beting	19,6	311,6
	Komp. Peg. Vulkanik	3,1	49,3
	Perbukitan Vulkanik	3,0	47,7
	Rawa Belakang	21,2	337,1
	Perbukitan Karst	3,1	49,3
	Tanggul Alam	9,5	151,1
Curah Hujan (11,3)	> 5000	37	418,1
	4500-5000	24,6	278,0
	4000-4500	16,2	183,1
	3500-4000	9,9	111,9
	3000-3500	7,1	80,2
	2500-3000	5,2	58,8
Elevasi (24)	0-10 meter dpl	38,5	924,0
	10-30 meter dpl	21,8	523,2
	30-50 meter dpl	14,4	345,6
	50-150 meter dpl	9,3	223,2
	150-450 meter dpl	6,6	158,4
	450-1000 meter dpl	5,3	127,2
Penggunaan Lahan (10,7)	> 1000 meter dpl	4,1	98,4
	Permukiman	33,3	356,3
	Sawah	21,7	232,2
	Kebun campuran	8,9	95,2
	Semak belukar	7,9	84,5
	Lahan kosong	15,1	161,6
Frekuensi (7,4)	Hutan	4,8	51,4
	Selalu	56,9	421,1
	Sering	23,7	175,4
	Jarang	11,8	87,3
	Tanpa	7,5	55,5

Sumber klasifikasi sub indikator: MAFF-Japan Zain (2002), Hermon (2012a), Haryani et al. (2012), Hardjowigeno dan Widiatmaka (2007)

Prioritas pengembangan kawasan permukiman dihasilkan dari *overlay* tiga peta tematik, yaitu: Peta Kesesuaian Lahan Untuk Permukiman skala 1:25.000, Peta Rawan Banjir skala 1:25.000, dan Peta Ketersediaan Lahan Untuk Permukiman skala 1:25.000. Kriteria dalam penentuan prioritas pengembangan kawasan permukiman adalah kesesuaian lahan, tingkat

kerawanan banjir, dan ketersediaan lahan. Zona sangat sesuai (S1) menjadi prioritas pengembangan kawasan permukiman pada kesesuaian lahan untuk permukiman, sebaliknya semakin tidak sesuai maka semakin tidak menjadi prioritas. Selain itu, pada tingkat kerawanan banjir, zona rawan tinggi tidak menjadi prioritas dan sebaliknya semakin tidak rawan akan menjadi prioritas. Selanjutnya, pada ketersediaan lahan yang menjadi prioritas yakni zona yang tersedia. Pada **Tabel 7** disajikan indikator penentuan zona prioritas pengembangan kawasan permukiman.

Tabel 5. Kelas Interval Rawan Banjir.

Kelas Kerawanan	Kelas Interval	Indeks Kerawanan
Kelas Rendah	543 – 1.582	Zona Rawan Rendah
Kelas sedang	1.582 – 2.621	Zona Rawan Sedang
Kelas tinggi	2.621 – 3.661	Zona Rawan Tinggi

Sumber : Umar (2016)

Tabel 6. Indikator Ketersediaan Lahan.

Indikator /Bobot	Sub Indikator	Harkat	Skor
Kawasan Hutan (10)	APL	1	10
	Hutan Lindung	0	0
	Hutan Suaka Alam	0	0
Pola Ruang (10)	Permukiman	1	10
	Sawah	0	0
	Industri	0	0
	Pendidikan	0	0
	Hutan Lindung	0	0
	Hutan Suaka Alam	0	0
	Sempadan Sungai	0	0
Kawasan Permukiman (10)	Sempadan Pantai	0	0
	Kawasan	0	0
	Penyangga	0	0
	Pertambangan	0	0
	Kawasan Khusus	0	0
Kawasan Permukiman (10)	Belum Terbangun	1	10
	Kawasan Terbangun	0	0

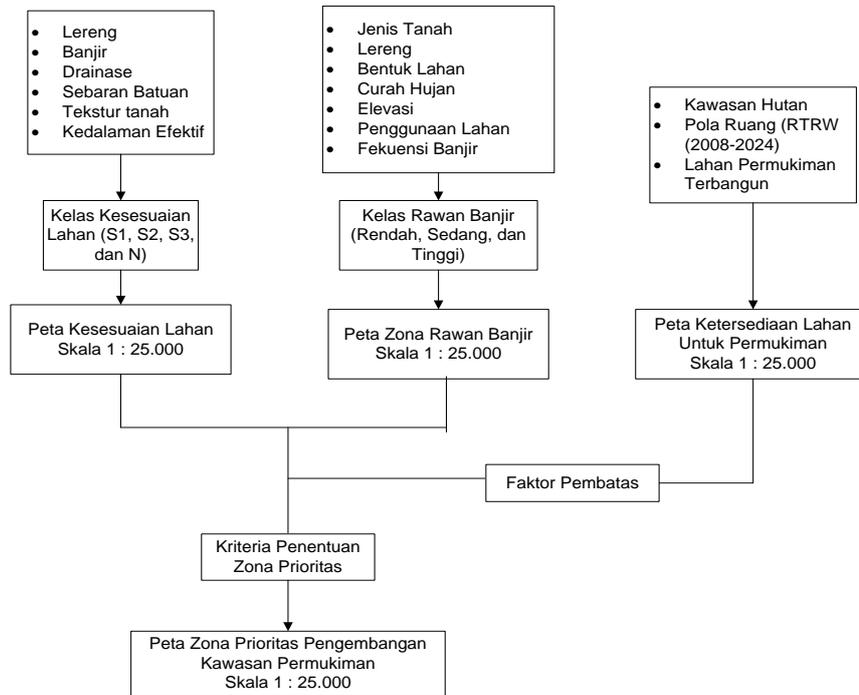
Sumber : Umar (2016)

Tabel 7. Indikator Prioritas Pengembangan Kawasan Permukiman.

Indikator /Bobot	Sub Indikator	Harkat	Skor
Kesesuaian lahan (10)	Sangat sesuai (S1)	7	70
	Sesuai (S2)	5	50
	Sesuai marjinal (S3)	3	30
	Tidak sesuai (N)	0	0
Rawan banjir (10)	Rendah	1,5	15
	Sedang	1	10
	Tinggi	0,5	5
Ketersediaan lahan (10)	Tersedia	1	10
	Tidak	0	0

Sumber : Umar (2016)

Zona prioritas pengembangan kawasan permukiman dibedakan atas 9 kelas. Penentuan kelas prioritas ditentukan dengan total skor pengalian antara skor kesesuaian lahan, rawan banjir, dan ketersediaan lahan. **Tabel 8** merupakan kelas prioritas dan karakteristik masing-masing zona prioritas. Sedangkan tahapan penelitian disajikan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Tahap Penelitian.

Tabel 8. Kelas dan Kriteria Prioritas Pengembangan Kawasan Permukiman.

Klasifikasi	Total Skor	Kriteria		
		Kesesuaian Lahan untuk Permukiman	Tingkat Rawan Banjir	Ketersediaan Lahan
Prioritas 1	105	S1	Rendah	Tersedia
Prioritas 2	75	S2	Rendah	Tersedia
Prioritas 3	70	S1	Sedang	Tersedia
Prioritas 4	50	S2	Sedang	Tersedia
Prioritas 5	45	S3	Rendah	Tersedia
Prioritas 6	35	S3	Sedang	Tersedia
Prioritas 7	30	S1	Tinggi	Tersedia
Prioritas 8	25	S2	Tinggi	Tersedia
Prioritas 9	15	S3	Tinggi	Tersedia

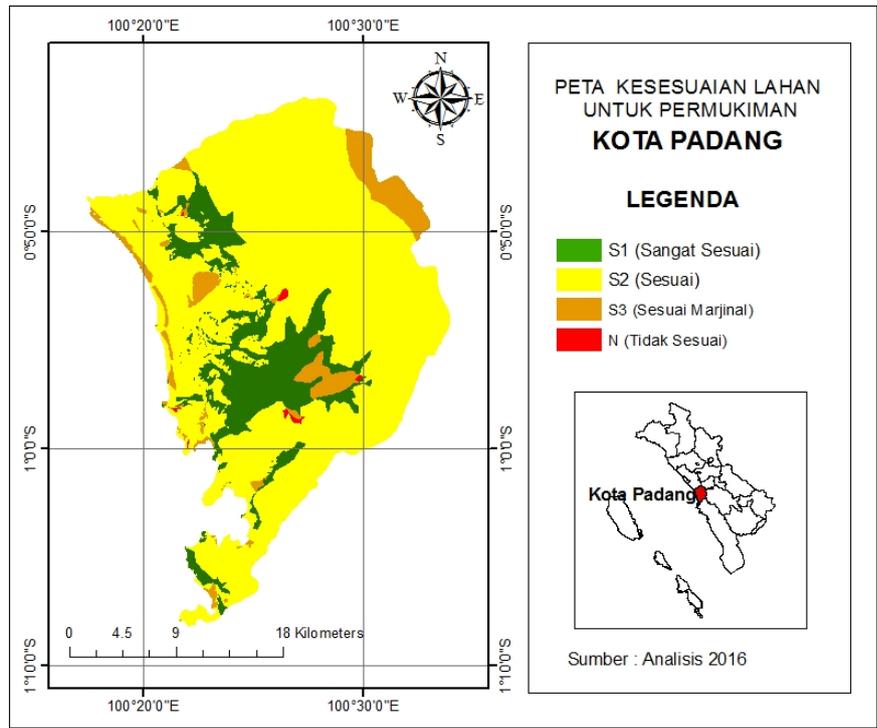
Sumber : Umar (2016)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kota Padang memiliki angka pertumbuhan 1,3 persen/tahun antara periode tahun 2000-2014 (BPS, 2015). Pertumbuhan penduduk akan berdampak terhadap peningkatan kebutuhan lahan untuk permukiman (Muta'ali 2013). Berdasarkan hal tersebut dengan menggunakan **Persamaan 1**, maka ditentukan proyeksi kebutuhan lahan untuk permukiman. Luas lahan permukiman di Kota Padang tahun 1988 sebesar 3.157 ha, dan pada tahun 2014 bertambah menjadi 16.608 ha. Jadi periode tahun 1988-2014 luas lahan permukiman bertambah seluas 13.451 ha dengan angka pertumbuhan (r) sebesar 3,8 persen/tahun. Kebutuhan lahan untuk tahun 2020 diproyeksikan seluas 20.295 ha. Oleh karena itu, maka perlu adanya optimalisasi pemanfaatan ruang dan penyusunan prioritas pengembangan kawasan permukiman.

Hasil analisis kesesuaian lahan untuk permukiman di Kota Padang menunjukkan bahwa terdapat sekitar 18% zona lahan yang sangat sesuai (S1) untuk permukiman; 75,4% luas zona lahan yang sesuai (S2) untuk permukiman; 6,2% zona lahan yang sesuai marginal (S3) untuk permukiman; dan sebesar 0,8% zona tidak sesuai (N) untuk permukiman. Distribusi zona kesesuaian lahan untuk permukiman disajikan pada **Gambar 3**. Selain itu, Hermon (2012b) membedakan tiga klasifikasi pengembangan kawasan untuk permukiman di Kota Padang, yaitu: (1) lahan permukiman sangat sesuai sekitar 26,9%; (2) lahan permukiman terbatas sekitar 15,9%; dan (3) lahan tidak sesuai untuk permukiman sebesar 57,2%.

Kota Padang berdasarkan kemiringan lereng sebagian besar (60%) merupakan wilayah dengan morfologi berbukit dan lereng yang sangat curam, hanya sebesar 30% yang layak untuk dimanfaatkan sebagai kawasan permukiman. Selain itu, tutupan lahan Kota Padang dibedakan atas enam jenis yaitu: (1) lahan terbangun/permukiman (16,5%); (2) sawah (9%); (3) kebun campuran (3,4%); (4) semak (0,6%); (5) lahan kosong (0,6%); dan (6) hutan (70%). Selanjutnya, jenis tanah berdasarkan Puslitan (1990) diklasifikasikan atas enam kategori, yaitu: (1) tanah Aluvial (13,8%); (2) tanah Andosol (39,9%); (3) tanah Latosol (25,5%); (4) tanah Regosol (9%); (5) tanah Organosol (0,3%); dan (6) tanah Kompleks Podsolik Merah Kuning (11,5%). Kota Padang berdasarkan penunjukan kawasan hutan dibedakan atas tiga, antara lain: (1) kawasan Areal Peruntukan Lain/APL (30%); (2) kawasan hutan lindung (24,5%); dan (3) kawasan suaka alam (45,5%). Berdasarkan karakteristik Kota Padang, maka lahan yang dapat dimanfaatkan dan dikembangkan sebagai kawasan permukiman sekitar 30% dari luas wilayah.



