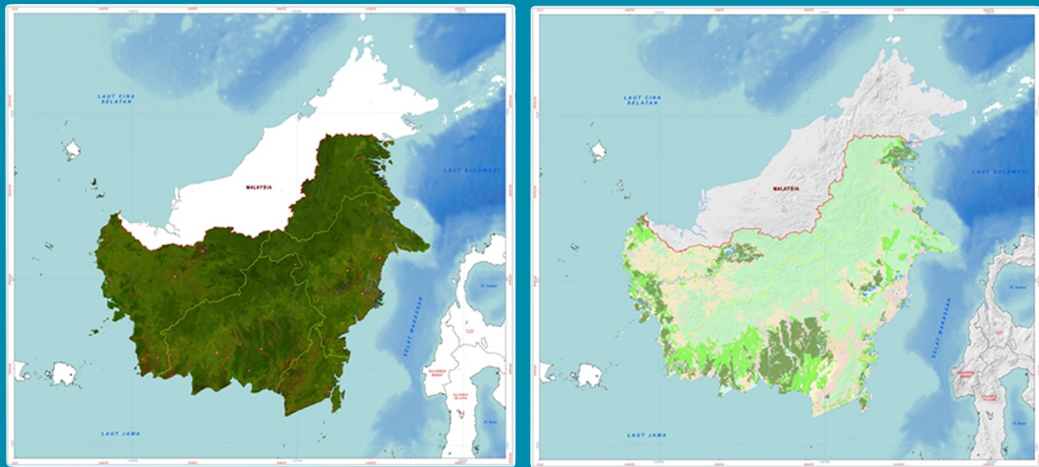


P-ISSN. 1411-0512
E-ISSN. 2502-2172



Nomor Akreditasi : 739/AU/P2MI-LIPI/04/2016

Majalah Ilmiah Globe Vol. 18 No. 1 Hal. 001-052 April 2016



Citra Landsat 8 OLI Pulau Kalimantan dan Hasil Klasifikasi penutup/penggunaan lahan Pulau Kalimantan dengan metode OBIA

M. I. GLOBE | Vol. 18 | No. 1 | Hal. 001 - 052 | Cibinong, April 2016 | P-ISSN. 1411-0512/E-ISSN. 2502-2172



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

Diterbitkan Oleh :
Badan Informasi Geospasial (BIG)
Sekretariat Redaksi Majalah Ilmiah GLOBë, Gedung F. Lt. 2
Jl. Jakarta-Bogor KM 46 Cibinong 16911, Indonesia
Telp/Fax: +62-21- 87906041
Website: jurnal.big.go.id
E-mail: majalah.globe@big.go.id

SUSUNAN DEWAN REDAKSI

Dewan Editor (*Editorial Board*)

Nama:

Prof. Dr. Dewayany
Dr. Gatot H. Pramono
Dr. Sri Hartini, M.GIS.
Ir. Irmadi Nahib, M.Si.

Kepakaran:

Sistem Informasi Spasial Tematik
Sistem Informasi Spasial Kelautan
Aplikasi Penginderaan Jauh
Sistem Informasi Geospasial

Kedudukan

Ketua
Anggota
Anggota
Anggota

Instansi:

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

Mitra Bestari (*Peer Reviewer*)

Nama:

Dr. Projo Danoedoro
Prof. Dr. Junun Sartohadi, M.Sc.
Dr. rer. nat. Djati Mardiatno
Dr. Budi Sulistyono
Dr. M Buce Saleh
Dr. Ir. Widiatmaka, DAA
Dr. Akhmad Fahrudin
Dr. Jonson L. Gaol

Kepakaran:

Penginderaan Jauh dan SIG
Geografi dan Kebencanaan
Geografi dan Kebencanaan
Ilmu Kelautan
Penginderaan Jauh Kehutanan
Sumberdaya Lahan
Ekonomi Sumber Daya Alam
Penginderaan Jauh Kelautan

Instansi:

Fakultas Geografi UGM
Fakultas Geografi UGM
Fakultas Geografi UGM
Balitbang KKP
Fakultas Kehutanan IPB
Fakultas Pertanian IPB
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB

Redaktur Pelaksana:

Nama:

Dra. Niendyawati, M.Sc.
Aninda Wisaksanti R, M.Si.
Intan Pujawati, S.Si.
Nugroho Purwono, S.Si.
Drs. Turmudi, M.Si.
Agung Syetiawan, S.T.
Ellen Suryanegara, S.Sos.
Maslahatun Nashiha, S.Si.
Ayu Nur Syafi'i, S.T.
Yustisi Ardhitasari L Gaol S.T
Herutopo Wahyuono, A.Md.
Utami Yulaila, SE.

Instansi:

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

Kedudukan:

Ketua
Format dan Layouting
Format dan Layouting
Desain Sampul
Proof Reading
Proof Reading
Proof Reading
Proof Reading
Format dan Layouting
Format dan Layouting
Sirkulasi
Sirkulasi

Majalah Ilmiah GLOBë merupakan media penyebaran hasil penelitian, kajian dan tinjauan ilmiah dalam bidang Informasi geospasial tematik. Majalah ini terbit dua kali setiap tahun yaitu pada bulan April dan Oktober. Pernyataan penulis dalam artikel yang dimuat pada majalah ini merupakan pendapat pribadi penulis bukan penerbit. Hak cipta Majalah Ilmiah GLOBë Volume 18 Nomor 1 April 2016 ada pada Badan Informasi Geospasial.

Keterangan Gambar Sampul :

- 1). *Visual Citra Landsat 8 OLI dengan Komposit RGB 654 (Zylshal, et al. 2016) hal 11*
- 2). *Hasil Klasifikasi Penutup/Penggunaan Lahan dengan Metode Object Based Image Analysis (OBIA) (Zylshal, et al. 2016) hal 16*



Diterbitkan Oleh :

Badan Informasi Geospasial (BIG)
Sekretariat Redaksi Majalah Ilmiah GLOBë, Gedung F. Lt. 2
Jl. Jakarta-Bogor KM 46 Cibinong 16911, Indonesia
Telp/Fax: +62-21- 87906041
Website: jurnal.big.go.id
E-mail: majalah.globe@big.go.id

DAFTAR ISI

SUSUNAN DEWAN REDAKSI

DAFTAR ISI	i
LEMBAR ABSTRAK (ID).....	iii
LEMBAR ABSTRAK (EN)	v
PENGANTAR REDAKSI.....	vii
DAMPAK <i>EL NIÑO</i> 1997 DAN <i>EL NIÑO</i> 2015 TERHADAP KELIMPAHAN KONSENTRASI KLOOROFIL-A DI PERAIRAN SELATAN JAWA DAN BALI-SUMBAWA <i>(Impact of El Niño 1997 and El Niño 2015 on Abundance of Chlorophyll-A Concentration in the Southern Waters of Jawa and Bali-Sumbawa)</i> Martono Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, LAPAN	1-8
EKSTRASI INFORMASI PENUTUP LAHAN SKALA BESAR DENGAN METODE <i>EXPERT KNOWLEDGE OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS (OBIA)</i> PADA CITRA LANDSAT 8 OLI PULAU KALIMANTAN <i>(Landcover Extraction Over Large Area using Expert Knowledge Object-based Image Analysis on Landsat-8 OLI Data Over Borneo Island)</i> Zylshal, Heri Susanto, dan Sarip Hidayat Pusat Pemanfaatan dan Penginderaan Jauh, LAPAN	9-20
MODEL PERUBAHAN PENUTUPAN/PENGGUNAAN LAHAN UNTUK IDENTIFIKASI LAHAN KRITIS DI KABUPATEN BOGOR, KABUPATEN CIANJUR, DAN KABUPATEN SUKABUMI <i>(Land Use/Cover Change Models to Identify the Critical Land in Bogor Regency, Cianjur Regency, and Sukabumi Regency)</i> Siti Hadjar Kubangun, Oteng Haridjaja, dan Komarsa Gandasasmita Fakultas Pertanian, Universitas Papua	21-32
KAJIAN SPASIAL EVALUASI RENCANA TATA RUANG BERBASIS KEBENCANAAN DI KABUPATEN KUDUS PROVINSI JAWA TENGAH <i>(Spatial Planning Evaluation using Disaster based Analysis in Kudus District, Central of Java Province)</i> Jaka Suryanta dan Irmadi Nahib Pusat Penelitian Promosi dan Kerjasama, BIG	33-42
ANALISIS SPASIAL KEMAMPUAN LAHAN DALAM PERENCANAAN PENGELOLAAN DAS MIKRO <i>(Spatial Land Capability Analysis in Micro Watershed Management Planning, Case Study in Naruwan Micro Watershed, Keduang Sub Watershed, Solo Watershed)</i> Nining Wahyuningrum dan Agung Budi Supangat Balai Penelitian Teknologi Kehutanan Pengelolaan DAS Surakarta	43-52

LEMBAR ABSTRAK (ID)

MAJALAH ILMIAH GLOBë (GLOBë SCIENTIFIC MAGAZINE)	
P-ISSN 1411-0512/E-ISSN 2502-2172	Cibinong, April 2016
Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa izin dan biaya	
<p>DDC 551.55 Martono (Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, LAPAN) DAMPAK <i>EL NIÑO</i> 1997 DAN <i>EL NIÑO</i> 2015 TERHADAP KELIMPAHAN KONSENTRASI Klorofil-A DI PERAIRAN SELATAN JAWA DAN BALI-SUMBAWA <i>Majalah Ilmiah GLOBë</i> April, Vol 18 No 1, Hal 1-8</p> <p>Penelitian mengenai dampak <i>El Niño</i> terhadap karakteristik oseanografi di perairan Indonesia masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak <i>El Niño</i> 1997 dan <i>El Niño</i> 2015 terhadap kelimpahan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa dan Bali-Sumbawa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama <i>El Niño</i> terjadi kenaikan konsentrasi klorofil-a di perairan ini. Kenaikan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa mencapai 678% dalam periode <i>El Niño</i> 1997 dan 78% dalam periode <i>El Niño</i> 2015. Sementara itu, kenaikan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Bali-Sumbawa lebih rendah sekitar 165% dalam periode <i>El Niño</i> 1997 dan 69% dalam periode <i>El Niño</i> 2015.</p> <p style="text-align: right;">(Martono)</p> <p>Kata kunci: klorofil-a, <i>El Niño</i>, indian ocean dipole (IOD), arus eddy</p>	<p>DDC 526.8 Zylshal (Pusat Pemanfaatan dan Penginderaan Jauh, LAPAN) EKSTRAISI INFORMASI PENUTUP/PENGGUNAAN LAHAN SKALA BESAR DENGAN METODE <i>EXPERT KNOWLEDGE OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS</i> (OBIA) PADA CITRA LANDSAT 8 OLI PULAU KALIMANTAN <i>Majalah Ilmiah GLOBë</i> April, Vol 18 No 1, Hal 9-20</p> <p>OBIA yang sudah mulai diterima dan banyak digunakan dalam klasifikasi digital bisa menjadi alternatif tambahan selain interpretasi visual maupun analisis digital berbasis piksel konvensional. Penelitian ini menggunakan data Landsat 8 OLI <i>orthorectified</i> yang telah melalui proses <i>mosaicking</i> dan <i>cloud masking</i> untuk mendapatkan citra satu pulau Kalimantan yang bebas awan. Metode yang digunakan juga menunjukkan akurasi yang tinggi untuk kelas hutan lahan kering, perkebunan, kebun campuran dan semak belukar dengan nilai akurasi di atas 80%.</p> <p style="text-align: right;">(Zylshal)</p> <p>Kata kunci: OBIA, area luas, perubahan penutupan/penggunaan lahan, citra landsat, <i>decision tree</i></p>
<p>DDC 333.73 Kubangun (Fakultas Pertanian, Universitas Papua) MODEL PERUBAHAN PENUTUPAN/PENGGUNAAN LAHAN UNTUK IDENTIFIKASI LAHAN KRITIS DI KABUPATEN BOGOR, KABUPATEN CIANJUR, DAN KABUPATEN SUKABUMI <i>Majalah Ilmiah GLOBë</i> April, Vol 18 No 1, Hal 21-32</p> <p>Pemanfaatan lahan yang melampaui kemampuannya, dapat mengakibatkan degradasi lahan. Degradasi lahan jika dibiarkan akan menimbulkan lahan kritis. Dampak yang terjadi akibat lahan kritis mengakibatkan lahan mengalami penurunan kualitas sifat-sifat tanah, penurunan fungsi konservasi, fungsi produksi, hingga berpengaruh pada kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat yang memanfaatkan lahan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi lahan kritis, berdasarkan pemodelan perubahan penutupan/penggunaan lahan dengan metode <i>Artificial Neural Network</i> (ANN).</p> <p style="text-align: right;">(Kubangun)</p> <p>Kata kunci: jaringan saraf tiruan, perubahan penutupan/penggunaan lahan, model spasial</p>	<p>DDC 711.4 Suryanta (Pusat Penelitian Promosi dan Kerjasama, BIG) KAJIAN SPASIAL EVALUASI RENCANA TATA RUANG BERBASIS KEBENCANAAN DI KABUPATEN KUDUS PROVINSI JAWA TENGAH <i>Majalah Ilmiah GLOBë</i> April, Vol 18 No 1, Hal 33-42</p> <p>Kajian ini bertujuan untuk mengevaluasi dokumen Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Kudus berdasarkan data spasial kebencanaan. Metode yang digunakan adalah analisis sistem informasi geografis dengan melakukan <i>overlay</i> data spasial rawan bencana terhadap pola ruang dan struktur ruang Kabupaten Kudus.</p> <p style="text-align: right;">(Suryanta)</p> <p>Kata kunci: spasial, rencana tata ruang wilayah (RTRW), kebencanaan, Kabupaten Kudus.</p>

DDC 333.73
Wahyuningrum (Balai Penelitian Teknologi Kehutanan
Pengelolaan DAS)
ANALISIS SPASIAL KEMAMPUAN LAHAN DALAM
PERENCANAAN PENGELOLAAN DAS MIKRO
Majalah Ilmiah GLOBë April, Vol 18 No 1, Hal 43-52

Hasil analisis menunjukkan bahwa 38% lokasi penelitian didominasi tegal, kebun campur 23%, hutan 20% dan sisanya oleh sawah, pemukiman dan semak belukar. Meskipun kebun campur dan hutan mendominasi, akan tetapi terdapat 56,24% penggunaan lahan tidak sesuai dengan klas kemampuan lahannya. Pada lahan yang tidak sesuai tersebut 33,14% mengalami erosi pada taraf sangat berat (>480 ton/ha). Lahan yang tidak sesuai tersebut terutama adalah tegal.

(Wahyuningrum)

Kata kunci: kemampuan, penggunaan, lahan, erosi,
perencanaan, konservasi

LEMBAR ABSTRAK (EN)

GLOBë SCIENTIFIC MAGAZINE (MAJALAH ILMIAH GLOBë)	
P-ISSN 1411-0512/E-ISSN 2502-2172	Cibinong, April 2016
<p>The keywords given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge</p>	
<p>DDC 551.55 Martono (Atmospheric Science and Technology Center, LAPAN) IMPACT OF EL NIÑO 1997 AND NIÑO 2015 ON ABUNDANCE OF CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION IN THE SOUTHERN WATERS OF JAWA AND BALI-SUMBAWA GLOBë Scientific Magazine April, Vol.18 No.1, p 1-8</p> <p>Results showed that during El Niño occur increasing chlorophyll-a concentration in these waters. Increasing of chlorophyll-a concentration in the southern water of Java reached 678% in a period of El Niño 1997 and 78% in a period of El Niño 2015. Meanwhile, increasing of chlorophyll-a concentration in the southern water of Bali-Sumbawa lower about 165% in a period of El Niño 1997 and 69% in El Niño 2015.</p> <p style="text-align: right;">(Martono)</p> <p>Keywords: chlorophyll-a, El Niño, indian ocean dipole (IOD), eddy current</p>	<p>DDC 526.8 Zylshal (Center for Remote Sensing Utilization, LAPAN) LANDCOVER EXTRACTION OVER LARGE AREA USING EXPERT KNOWLEDGE OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS ON LANDSAT-8 OLI DATA OVER BORNEO ISLAND GLOBë Scientific Magazine April, Vol.18 No.1, p 9-20</p> <p>OBIA has been accepted and widely used in digital classification as an alternative for the visual interpretation and conventional pixel-based classification, with its ability to use additional contextual information. This study aimed to use OBIA method on Landsat 8 OLI cloudfree mosaic dataset for the whole Borneo region to create a landuse/landcover map using both spectral and contextual information, as well as ancillary DEM data. These results indicate that the proposed method can be used as an alternative to identify and extract information related to vegetation cover for large areamapping activities.</p> <p style="text-align: right;">(Zylshal)</p> <p>Keywords: OBIA, large scale, land use cover change (LUCC), decision tree</p>
<p>DDC 333.73 Kubangun (Faculty of Agriculture, University of Papua) LAND USE/COVER CHANGE MODELS TO IDENTIFY THE CRITICAL LAND IN BOGOR REGENCY, CIANJUR REGENCY, AND SUKABUMI REGENCY GLOBë Scientific Magazine April, Vol.18 No.1, p 21-32</p> <p>Over used of land can caused the degradation, it can be lead to the critical of the land. The impacts of this issue such as the decreasing of the soil characteristics quality, conservation function, production, affecting social and economic of the society which used the land. This research aims to identify the critical land based on the land use cover change models with Artificial Neural Network (ANN) method.</p> <p style="text-align: right;">(Kubangun)</p> <p>Keywords: artificial neural network (ANN), land use cover change (LUCC), spatial models</p>	<p>DDC 711.4 Suryanta (Center for Research, Promotion and Cooperation, BIG) SPATIAL PLANNING EVALUATION USING DISASTER BASED ANALYSIS IN KUDUS DISTRICT, CENTRAL OF JAVA PROVINCE GLOBë Scientific Magazine April, Vol.18 No.1, p. 33-42</p> <p>This study aims to evaluate the Spatial Plan Document Kudus District based spatial data disaster. The method used is the analysis of geographic information system by overlaying spatial data especially prone to pattern the structure of space of Kudus District.</p> <p style="text-align: right;">(Suryanta)</p> <p>Keywords: spatial, spatial planning, disaster, Kudus District</p>

DDC 333.73
Wahyuningrum (Center of Research and Technological
Development for Watershed Management)

SPATIAL LAND CAPABILITY ANALYSIS IN MICRO
WATERSHED MANAGEMENT PLANNING, CASE STUDY IN
NARUWAN MICRO WATERSHED, KEDUANG SUB
WATERSHED, SOLO WATERSHED

GLOBë Scientific Magazine April, Vol.18 No.1, p. 43-52

Analyses shows that 38% of the area is dominated by dryland, 23% mixed garden, 20% production forest, and the rest is paddy field, settlement and shrubs. Although the mixed garden and forest dominates, but there are 56,24% the land uses that are suitable to its land capability 33,14% of the unsuitable uses experiences very severe erosion (>480 ton/ha). The not-suitable use mainly are dry land agriculture.

(Wahyuningrum)

Keywords: land, use, capability, erosion, planning,
conservation

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, Majalah Ilmiah GLOBë Volume 18 Nomor 1, April 2016 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, penelitian, dan tinjauan terkait bidang informasi geospasial tematik. Dalam edisi kali ini, Majalah Ilmiah GLOBë menyajikan lima tulisan yang berasal dari berbagai sumber baik dari instansi perguruan tinggi maupun kementerian dan lembaga, yaitu : Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Universitas Papua, Balai Penelitian Teknologi Kehutanan Pengelolaan DAS, dan Badan Informasi Geospasial (BIG).

Topik penelitian dalam edisi ini memuat tentang aplikasi penginderaan jauh untuk pendugaan kelimpahan klorofil-a, dan penutupan lahan. Sedang aplikasi Sistem Informasi Geografis membahas tentang analisis kebencanaan, kemampuan lahan, dan perubahan penutup lahan.

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

Cibinong, April 2016

Redaksi Majalah Ilmiah GLOBë

DAMPAK EL NIÑO 1997 DAN EL NIÑO 2015 TERHADAP KONSENTRASI KLOORIFIL-A DI PERAIRAN SELATAN JAWA DAN BALI-SUMBAWA

(Impact of El Niño 1997 and El Niño 2015 on Chlorophyll-A Concentration in the Southern Waters of Jawa and Bali-Sumbawa)

Martono

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, LAPAN
Jl. Dr. Djunjunan No. 133 Bandung 40173, Indonesia
E-mail: mar_lapan@yahoo.com

Diterima (received): 26 Februari 2016; Direvisi (revised): 10 Maret 2016; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 31 Maret 2016

ABSTRAK

El Niño adalah fenomena oseanografi yang terjadi di Samudera Pasifik tropis akibat interaksi antara laut dan atmosfer. *El Niño* menyebabkan bencana kekeringan di sebagian besar wilayah Indonesia. Penelitian mengenai dampak *El Niño* terhadap karakteristik oseanografi di perairan Indonesia masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak *El Niño* 1997 dan *El Niño* 2015 terhadap kelimpahan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa dan Bali-Sumbawa. Data yang digunakan adalah indeks *NIÑO*3.4, klorofil-a bulanan, angin permukaan, arus permukaan dan tinggi muka laut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis anomali konsentrasi klorofil-a selama *El Niño*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama *El Niño* terjadi kenaikan konsentrasi klorofil-a di perairan ini. Kenaikan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa mencapai 678% dalam periode *El Niño* 1997 dan 78% dalam periode *El Niño* 2015. Sementara itu, kenaikan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Bali-Sumbawa lebih rendah sekitar 165% dalam periode *El Niño* 1997 dan 69% dalam periode *El Niño* 2015. Meskipun demikian, faktor utama yang menyebabkan kenaikan konsentrasi klorofil-a sangat tinggi di perairan selatan Jawa dalam periode *El Niño* 1997 adalah *Indian Ocean Dipole* fase positif dan arus eddy searah jarum jam sepanjang pantai selatan Jawa selama September-November 1997.

Kata kunci: klorofil-a, *El Niño*, *indian ocean dipole* (IOD), arus eddy

ABSTRACT

El Niño is an oceanography phenomenon which occurs in the tropical Pacific Ocean which caused by interaction between sea and atmosphere. *El Niño* causes drought disaster in the most of the Indonesian region. Research about impact of *El Niño* on characteristics of oceanography in the Indonesian waters still limited. This research is conducted to understand impact of *El Niño* 1997 and *El Niño* 2015 on abundance of chlorophyll-a concentration in the southern waters of Jawa and Bali-Sumbawa. Data used consists of *NIÑO*3.4 index, monthly chlorophyll-a, surface wind, surface current and sea level. Method used in this research was anomaly analysis of chlorophyll-a concentration during *El Niño*. Results showed that during *El Niño* occur increasing chlorophyll-a concentration in these waters. Increasing of chlorophyll-a concentration in the southern water of Jawa reached 678% in the period of *El Niño* 1997 and reached 78% in the period of *El Niño* 2015. Meanwhile, increasing of chlorophyll-a concentration in the southern water of Bali-Sumbawa lower about 165% in the period of *El Niño* 1997 and 69% in the period of *El Niño* 2015. Nevertheless, the main factors that caused increase a very high of chlorophyll-a concentration in the southern waters of Jawa in the period of *El Niño* 1997 was the positive phase of *Indian Ocean Dipole* and cyclonic eddies along southern coasts of Jawa during September-November 1997.

Keywords: chlorophyll-a, *El Niño*, *indian ocean dipole* (IOD), eddy current

PENDAHULUAN

El Niño adalah fenomena oseanografi yang terjadi di perairan Samudera Pasifik tropis akibat interaksi yang kuat antara laut dan atmosfer. *El Niño* menyebabkan perubahan variabilitas iklim regional maupun global yang menyebabkan terjadinya berbagai bencana alam di banyak Negara. Kerugian ekonomi global akibat bencana *El Niño* mencapai 36 milyar dolar (McPhaden, 2008).

El Niño berpengaruh terhadap ekosistem, pertanian, persediaan air bersih, siklon dan bencana cuaca di berbagai negara (Collins, *et al.* 2010). Di Filipina, Indonesia dan Australia *El Niño* menyebabkan bencana kekeringan akibat penurunan curah hujan (Hendon, 2003; Davey, *et al.* 2011; WMO, 2014). Pertanian merupakan salah satu sektor utama ekonomi yang sangat rentan dipengaruhi fenomena *El Niño* (Rojas, *et al.* 2014).

El Niño menyebabkan penurunan produksi hasil pertanian di sejumlah negara (Ronghui, *et al.* 2001). Penurunan lahan panen di wilayah

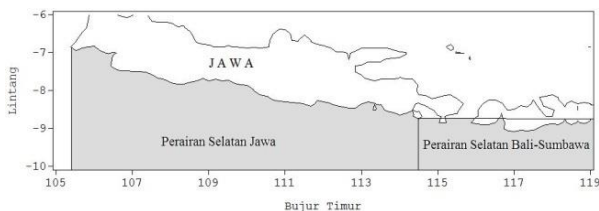
Indonesia akibat *El Niño* diperkirakan mencapai 1,25 juta hektar di tahun 1982/1983 dan sekitar 1,18 juta hektar di tahun 1997/1998 (Irawan, 2002). *El Niño* 1997/1998 telah menyebabkan penurunan produksi panen padi di Jawa sekitar 3 juta ton (D'Arrigoa dan Wilsona, 2008).

Penelitian mengenai dampak fenomena *El Niño* terhadap kondisi oseanografi terutama kelimpahan konsentrasi klorofil-a di perairan Indonesia masih minim. Beberapa peneliti yang telah melakukan penelitian mengenai pengaruh *El Niño* terhadap *upwelling* di perairan selatan Jawa antara lain Gaol, *et al.* (2002, 2015), Kunarso, *et al.* (2005).

Klorofil-a merupakan unsur penting dalam pembentukan produsen primer di lingkungan perairan laut. Klorofil-a juga berperan penting dalam penyerapan CO₂ di atmosfer melalui proses fotosintesis. Perairan selatan Jawa hingga Sumbawa dikenal memiliki variabilitas konsentrasi klorofil-a yang tinggi akibat proses *upwelling*. Lokasi *upwelling* diketahui memiliki potensi perikanan yang sangat tinggi. Penelitian ini bertujuan mengetahui dampak *El Niño* 1997 dan 2015 terhadap kelimpahan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa hingga Sumbawa.

METODE

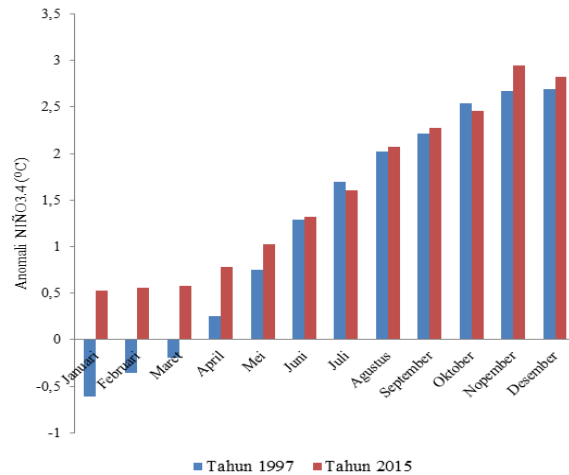
Lokasi penelitian adalah perairan selatan Jawa dan selatan Bali-Sumbawa seperti disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (diblok).

Data yang digunakan terdiri atas anomali indeks *NIÑO3.4*, klorofil-a bulanan periode Oktober 1997 hingga Desember 2015, arus permukaan laut bulanan periode bulan Juni-Desember 1997 dan 2015, angin permukaan bulanan periode 1981-2011 dan tinggi muka laut bulan September-Nopember 1997. Data Klorofil-a dari bulan Oktober 1997 hingga Desember 2002 berasal dari citra satelit *Sea WiFS* yang diperoleh dari *Ocean Watch NOAA* dengan alamat website: <http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/>, dari bulan Januari 2003 hingga Desember 2015 berasal dari citra satelit *Aqua MODIS* yang diperoleh dari *Coast Watch NOAA* dengan alamat: <http://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/index.html>. Data tinggi muka laut diperoleh dari *Ocean Watch NOAA* dengan alamat website: <http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/>, arus laut diperoleh dari website: <http://www.oscar.noaa.gov/> dan angin permukaan diperoleh dari *PODAAC NASA* dengan alamat <http://podaac.jpl.nasa.gov/>.

Untuk keperluan analisis digunakan nilai anomali indeks *NIÑO3.4* seperti disajikan pada **Gambar 2**. Nilai anomali indeks *NIÑO3.4* lebih besar dari 1°C terjadi mulai bulan Juni-Desember. Berdasarkan nilai anomali tersebut analisis dilakukan pada bulan Juni-Desember tahun 1997 dan 2015.



Gambar 2. Anomali Indeks *NIÑO3.4* pada Tahun 1997 dan 2015.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis anomali konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa dan Bali-Sumbawa dalam periode *El Niño* 1997 dan *El Niño* 2015. Nilai anomali konsentrasi klorofil-a dihitung dengan persamaan di bawah. Dan kemudian dibandingkan kenaikan konsentrasi klorofil-a pada periode *El Niño* 1997 dan *El Niño* 2015.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

- \bar{x} = rata-rata klimatologi
- x_n = nilai ke-n
- n = jumlah data

$$N_{AT} = N_T - N\bar{x} \dots\dots\dots(2)$$

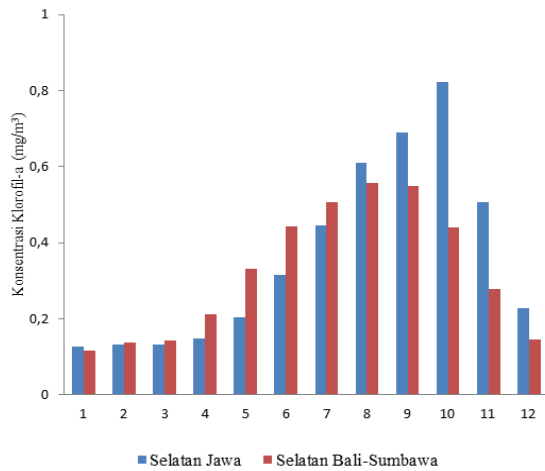
dimana:

- N_{AT} = nilai anomali waktu ke-t
- N_T = nilai variabel pada waktu ke-t
- $N\bar{x}$ = nilai rata-rata klimatologi waktu ke-t

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi bulanan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa dan Bali-Sumbawa disajikan pada **Gambar 3**. Variasi bulanan konsentrasi klorofil-a di kedua perairan tersebut mempunyai siklus satu tahunan. Konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Bali-Sumbawa mengalami kenaikan secara signifikan pada bulan Mei yang berlangsung sampai Agustus, kemudian bulan September mulai mengalami penurunan. Konsentrasi klorofil-a maksimum terjadi pada

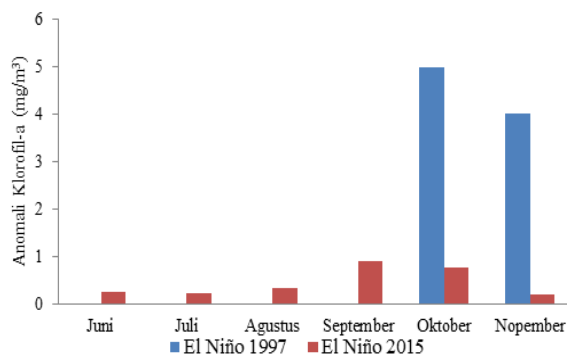
bulan Agustus yang mencapai $0,56 \text{ mg/m}^3$ dan minimum terjadi pada bulan Januari sebesar $0,11 \text{ mg/m}^3$.