Gambar 3. Zona Kesesuaian Lahan untuk Permukiman di Kota Padang.

Tahun 2014 di Kota Padang terdapat kawasan permukiman seluas 11.477 ha, sebesar 21,1% dari kawasan permukiman tidak sesuai dengan pola ruang. Selain itu, sebesar 0,2% kawasan permukiman tidak sesuai dengan penggunaannya. Berkembangnya permukiman pada kawasan tidak sesuai dengan peruntukannya merupakan bukti masih lemahnya penegakan hukum bagi pelanggaran tata ruang. Hal ini diperkuat dengan pendapat Suripin (2004) bahwa pelanggaran tata ruang terjadi karena lemahnya koordinasi dan sinkronisasi antar komponen terkait, serta rendahnya kesadaran hukum dan belum konsistennya pelaksanaan hukum dalam penataan ruang.

Hasil analisis tingkat kerawanan banjir di Kota Padang berdasarkan kelas kerawanan banjir menunjukkan bahwa: a) seluas 9.531 ha termasuk pada kawasan rawan tinggi; b) seluas 10.220 ha merupakan kawasan rawan sedang; dan c) seluas 49.745 ha merupakan kawasan kategori rawan rendah. Distribusi kawasan rawan banjir di wilayah penelitian disajikan pada peta tingkat rawan banjir pada **Gambar 4**.

Banjir dapat dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu: curah hujan, karakteristik DAS, dan manusia. Tingginya intensitas curah hujan dalam waktu yang lama dan terdistribusi secara merata merupakan faktor meteorologi yang mempengaruhi terjadinya banjir. Selain itu, wilayah yang relatif datar dan tumpuan DAS (kipas fluvial, dataran banjir, tanggul alam, dan delta sungai) merupakan wilayah yang rawan terhadap banjir. Perubahan penggunaan lahan menjadi lahan terbangun dan perambahan hutan merupakan perilaku manusia yang juga mendorong terjadinya banjir. Hal ini sesuai dengan pendapat Asdak (1995) serta Bechtol dan Laurian

(2005), banjir dipengaruhi oleh tiga faktor, yakni meteorologi, karakteristik DAS, dan perilaku manusia. Antara periode tahun 1981-2014, di Kota Padang terjadi perubahan penggunaan lahan menjadi lahan terbangun sebesar 12,1% dari luas wilayah. Perubahan penggunaan lahan menjadi lahan terbangun menyebabkan semakin sempit ruang air untuk melakukan infiltrasi dan meningkatkan aliran air permukaan. Perubahan penggunaan lahan sebagai salah satu faktor penyebab banjir didukung pendapat Kodra dan Syaurnani (2004), Pribadi, et al. (2006), Kodoatie (2013), dan Yükses, et al. (2013) bahwa dampak perubahan penggunaan lahan menjadi lahan terbangun yakni semakin meningkatnya frekuensi dan luasan bencana banjir karena terganggunya sistem pengendali banjir dan drainase. Sedangkan Popovska, et al. (2010) menyatakan bahwa faktor penyebab banjir adalah curah hujan. Intensitas curah hujan yang tinggi dalam waktu yang lama akan menyebabkan terjadinya bencana banjir. Selain itu, Mudelsee, et al. (2003) mengungkapkan bahwa terjadinya peningkatan intensitas curah hujan sebagai penyebab banjir disebabkan efek radiasi yang terjadi pada atmosfer. Terjadinya radiasi pada atmosfer menyebabkan perubahan iklim terutama peningkatan siklus hidrologi. Perubahan penggunaan lahan menjadi lahan terbangun diakibatkan oleh pertumbuhan penduduk. Pertumbuhan penduduk yang tinggi mendorong meningkatnya kebutuhan kawasan untuk permukiman dan pembangunan yang sangat cepat menyebabkan terjadinya perubahan penggunaan lahan. Lahan terbuka pada akhirnya berubah fungsi menjadi kawasan permukiman dan industri. Hal ini tidak hanya terjadi pada kawasan perkotaan, namun juga terjadi pada kawasan

budidaya dan lindung yang memiliki fungsi sebagai daerah resapan (Antrop, 2004). Kota Padang antara periode tahun 2000-2014 memiliki tingkat pertumbuhan penduduk sebesar 1,4 persen/tahun, sebagai akibatnya bertambahnya luas lahan terbangun sebesar 16,5% dari luas wilayah Kota Padang. Semakin luasnya lahan permukiman mengakibatkan luasan daerah resapan air semakin berkurang. Jika hal ini dibiarkan terus berlangsung, maka bukan tidak mungkin luasan genangan banjir menjadi semakin luas.

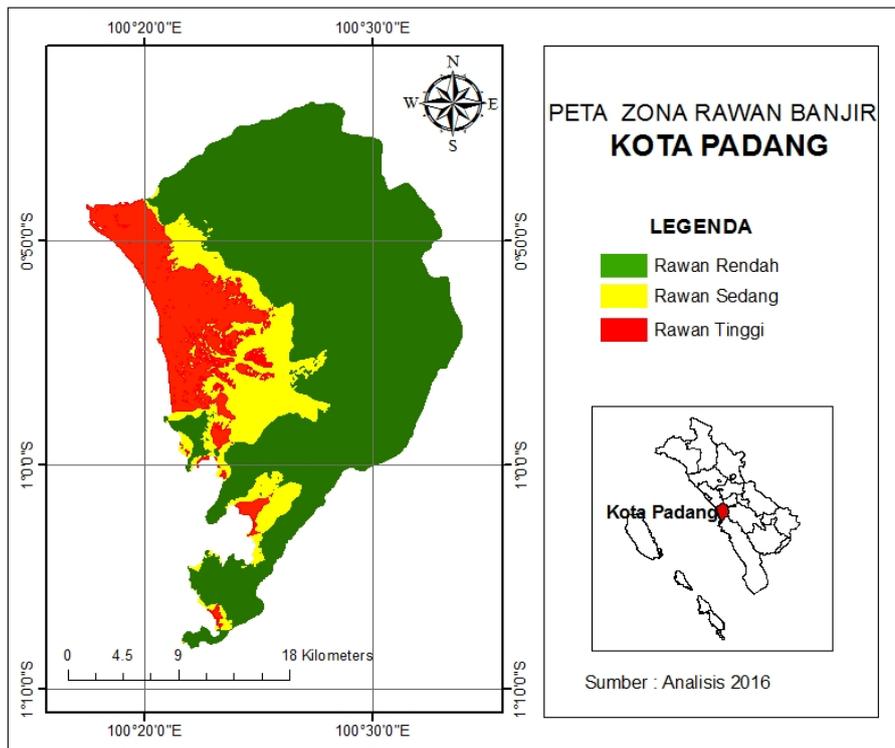
Jenis tanah merupakan salah satu indikator yang digunakan dalam zonasi rawan banjir. Berdasarkan Peta Jenis Tanah Puslitan (1990) skala 1:250.000 dan Bappeda Kota Padang (2009) skala 1:50.000, jenis tanah Kota Padang dibedakan atas enam jenis yaitu tanah Aluvial, tanah Andosol, tanah Latosol, tanah Kompleks Podsolik Merah Kuning, dan tanah Organosol. Pada zona rawan tinggi di wilayah penelitian terdapat dua jenis tanah, yaitu jenis tanah aluvial dan tanah organosol. Asdak (1995) menyatakan bahwa jenis tanah yang memiliki tekstur sangat halus (lempung) dan memiliki kandungan air yang tinggi rawan terhadap banjir. Jenis tanah organosol merupakan jenis tanah yang memiliki tekstur halus dan kandungan air tanah relatif tinggi.

Ketersediaan lahan untuk permukiman dihasilkan dari *overlay* beberapa peta tematik, yaitu peta penunjukkan kawasan hujan, peta pola ruang, dan peta penggunaan lahan tahun 2014. Berdasarkan penunjukkan kawasan hutan bahwa kawasan yang dapat digunakan untuk permukiman adalah arel peruntukan lain (APL). Kawasan hutan

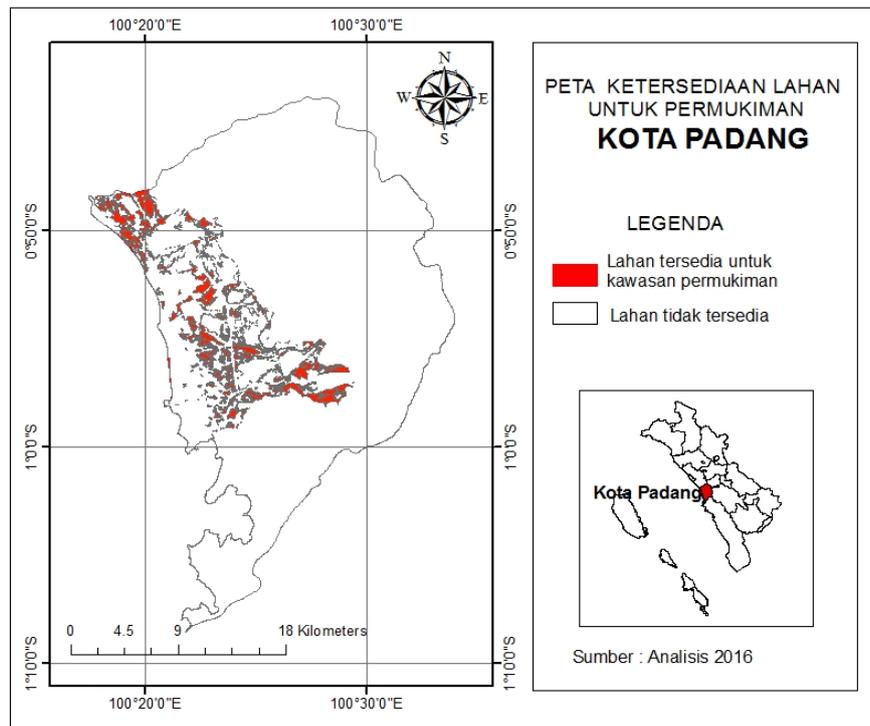
lindung dan hutan suaka alam tidak dapat dimanfaatkan untuk kawasan budidaya.

Berdasarkan pola ruang Kota Padang sekitar 70% merupakan kawasan lindung dan sekitar 30% merupakan kawasan budidaya. Berdasarkan pola ruang di Kota Padang, RTRW Kota Padang 2008-2028 menunjukkan kawasan budidaya sebagian besar diperuntukan untuk kawasan permukiman. Selain itu, berdasarkan penggunaan lahan kawasan permukiman di Kota Padang sebesar 16,5% dari luas wilayah. Hasil *overlay* peta penunjukan kawasan hutan, peta pola ruang, dan peta penggunaan lahan dapat ditentukan ketersediaan lahan untuk kawasan permukiman. Kawasan APL pada peta penunjukan kawasan hutan dan kawasan permukiman pada pola ruang merupakan kawasan yang dapat digunakan untuk kawasan permukiman. Untuk mendapatkan lahan yang tersedia untuk kawasan permukiman dilakukan *overlay* dengan penggunaan lahan. Lahan terbangun pada penggunaan lahan merupakan lahan yang tidak tersedia. Hasil analisis menunjukkan bahwa luas ketersediaan lahan untuk permukiman pada wilayah penelitian yaitu 4.489 ha (6,46%). **Gambar 5** merupakan hasil analisis ketersediaan lahan untuk permukiman.

Peta zona prioritas pengembangan kawasan permukiman dihasilkan berdasarkan tiga indikator yaitu: (1) kesesuaian lahan untuk permukiman; (2) ketersediaan lahan untuk permukiman; dan (3) bahaya banjir di Kota Padang. Lahan sangat sesuai (S1) menjadi prioritas untuk dikembangkan untuk kawasan permukiman, sebaliknya lahan tidak sesuai (N) menjadi tidak prioritas untuk dikembangkan.



Gambar 4. Zona Rawan Banjir di Kota Padang.



Gambar 5. Ketersediaan Lahan untuk Permukiman di Kota Padang.

Selain itu, upaya mengurangi dampak yang ditimbulkan akibat bencana banjir terhadap kawasan permukiman, maka tingkat kerawanan banjir menjadi pertimbangan dalam penentuan prioritas kawasan permukiman. Semakin tinggi tingkat kerawanan banjir, maka semakin rendah dalam tingkat prioritas untuk menjadi kawasan permukiman. Selanjutnya, ketersediaan lahan menjadi hal penting untuk penentuan prioritas pengembangan kawasan permukiman. Lahan yang menjadi prioritas adalah lahan yang tersedia untuk dikembangkan. Lahan yang tersedia didasarkan pada kawasan hutan, pola ruang, dan penggunaan lahan. Lahan yang menjadi prioritas pada analisis ketersediaan lahan memiliki tiga kriteria, yaitu: (1) kawasan areal penggunaan lain (APL); (2) kawasan permukiman pada pola ruang; dan (3) kawasan tersebut belum terbangun untuk kawasan permukiman.

Hasil analisis zona prioritas pengembangan kawasan permukiman di Kota Padang terdapat 8 tingkatan zona prioritas pengembangan kawasan permukiman seluas 4.489 ha seperti yang disajikan pada **Tabel 9**.

Tingkatan tertinggi yakni 1, sedangkan yang terendah adalah 9 seperti yang disajikan pada **Gambar 6**. Zona prioritas untuk kawasan permukiman sebagian besar adalah zona prioritas 8 sekitar 37,3%, sebaliknya yang paling sedikit yakni prioritas 6 sekitar 1,2%. Zona prioritas 1 yang menjadi prioritas utama sebesar 12,4%. Tidak ada zona prioritas 7 pada wilayah penelitian ini, hal itu karena pada zona tersebut tidak ada ketersediaan lahan untuk permukiman.

Gambar 7 merupakan peta permukiman Kota Padang tahun 2014 dengan luas permukiman sebesar 16.608 ha. Proyeksi kebutuhan lahan

untuk permukiman pada tahun 2020 di Kota Padang seluas 20.295 ha dengan rata-rata tingkat pertumbuhan 3,8 persen/tahun. Luas lahan yang tersedia untuk pengembangan kawasan permukiman sebesar 4.489 ha. Oleh karena itu disusun prioritas pemanfaatan lahan untuk permukiman sebagai upaya mengoptimalkan pemanfaatan ruang di Kota Padang.

Tabel 9. Zona Prioritas Pengembangan Kawasan Permukiman.

Klasifikasi	Luas	
	ha	Persen
Prioritas 1	557	12,4
Prioritas 2	81	1,8
Prioritas 3	1.517	33,8
Prioritas 4	81	1,8
Prioritas 5	319	7,1
Prioritas 6	54	1,2
Prioritas 7	0	0
Prioritas 8	1.674	37,3
Prioritas 9	238	5,3

Sumber : Analisis 2016

Reclass skala prioritas dapat dilakukan dengan beberapa tindakan, yaitu:

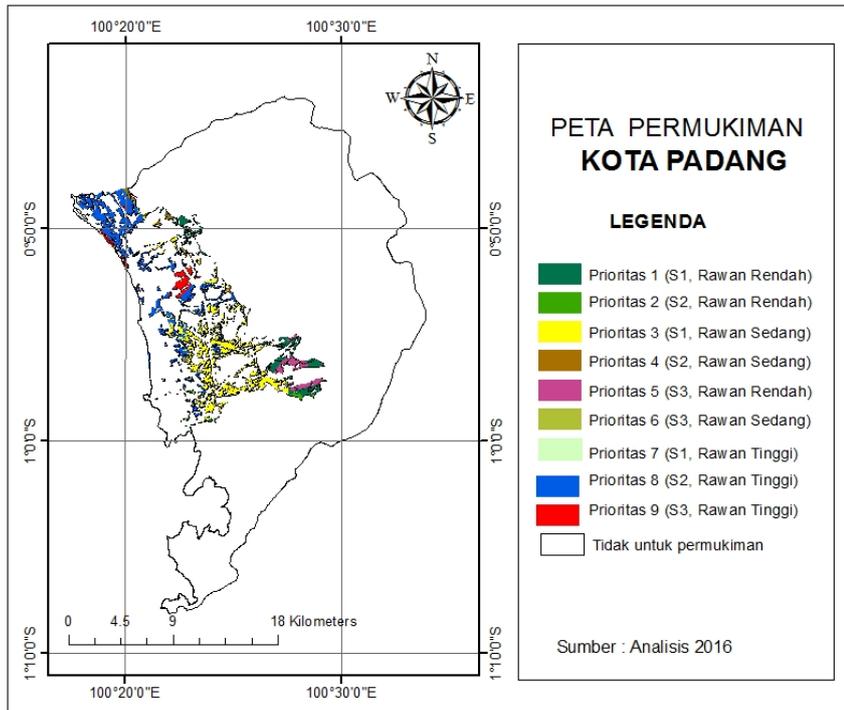
- 1) Memperbaiki sistem drainase
 Drainase dan banjir merupakan indikator dalam kesesuaian lahan untuk permukiman. Artinya dengan perbaikan sistem drainase akan meningkatkan nilai dalam kelas kesesuaian lahan, dan sekaligus akan meningkatkan nilai banjir dalam kelas kesesuaian lahan untuk permukiman. Selain itu, frekuensi banjir merupakan salah satu indikator pada zona rawan banjir. Artinya dengan memperbaiki sistem, nilai frekuensi banjir pada kelas rawan banjir akan

meningkat. Peningkatan nilai pada tiga indikator tersebut merupakan upaya *reclass* skala prioritas.

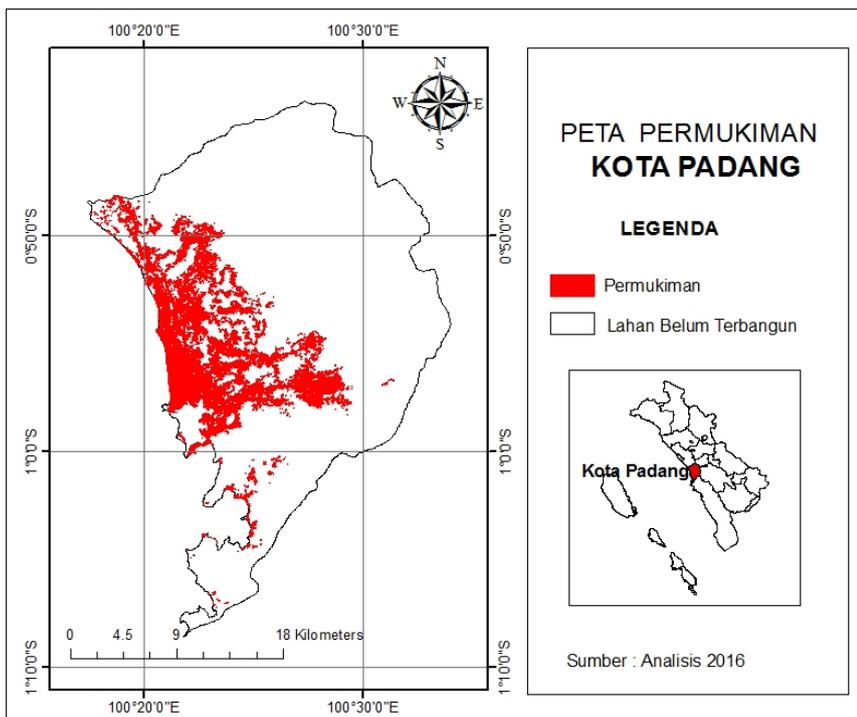
- 2) Tegaknya Regulasi Pemanfaatan Ruang
 Dalam pemanfaatan lahan, 30 persen merupakan *open space*. Ketersediaan *open space* ini terkait dengan resapan air saat musim penghujan. Semakin banyak air terserap dalam tanah maka akan mengurangi genangan banjir dan frekuensi banjir. Hal ini

akan sebagai upaya *reclass* skala prioritas pengembangan kawasan permukiman.

- 3) Reboisasi
 Kota Padang merupakan secara geomorfologi merupakan kawasan fluvial. Reboisasi kawasan hulu sungai akan membuat akar tanaman menyerap air dan mengurangi terjadinya banjir pada saat musim penghujan. Berkurangnya bencana banjir akan meningkatkan kelas kesesuaian lahan dan akan mengurangi rawan banjir.



Gambar 6. Zona Prioritas Pengembangan Kawasan Permukiman di Kota Padang.



Gambar 7 . Permukiman Tahun 2014 di Kota Padang.

KESIMPULAN

Kota Padang memiliki luas 12.509 ha (18%) lahan yang sangat sesuai untuk kawasan permukiman. Namun berdasarkan penggunaan lahan permukiman tahun 2014, masih terdapat 0,2% kawasan tidak sesuai dengan kesesuaian lahan untuk permukiman. Selain itu, berdasarkan tingkat kerawanan, sekitar 9.034 ha (13%) kawasan di Kota Padang sangat rawan terhadap banjir (rawan tinggi), dan sebagian besar (8.885 ha/53,5%) kawasan permukiman berkembang pada kawasan sangat rawan banjir.

Analisis ketersediaan lahan untuk permukiman di Kota Padang menunjukkan bahwa lahan yang tersedia hanya seluas 4.489 ha (6%) dari luas wilayah. Selanjutnya hasil analisis prioritas pengembangan kawasan permukiman di Kota Padang menghasilkan sembilan tingkatan prioritas pengembangan kawasan permukiman. Luas lahan yang menjadi prioritas untuk dikembangkan sebesar 4.489 ha. Sebagian besar prioritas pengembangan kawasan permukiman adalah prioritas 8. Prioritas 1 (utama) memiliki luas sekitar 12,4% dari lahan yang tersedia.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada Institut Pertanian Bogor yang telah memberikan kesempatan mengikuti program doktor. Selain itu, ucapan terima kasih tidak lupa disampaikan kepada Kemenristekdikti dan Universitas Negeri Padang yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Antrop, M. (2004). Landscape Change and the Urbanization Process in Europe. *Landscape and Urban Planning*, 67(1), 9-26.

Asdak, C. (1995). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press.

Bechtol, V., & Laurian, L. (2005). Restoring Straightened Rivers for Sustainable Flood Mitigation. *Disaster Prevention and Management: an International Journal*, 14(1), 6-19.

BPS [Badan Pusat Statistik Kota Padang]. (2015). Kota Padang Dalam Angka.

BNPB [Badan Nasional Penanggulangan Bencana]. (2012). Pedoman Umum Penanggulangan Bencana.

BPBD [Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Padang (ID)]. (2015). Catatan Bencana Banjir Kota Padang.

BMKG [Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Tabing Padang (ID)]. (2014). Data Curah Hujan Periode 1975-2012.

DPU [Dinas Pekerjaan Umum Sumatera Barat]. (2014). Laporan DAS Provinsi Sumatera Barat.

Haryani, NS., Zubaidah, A , Dirgahayu, D., Yulianto, HF., Pasaribu, J. (2012). Model Bahaya Banjir Menggunakan Data Penginderaan Jauh Di Kabupaten Sampang. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 9 (1): 52-66

Hardjowigeno, S., Widiatmaka. (2007). *Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Perencanaan Tataguna Lahan*. UGM Pr, Yogyakarta (ID).

Hermon, D. (2012a). *Mitigasi Bencana Banjir*. UNP Pr Padang (ID).