Gambar 3. Variasi Bulanan Konsentrasi Klorofil-A di Perairan Selatan Jawa dan Bali-Sumbawa.

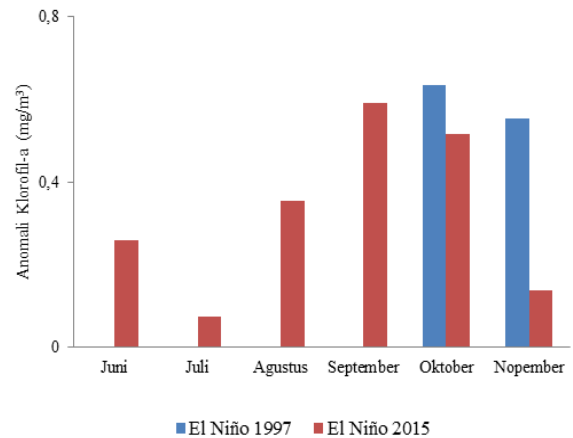
Kenaikan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa secara signifikan dimulai pada bulan Juni. Kenaikan berlangsung hingga bulan Oktober dan bulan September mulai menurun. Konsentrasi klorofil-a maksimum di perairan selatan Jawa terjadi pada bulan Oktober yang mencapai sebesar $0,82 \text{ mg/m}^3$ dan minimum terjadi pada bulan Januari sebesar $0,13 \text{ mg/m}^3$.

Anomali konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa selama periode *El Niño* 1997 dan *El Niño* 2015 disajikan pada **Gambar 4**. Pada **Gambar 4** terlihat bahwa selama terjadi *El Niño* konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa mengalami kenaikan. Rata-rata kenaikan di musim peralihan kedua lebih tinggi daripada musim timur. Kenaikan konsentrasi klorofil-a selama musim peralihan kedua dalam periode *El Niño* 1997 mencapai $4,5 \text{ mg/m}^3$. Sementara, kenaikan konsentrasi klorofil-a dalam periode *El Niño* 2015 hanya sebesar $0,27 \text{ mg/m}^3$ dimusim timur dan $0,61 \text{ mg/m}^3$ dimusim peralihan kedua.



Gambar 4. Anomali Konsentrasi Klorofil-A di Perairan Selatan Jawa pada Saat Terjadi *El Niño*.

Anomali konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Bali-Sumbawa selama periode *El Niño* 1997 dan *El Niño* 2015 disajikan pada **Gambar 5**. **Gambar 5** memperlihatkan adanya kenaikan konsentrasi klorofil-a di perairan ini. Kenaikan konsentrasi klorofil-a dalam periode *El Niño* 1997 jauh lebih kecil dibandingkan dengan perairan selatan Jawa. Kenaikan konsentrasi klorofil-a selama musim peralihan kedua dalam periode *El Niño* 1997 sebesar $0,59 \text{ mg/m}^3$. Dalam periode *El Niño* 2015 kenaikan konsentrasi klorofil-a mencapai $0,23 \text{ mg/m}^3$ dimusim timur dan $0,42 \text{ mg/m}^3$ dimusim peralihan kedua.



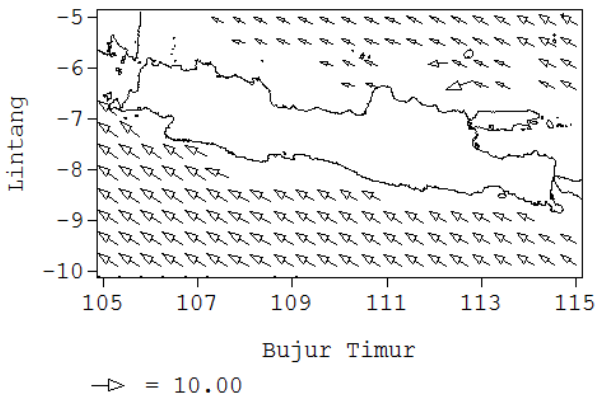
Gambar 5. Anomali Konsentrasi Klorofil-A di Perairan Selatan Bali-Sumbawa pada Saat Terjadi *El Niño*.

Berdasarkan hasil di atas diketahui bahwa konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa dan Bali-Sumbawa menunjukkan nilai yang tinggi selama musim timur hingga musim peralihan kedua. Konsentrasi klorofil-a rata-rata bulan Juni-Oktober di perairan selatan Jawa sekitar $0,58 \text{ mg/m}^3$ dan di selatan Bali-Sumbawa sekitar $0,45 \text{ mg/m}^3$. Kenaikan secara signifikan konsentrasi klorofil-a dalam musim tersebut akibat *upwelling*. *Upwelling* adalah proses kenaikan massa air dari lapisan bawah menuju lapisan permukaan.

Massa air yang naik ke permukaan ini mempunyai suhu dingin, salinitas tinggi dan kaya akan kandungan zat-zat hara seperti fosfat dan nitrat. Proses ini menyebabkan lokasi *upwelling* mempunyai tingkat kesuburan yang tinggi (Hendiarti, 2008; Edward dan Tarigan, 2003; Surinati, 2009). Mekanisme terjadinya *upwelling* di perairan selatan Jawa dan Bali-Sumbawa dibangkitkan oleh sistem monsun tenggara (Susanto dan Marra, 2005; Ningsih, *et al.* 2013). Selama musim timur hingga musim peralihan kedua angin permukaan di perairan selatan Jawa hingga Sumbawa bergerak ke barat seperti disajikan pada **Gambar 6**.

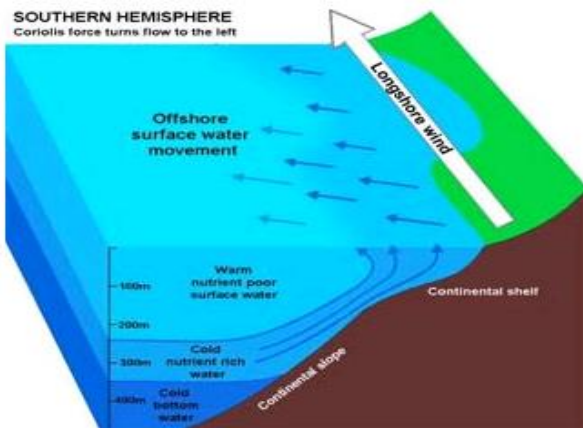
Mekanisme kejadian *upwelling* di perairan selatan Jawa hingga Sumbawa disajikan pada **Gambar 7**. *Upwelling* di perairan selatan Jawa dan Bali-Sumbawa akibat tiupan angin permukaan sejajar pantai bergerak ke barat. Gesekan angin

permukaan mendorong massa air permukaan bergerak ke arah barat. Karena pengaruh gaya gesek antar lapisan dan *coriolis*, maka gerakan arus hingga kedalaman tertentu membentuk *Spiral Ekman*.



Gambar 6. Sirkulasi Umum Angin Permukaan Bulan Juni-Nopember.

Rata-rata transpor volum massa air dalam *Spiral Ekman* ini membentuk sudut 90° ke kiri terhadap arah angin sehingga air permukaan di pantai akan bergerak menuju ke laut lepas. Mekanisme ini akan menyebabkan terbentuknya kemiringan antara daerah pantai dan laut lepas. Untuk mengimbangi perbedaan ketinggian muka air, maka massa air dari lapisan bawah pantai bergerak ke lapisan atas. Mekanisme ini yang menyebabkan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa-Sumbawa tinggi selama proses *upwelling*.



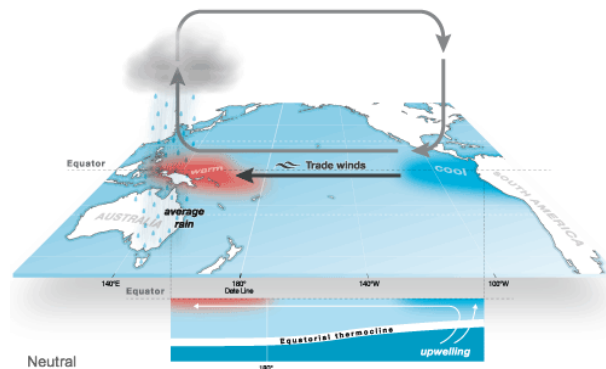
Sumber: <https://cmast.ncsu.edu>
Gambar 7. Mekanisme *Upwelling* di Perairan Selatan Jawa-Sumbawa.

Selama berlangsung proses *El Niño* terjadi kenaikan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa dan Bali-Sumbawa. Kenaikan anomali konsentrasi klorofil-a rata-rata bulan Oktober-Nopember 1997 mencapai 4,5 mg/m³ di perairan selatan Jawa dan 0,59 mg/m³ di Bali-Sumbawa. Anomali konsentrasi klorofil-a rata-rata bulan Juni-Oktober 2015 mencapai 0,49 mg/m³ di perairan selatan Jawa dan 0,36 mg/m³ di Bali-Sumbawa.

Peneliti lain juga menyatakan selama *ENSO* and *IOD* 1997/1998 terjadi kelimpahan klorofil di

bagian timur Samudera Hindia tropis (Currie, *et al.* 2013). Kenaikan konsentrasi klorofil-a yang tinggi disebabkan akibat adanya perubahan karakteristik oseanografi di perairan Samudera Pasifik tropis dan Samudera Hindia tropis yang berdampak besar terhadap perairan sekitarnya.

Dinamika atmosfer dan oseanografi di Samudera Pasifik tropis pada kondisi tidak terjadi *El Niño* disajikan pada **Gambar 8**. Pada kondisi normal, angin permukaan (angin pasat timur laut dan angin pasat tenggara) di atas perairan ini sepanjang tahun bergerak ke arah barat. Gesekan angin permukaan mendorong air permukaan bergerak ke barat secara terus menerus sehingga di bagian barat Samudera Pasifik terjadi penumpukan massa air.



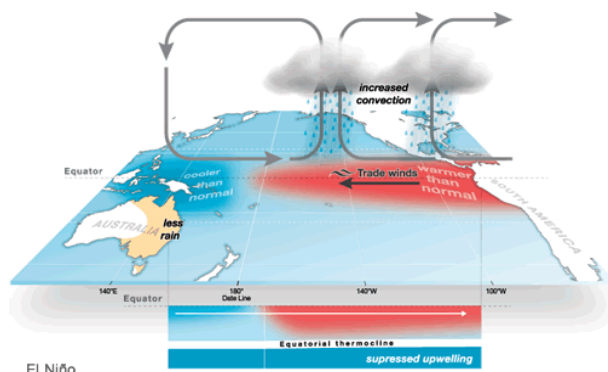
Sumber: <http://www.bom.gov.au/climate/enso/>
Gambar 8. Dinamika Atmosfer dan Oseanografi di Samudera Pasifik Tropis pada Kondisi Normal.

Akibat penumpukan massa air tersebut terbentuk kemiringan tinggi muka laut antara bagian barat dengan bagian timur sehingga terjadi penurunan lapisan termoklin di bagian barat dan kenaikan di bagian timur. Kenaikan lapisan termoklin dibagian timur Samudera Pasifik akan memperkuat intensitas *upwelling* di pantai barat Peru. Massa air di bagian barat Samudera Pasifik lebih hangat daripada di bagian timur sehingga wilayah ini dikenal sebagai kolam hangat. Karena memiliki suhu permukaan yang hangat maka di wilayah ini terbentuk konveksi tebal (*deep convection*).

Dinamika atmosfer dan oseanografi di Samudera Pasifik tropis pada kondisi *El Niño* disajikan pada **Gambar 9**. Proses *El Niño* diawali dengan pelemahan angin permukaan di Samudera Pasifik tropis yang mengakibatkan gesekan dengan air permukaan ikut melemah, sebaliknya Arus Balik Ekuator yang bergerak ke timur semakin melebar dan kuat. Mekanisme ini menyebabkan terjadi pergeseran kolam hangat dari bagian barat ke bagian tengah dan timur.

Kondisi ini akan mengakibatkan terjadinya penurunan tinggi muka laut di bagian barat Samudera Pasifik dan kenaikan di bagian timur, sehingga lapisan campuran di bagian timur Samudera Pasifik semakin dalam, tetapi di bagian

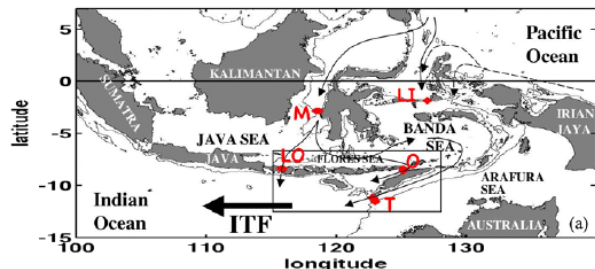
barat semakin dangkal. Proses ini menyebabkan terjadinya kenaikan lapisan termoklin di bagian barat dan penurunan di bagian timur.



Sumber: www.bom.gov.au/climate/enso/

Gambar 9. Dinamika Atmosfer dan Oseanografi di Samudera Pasifik Tropis pada Kondisi *El Niño*.

Pengaruh *El Niño* terhadap peningkatan intensitas *upwelling* di perairan selatan Jawa hingga Sumbawa berhubungan erat dengan sistem transpor Arus Lintas Indonesia. Arus Lintas Indonesia adalah aliran massa air dari perairan Samudera Pasifik barat menuju Samudera Hindia timur melalui beberapa wilayah perairan Indonesia antara lain Selat Lombok, Selat Ombai dan Laut Timor seperti disajikan pada **Gambar 10**.



Sumber: Sprintall, et al. 2009

Gambar 10. Sistem Transpor Arus Lintas Indonesia.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa selama terjadi *El Niño*, transpor Arus Lintas Indonesia melemah dan sebaliknya menguat selama *La Niña* (Meyers, 1996; Mihardja, et al. 2001 dalam Ningsih, 2003; Safitri, et al. 2012). Melemahnya transpor Arus Lintas Indonesia menyebabkan menurunnya tinggi muka laut perairan selatan Indonesia. Selama beberapa kejadian *El Niño* (72/73, 82/83, 86/87, 94/95, 97/98) terjadi proses pendangkalan kedalaman termoklin di perairan selatan Jawa antara 20-60 meter (Susanto, et al. 2001). Pendangkalan kedalaman lapisan termoklin selanjutnya akan meningkatkan intensitas *upwelling* di perairan selatan Indonesia. Mekanisme inilah yang menyebabkan terjadinya kenaikan konsentrasi klorofil-a selama periode *El Niño*.

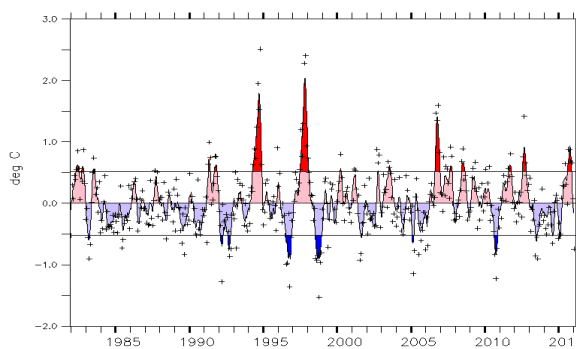
Rata-rata nilai indeks anomali *NIÑO3.4* bulan Juni-Desember tahun 2015 sekitar 2,2°C dan bulan Juni-Desember tahun 1997 sekitar 2,1°C.

Hal ini menyatakan bahwa intensitas *El Niño* 2015 hampir sama dengan *El Niño* 1997, namun kenaikan konsentrasi klorofil-a periode *El Niño* 1997 terutama di perairan selatan Jawa jauh lebih tinggi dari periode *El Niño* 2015. Hal ini menunjukkan bahwa *El Niño* bukan menjadi faktor utama penyebab kenaikan secara signifikan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa.

Terdapat dua faktor utama yang menyebabkan hal ini terjadi. Faktor pertama adalah fenomena *Indian Ocean Dipole (IOD)*. *IOD* adalah suatu mode iklim antar tahunan yang terjadi di Samudera Hindia tropis (Saji, et al. 1999). *IOD* direpresentasikan dengan anomali gradien suhu permukaan laut antara bagian barat Samudera Hindia (50°E–70°E dan 10°S–10°N) dan bagian timur Samudera Hindia (90°E–110°E dan 10°S–0°). Anomali gradien suhu permukaan laut ini dikenal dengan *Dipole Mode Index*.

Peristiwa *El Niño* tahun 1997 dan 2015 bersamaan dengan kejadian *IOD* fase positif seperti disajikan pada **Gambar 11**. Rata-rata nilai *Dipole Mode Index* bulan September-Desember 1997 mencapai 1,75°C bahkan pada bulan Oktober-Nopember mencapai lebih dari 2°C. Sementara itu, pada bulan yang sama tahun 2015 nilai *Dipole Mode Index* hanya mencapai 0,62°C. Hal ini jelas memberi dampak yang berbeda terhadap peningkatan intensitas *upwelling* di perairan ini.

Selama *IOD* fase positif terjadi perubahan intensitas Arus Ekuator Selatan di Samudera Hindia tropis. Pola arus permukaan di Samudera Hindia pada saat musim timur (Juni-Agustus) tahun 1997 dan periode yang sama pada tahun 2015 disajikan pada **Gambar 12**.



Sumber: <http://stateofocean.osmc.noaa.gov/sur/ind/>

Gambar 11. Indeks *IOD* 1982-2015.

Pada saat musim timur 1997 cakupan Arus Ekuator Selatan yang bergerak ke arah barat melebar ke arah utara hingga mencapai 5,0° lintang selatan, sedangkan pada saat musim timur 2015 cakupan Arus Ekuator Selatan hanya sampai di 5,5° lintang selatan. Kecepatan Arus Ekuator Selatan di perairan selatan Jawa-Sumbawa pada tahun 1997 mencapai 0,35 m/dt lebih kuat daripada tahun 2015 yang hanya mencapai 0,25 m/dt.

Pola arus permukaan di Samudera Hindia pada saat musim peralihan kedua (September-

Nopember) tahun 1997 dan pada periode yang sama tahun 2015 disajikan pada **Gambar 13**.

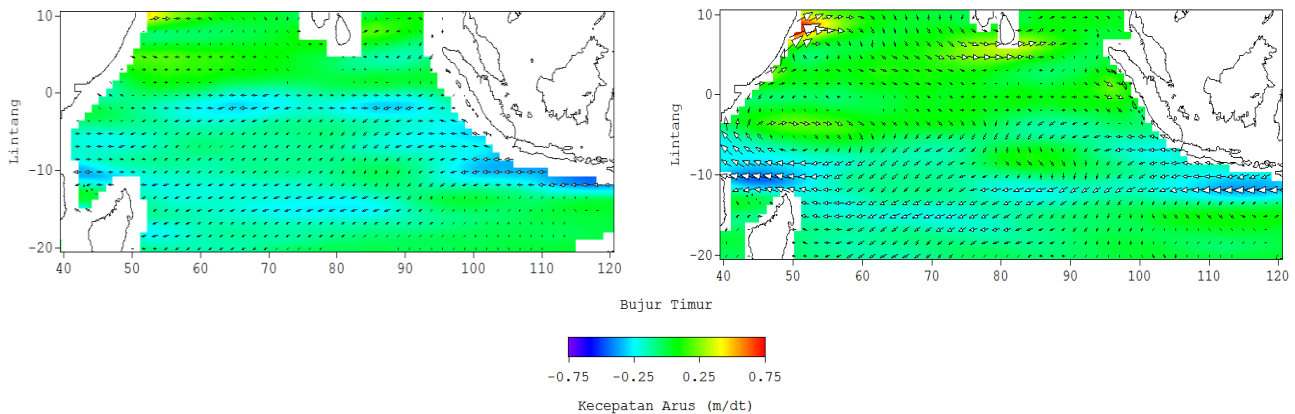
Cakupan Arus Ekuator Selatan pada saat musim timur 1997 semakin melebar ke utara hingga mencapai 2,8° lintang utara, sedangkan cakupan Arus Ekuator Selatan pada musim timur 2015 hanya mencapai di 4,5° lintang selatan. Kecepatan Arus Ekuator Selatan di perairan selatan Jawa-Sumbawa pada tahun 1997 semakin kuat mencapai 0,38 m/dt dan tahun 2015 yang hanya 0,25 m/dt.

Selama Periode *IOD* fase positif di musim timur dan musim peralihan kedua tahun 1997 cakupan dan kecepatan Arus Ekuator Selatan semakin luas dan besar, sehingga massa air permukaan di atas perairan selatan Jawa-Sumbawa semakin banyak yang ikut terdorong bergerak ke arah barat. Hal ini menyebabkan lapisan termoklin di perairan selatan Jawa-Sumbawa semakin naik ke atas. Semakin naik lapisan termoklin, maka intensitas *upwelling* selama musim timur dan musim peralihan kedua tahun 1997 makin kuat. Mekanisme ini yang menyebabkan konsentrasi klorofil-a pada periode *El Niño* 1997 jauh lebih tinggi daripada tahun 2015.

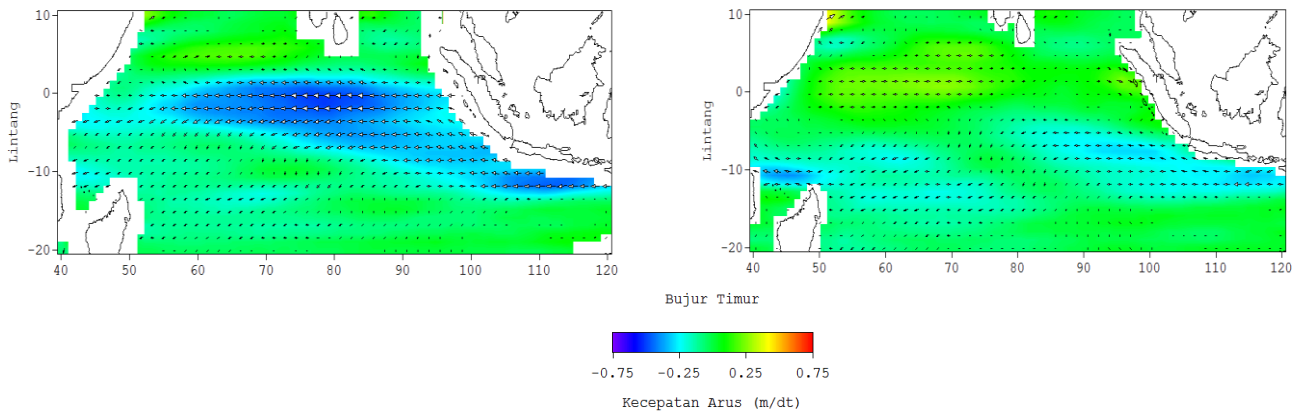
Faktor kedua yang menyebabkan kenaikan konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa

pada periode *El Niño* 1997 sangat tinggi adalah arus *eddy*. Arus *eddy* dapat menaikkan produktifitas primer mencapai 2-8 kali dibandingkan dengan daerah tidak terjadi arus *eddy* (Kumar, *et al.* 2004). Pada bulan September-Nopember 1997 di perairan selatan Jawa terbentuk arus *eddy* seperti disajikan pada **Gambar 14**. Dalam periode tersebut di perairan selatan Jawa terbentuk tiga arus *eddy*, sedangkan di perairan selatan Bali-Sumbawa tidak terbentuk.

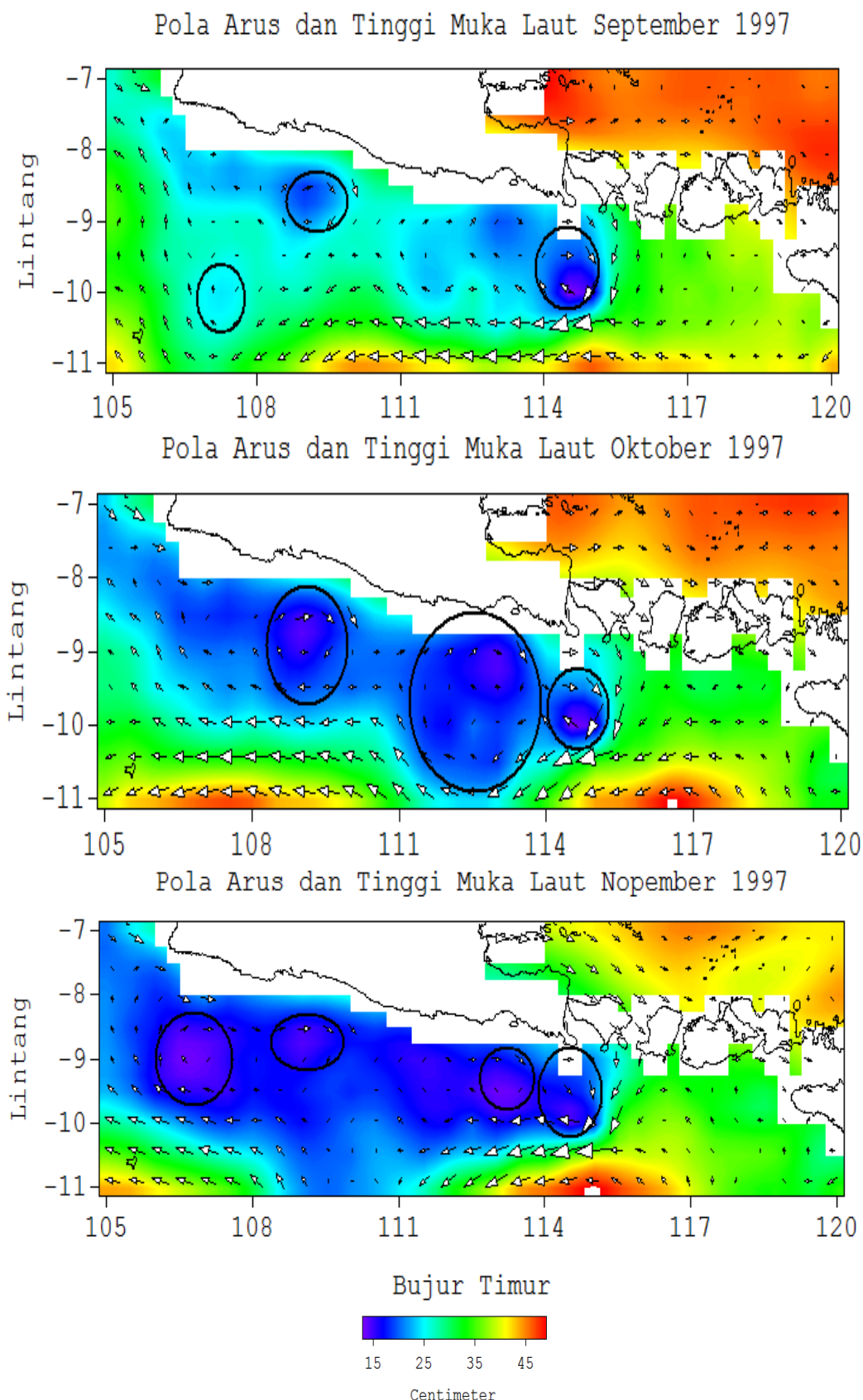
Arus *eddy* yang terbentuk bergerak searah dengan arah jarum jam. Karena terletak di belahan bumi bagian selatan, maka gerakan arus *eddy* ini dibelokkan ke arah kiri akibat pengaruh gaya *Coriolis* sehingga terjadi proses divergensi. Proses divergensi ini menyebabkan penurunan permukaan laut. Selama periode ini rata-rata tinggi muka laut perairan selatan Jawa lebih rendah daripada selatan Bali hingga Sumbawa. Penurunan permukaan laut di perairan selatan Jawa meningkatkan intensitas *upwelling* yang terjadi. Mekanisme inilah yang menyebabkan konsentrasi klorofil-a pada periode *El Niño* 1997 di perairan selatan Jawa lebih tinggi daripada di selatan Bali hingga Sumbawa.



Gambar 12. Pola Arus Permukaan Selama Musim Timur (Gambar Atas Tahun 1997 dan Gambar Bawah Tahun 2015).



Gambar 13. Pola Arus Permukaan Selama Musim Peralihan Kedua (Gambar Atas Tahun 1997 dan Gambar Bawah Tahun 2015).



Gambar 14. Arus Eddy di Perairan Selatan Jawa (Arus Eddy yang Dilingkari).