Hermon, D. (2012b). Dinamika Cadangan Karbon Akibat Perubahan Tutupan Lahan Menjadi Lahan Permukiman Di Kota Padang, Sumatera Barat. *Forum Geografi*, 26 (1): 45 - 52

Iwan, W. D., Cluff, L. S., Kimpel, J. F., & Kunreuther, H. (1999). Mitigation Emerges as Major Strategy for Reducing Losses Caused by Natural Disasters. *Science*, 284(5422), 1943.

Jha, AK., Robin, B., & Jessica L. (2011). *Kota dan Banjir Panduan Pengelolaan untuk Resiko Banjir di Abad 21*. NDM Institut Pr, Thailand (ID).

Kodoatie, R. (2013). *Rekayasa dan Banjir Kota*. ANDI Pr, Yogyakarta (ID).

Kodra, HSA., Syaurokani. (2004). *Bumi Makin Panas Banjir Makin Luas*. Yayasan Nuasa Cendikia Pr, Bandung (ID).

Muta'ali, L. (2012). *Daya Dukung Lingkungan untuk Perencanaan Pengembangan Wilayah*. Badan Penerbit Fakultas Geografi (BPGF) Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (ID).

Muta'ali, L. (2013). *Penataan Ruang Wilayah dan Kota*. Badan Penerbit Fakultas Geografi (BPGF) Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (ID).

Mudelsee, M., Borngen, M., Tetzlaff, G., & Grunewald U. (2003). No Upward Trends In The Occurrence of Extreme Floods in Central Europe. *Nature*, 425 (6954):1-9

Peraturan Daerah Kota Padang. (2012). *Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Padang 2008-2028*. Peraturan Daerah Nomor 4 Tahun 2012. Walikota Padang. Padang

Penning, RE. (2003). Flood Hazard Response in Argentina. *Geographical Review*, (86(1): 72-90

Popovska, C., Jovanovski, M., Ivanoski, D., Pesevski, I. (2010). Storm Sewer System Analysis In Urban Areas and Flood Risk Assessment. *Technical University of Civil Engineering from Bucharest*,16(2):125-140

Pribadi, D., Shiddig, D., Ermyanila, M. (2006). Model Perubahan Tutupan Lahan dan Faktor-faktor yang Mempengaruhinya. *Jurnal Teknologi Lingkungan BPPT*. 7 (1): 35-51.

PPT [Pusat Penelitian Tanah Bogor (ID)]. (1990). Peta Jenis Tanah.

RePPPProT [Regional Physical Planning Program for Transmigration]. (1990). *Land System*

RI [Republik Indonesia]. (2007). Undang-Undang No 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana. Lembaran Negara RI Tahun 2007, No 66. Sekretariat Negara. Jakarta

RI [Republik Indonesia]. (2007). Undang-Undang No 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang. Lembaran Negara RI Tahun 2007, No 68. Sekretariat Negara. Jakarta

Sadyohutomo, M. (2008). *Manajemen Kota dan Wilayah Realitas dan Tantangan*. Jakarta (ID): Bumi Aksara Pr.

Sitorus, S.R.P. (2004). *Evaluasi Sumberdaya Lahan*. Edisi Ketiga. Bandung (ID): Penerbit Tarsito.

Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta (ID): ANDI Pr.

Umar, I. (2016). *Mitigasi Bencana Banjir pada Kawasan Permukiman Di Kota Padang Provinsi Sumatera Barat (disetasi)*. Bogor (ID): Sekolah Pascasarjana IPB.

- USDA [United State Departemen of Agriculture]. (1971). *Guide for Interpreting Engineering Uses of Soil*. Washington DC: US. Dept. Of Agriculture.
- Yüksek, Ö., Kankal, M., & Uçuncü, O. (2013). Assessment of Big Floods in the Eastern Black Sea Basin of Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(1), 797-814
- Zain, A. (2002). Distribution, Structure and Function of Urban Green Space in Southeast Asian Mega Cities with Special Reference to Jakarta Metropolitan Region [disertasi]. Tokyo: Departemen of Agricultural and Environmental Biology Graduate School of Agricultural and Life Sciences The University of Tokyo

APLIKASI SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DALAM PEMETAAN KERENTANAN KAWASAN TAMAN NASIONAL BUKIT BAKA BUKIT RAYA, PROPINSI KALIMANTAN BARAT

(Application of Geographic Information System in Mapping the Vulnerability Zone of Bukit Baka Bukit Raya National Park, West Kalimantan Province)

Diah Auliyani

Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan DAS
Jl. A. Yani - Pabelan Kartasura PO BOX 295 Surakarta, Jawa Tengah, Indonesia
E-mail: d_auliyani@yahoo.com

Diterima (received): 26 November 2016; Direvisi (revised): 16 Januari 2017; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 31 Maret 2017

ABSTRAK

Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya (TNBBBR) merupakan perwakilan tipe ekosistem hutan hujan tropis pegunungan dan habitat satwa liar baik yang dilindungi maupun yang belum dilindungi. Fisiografi kawasan ini berupa pegunungan patahan yang di dalamnya terdapat salah satu dari *The Seven Summits of Indonesia* yaitu Bukit Raya. Kondisi tersebut menyebabkan kawasan ini berpotensi mengalami degradasi karena erosi maupun aktivitas wisata. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kerentanan kawasan TNBBBR menggunakan Indeks Sensitivitas Lingkungan. Penelitian dilaksanakan di dalam kawasan TNBBBR wilayah Kabupaten Sintang Propinsi Kalimantan Barat. Analisis data dilakukan secara spasial menggunakan metode tumpang susun (*overlay*) dengan pemberian peringkat yang terdiri atas sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Kerentanan kawasan ditentukan berdasarkan analisis daerah bahaya erosi, daerah tangkapan air dan daerah perlindungan satwa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kerentanan kawasan TNBBBR wilayah administrasi Kabupaten Sintang bervariasi dari tingkat yang sangat rendah (22,01%), rendah (67,67%), sedang (10,28%), dan tinggi (0,05%). Meskipun hanya sebagian kecil dari lokasi penelitian yang memiliki tingkat kerentanan tinggi, namun semuanya berada di Resort Rantau Malam yang merupakan pintu masuk untuk pendakian ke puncak Bukit Raya dari Propinsi Kalimantan Barat. Sebagian besar daerah dengan tingkat kerentanan tinggi (81,17 %) telah berada di zona rimba. Peruntukan zonasi tersebut bertujuan untuk membatasi aktivitas yang bisa dilakukan sehingga degradasi lingkungan terutama akibat aktivitas antropogenik dapat dicegah.

Kata Kunci: biofisik, kerentanan, Sintang, taman nasional, zonasi

ABSTRACT

Bukit Baka Bukit Raya National Park (BBBRNP) is a representative of tropical rainforest ecosystem and wildlife habitat either the protected wildlife or those that has not been protected yet. It's physiographic consists of block mountain in which there is Bukit Raya, one of the Seven Summits of Indonesia. These conditions cause this area has potentially degraded due to erosion and tourism activities. This study aimed to map out the vulnerability of BBRNP area using Environmental Sensitivity Index. Research conducted in the BBRNP area located in Sintang District, West Kalimantan Province. The data were analyzed using spatial analysis by overlaying with a ranking that divided into very low, low, medium, high, and very high. Regional vulnerability is determined based on an analysis of erosion-prone areas, catchment areas, and wildlife protection areas. The results of this research show that the vulnerability level of the BBRNP area located in Sintang District vary from very low (22,01 %), low (67,67 %), medium (10,28 %), and high (0,05 %). Although only several research areas that have high level of vulnerability, but all of them are located in Rantau Malam Resort which is the entrance for climbing Bukit Raya summit from West Kalimantan Province. Most of those areas located in Wilderness Zone (81,17%). The zoning allocation aimed to limit the anthropogenic activities so that the environmental degradation can be prevented.

Keywords: biophysical, vulnerability, Sintang, national park, zoning

PENDAHULUAN

Lingkungan, pembangunan dan keberlanjutan merupakan tiga aspek penting yang sedang menjadi pusat perhatian dunia. Meningkatnya permintaan terhadap sumberdaya menuntut perhatian khusus dalam pengelolaan

lingkungan agar tetap berkelanjutan. Tekanan terhadap lingkungan diperparah dengan penambahan jumlah penduduk dan pembangunan. Kawasan lindung dipandang sangat penting dalam konservasi keanekaragaman hayati dan layanan ekosistem

lainnya. Namun demikian, aktivitas antropogenik seringkali menyebabkan kawasan lindung terdegradasi, sehingga kualitas layanan ekosistem yang mampu disediakan juga semakin menurun (Nandy *et al.*, 2015)

Kerentanan lingkungan berhubungan erat dengan resiko terjadinya kerusakan lingkungan seperti ekosistem, proses fisik maupun biologis yang dipengaruhi oleh adanya aktivitas antropogenik (Nandy *et al.*, 2015). Konsep kerentanan dapat diartikan sebagai tekanan, sensitivitas maupun daya adaptif suatu sistem (Nandy *et al.*, 2015). Pengukuran kerentanan lingkungan dapat digunakan dalam evaluasi yang komprehensif terhadap sumberdaya terdampak sebagai akibat dari aktivitas alami maupun intervensi aktivitas manusia (Fan *et al.*, 2009).

Saat ini telah banyak dikembangkan berbagai metode dalam pengukuran kerentanan lingkungan dengan melakukan analisis kuantitatif. Namun demikian, variabel-variabel yang digunakan dalam model tersebut tidak mudah untuk ditentukan maupun diaplikasikan (Li *et al.*, 2006). Indeks Sensitivitas Lingkungan (ISL) merupakan pendekatan sistematis yang dapat digunakan untuk menyusun informasi tingkat kerentanan daerah berdasarkan klasifikasi fisik perairan, sumberdaya biologis, dan penggunaan sumberdaya oleh masyarakat (Adiatma, 2016). Metode ini awalnya digunakan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) pada 1979 untuk mitigasi tumpahan minyak di lepas pantai Amerika Serikat. Pada tahun 1989, NOAA menggunakan data digital dengan sistem informasi geografis untuk memperluas jangkauan pengaplikasian metode ini (Petersen *et al.*, 2002).

Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya (TNBBBR) merupakan salah satu kawasan pelestarian alam di Pulau Kalimantan yang ditunjuk berdasarkan Surat Keputusan Menteri Kehutanan Nomor 281/Kpts-II/1992 pada tanggal 26 Februari 1992. Penunjukan tersebut mempertimbangkan bahwa kawasan TNBBBR merupakan perwakilan tipe ekosistem hutan hujan tropis pegunungan dan sebagai habitat satwa liar baik yang dilindungi maupun yang belum dilindungi. Bagian utara kawasan ini termasuk dalam wilayah administrasi Kabupaten Sintang dan Kabupaten Melawi (Propinsi Kalimantan Barat), sedangkan di bagian selatan, timur dan barat kawasan ini termasuk dalam wilayah administrasi Kabupaten Katingan (Propinsi Kalimantan Tengah).