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil dapat disimpulkan bahwa konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa hingga Sumbawa tinggi terjadi pada saat

musim timur hingga musim peralihan kedua. Fenomena *El Niño* 1997 dan 2015 berdampak terhadap kenaikan konsentrasi klorofil-a di perairan Jawa hingga Sumbawa. Dengan kekuatan *El Niño* yang sama, tetapi kenaikan

konsentrasi klorofil-a periode tahun 1997 jauh lebih tinggi daripada periode tahun 2015. Di perairan selatan Jawa kenaikan konsentrasi klorofil-a pada periode *El Niño* 1997 mencapai 678% dan *El Niño* 2015 mencapai 78%, sedangkan di perairan selatan Bali-Sumbawa dalam periode *El Niño* 1997 mencapai 165% dan 69% dalam periode *El Niño* 2015. Fenomena *Indian Ocean Dipole* fase positif tahun 1997 merupakan faktor utama yang menyebabkan peningkatan konsentrasi klorofil-a tahun 1997 lebih tinggi daripada tahun 2015. Arus eddy searah dengan jarum yang terbentuk di perairan selatan Jawa periode *El Niño* 1997 menambah kekuatan intensitas *upwelling*, sehingga konsentrasi klorofil-a di perairan selatan Jawa lebih tinggi daripada di selatan Bali-Sumbawa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Safrudin yang telah memberikan saran dan masukan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Collins, M., Soon-Il An, Cai, W., Ganachaud, A., Guilyardi, E., Jin, F.F., Jochum, M., Lengaigne, M., Power, S., Timmermann, A., Vecchi, G., & Wittenberg, A. (2010). The Impact of Global Warming on the Tropical Pacific Ocean and El Niño. *Nature Geoscience*, 3(6), 391-397.
- Currie, J.C., Lengaigne, M., Vialard, J., Kaplan, D.M., Aumont, O., Naqvi, S.W.A., & Maury, O. (2013). Indian Ocean Dipole and El Niño/Southern Oscillation Impacts on Regional Chlorophyll Anomalies in the Indian Ocean. *Biogeosciences*, 10:6677-6698.
- Davey, M., Huddleston, M., & Brookshaw, A. (2011). Global Impact of El Niño and La Niña.
- D'Arrigo, R., & Wilson, R. (2008). El Niño and Indian Ocean Influences on Indonesian Drought: Implications for Forecasting Rainfall and Crop Productivity. *International Journal of Climatology*, 28(5), 611-616.
- Edward & Tarigan, M.S. (2003). Pengaruh Musim Terhadap Fluktuasi Kadar Fosfat dan Nitrat Di Laut Banda. *Makara Sains*, 7(2): 82-89.
- Gaol, J. L., Mahapatra, K., Okada, Y., Pasaribu, B. P., Manurung, D., & Nurjaya, I. W. (2002). Fish Catch Relative to Environmental Parameters Observed from Satellite During ENSO and Dipole Mode Events 1997/98 in South Java Sea. *Proceedings of PORSEC*, 411-417.
- Gaol, J. L., Leben, R. R., Vignudelli, S., Mahapatra, K., Okada, Y., Nababan, B., ... & Syahdan, M. (2015). Variability of Satellite-Derived Sea Surface Height Anomaly, and its Relationship with Bigeye Tuna (*Thunnus Obesus*) Catch in the Eastern Indian Ocean. *European Journal of Remote Sensing*, 48, 465-477.
- Hendiarti, N. (2008). Hubungan antara Keberadaan Ikan Pelagis dengan Fenomena Oseanografi dan Perubahan Iklim Musiman Berdasarkan Analisis Data Penginderaan Jauh. *Globè*, 10(1): 19-25.
- Hendon, H. H. (2003). Indonesian Rainfall Variability: Impacts of ENSO and Local Air-Sea Interaction. *Journal of Climate*, 16(1): 1775-1790.
- Irawan, B. (2002). *Stabilization of Upland Agriculture under El Niño-Induced Climatic Risk: Impact Assessment and Mitigation Measures in Indonesia*. CGPRT Centre Working Paper No.62.
- Kumar, S.P., Nuncio, M., Narvekar, J., Kumar, A., Sardesai, S., De Souza, S. N., & Madhupratap, M. (2004). Are Eddies Nature's Trigger to Enhance Biological Productivity in the Bay of Bengal?. *Geophysical Research Letters*, 31(7).
- Kunarso, K., Ningsih, N. S., & Supangat, A. (2005). Karakteristik Upwelling di Sepanjang Perairan Selatan NTT Hingga Barat Sumatera. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 10(1), 17-23.
- McPhaden, M.J. (2008). *El Niño-Southern Oscillation: An Introduction to Causes and Consequences*. ENSO Summer School. 14-23 June 2008. Hawaii.
- Meyers, G. (1996). Variation of Indonesian Throughflow and the El Niño-Southern Oscillation. *Journal of Geophysical Research*, 101(C5):12,255-12,263.
- Ningsih, N.S. (2003). Peranan Iklim pada Studi-Studi Kelautan. *Prosiding Seminar dan Lokakarya Aspek Klimatologi dan Lingkungan serta Pemanfaatannya*, Bandung 29-30 Januari 2003, 3-20.
- Ningsih, N. S., Rakhmaputeri, N., & Harto, A. B. (2013). Upwelling Variability Along the Southern Coast of Bali and in Nusa Tenggara Waters. *Ocean Science Journal*, 48(1), 49-57.
- Rojas, O., Li, Y., & Cumani, R. (2014). *Understanding the Drought Impact of El Niño on the Global Agricultural Areas: An Assessment Using FAO's Agricultural Stress Index (ASI)*.
- Ronghui, H., Renhe, Z., & Bangliang, Y. (2001). Dynamical Effect of the Zonal Wind Anomalies over the Tropical Western Pacific on ENSO Cycles. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 44(12), 1089-1098.
- Safitri, M., Cahyarini, S. Y., & Putri, M. R. (2010). Variasi Arus Arlindo dan Parameter Oseanografi di Laut Timor Sebagai Indikasi Kejadian ENSO [Indonesian Through Flow Variations and Oceanographic Parameters in Timor Sea As an Indication of ENSO Phenomenon]. *J Tropical Marine Science and Technology*, 4(2), 369-377.
- Saji, N.H., Goswami, B. N., Vinayachandran, P.N., & Yamagata, T. (1999). A Dipole Mode in the Tropical Indian Ocean. *Nature*, 410:360-363
- Surinati, D. (2009). Upwelling dan Efeknya terhadap Perairan Laut. *Oseana*, XXXIV(4): 35-42.
- Susanto, R. D., Gordon, A. L., & Zheng, Q. (2001). Upwelling Along the Coasts of Java and Sumatra and Its Relation to ENSO. *Geophysical Research Letters*, 28(8), 1599-1602.
- Susanto, R., & Marra, J. (2005). Chlorophyll a Variability. *Oceanography*, 18(4), 124.
- World Meteorological Organization (WMO). (2014). *El Niño/Southern Oscillation*. WMO-No. 1145. Geneva.

EKSTRAKSI INFORMASI PENUTUP LAHAN AREA LUAS DENGAN METODE *EXPERT KNOWLEDGE OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS* (OBIA) PADA CITRA LANDSAT 8 OLI PULAU KALIMANTAN

(*Landcover Extraction Over Large Area Using Expert Knowledge Object-Based Image Analysis on Landsat-8 Oli Imagery Over Borneo Island*)

Zylshal¹, Heri Susanto², dan Sarip Hidayat³

¹Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN

²Pusat Pengelolaan Ekoregion Kalimantan, KLHK

³Balai Penginderaan Jauh Parepare, LAPAN

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

E-mail: zylshal@lapan.go.id

Diterima (received): 04 Februari 2016; Direvisi (revised): 20 Maret 2016; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 5 April 2016

ABSTRAK

Ekstraksi informasi penutup/penggunaan lahan area luas seperti di Pulau Kalimantan umumnya terkendala oleh variasi nilai spektral di beberapa area yang berbeda, serta sulitnya mendapatkan hasil perekaman yang bebas dari awan. Klasifikasi visual, meski memberikan hasil yang baik, merupakan pekerjaan yang membutuhkan waktu dan tenaga yang relatif banyak, belum lagi potensi pengaruh subjektivitas interpreter. OBIA yang sudah mulai diterima dan banyak digunakan dalam klasifikasi digital bisa menjadi alternatif tambahan selain interpretasi visual maupun analisis digital berbasis piksel konvensional. Penelitian ini menggunakan data Landsat 8 OLI *orthorectified* yang telah melalui proses *mosaicking* dan *cloud masking* untuk mendapatkan citra satu Pulau Kalimantan yang bebas awan. Layer NDVI, MNDWI, NDBI, BSI, SAVI, dan *Built-up Index* kemudian diturunkan dari data Citra Landsat untuk dimasukkan ke dalam tahap segmentasi dan klasifikasi. Segmentasi dilakukan dengan menggunakan algoritma *Multiresolution Segmentation* dan *Spectral Difference Segmentation*. Klasifikasi dilakukan dengan menggunakan serangkaian *multilevel threshold* yang disusun dalam bentuk *decision tree*. Empat belas kelas penutup/penggunaan lahan kemudian berhasil diekstrak, dengan nilai *overall accuracy* 77,65%. Metode yang digunakan juga menunjukkan akurasi yang tinggi untuk kelas hutan lahan kering, perkebunan, kebun campur dan semak belukar dengan nilai akurasi di atas 80%. Hasil ini menunjukkan bahwa metode ini bisa dijadikan sebagai alternatif dalam mengidentifikasi dan mengekstrak informasi tutupan vegetasi untuk kegiatan pemetaan area luas.

Kata kunci: OBIA, area luas, perubahan penutupan/penggunaan lahan, citra landsat, *decision tree*

ABSTRACT

Large area landuse/landcover extraction such as on the island of Borneo using Landsat 8 data are generally constrained by the great variations in the spectral values, due to the vast use of different scenes with different acquisition time, as well as the fact that it almost impossible to get a completely cloud-free image of the whole island. Visual classification, despite the good results, is a labour-intensif job that requires a huge time and effort, not to mention the potential influence of interpreter's subjectivity. While the pixel based digital classification suffer from "salt pepper" effect as well as almost exclusively relied on spectral information, OBIA has been accepted and widely used in digital classification as an alternative for the visual interpretation and conventional pixel-based classification, with its ability to use additional contextual information. This study aimed to used OBIA method on Landsat 8 OLI cloudfree mosaic dataset for the whole Borneo region to create a landuse/landcover map using both spectral and contextual information, as well as ancillary DEM data. Additional layers of NDVI, MNDWI, NDBI, BSI, SAVI, and Built-up Index were then derived from Landsat data to be used in the segmentation and classification process. Multiresolution Segmentation algorithm and Spectral Difference Segmentation were then conducted respectively. The classification was done by using a series of multilevel crisp classification using thresholds in the form of a decision tree. Fourteen of landuse/landcover classes were then successfully extracted, with a value of 77.65% on overall accuracy. The proposed method showed reasonable high accuracy for the forest, plantation, mixed garden and shrub classes with the accuracy all above 80%. These results indicate that the proposed method can be used as an alternative to identify and extract information related to vegetation cover for large areamapping activities.

Keywords: OBIA, large area, land use cover change (LULC), landsat image, decision tree

PENDAHULUAN

Pulau Kalimantan yang sangat luas namun tidak didukung dengan ketersediaan sarana dan prasarana yang memadai sehingga sangat sulit untuk memperoleh data dan informasi secara utuh dan baik. Pemanfaatan teknologi citra satelit yang lebih murah dan efisien untuk memperoleh data dan informasi yang akurat akan sangat membantu dalam kegiatan inventarisasi sumber daya alam, khususnya menyangkut informasi penutup/penggunaan lahan. Hal ini sejalan dengan prioritas nasional 2010-2014 dan kontrak kinerja menteri lingkungan hidup yang berfokus pada penekanan laju deforestasi secara sungguh-sungguh dan pengendalian pencemaran serta penghentian kerusakan lingkungan.

Teknologi penginderaan jauh memiliki potensi dalam mengekstraksi data dan informasi mengenai SDA dan lingkungan. Data satelit penginderaan jauh dapat diolah, diinterpretasi dan dianalisis untuk memperoleh informasi sesuai dengan kebutuhan untuk program tertentu. 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 inventarisasi penutup/penggunaan lahan.

Informasi penutup/penggunaan lahan untuk area luas biasanya menggunakan data citra satelit resolusi rendah sebagai sumber data (De Fries, *et al.* 1998; Thenkabail, *et al.* 2005; Lunetta, *et al.* 2006). Penggunaan citra satelit resolusi rendah seperti ini biasanya memiliki keterbatasan dalam hal jumlah kelas penutup/penggunaan lahan yang diekstrak serta skala akhir pemetaan. Dalam penelitian ini, citra dengan resolusi yang lebih detil dari Landsat 8 OLI kemudian digunakan untuk mengekstrak informasi penutup/penggunaan lahan pada skala pemetaan 1:250.000. Interpretasi data citra resolusi menengah untuk area yang sangat luas seperti Pulau Kalimantan, ketika dilakukan secara manual (*on-screen digitation*) adalah sebuah pekerjaan berat (*labour-intensive task*).

Klasifikasi digital berbasis piksel kemudian menjadi alternatif untuk melakukan pemetaan secara cepat dan tidak memerlukan waktu dan tenaga yang lebih besar dibandingkan dengan interpretasi visual (Gong P, *et al.* 2013). Franklin dan Wulder (2002) secara komprehensif membahas tentang penggunaan klasifikasi digital berbasis piksel dan menjelaskan bahwa untuk klasifikasi menggunakan algoritma *decision tree*, data tambahan seperti DEM dan informasi tekstur bisa digunakan untuk meningkatkan hasil akurasi.

Analisis citra berbasis objek (*Object Based Image Analysis*, OBIA) saat ini semakin banyak digunakan. Khusus untuk pemetaan penutup/penggunaan lahan, beberapa penelitian sebelumnya menemukan bahwa, penggunaan metode OBIA mampu memberikan hasil yang lebih baik bila dibandingkan dengan metode klasifikasi

berbasis piksel (Whiteside dan Ahmad, 2005; Whiteside, *et al.* 2011; Duro, *et al.* 2011; Myint, *et al.* 2011).

Efek "*salt and pepper*" yang umum ditemukan di hasil klasifikasi citra berbasis piksel bisa diatasi dengan menggunakan metode OBIA (Blaschke, *et al.* 2000; Kim, *et al.* 2011; Doronova, *et al.* 2012). Dari beberapa penelitian tersebut, penggunaan metode OBIA pada umumnya hanya dilakukan pada area yang tidak terlalu besar, dan dilakukan pada citra resolusi tinggi/sangat tinggi. Dengan kemampuan untuk menggunakan informasi tekstual, penggunaan metode ini diharapkan dapat menjadi informasi tambahan untuk mengatasi variasi nilai spektral mosaik Citra Landsat 8 OLI yang digunakan. Penggunaan metode OBIA untuk pemetaan area luas masih belum pernah dilakukan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengekstrak informasi penutup/penggunaan lahan seluruh kawasan Pulau Kalimantan menggunakan metode *Expert Knowledge Object-based Image Analysis* pada Citra Landsat 8 OLI.

METODE

Pulau Kalimantan yang merupakan pulau terbesar ke-3 di dunia setelah Greenland dan Papua New Guinea, dan memiliki luas wilayah mencapai 544.150,47 km² dan merupakan salah satu pulau yang daratannya berbatasan langsung dengan negara tetangga Malaysia yaitu Sabah dan Serawak di bagian utara, bagian selatan dengan Laut Jawa, bagian timur dengan Selat Makassar dan bagian barat dengan Selat Karimata.