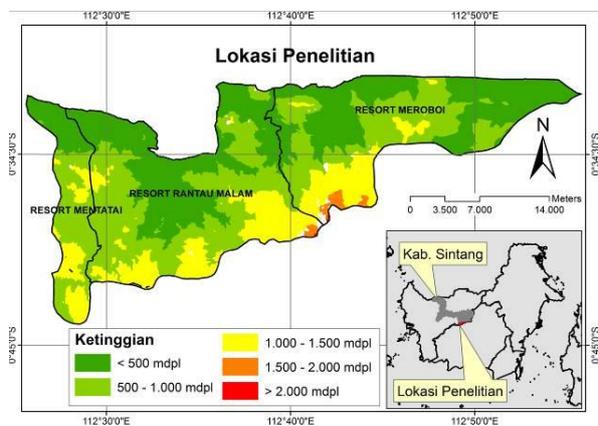
Saat ini, TNBBBR berpeluang besar mengalami degradasi akibat aktivitas antropogenik, termasuk didalamnya adalah kegiatan wisata. Dalam 5 tahun terakhir, jumlah pengunjung TNBBBR mengalami peningkatan. Pada tahun 2010 jumlah pengunjung hanya 23 orang dan meningkat menjadi 370 orang pada tahun 2015 (Balai TNBBBR, 2016). Bukit Raya sebagai bukit tertinggi yang berada di dalam kawasan TNBBBR merupakan salah satu dari

The Seven Summits of Indonesia (Agustin, 2015). Isu tersebut menyebabkan kawasan ini mengalami lonjakan jumlah pengunjung pada tahun 2015 yang hampir semuanya bertujuan untuk pendakian puncak Bukit Raya (Balai TNBBBR, 2016). Dari 370 orang pengunjung selama tahun 2015, 319 orang diantaranya bertujuan untuk melakukan pendakian ke puncak Bukit Raya (Balai TNBBBR, 2016). Aktivitas pengunjung seperti perlakuan terhadap tumbuhan dan satwa liar yang dijumpai serta sampah selama proses pendakian berpotensi merusak ekosistem yang ada. Apabila hal ini terus menerus terjadi tanpa pengelolaan yang tepat maka degradasi lingkungan tidak dapat dihindari dan keberlanjutan kawasan sebagai habitat satwa liar mengalami ancaman serius. Lebih jauh, pemulihan kawasan yang telah terdegradasi akan membutuhkan waktu yang sangat lama, sehingga diupayakan menghindari degradasi dengan pengelolaan yang tepat. Sampai saat ini belum ada data mengenai daerah-daerah dalam kawasan TNBBBR yang mudah mengalami degradasi baik sebagai akibat proses alami maupun campur tangan manusia.

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kerentanan kawasan Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya, Kalimantan Barat menggunakan Indeks Sensitivitas Lingkungan.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya (TNBBBR) terutama yang berlokasi di wilayah administrasi Kabupaten Sintang Provinsi Kalimantan Barat disajikan pada **Gambar 1**. Lokasi penelitian meliputi seluruh wilayah pengelolaan Resort Meroboi, Resort Rantau Malam, dan sebagian Resort Mentatai. Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Maret sampai dengan Juni 2016.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya.

Data yang dikumpulkan meliputi :

1. Peta Tanah Kabupaten Sintang
Peta ini diperoleh dari Bappeda Kabupaten Sintang dengan skala 1 : 500.000.

2. Peta Kemiringan Lereng

Peta ini diperoleh dari hasil interpretasi Citra Aster GDEM Tahun 2004 (USGS, 2016) yang dianalisis secara spasial menggunakan perangkat ArcGIS.

3. Peta Intensitas Hujan

Peta ini diperoleh berdasarkan hasil interpolasi data hujan di beberapa stasiun pengamatan hujan di Provinsi Kalimantan Barat tahun 2015 dengan menggunakan metode *Inverse Distance* dalam perangkat ArcGIS.

4. Peta Topografi

Peta topografi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah peta ketinggian tempat dari permukaan air laut. Peta ini diperoleh dari hasil interpretasi Citra Aster GDEM Tahun 2004 (USGS, 2016) yang dianalisis secara spasial menggunakan perangkat ArcGIS.

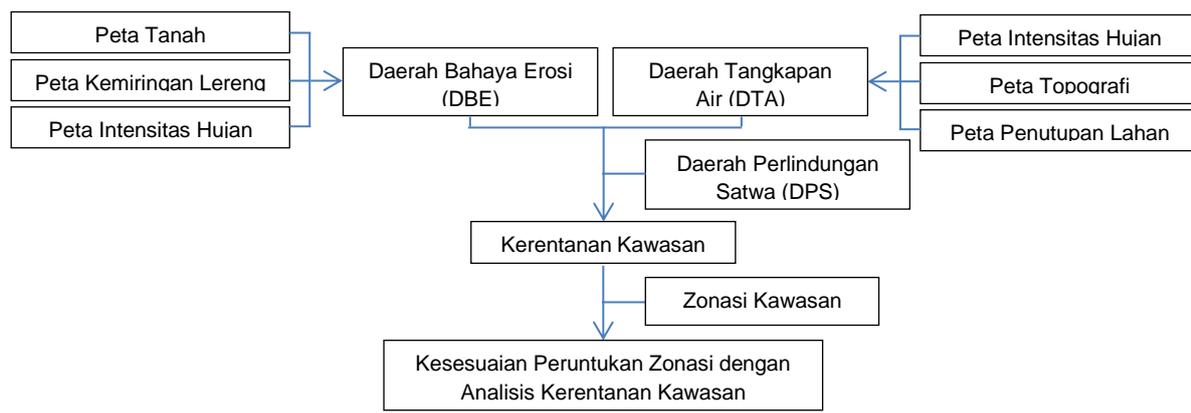
5. Peta Penutupan Lahan Tahun 2015

Peta ini diperoleh dari hasil interpretasi Citra Landsat tahun 2015. Klasifikasi penutupan lahan yang digunakan bersumber dari Baplan dengan skala 1:250.000.

6. Peta Sebaran Satwa liar TNBBBR Tahun 2015

Peta ini merupakan hasil pengolahan data sekunder perjumpaan satwa liar di dalam kawasan TNBBBR Tahun 2015.

Analisis data dilakukan secara spasial menggunakan metode tumpang susun (*overlay*). Pemberian peringkat terdiri dari sangat rendah (1), rendah (2), sedang (3), tinggi (4), dan sangat tinggi (5). Skema *overlay* disajikan dalam **Gambar 2**, sedangkan klasifikasi variabel yang digunakan disajikan dalam **Tabel 1**.



Gambar 2. Skema Tumpang susun Peta.

Tabel 1. Klasifikasi Variabel Kerentanan Kawasan.

Variabel	Klasifikasi	Kategori	Skor	Referensi
Kemiringan Lereng	1) < 8%	Datar	20	(Menteri Pertanian, 1980; Yuniarsih et al., 2014)
	2) 8 – 15%	Landai	40	
	3) 15 – 25%	Agak curam	60	
	4) 25 – 45%	Curam	80	
	5) > 45%	Sangat curam	100	
Kepekaan tanah terhadap erosi	1) Aluvial, glei, planosol, hidromorf, laterik air tanah	Tidak peka	15	(Menteri Pertanian, 1980; Yuniarsih et al., 2014)
	2) Latosol	Agak peka	30	
	3) Brown forest soil, non calcis brown, mediteran	Kurang peka	45	
	4) Andosol, letarit, grumusol, podsol, podsolik	Peka	60	
	5) Regosol, litosol, organosol, renzina	Sangat peka	75	
Intensitas hujan	1) < 13,6 mm/hari	Sangat rendah	10	(Menteri Pertanian, 1980; Yuniarsih et al., 2014)
	2) 13,6 – 20,7 mm/hari	Rendah	20	
	3) 20,7 – 27,7 mm/hari	Sedang	30	
	4) 27,7 – 34,8 mm/hari	Tinggi	40	
	5) > 34,8 mm/hari	Sangat tinggi	50	
Ketinggian dari permukaan air laut	1) < 500 mdpl	Sangat rendah	20	(RI, 1990; Yuniarsih et al., 2014)
	2) 500 – 1.000 mdpl	Rendah	40	
	3) 1.000 – 1.500 mdpl	Sedang	60	
	4) 1.500 – 2.000 mdpl	Tinggi	80	
	5) > 2.000 mdpl	Sangat tinggi	100	
Tipe tutupan lahan	1) Lahan terbuka	Sangat rendah	0	(Yuniarsih et al., 2014)
	2) Perkebunan campur	Rendah	5	
	3) Semak belukar	Sedang	10	
	4) Hutan lahan kering sekunder	Tinggi	15	
	5) Hutan lahan kering primer	Sangat tinggi	20	
Daerah perlindungan satwa	1) Radius 1000 meter	Sangat tinggi	100	(Adiatma, 2016)
	2) Radius 2000 meter	Tinggi	80	
	3) Radius 3000 meter	Sedang	60	
	4) Radius 4000 meter	Rendah	40	
	5) Radius > 4000 meter	Sangat Rendah	20	

Daerah Bahaya Erosi (DBE)

Daerah bahaya erosi (DBE) merupakan daerah yang berpotensi untuk terjadi erosi. Variabel yang digunakan adalah kemiringan lereng, kepekaan tanah terhadap erosi, dan intensitas curah hujan tahunan. Suatu kawasan akan berpotensi tinggi untuk terjadi erosi apabila memiliki kemiringan lereng lebih dari 45%, dan kemiringan lereng lebih dari 15%, berada pada tanah peka erosi, serta intensitas curah hujan tahunan lebih dari 27,7 mm/hari (Indra *et al.*, 2006).

Daerah Tangkapan Air (DTA)

Daerah tangkapan air (DTA) merupakan daerah yang memiliki kemampuan untuk meresapkan air hujan dan merupakan tempat pengisian air bumi (akifer) yang berguna sebagai pasokan sumber air. Variabel yang digunakan adalah kondisi tutupan lahan, ketinggian tempat dari permukaan laut (topografi) dan intensitas curah hujan tahunan. Kondisi suatu kawasan berpotensi tinggi sebagai daerah tangkapan air bila kawasan tersebut merupakan kawasan berhutan, terletak pada ketinggian tempat di atas 1.000 m dpl dan memiliki intensitas hujan tinggi (lebih dari 27,7 mm/hari) (Indra *et al.*, 2006).

Daerah Perlindungan Satwa (DPS)

Daerah perlindungan satwa (DPS) merupakan daerah yang merupakan habitat spesies satwa liar tertentu baik yang asli, khas, endemik, langka maupun yang terancam punah. Daerah ini dianalisis berdasarkan sebaran dominan spesies satwa liar penting yang biasanya dipengaruhi oleh kondisi tutupan lahan dan ketinggian tempat dari permukaan laut. Kondisi suatu kawasan berpotensi tinggi sebagai daerah perlindungan satwa liar bila kawasan tersebut merupakan daerah sebaran dominan satu atau lebih spesies satwa liar penting yang ada di dalam kawasan konservasi. Satwa liar penting yang ada di lokasi penelitian adalah Owa-owa atau Kelempiau (*Hylobates* sp.) dan Enggang (*Bucerotidae*) (Abduh *et al.*, 2016).

Daerah perlindungan satwa (DPS) dalam penelitian ini diolah dari data sekunder mengenai perjumpaan satwa liar selama tahun 2010 sampai dengan 2015 di lokasi penelitian (Abduh *et al.*, 2016). Data tersebut meliputi jenis satwa liar yang dijumpai serta lokasi (koordinat) perjumpaannya. Setiap satwa liar memiliki daerah jelajah yang berbeda-beda, sehingga peta DPS dibuat dengan teknik *buffering* untuk melindungi ekosistem yang menjadi habitat satwa liar penting tersebut. Nilai skor berbanding terbalik dengan lokasi sebaran satwa liar (Adiatma, 2016). Nilai skor menurun setiap kenaikan radius 1000 meter dari lokasi persebaran satwa liar penting. Daerah dengan radius sampai dengan 1000 meter dari

lokasi persebaran satwa liar penting memiliki skor maksimal.

Analisis Kerentanan Kawasan

Analisis kerentanan kawasan dapat digunakan untuk melihat lokasi-lokasi yang rentan mengalami kerusakan apabila terjadi gangguan (Indra *et al.*, 2006) dan/atau memiliki nilai penting sebagai penyangga kehidupan dan habitat spesies asli, khas, endemik, langka, dan terancam punah (Yuniarsih *et al.*, 2014). Dalam penelitian ini, kerentanan kawasan diperoleh dengan menggunakan Indeks Sensitivitas Lingkungan (ISL). Nilai ISL diperoleh dari penjumlahan total dari skor setiap kriteria penyusunnya (Petersen *et al.*, 2002) disajikan pada **Persamaan 1**.

$$ISL = f (DBE, DTA, DPS) \dots \dots \dots (1)$$

Skor total kemudian dikategorikan dalam 5 tingkat kerentanan kawasan, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Hasil analisis data kemudian direpresentasikan dalam wujud peta digital menggunakan Sistem Informasi Geografis.

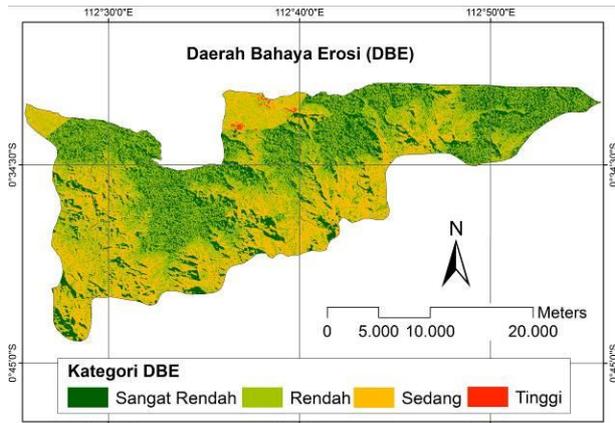
Perbandingan Kerentanan Kawasan dengan Zonasi TNBBBR

Zonasi kawasan TNBBBR telah ditetapkan melalui Surat Keputusan Direktur Jenderal PHKA Nomor SK.23/IV-SET/2013 tanggal 19 Januari 2013 tentang penetapan zonasi TNBBBR. Pembagian zonasi di lokasi penelitian berdasarkan keputusan tersebut terdiri atas zona inti, zona rimba dan zona pemanfaatan. Kawasan yang memiliki tingkat kerentanan yang tinggi dan sangat tinggi sebaiknya diperuntukkan sebagai zona inti maupun zona rimba (Indra *et al.*, 2006). Peruntukan ini bertujuan untuk membatasi aktivitas manusia di lokasi tersebut (Hull *et al.*, 2011). Untuk mengetahui kesesuaian kerentanan kawasan dengan peruntukan zonasinya, maka dilakukan *overlay* antara peta kerentanan kawasan dengan peta zonasi kawasan.

HASIL PEMBAHASAN

Daerah Bahaya Erosi (DBE)

Berdasarkan tumpang susun peta kemiringan lereng, peta tanah dan peta intensitas curah hujan tahunan, memperlihatkan bahwa DBE di lokasi penelitian berada dalam kategori sangat rendah (26,99 %), rendah (46,85 %), sedang (26,00 %), hingga tinggi (0,16 %) seperti yang disajikan pada **Gambar 3**. Analisis DBE menunjukkan bahwa hanya 0,16 % dari lokasi penelitian yang beresiko tinggi terjadinya erosi, terutama hilangnya solum tanah akibat kemiringan lereng.



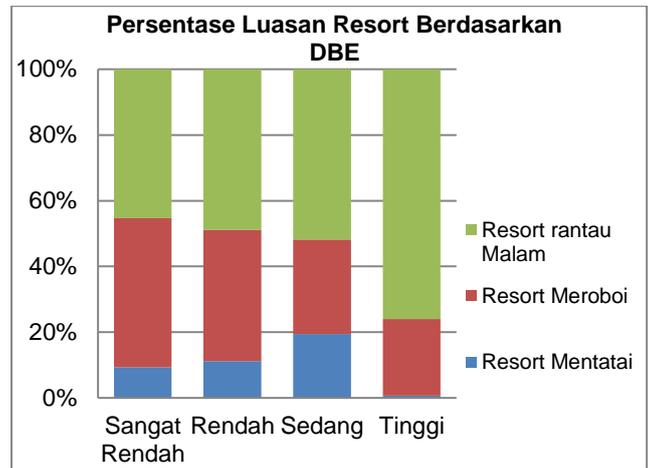
Gambar 3. Daerah Bahaya Erosi di Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya, Kabupaten Sintang.

Faktor kemiringan lereng merupakan faktor pendukung terjadinya erosi. Semakin besar kemiringan lerengnya maka semakin tinggi pula potensi erosi di daerah tersebut. Kelas lereng di lokasi penelitian bervariasi mulai dari datar (29,11 %), landai (26,55 %), agak curam (20,90 %), curam (15,68 %), dan sangat curam (7,77 %). Dari hasil analisis DBE, diketahui bahwa seluruh daerah yang berpotensi tinggi terjadi erosi memiliki kelas lereng yang curam dan sangat curam.

Berdasarkan Peta Tanah Propinsi Kalimantan Barat skala 1:500.000, jenis tanah di kawasan TNBBBR yang berada dalam wilayah administrasi Kabupaten Sintang didominasi oleh latosol (95%) yang agak peka terhadap erosi dan podsolik (5%) yang peka terhadap erosi. Hasil analisis DBE menunjukkan bahwa semua daerah yang berpotensi tinggi terjadi erosi di lokasi penelitian berada pada tanah podsolik yang peka terhadap erosi.

Kecilnya persentase daerah berpotensi tinggi terjadi erosi di lokasi penelitian (0,16 %) dipengaruhi oleh intensitas curah hujan di TNBBBR yang termasuk dalam klasifikasi rendah (13,6 – 20,7 mm/hari). Curah hujan juga merupakan faktor penyebab terjadinya erosi. Pada dasarnya, intensitas curah hujan akan mempengaruhi energi kinetik dan erosivitas hujan. Semakin tinggi erosivitas hujan di suatu daerah maka semakin besar pula potensi erosi yang berpeluang terjadi di daerah tersebut. Dengan demikian, semakin kecil intensitas curah hujannya, maka potensi erosi yang terjadi juga akan semakin kecil.

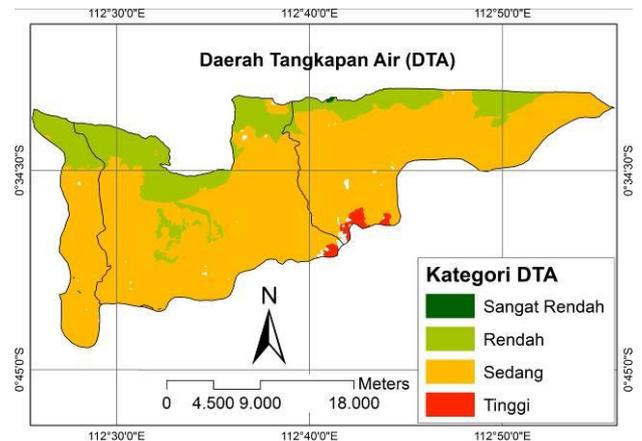
Daerah bahaya erosi tidak tersebar merata di setiap wilayah pengelolaan Resort di lokasi penelitian. Sebagian besar daerah yang berpotensi tinggi terjadi erosi berada di Resort Rantau Malam (75,96 %), sisanya berada di Resort Meroboi (23,38 %), dan hanya sebagian kecil saja yang berada di Resort Mentatai (0,66 %). Sebaran DBE di setiap wilayah pengelolaan Resort dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Sebaran DBE di Setiap Wilayah Pengelolaan Resort di Lokasi Penelitian.

Daerah Tangkapan Air

Hasil tumpang-susun peta penutupan lahan, intensitas curah hujan, dan ketinggian tempat dari permukaan laut, diketahui bahwa lokasi penelitian memiliki potensi sebagai daerah tangkapan air (DTA). DTA di lokasi penelitian berada dalam kategori sangat rendah (1,09 %), rendah (79,65 %), sedang (18,32 %), hingga tinggi (0,94 %). Sebaran potensi DTA di lokasi penelitian disajikan dalam **Gambar 5**.



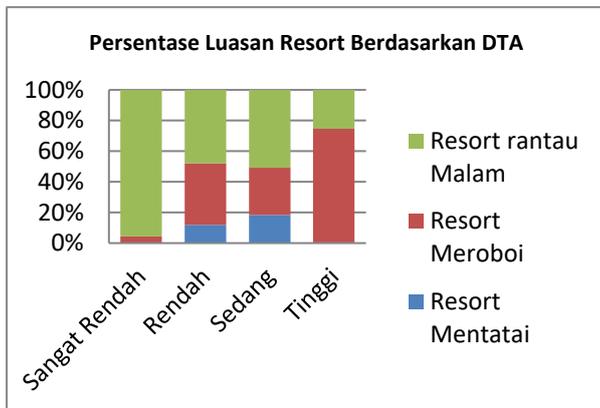
Gambar 5. Daerah Tangkapan Air di Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya, Kabupaten Sintang.

Lokasi penelitian di kawasan Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya merupakan daerah dataran hingga perbukitan dengan ketinggian mulai 148 m dpl hingga 2092 m dpl. Berdasarkan klasifikasi Schmith dan Fergusson, kawasan TNBBBR memiliki tipe iklim A dengan temperatur rata-rata 19,5 - 34,3°C, serta kelembaban udara relatif rata-rata 86 % (Abduh *et al.*, 2016). Berdasarkan hasil interpolasi data curah hujan di beberapa stasiun hujan Provinsi Kalimantan Barat, intensitas curah hujan di lokasi penelitian berkisar antara 17,99 - 18,48 mm/hari dan termasuk dalam kategori rendah.

Kawasan TNBBBR terletak sangat dekat dengan ekuator sehingga sangat dipengaruhi oleh iklim musiman yang tercermin pada

keanekaragaman floranya. Pohon-pohon di dalam kawasan cenderung berbunga pada awal musim hujan dan buahnya mengalami kematangan pada akhir musim tersebut. Sekitar 98,62% dari lokasi penelitian di Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya merupakan daerah berhutan, terdiri dari hutan lahan kering primer (74,64%) dan hutan lahan kering sekunder (23,98%). Sisanya merupakan daerah perkebunan campur dan semak belukar.

Lokasi penelitian merupakan bagian dari Daerah Aliran Sungai (DAS) Kapuas. TNBBBR juga berperan sebagai daerah tangkapan air bagi dua sungai besar, yaitu Sungai Melawi di Propinsi Kalimantan Barat dan Sungai Katingan di Propinsi Kalimantan Tengah (Abduh *et al.*, 2016). Sebaran potensi DTA di setiap wilayah pengelolaan Resort dapat dilihat pada **Gambar 6**. Sebagian besar daerah yang berpotensi tinggi sebagai DTA berada di Resort Meroboi (74,13 %), sisanya berada di Resort Rantau Malam (25,39 %) dan hanya sebagian kecil saja yang berada di Resort Mentatai (0,48 %).



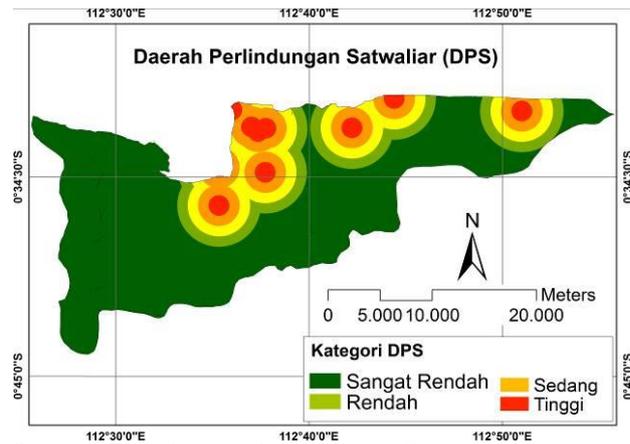
Gambar 6. Sebaran DTA di Setiap Wilayah Pengelolaan Resort di Lokasi Penelitian.

Daerah Perlindungan Satwa

Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya terletak di rangkaian pegunungan Schwaner yang secara geografis hampir tepat berada di tengah Pulau Kalimantan, yaitu di perbatasan antara Propinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Barat. Kawasan ini merupakan habitat dari beberapa jenis satwa liar endemik Pulau Kalimantan. Satwa liar penting yang ada di lokasi penelitian adalah Owa-owa atau Kelempiau (*Hylobates* sp.) dan Enggang (*Bucerotidae*) (Abduh *et al.*, 2016). Berdasarkan data sebaran satwa liar yang ada, dapat diketahui lokasi perlindungan satwa liar penting di lokasi penelitian seperti disajikan pada **Gambar 7**.

Owa-owa atau Kelempiau (*Hylobates* sp.) adalah salah satu jenis primata yang dilindungi berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 1999 tentang Pengawetan Jenis Tumbuhan dan Satwa. Dalam peraturan tersebut dikatakan bahwa semua

spesies dari famili *Hylobatidae* merupakan satwa liar yang dilindungi.