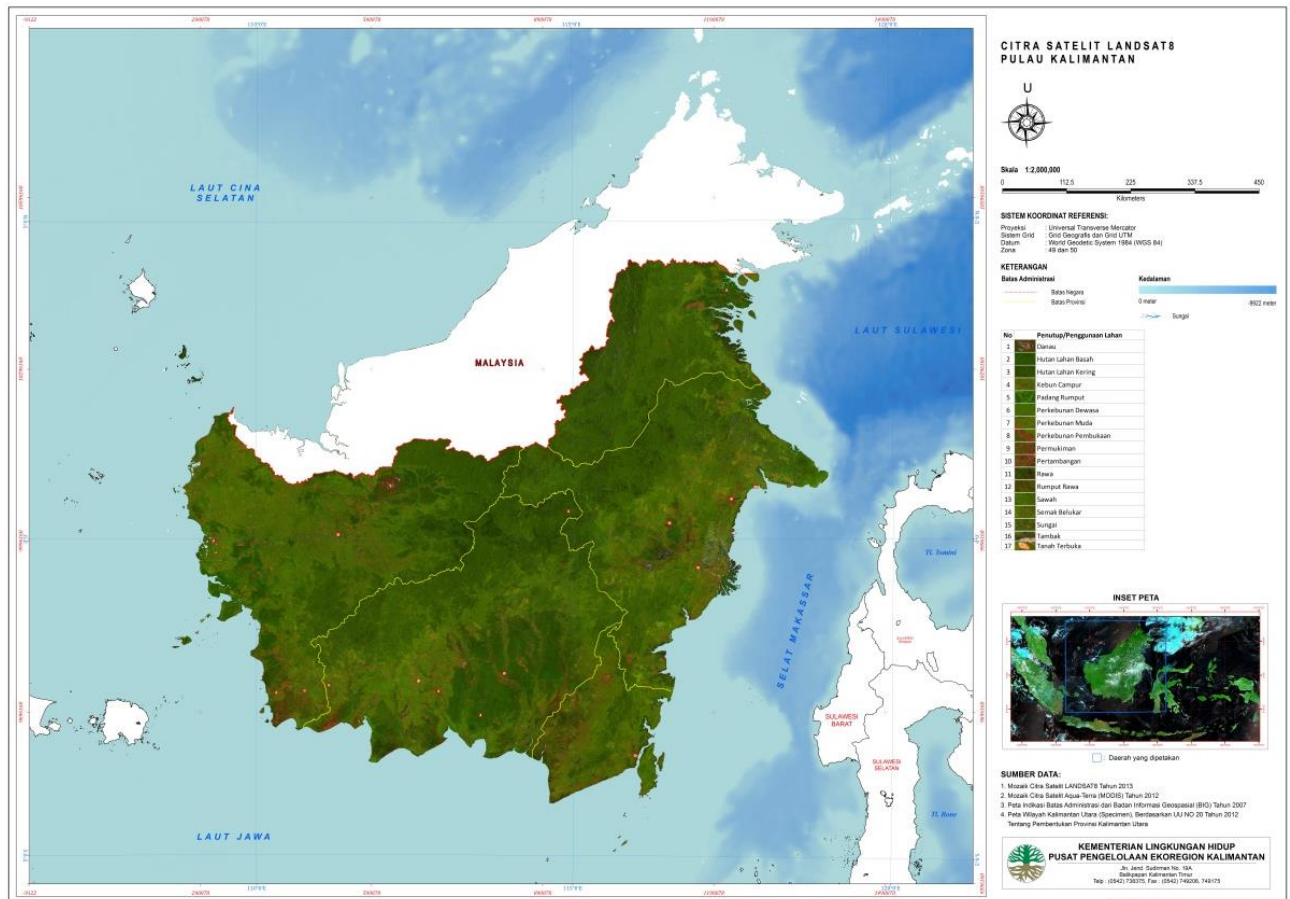
Dari luas wilayah tersebut, Pulau Kalimantan dibagi dalam lima wilayah administrasi provinsi yaitu Provinsi Kalimantan Barat, Provinsi Kalimantan Selatan, Provinsi Kalimantan Tengah, Provinsi Kalimantan Timur dan Provinsi Kalimantan Utara. Provinsi Kalimantan Utara merupakan provinsi pemekaran baru dari Provinsi Kalimantan Timur dengan luas mencapai 71.176,72 km² (KLH, 2014).

Penelitian ini dilakukan untuk seluruh area Kalimantan seperti yang disajikan pada **Gambar 1**. Area ini meliputi 5 provinsi yang ada di Kalimantan, mulai dari Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, dan Kalimantan Utara. Adapun luas wilayah masing-masing provinsi dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Luas Wilayah Administrasi Kalimantan.

No	Nama Provinsi	Luas Wilayah (km ²)
1	Kalimantan Barat	147.807,00
2	Kalimantan Tengah	153.564,50
3	Kalimantan Selatan	37.530,52
4	Kalimantan Timur	133.357,62
5	Kalimantan Utara	71.176,72

Sumber : KLH, 2014.

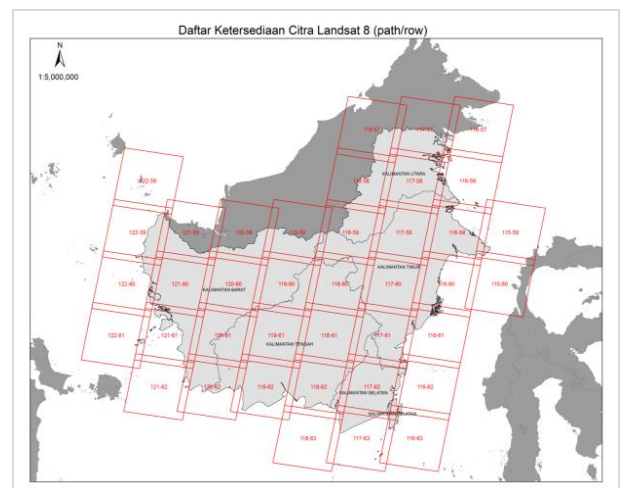


Gambar 1. Daerah Penelitian, dan Data Citra Landsat 8 OLI yang Digunakan untuk Kepentingan Visualisasi, Dibuat Komposit RGB 654.

Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah:

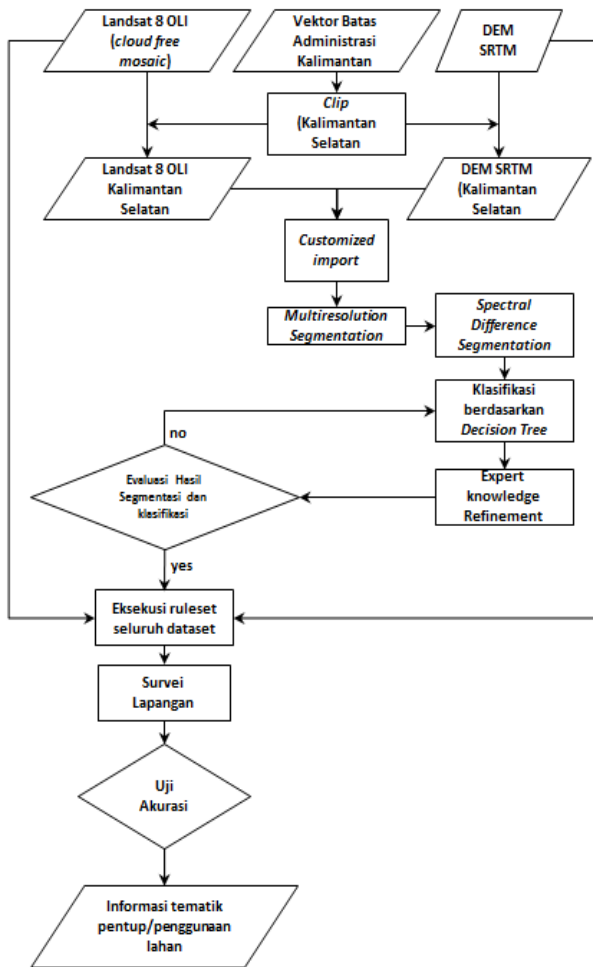
1. Citra Landsat 8 OLI *Orthorectified Cloudmasked*.
Proses ortorektifikasi dan masking awan dilakukan sepenuhnya oleh PUSTEKDATA LAPAN di Jakarta. Total ada 148 *scenes* Citra Landsat 8 sepanjang tahun 2013 yang digunakan pada penelitian ini (LAPAN, 2014). Path/rows citra yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 2**.
2. DEM SRTM 90 meter
Data ketinggian yang digunakan adalah data DTM SRTM v3, dengan resolusi spasial 90 meter yang diperoleh dari USGS. Penggunaan data spasial tambahan, dalam hal ini informasi ketinggian, dilakukan untuk memberikan tambahan informasi yang bisa digunakan dalam melakukan ekstraksi informasi penutup /penggunaan lahan (Franklin dan Wulder, 2002; Danoedoro P., 2009).
3. Peta batas administrasi BIG tahun 2008
Untuk peta batas administrasi ini, dilakukan modifikasi terkait dengan beberapa provinsi baru hasil pemekaran sampai dengan tanggal 3 Februari 2013. Modifikasi dilakukan dengan editing atribut dengan menggunakan hasil rapat Paripurna DPR tanggal 25 Oktober 2012 berdasarkan

Undang-undang Nomor 20 Tahun 2012 (Republik Indonesia, 2012).



Gambar 2. Path/Row Citra Landsat 8 yang digunakan.

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu tahap *preprocessing*, tahap segmentasi dan klasifikasi, serta tahap uji akurasi. Secara sederhana dapat dilihat melalui diagram alir penelitian yang disajikan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian.

Tahap *preprocessing* dilakukan untuk mempersiapkan *layer-layer* yang akan digunakan dalam tahap segmentasi dan klasifikasi. Tahap awal yang dilakukan adalah melakukan *mosaicking* terhadap data Citra Landsat 8 OLI, mengingat bahwa untuk liputan satu Pulau Kalimantan, dibutuhkan banyak *scene* yang berbeda. *Mosaicking* dilakukan dengan menggunakan beberapa *layer* yang diturunkan dari data Citra Landsat 8 OLI antara lain adalah:

a. *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) merupakan kombinasi antara teknik penisbahan dengan teknik pengurangan citra. NDVI mampu menonjolkan aspek kerapatan vegetasi (Rouse, *et al.* 1974). Secara matematis, formula yang digunakan untuk menghitung NDVI adalah sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

NIR = Nilai reflektans pada saluran inframerah dekat

R = Nilai reflektans pada saluran merah

Ada kalanya, indeks vegetasi yang dihasilkan dari operasi NDVI mendapat gangguan dari

respon spektral dari tanah, sehingga menjadikan index vegetasi yang ada menjadi kurang akurat. Gangguan latar belakang tanah adalah gangguan berupa variasi respon spektral tanah yang berbeda-beda. Untuk itu, digunakan indeks vegetasi yang lain yang memperhitungkan variabel tambahan ini.

b. *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) adalah salah satu indeks vegetasi yang biasa digunakan (Huete, 1988; dalam Jensen, 2005). Secara matematis, indeks ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} (1+L) \dots\dots\dots(2)$$

Dengan L adalah faktor koreksi untuk vegetasi, yang berkisar antara 0-1.0 untuk vegetasi sangat rapat dan 1 untuk vegetasi yang sangat jarang. Faktor pengali (1+L) digunakan agar nilai hasil transformasi berada pada rentang -1 sampai +1.

c. *Land and Water Mask Index* (LWM) sangat berguna untuk membedakan antara daratan dan tubuh air. Variabel ini sangat membantu dalam proses klasifikasi semua jenis tubuh air. Nilai indeks ini berkisar dari 0-255. Tubuh air, biasanya berada pada rentang 0 sampai 50. Secara matematis, LWM dapat dihitung dengan:

$$LWM = \frac{SWIR1}{G} * 100 \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

SWIR1 =Saluran inframerah tengah (*medium infrared*)

G =Saluran hijau (*green*)

SWIR1 pada Citra Landsat 7 berada pada saluran 5, sedangkan untuk kegiatan ini yang menggunakan Citra Landsat 8, SWIR1 berada pada saluran 6.

d. Transformasi spektral yang ditambahkan adalah berupa informasi *Bare Soil Index* (Rikimaru A. dan Miyatake S., 1997). Informasi ini ditambah dengan informasi *Normalized Diefference Built-up Index* (NDBI) dapat digunakan untuk memisahkan antara kelas penutup lahan lahan terbuka dan Lahan Terbangun. *Bare Soil Index* ini dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah:

$$BSO = \frac{(SWIR1 + R) - (NIR + B)}{(SWIR1 + R) + (NIR + B)} \dots\dots\dots(4)$$

Parameter-parameter ini selain digunakan pada tahap pembangunan *decision tree* juga digunakan dalam tahap *refinement* hasil klasifikasi. Untuk meringankan beban kerja unit GPU, tidak seluruh area Kalimantan diolah sekaligus. Pada penelitian ini, data Landsat 8 OLI yang telah dimosaik ini kemudian dipotong (*clip*) untuk daerah Kalimantan Selatan. Area Kalimantan Selatan

dipilih dengan pertimbangan bahwa, hampir seluruh jenis penutup lahan yang ada di wilayah Kalimantan terwakili oleh sampel di daerah Kalimantan Selatan ini.

Tahap selanjutnya adalah proses segmentasi dan klasifikasi. Pada tahap ini, pengolahan data dilakukan di lingkungan perangkat lunak Trimble® eCognition Developer 8. Pembangunan *ruleset* segmentasi dan klasifikasi dilakukan dengan metode *Expert Based trial* dan *error* (Blaschke dan Hay, 2001; Burnett dan Blaschke, 2003). Segmentasi dilakukan dalam bentuk hirarki multilevel, yang terdiri dari 3 level. Kelas-kelas penutup/penggunaan lahan dan level hirarki tahap klasifikasi tersaji pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Kelas-Kelas Penutup/Penggunaan Lahan dan Level Hirarki Tahap Klasifikasi.

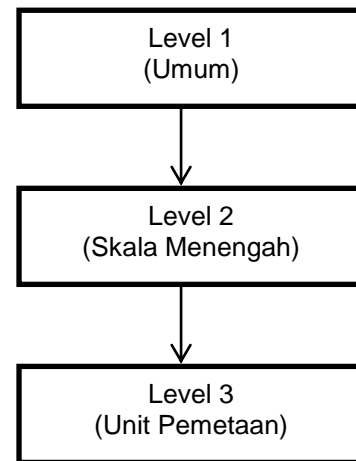
Level 1	Level 2	Level 3	
Vegetasi	Pertanian	Sawah	
		Perkebunan	
		Perkebunan Campuran	
	Non Pertanian	Semak Belukar	
		Padang Rumput, Sabana	
		Rumput Rawa	
		Hutan Lahan Kering	
		Hutan Lahan basah	
	Non Vegetasi	Lahan Terbuka	Tanah Terbuka
Perairan/ Tubuh Air	Permukiman dan Lahan Terbangun	Permukiman	
		Pertambangan	
		Danau	
		Tambak	
		Rawa	
	Sungai		

Sumber: SNI 7645:2010 dengan modifikasi

Klasifikasi dilakukan dengan menggunakan metode *crisp classification* dengan *multilevel threshold*. Operasi ini, dilakukan di lingkungan perangkat lunak eCognition dengan fungsi *assign class*. Nilai *threshold* yang digunakan untuk tiap kelas diperoleh dengan cara *trial* dan *error*.

Nilai awal ditentukan berdasarkan kajian pustaka yang dilakukan sebelumnya. Penelitian ini menggunakan 3 level kelas penutup/ penggunaan lahan, dengan hierarki level disajikan pada **Gambar 4**.

Uji akurasi dilakukan dengan menggunakan data survei lapangan sebagai data referensi. Survei lapangan dilakukan di bulan Oktober-November 2014. Sebanyak 1.065 titik berhasil dikumpulkan. Titik-titik survei ditentukan dengan menggunakan metode *stratified sampling*. Metode uji akurasi yang digunakan adalah dengan membangun *confusion matrix*s.



Gambar 4. Hierarki Level Segmentasi dan Klasifikasi.

Tahap berikutnya adalah tahap klasifikasi. Untuk tahap ini, sebuah *decision tree* kemudian dibangun dengan menggunakan beberapa parameter spektral dan kontekstual. *Flowchart decision tree* yang dibangun disajikan pada **Gambar 5**.

Klasifikasi yang dilakukan pada dasarnya adalah *crisp classification* dengan menggunakan nilai *threshold* untuk memisahkan kelas-kelas penutup lahan yang berbeda. Penentuan nilai *threshold* dilakukan dengan metode *trial* dan *error*.

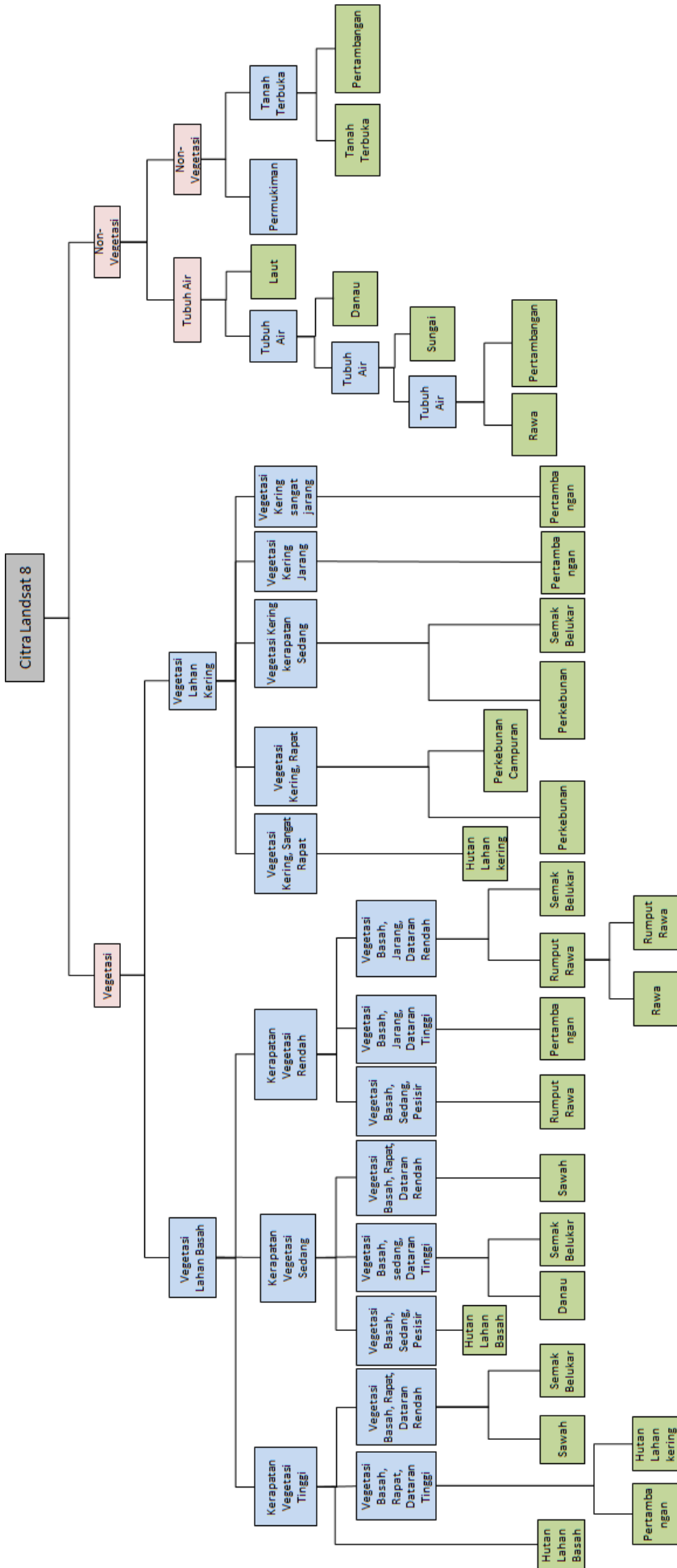
Beberapa nilai *threshold* yang digunakan disajikan pada **Tabel 3-6**.

Tabel 3. Nilai *Threshold* Pembagian Kerapatan Vegetasi Basah Berdasarkan NDVI.

Kelas Kerapatan Vegetasi	Nilai Threshold
Tinggi	-1 ~ 0,5
Sedang	0,5 ~ 0,7
Rendah	0,7 ~ 1

Tabel 4. Nilai *Threshold* Pembagian Kerapatan Vegetasi Basah Berdasarkan NDVI.

Kelas Kerapatan Vegetasi	Nilai Threshold
Sangat Tinggi	$-1 \leq BSO \leq -0,4$
Tinggi	$-0,4 < BSO \leq -0,3$
Sedang	$-0,3 < BSO \leq -0,2$
Rendah (Jarang)	$-0,2 < BSO \leq -0,1$
Sangat Rendah (Sangat Jarang)	$-0,1 < BSO \leq 1$



Gambar 5. Flowchart Decision Tree Tahap Klasifikasi.

Ket:

Kotak berwarna hijau menunjukkan kelas penutup/penggunaan lahan pada level 3 yang digunakan sebagai hasil akhir tahap klasifikasi.

Kotak berwarna merah menunjukkan kelas penutup/penggunaan lahan level 1

Tabel 5. Nilai Threshold Pembagian Area Vegetasi Basah Berdasarkan NDVI.

Kelas Vegetasi Basah	Area	Nilai Threshold
Kerapatan Tinggi	Pesisir	Jarak ≤ 5km dari Laut,
	Lahan Rendah	Jarak > 5km dari Laut, Nilai DEM < 50 meter
	Lahan Tinggi	Jarak > 5km dari Laut, Nilai DEM > 50 meter
Kerapatan Sedang	Pesisir	Jarak ≤ 5km dari Laut,
	Lahan Rendah	Jarak > 5km dari Laut, Nilai DEM < 50 meter
	LahanTinggi	Jarak > 5km dari Laut, Nilai DEM > 50 meter
Kerapatan Rendah (Jarang)	Pesisir	Jarak ≤ 5km dari Laut
	Lahan Rendah	Jarak > 5km dari Laut Nilai DEM < 50 meter
	Lahan Tinggi	Jarak > 5km dari Laut Nilai DEM > 50 meter

Tabel 6. Nilai Threshold Pembagian Area Vegetasi Kering Berdasarkan NDVI.

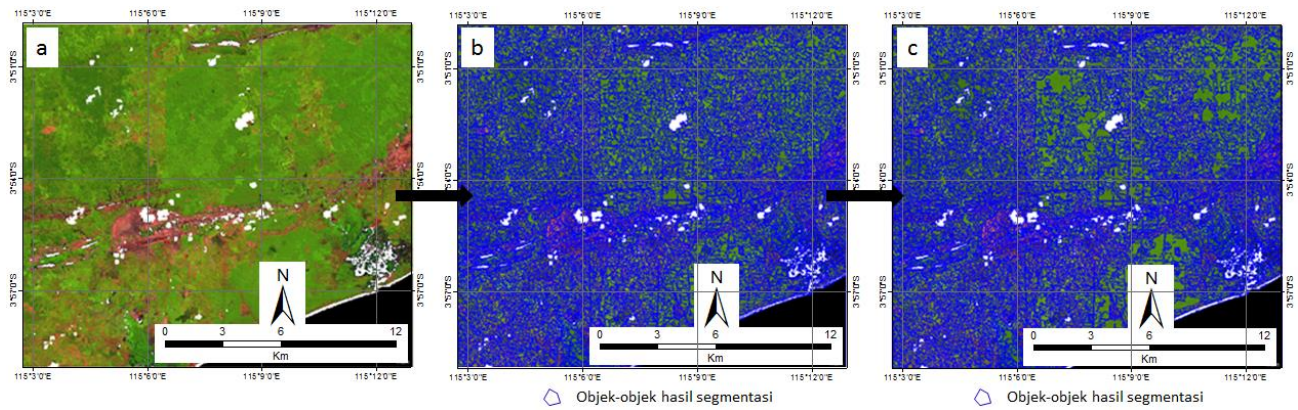
Kelas Vegetasi Basah	Area	Nilai Threshold
Kerapatan Sangat Tinggi	Pesisir	Jarak ≤ 5km dari Laut
	Lahan Rendah	Jarak > 5km dari Laut Nilai DEM < 50 meter
	Lahan Tinggi	Jarak > 5km dari Laut Nilai DEM > 50 meter
Kerapatan Tinggi	Pesisir	Jarak ≤ 5km dari Laut
	Lahan Rendah	Jarak > 5km dari Laut Nilai DEM < 50 meter
	Lahan Tinggi	Jarak > 5km dari Laut Nilai DEM > 50 meter
Kerapatan Sedang	Pesisir	Jarak ≤ 5km dari Laut
	Lahan Rendah	Jarak > 5km dari Laut Nilai DEM < 50 meter
	Lahan Tinggi	Jarak > 5km dari Laut Nilai DEM > 50 meter
Kerapatan Rendah (Jarang)	Pesisir	Jarak ≤ 5km dari Laut
	Lahan Rendah	Jarak > 5km dari Laut Nilai DEM < 50 meter
	Lahan Tinggi	Jarak > 5km dari Laut Nilai DEM > 50 meter
Kerapatan Sangat Rendah (Sangat Jarang)	Pesisir	Jarak ≤ 5km dari Laut
	Lahan Rendah	Jarak > 5km dari Laut Nilai DEM < 50 meter
	Lahan Tinggi	Jarak > 5km dari Laut Nilai DEM > 50 meter

HASIL DAN PEMBAHASAN

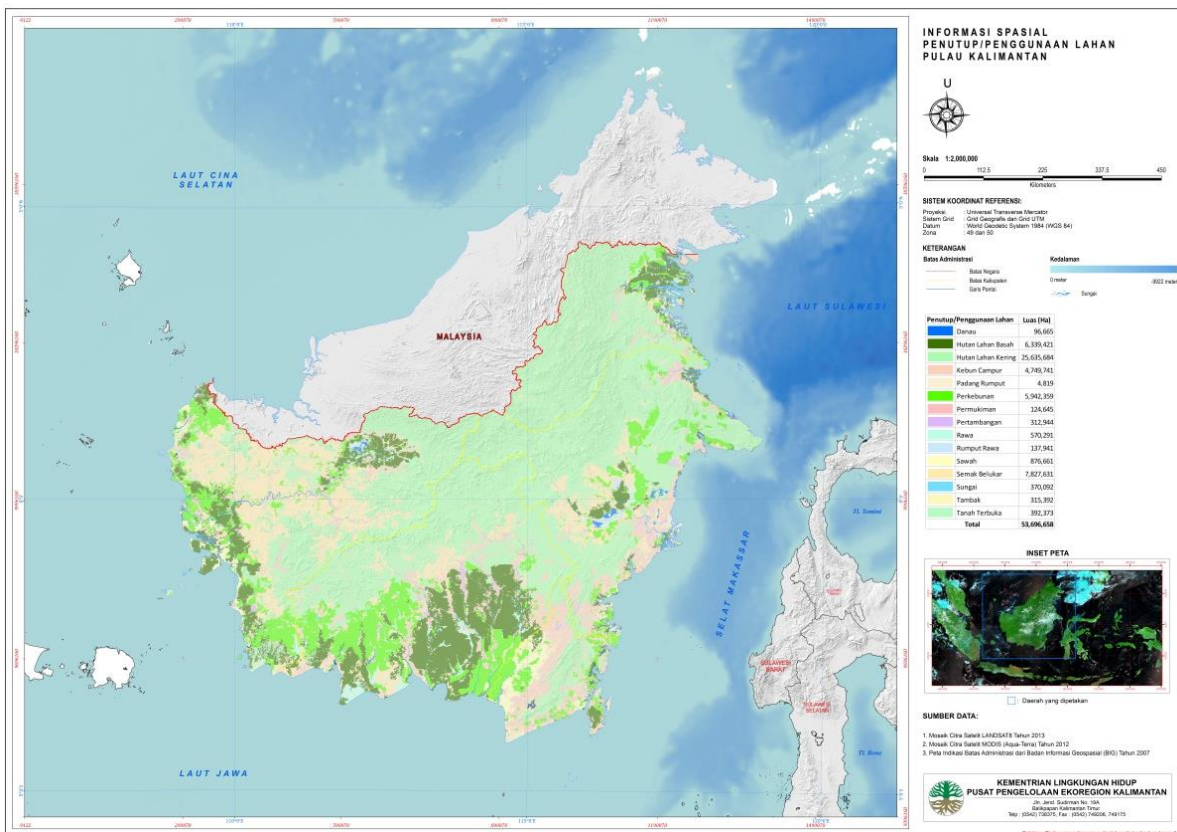
Hasil segmentasi spektral tahap 2 dengan algoritma *spectral difference segmentation*, meski secara sekilas terlihat menghasilkan objek-objek yang *over-segmented*, akan tetapi dari hasil *trial* dan *error* yang dilakukan, hasil ini dianggap sesuai dengan ukuran objek yang kelas penutup/ penggunaan lahan pada skala 1:250.000 sesuai dengan tujuan penelitian seperti yang disajikan pada **Gambar 6**. Parameter segmentasi yang digunakan pada masing-masing level dapat dilihat melalui **Tabel 7**.

Tabel 7. Parameter Klasifikasi Kelas Non Vegetasi.

Parameter	Level 1	Level 2
Algoritma Segmentasi	Multiresolution Segmentation	Spectral Difference Segmentation
Layers input	Blue, Green, Red, NIR, SWIR1, SWIR2	Blue, Green, Red, NIR, SWIR1, SWIR2
Scale	850	Maximum Spectral Difference 500
Shape	0.01	
Compactness	0.9	



Gambar 6. Hasil Operasi Dua Tahap Segmentasi pada andsat 8 OLI, (a) RGB 654 Sebagian andsat 8 OLI, (b) Hasil Segmentasi dengan Algoritma *Multiresolution Segmentation*, (c) Hasil Segmentasi dengan Algoritma *Spectral Difference Segmentation*.



Gambar 7. Hasil Klasifikasi Penutup/Penggunaan Lahan dengan Metode OBIA.

Gambar 6 menunjukkan hasil klasifikasi penutup/penggunaan lahan dengan metode OBIA sementara melalui **Gambar 7**, terlihat bahwa ada 5 kelas penutup/penggunaan lahan dengan nilai akurasi hasil klasifikasi di atas 70%, yang terdiri dari kelas perkebunan, hutan lahan kering, kebun campur, semak belukar, dan permukiman. Hasil ini menunjukkan bahwa, untuk kelas penutup lahan vegetasi kering, khususnya dengan tutupan area yang luas, algoritma yang dibangun mampu mengekstrak informasi ini dengan baik. Untuk kelas rawa, rumput rawa, dan tambak, yang memiliki nilai akurasi 0%, kemungkinan besar diakibatkan oleh masih kurangnya jumlah sampel yang diambil untuk kelas ini. Alasan utama kurangnya jumlah sampel untuk 3 kelas ini, khususnya untuk kelas rawa dan rumput rawa

adalah sulitnya akses untuk menuju area tersebut di lapangan.