Gambar 7. Daerah Perlindungan Satwa Liar penting di Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya Kabupaten Sintang.

Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya juga kaya jenis-jenis burung dan merupakan habitat penting bagi beranekaragam burung yang dilindungi di Kalimantan. Sebagian besar jenis burung yang terdapat di kawasan TNBBBR tersebar luas di seluruh kawasan terutama pada ketinggian 100 - 1.500 m dpl, sedangkan di ketinggian lebih dari 1.500 m dpl hanya pada jenis-jenis tertentu saja. Di kawasan ini dijumpai enam jenis Enggang/Rangkong dari tujuh jenis enggang yang dilindungi di Kalimantan (Abduh *et al.*, 2016). Keenam jenis enggang dimaksud adalah Enggang Klihingan (*Anorrhinus galeritus*), Julang Jambul-hitam (*Aceros corrugates*), Julang Emas (*Aceros undulatus*), Kangkareng Hitam (*Anthracoceros malayanus*), Rangkong Badak (*Buceros rhinoceros*), dan Rangkong Gading (*Rhinoplax vigil*). Kelima jenis enggang tersebut tergolong Appendix II, sedangkan jenis terakhir (Rangkong Gading) termasuk dalam appendix I CITES. Rangkong hanya dapat bersarang dan berkembangbiak pada pohon-pohon besar dan tinggi. Kehadiran rangkong merupakan indikator bagi keutuhan habitat kawasan TNBBBR.

Tingkat Kerentanan Kawasan

Hasil *overlay* antara peta daerah bahaya erosi, daerah tangkapan air, dan daerah perlindungan satwa memperlihatkan bahwa kerentanan kawasan di lokasi penelitian bervariasi mulai dari tingkat yang sangat rendah (22,01 %), rendah (67,67 %), sedang (10,28 %), dan tinggi (0,05 %). Sebaran kerentanan kawasan di lokasi penelitian disajikan pada **Gambar 8**.

Berdasarkan **Gambar 8**, diketahui bahwa tingkat kerentanan kawasan tidak tersebar merata di setiap wilayah pengelolaan Resort di lokasi penelitian. Sebaran tingkat kerentanan kawasan di setiap wilayah pengelolaan Resort dapat dilihat pada **Gambar 9**. Meskipun persentase luas daerah yang memiliki kerentanan tinggi hanya 0,05 % atau sekitar 30,22 ha, namun semuanya

berada di Resort Rantau Malam yang merupakan satu-satunya pintu masuk jalur pendakian ke puncak Bukit Raya (salah satu dari *The seven summits of Indonesia*) dari Provinsi Kalimantan Barat.

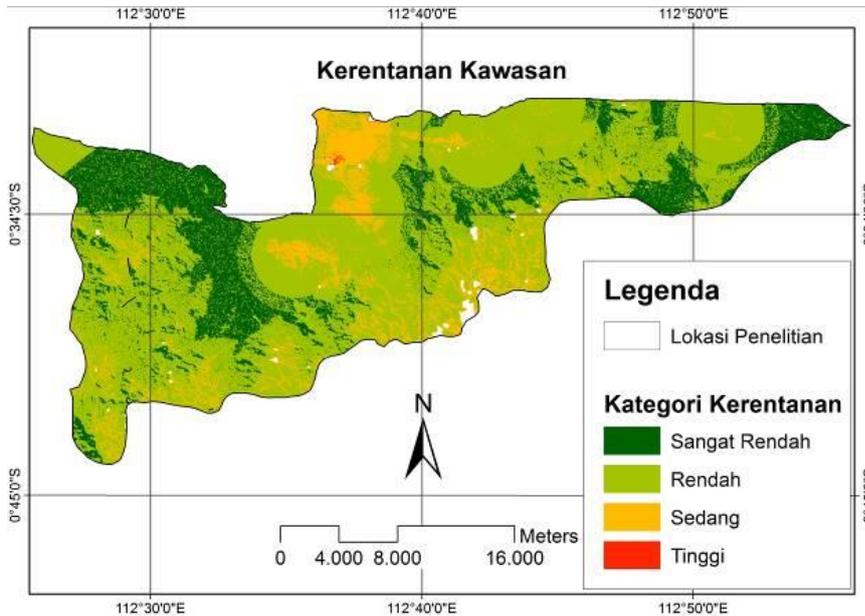
Penelitian senada di Taman Nasional Alas Purwo (TNAP) menyebutkan bahwa tingkat kerentanan kawasan yang tinggi tersebar hampir merata di seluruh kawasan (Paramita, 2002). Hal tersebut berbeda dengan hasil dalam penelitian ini. Topografi kawasan yang lebih didominasi dengan kemiringan lereng yang curam, menyebabkan satwa liar tidak tersebar merata di seluruh kawasan. Persebaran satwa liar yang hanya terpusat di lokasi-lokasi tertentu, menyebabkan nilai indeksnya semakin kecil, sehingga akan mempengaruhi nilai sensitivitas lingkungannya.

Daerah dengan tingkat kerentanan tinggi merupakan perpaduan antara daerah perlindungan satwa liar, daerah tangkapan air, dan daerah bahaya erosi. Berdasarkan kajian tersebut di atas, maka daerah-daerah dengan

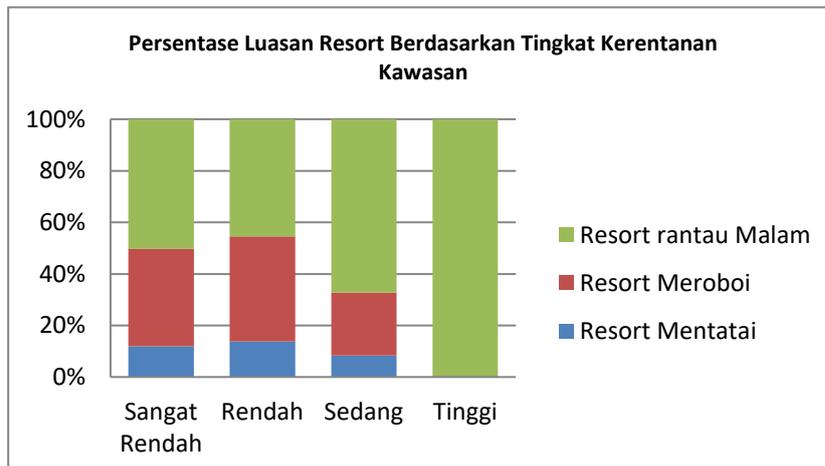
tingkat kerentanan kawasan tinggi sebaiknya diprioritaskan sebagai zona inti maupun zona rimba, mengingat daerah tersebut merupakan daerah bahaya erosi, daerah tangkapan air dan daerah perlindungan satwa.

Perbandingan Kerentanan Kawasan dengan Zonasi TNBBBR

Seperti halnya kawasan konservasi, pengelolaan TNBBBR juga berdasarkan sistem zonasi. Zonasi kawasan ini telah ditetapkan melalui Surat Keputusan Direktur Jenderal PHKA Nomor SK.23/IV-SET/2013 tanggal 19 Januari 2013 tentang penetapan zonasi TNBBBR, terdiri atas zona inti (123.229,86 ha), zona rimba (74.487,15 ha), zona pemanfaatan (27.544,55 ha), zona tradisional (11.052,27 ha) dan zona religi (10,22 ha). Pembagian zonasi di lokasi penelitian berdasarkan berdasarkan keputusan tersebut terdiri atas zona inti, zona rimba, dan zona pemanfaatan.



Gambar 8. Peta Tingkat Kerentanan Kawasan.



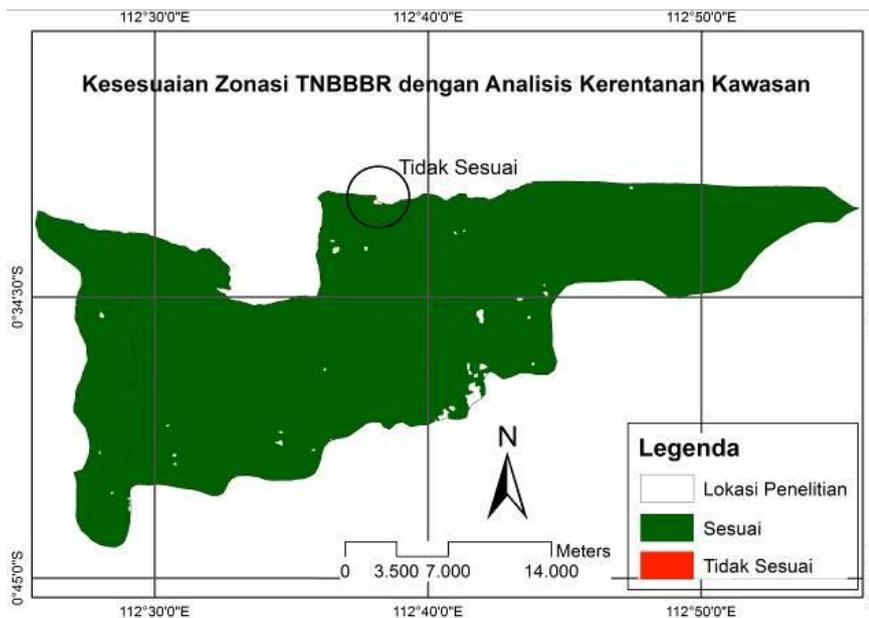
Gambar 9. Sebaran Tingkat Kerentanan Kawasan di Setiap Wilayah Pengelolaan Resort di Lokasi Penelitian.

Hasil analisis kerentanan kawasan menunjukkan bahwa terdapat 4 tingkat kerentanan di lokasi penelitian, yaitu sangat rendah (22,01%), rendah (67,67%), sedang (10,28%), dan tinggi (0,05 %). Daerah dengan tingkat kerentanan tinggi sebaiknya diperuntukkan sebagai zona inti ataupun zona rimba (Indra *et al.*, 2006). Hasil *overlay* antara peta kerentanan kawasan dan zonasi TNBBBR disajikan dalam **Gambar 10**.

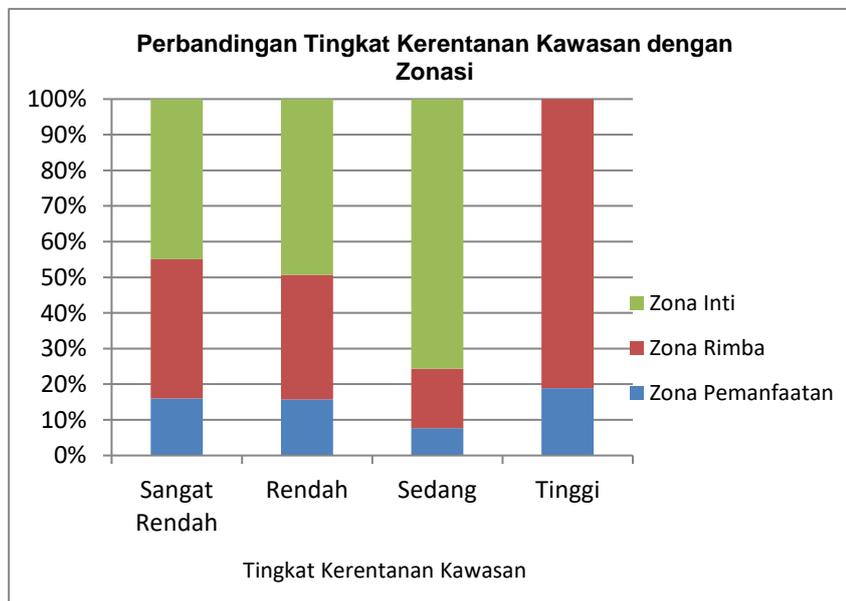
Hasil *overlay* antara peta kerentanan kawasan dan zonasi TNBBBR menunjukkan bahwa sebagian besar kawasan dengan tingkat kerentanan yang tinggi telah berada di zona rimba disajikan pada **Gambar 11**. Seluruh daerah dengan tingkat kerentanan yang tinggi berada di Resort Rantau Malam. Di sisi lain, Resort Rantau Malam merupakan gerbang masuk bagi para

pengunjung untuk melakukan pendakian ke puncak Bukit Raya dari Propinsi Kalimantan Barat. Alokasi zonasi tersebut bertujuan untuk membatasi aktivitas yang bisa dilakukan sehingga degradasi lingkungan terutama akibat aktivitas antropogenik dapat dicegah.

Sebagian besar kawasan dengan tingkat kerentanan tinggi telah berada pada zona rimba (81,17%) disajikan pada **Gambar 11**. Namun demikian, masih ada kawasan dengan tingkat kerentanan tinggi di lokasi penelitian yang berada pada zona pemanfaatan (18,83%). Peruntukan zonasi tersebut sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 1998 Tentang Kawasan Suaka Alam dan Kawasan Pelestarian Alam. Peruntukan zonasi berdasarkan kerentanan kawasan disajikan dalam **Tabel 2**.



Gambar 10. Kesesuaian Zonasi TNBBBR dengan Hasil Analisis Kerentanan Kawasan.



Gambar 11. Persentase Kesesuaian Antara Tingkat Kerentanan Kawasan dengan Zonasi TNBBBR di Lokasi Penelitian.

Tabel 2. Peruntukan Zonasi Berdasarkan Kerentanan Kawasan.

Tingkat Kerentanan	Peruntukan zonasi	
	PP No 68 Tahun 1998	(MacKinnon & Kathy, 1986)
Sangat Rendah	Zona pemanfaatan	Zona pemanfaatan intensif
Rendah	Zona pemanfaatan	Zona pemanfaatan intensif
Sedang	Zona pemanfaatan	Zona pemanfaatan semi intensif
Tinggi	Zona rimba	Zona pengelolaan satwa
Sangat Tinggi	Zona inti	Zona alam Zona suaka

Penetapan zonasi merupakan bagian dari perencanaan pengelolaan keanekaragaman hayati yang ada di suatu kawasan konservasi (Hull *et al.*, 2011) yang disusun berdasarkan karakteristik wilayahnya (Geneletti *et al.*, 2010), dengan tujuan utama untuk mengurangi tekanan masyarakat sekitar terhadap kelestarian keanekaragaman hayati (Hull *et al.*, 2011). Keberadaan zonasi taman nasional berakibat pada akses, terutama masyarakat sekitar, berupa pembatasan, larangan atau kegiatan yang hanya diperbolehkan jika telah memperoleh izin (Mahmud, *et al.*, 2015). Dalam dokumen penetapan zonasi TNBBBR (Surat Keputusan Direktur Jenderal PHKA Nomor SK.23/IV-SET/2013), tercantum kegiatan yang diperbolehkan untuk dilakukan di setiap zona. Di zona rimba diperbolehkan untuk mengambil buah-buahan, tanaman hias untuk budidaya, penelitian intensif maupun terbatas, pendidikan lingkungan, pendakian dan *jungle tracking*, arung jeram, pengamatan satwa, wisata pendidikan, dan pemanfaatan air dengan pipanisasi. Hampir sama dengan zona rimba, namun kegiatan yang bisa dilakukan di zona pemanfaatan TNBBBR lebih banyak, seperti pengambilan bambu secara terbatas, pengambilan rotan dan bahan kerajinan non kayu lainnya, madu, tanaman obat, damar, getah, serta kegiatan berkemah. Memperhatikan hal tersebut di atas, peruntukan zonasi TNBBBR di Kabupaten Sintang masih relevan dengan hasil analisis kerentanan kawasan yang dilakukan pada penelitian ini.

KESIMPULAN

Tingkat kerentanan kawasan Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya wilayah administrasi Kabupaten Sintang Propinsi Kalimantan Barat bervariasi dari tingkat yang sangat rendah (22,01%), rendah (67,67%), sedang (10,28%), dan tinggi (0,05%). Sebagian besar daerah dengan tingkat kerentanan tinggi (81,17%) telah berada di zona rimba, sedangkan sisanya (18,83%) masih berada di zona pemanfaatan. Peruntukan daerah dengan tingkat

kerentanan tinggi sebagai zona rimba bertujuan untuk membatasi aktivitas yang bisa dilakukan sehingga degradasi lingkungan terutama akibat aktivitas antropogenik dapat dicegah. Surat Keputusan Direktur Jenderal PHKA Nomor SK.23/IV-SET/2013 tanggal 19 Januari 2013 tentang penetapan zonasi TNBBBR, masih relevan dengan hasil analisis kerentanan kawasan yang dilakukan dalam penelitian ini.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya atas bantuan data dan informasi yang diperlukan dalam penelitian ini, serta semua pihak yang telah membantu dalam penulisan karya tulis ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, M., Harikurniawan, A. S., Panggabean, I. B., & Auliyani, D. (2016). *Database Spesies Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya*. Sintang: Balai Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya.
- Adiatma, D. (2016). *Pemetaan Sensitivitas Lingkungan Taman Nasional Gunung Ciremai*. Institut Pertanian Bogor. Retrieved from <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/80317> [4 Oktober 2016]
- Agustin, H. (2015). *The Seven Summits Of Indonesia, Tujuh Puncak Tertinggi di Tujuh Pulau/Kepulauan Besar di Indonesia*. Jakarta: Andi Publisher.
- Balai TNBBBR. (2016). *Statistik Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya Tahun 2015*. Sintang.
- Fan, Z., Liu, M., Shen, W., & Lin, L. (2009). GIS-based assessment on eco-vulnerability of Jiangxi Province. *Proceedings - 2009 International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, ESIAT 2009*, 3, 426–431. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/ESIAT.2009.321> [4 Januari 2017]
- Geneletti, D., Salinas, E., Marchi, A., & Orsi, F. (2010). Designing and Comparing Zoning Scenarios for the Viñales National Park, Cuba. *Lujan*, 2(2), 164–185. Retrieved from <http://www.gesig-proeg.com.ar> [4 Januari 2017]
- Hull, V., Xu, W., Liu, W., Zhou, S., Viña, A., Zhang, J., ... Liu, J. (2011). Evaluating the efficacy of zoning designations for protected area management. *Biological Conservation*, 144(12), 3028–3037. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.09.007> [4 Januari 2017]
- Indra, S., Prasetyo, L. B., & Soekmadi, R. (2006). Penyusunan Zonasi Taman Nasional Manupeu Tanadaru, Sumba Berdasarkan Kerentanan Kawasan Dan Aktivitas Masyarakat. *Media Konservasi*, XI(1), 1–16. Retrieved from <http://journal.ipb.ac.id/index.php/konservasi/article/view/2215/1239> [4 Oktober 2016]
- Li, A., Wang, A., Liang, S., & Zhou, W. (2006). Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS - A case study in the upper reaches of Minjiang River, China. *Ecological Modelling*, 192(1–2), 175–187. Retrieved from

- <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.07.005> [4 Januari 2017]
- MacKinnon, J., & Kathy. (1986). Pengelolaan Kawasan yang Dilindungi di Daerah Tropika. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Mahmud, A., Satria, A., & Kinseng, R. A. (2015). Zonasi Konservasi untuk Siapa? Pengaturan Perairan Laut Taman Nasional Bali Barat. *Jurnal Ilmu Sosial Dan Ilmu Politik*, 18(3), 237–251. Retrieved from <http://jurnalsospol.fisipol.ugm.ac.id/index.php/jsp/article/view/336> [4 Januari 2017]
- Menteri Pertanian (1980). Keputusan Menteri Pertanian No. 837/Kpts/Um/11/ 1980 tentang Kriteria dan Tata Cara Penetapan Hutan Lindung. Jakarta: Sekretariat Jenderal.
- Nandy, S., Singh, C., Das, K. K., Kingma, N. C., & Kushwaha, S. P. S. (2015). Environmental vulnerability assessment of eco-development zone of Great Himalayan National Park, Himachal Pradesh, India. *Ecological Indicators*, 57, 182–195. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.04.024> [29 Desember 2016]
- Paramita, A. (2002). *Aplikasi Sistem Informasi Geografis Dalam Penentuan Sensitivitas Kawasan di Taman Nasional Alas Purwo*. Fakultas Kehutanan, IPB.
- Petersen, J., Michel, J., Zengel, S., White, M., Lord, C., & Plank, C. (2002). Environmental Sensitivity Index Version 3.0. Washington (US): National Oceanic and Atmospheric Administration.
- RI (Republik Indonesia). (1990). Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 1990 Tentang Pengelolaan Kawasan Lindung. Jakarta: Sekretariat Negara.
- USGS. (2016). Geological Survey. Retrieved from <http://earthexplorer.usgs.gov> [1 November 2016]
- Yuniarsih, A., Marsono, D., Pudyatmoko, S., & Sadono, R. (2014). Zonasi taman nasional gunung ciremai berdasarkan sensitivitas kawasan dan aktivitas masyarakat. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 11(3), 239–259. Retrieved from [http://download.portalgaruda.org/article.php?article=434694&val=6161&title=ZONASI TAMAN NASIONAL GUNUNG CIREMAI BERDASARKAN SENSITIVITAS KAWASAN DAN AKTIVITAS MASYARAKAT](http://download.portalgaruda.org/article.php?article=434694&val=6161&title=ZONASI%20TAMAN%20NASIONAL%20GUNUNG%20CIREMAI%20BERDASARKAN%20SENSITIVITAS%20KAWASAN%20DAN%20AKTIVITAS%20MASYARAKAT) [4 Oktober 2016].

UCAPAN TERIMA KASIH

Redaksi menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada para Mitra Bebestari dan Dewan Editor yang telah berkenan memberikan review atas paper yang diterbitkan dalam Majalah Ilmiah GLOBE Volume 19 No. 1, April 2017, sebagai berikut:

No	Judul Paper	Mitra Bebestari/ Dewan Editor
1.	Karakterisasi Respon Spektral Spesies Lamun <i>Enhalus acorooides</i> dan <i>Cymodocea rotundata</i> di Pulau Karimunjawa	Dr. Jonson L. Gaol Dr. M. Buce Saleh
2.	Efektivitas Transformasi Indeks Vegetasi Penekan Pengaruh Atmosfer Berbasis Citra Spot-6 untuk Estimasi Produksi Tanaman Kelapa Sawit (<i>Elaeis guineensis Jacq</i>) di Sebagian Kabupaten Indragiri Hulu, Riau	Dr. Projo Danoedoro
3.	Akurasi Luas Areal Kebakaran dari Data Landsat-8 OLI di Wilayah Kalimantan	Dr. M. Buce Saleh Dr. Sri Hartini, M.GIS.
4.	Pemantauan Sebaran Abu Vulkanik Menggunakan Penginderaan Jauh Satelit Himawari-8 dan Aura/Omi (<i>Ozone Mapping Instrument</i>)	Dr. M. Buce Saleh Dr. Sri Hartini, M.GIS.
5.	Model Kekritisian Indeks Lingkungan dengan Algoritma <i>Urban Heat Island</i> di Kota Semarang	Prof. Dr. Junun Sartohadi, M.Sc Prof. Dr. Dewayany
6.	The Effectiveness of Spatial Data Sharing in Indonesia-Sdi: Case Study in Ministry of Environment and Forestry and Provincial Government of West Java	Prof. Dr. Dewayany Prof. Fahmi Amhar
7.	Identifikasi Perubahan Kerapatan Vegetasi Kota Manado Tahun 2001 sampai 2015	Dr. Projo Danoedoro Dr. M. Buce Saleh
8.	Integrasi Data Inderaja dan Data Geologi untuk Mendukung Eksplorasi Tambang Emas	Dr. M. Buce Saleh Dr. Sri Hartini, M.GIS
9.	Prioritas Pengembangan Kawasan Permukiman pada Wilayah Rawan Banjir di Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat	Dr. rer. nat. Djati Mardiatno Ir. Irmadi Nahib, M.Si.
10.	Aplikasi Sistem Informasi Geografis dalam Pemetaan Kerentanan Kawasan Taman Nasional Bukit Baka Bukit Raya, Propinsi Kalimantan Barat	Dr. M. Buce Saleh Ir. Irmadi Nahib, M.Si.

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