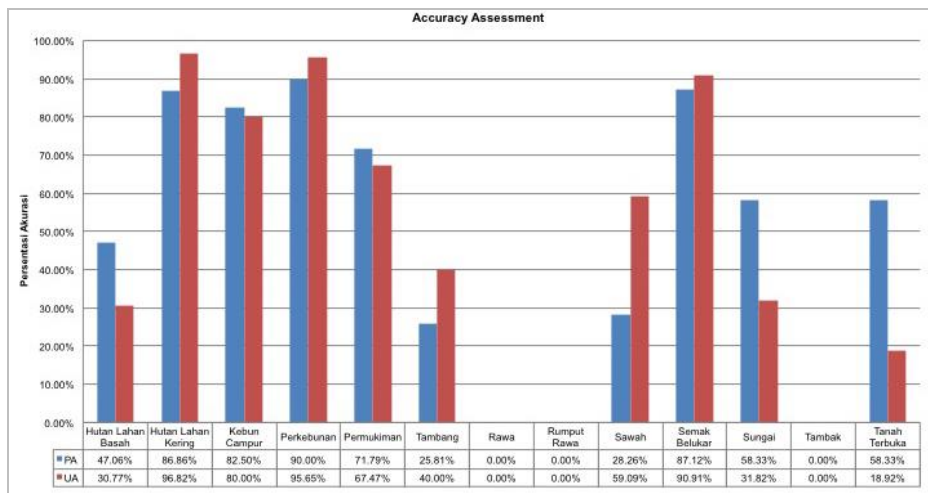
Satu hal yang perlu diingat adalah pada penelitian ini metode uji akurasi yang dilakukan sebenarnya masih mengadopsi metode uji akurasi yang dikembangkan untuk metode klasifikasi berbasis piksel. Pada saat penelitian ini dilakukan, referensi mengenai uji akurasi hasil klasifikasi berbasis objek memang masih belum banyak tersedia. Sehingga diputuskan untuk tetap menggunakan metode *error matriks*. Whiteside, *et al.* (2014) memberikan *framework* yang bisa digunakan untuk melakukan evaluasi hasil klasifikasi berbasis objek. Hanya saja, ketika akan menggunakan metode uji akurasi berbasis objek, maka model sampel yang dikumpulkan di lapangan yang akan digunakan sebagai data

referensi juga harus disesuaikan menjadi berbasis *polygon*. Hal ini tentu akan berpengaruh pada waktu pengumpulan data lapangan yang akan semakin lama. Alternatifnya adalah dengan menggunakan data citra dengan resolusi spasial yang lebih tinggi, atau jika melihat tren yang ada sekarang bisa dicoba dilakukan dengan menggunakan foto udara dari UAV. Uji akurasi hasil klasifikasi OBIA disajikan pada **Gambar 8**.

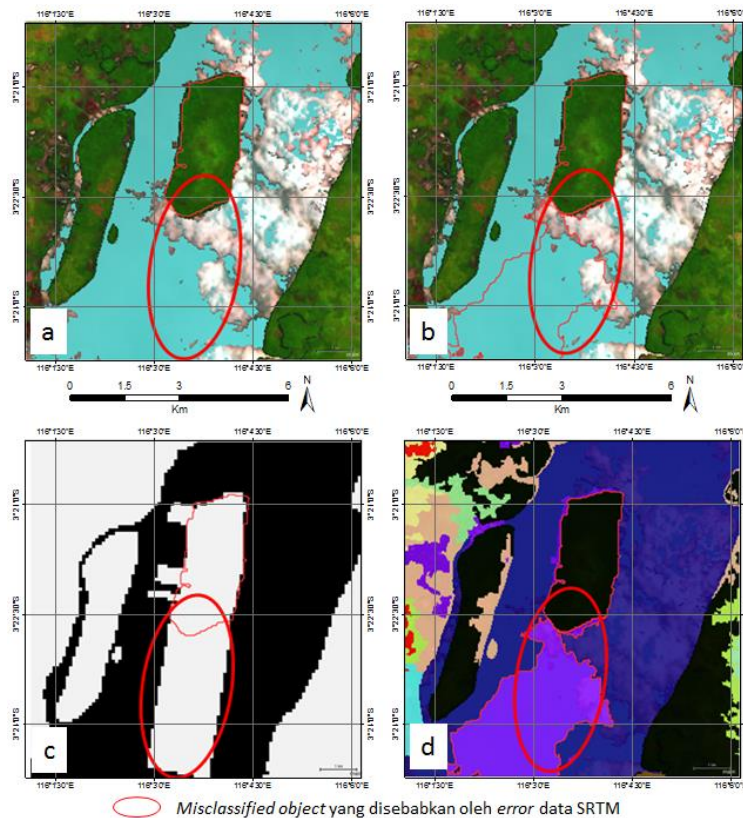
Pada **Gambar 9a**, terlihat bahwa area yang ditandai seharusnya adalah area laut, akan tetapi pada data DEM SRTM area tersebut memiliki nilai ketinggian di atas 0 tersaji pada **Gambar 9b**. Akibatnya, adalah tahap segmentasi tersaji pada **Gambar 9c** dan klasifikasi tersaji pada **Gambar**

9d, area tersebut tidak diklasifikasikan ke dalam kelas “Laut” sebagaimana mestinya, akan tetapi sebagai tambak.

Penelitian ini juga menemukan bahwa dengan menggunakan metode OBIA, terdapat satu tambahan kelas penutup/penggunaan lahan yang tidak masuk ke dalam kelas penutup/penggunaan lahan menurut SNI 2010, yakni kelas “Genangan Sisa Tambang” khususnya pada daerah bekas pertambangan batubara. Pada penelitian ini, kelas “Genangan Sisa Tambang” tidak dimunculkan sebagai kelas pada level 3, dan hanya kemudian digunakan untuk mengidentifikasi daerah pertambangan dan pada akhirnya dilebur (*merge*) dengan kelas pertambangan.



Gambar 8. Uji Akurasi Hasil Klasifikasi OBIA



Gambar 9. Kesalahan Data SRTM yang Mengakibatkan *Error* pada Tahap Segmentasi dan Klasifikasi, (a) andsat RGB 654, (b) Hasil Segmentasi yang Kurang Sempurna, (c) *Error* Data SRTM Berupa *Over Exceed* Data, (d) Kesalahan Hasil Klasifikasi.

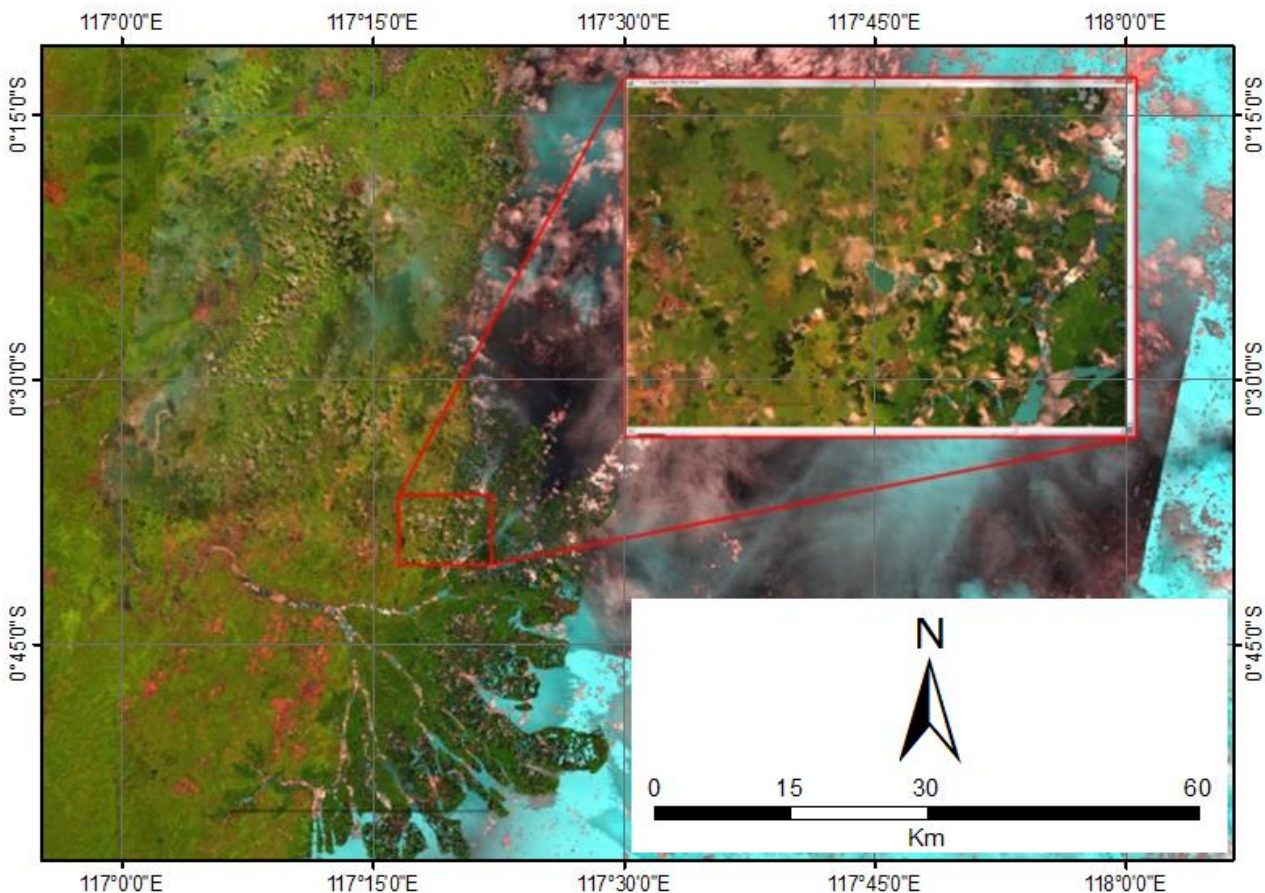
Gambar 10 menunjukkan daerah Samarinda dan Bontang yang masih menampilkan awan. Hal ini terjadi karena untuk wilayah tersebut memang relatif tidak pernah bersih dari awan, sehingga hasil tambalan awan-awan kurang begitu maksimal. Hal ini berakibat pada nilai *error* yang tinggi terhadap hasil segmentasi dan klasifikasi final. Perbaikan dengan interpretasi visual kemudian dilakukan untuk menekan nilai *error* ini, meskipun hasilnya tidak maksimal.

Tantangan terbesar ketika melakukan pemetaan untuk area luas, seperti yang dihadapi pada penelitian ini adalah bahwa dengan jumlah data yang tinggi serta tanggal perekaman sepanjang tahun adalah variasi nilai spektral yang ada pada citra. Hal ini bisa ditekan dengan baik menggunakan informasi kontekstual dan data ketinggian. Akan tetapi, ketika sebuah area memiliki *cloud coverage* yang luas dan *persistent* seperti di daerah ekuator pada umumnya, maka proses interpretasi baik digital maupun visual menjadi sulit untuk dilakukan. Tantangan lain yang dialami adalah pada saat pengumpulan data lapangan. Karena area yang sangat luas, titik-titik pengambilan sampel yang telah dirancang sebelumnya, tidak semuanya bisa direalisasikan. Dengan waktu pengambilan sampel lapangan yang hanya berlangsung selama 10 hari, oleh 3 tim untuk seluruh Kalimantan, titik-titik sampel

masih kurang representatif dalam hal distribusi posisinya. Salah satu hal yang bisa dilakukan untuk mengatasi hal ini selanjutnya adalah menggunakan citra SPOT6 yang memiliki resolusi spasial lebih tinggi. Saat ini, PUSTEKDATA LAPAN sedang membangun database citra SPOT 6/7 untuk seluruh Indonesia. Jika nantinya datanya sudah meliputi seluruh area Kalimantan, hal ini kemudian bisa dijadikan salah satu metode uji akurasi hasil klasifikasi data Landsat 8.

Data Landsat 8 sengaja dipilih karena sebagai kelanjutan dari program Landsat Data *Continuity Mission* (LDCM) (Lillesand dan Kiefer, 2005), pembangunan metode klasifikasi pada data ini kemudian nantinya bisa diaplikasikan pada data Landsat generasi lain, sehingga bisa digunakan sebagai salah satu alat monitoring.

Penelitian ini pada dasarnya membangun *ruleset* yang bisa disimpan sendiri untuk bisa digunakan pada dataset lain, sehingga akan menarik jika nantinya performa *ruleset* yang ada pada penelitian ini dibandingkan dengan aplikasi *ruleset* pada daerah yang sama, tapi dengan dataset yang berbeda tanggal perekaman untuk melihat konsistensi dari *ruleset* algoritma yang dibangun. Performa *ruleset* ini juga bisa dibandingkan dengan hasil dari *Google Earth Engine*® yang baru-baru ini dirilis oleh Google.Inc.



Gambar 10. RGB 654 Hasil *Cloud Masking* yang Masih Menyisakan Awan untuk Daerah Samarinda.

KESIMPULAN

Penggunaan metode klasifikasi digital berbasis objek dalam melakukan klasifikasi penutup/penggunaan lahan untuk area luas seperti Pulau Kalimantan mampu memangkas waktu interpretasi dan sumberdaya manusia. Meski tidak semua kelas penutup penggunaan lahan skala 1:250.000 dapat identifikasi dan diekstrak dengan baik, akan tetapi kelas perkebunan, hutan lahan kering, kebun campuran, semak belukar, dan permukiman memberikan nilai akurasi yang sangat baik. Karena dilakukan dengan semi-otomatis, hal ini kemudian bisa dijadikan salah satu pilihan untuk menggunakan metode serupa dengan lebih memfokuskan pada kenampakan hutan dan perkebunan, yang bisa dipakai sebagai salah satu alat monitoring.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada KLHK Pusat Pengelolaan Ekoregion Kalimantan, yang mendanai penelitian ini, dan juga kepada Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh LAPAN dan Balai Penginderaan Jauh LAPAN Parepare yang telah memberikan data citra.

DAFTAR PUSTAKA

- Blaschke, T., Lang, S., Lorup, E., Strobl, J., & Zeil, P. (2000). Object-Oriented Image Processing in an Integrated GIS/Remote Sensing Environment and Perspectives for Environmental Applications. *Environmental information for planning, politics and the public*, 2, 555-570.
- Blaschke, T., & Hay, G. J. (2001). Object-Oriented Image Analysis and Scale-Space: Theory and Methods for Modeling and Evaluating Multiscale Landscape Structure. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 34(4), 22-29.
- Burnett, C., & Blaschke, T. (2003). A Multi-Scale Segmentation/Object Relationship Modelling Methodology For Landscape Analysis. *Ecological modelling*, 168(3), 233-249.
- Danoedoro, P. (2009). Land-use Information from the Satellite Imagery: Versatility and Contents for Local Physical Planning.
- De Fries, R. S., Hansen, M., Townshend, J. R. G., & Sohlberg, R. (1998). Global Land Cover Classifications at 8 Km Spatial Resolution: the use of Training Data Derived from Landsat Imagery in Decision Tree Classifiers. *International Journal of Remote Sensing*, 19(16), 3141-3168.
- Duro, D. C., Franklin, S. E., & Dubé, M. G. (2012). A Comparison of Pixel-Based and Object-Based Image Analysis with Selected Machine Learning Algorithms for the Classification of Agricultural Landscapes Using SPOT-5 HRG Imagery. *Remote Sensing of Environment*, 118, 259-272.
- Franklin, S. E., & Wulder, M. A. (2002). Remote Sensing Methods in Medium Spatial Resolution Satellite Data Land Cover Classification of Large Areas. *Progress in Physical Geography*, 26(2), 173-205.
- Gong, P., Wang, J., Yu, L., Zhao, Y., Zhao, Y., Liang, L., ... & Li, C. (2013). Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover: First Mapping Results with Landsat TM and ETM+ Data. *International Journal of Remote Sensing*, 34(7), 2607-2654.
- Dronova, I., Gong, P., Clinton, N. E., Wang, L., Fu, W., Qi, S., & Liu, Y. (2012). Landscape Analysis of Wetland Plant Functional Types: The Effects of Image Segmentation Scale, Vegetation Classes and Classification Methods. *Remote Sensing of Environment*, 127, 357-369.
- Jensen, J. R., & Lulla, K. (1987). Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective.
- Kim, M., Warner, T. A., Madden, M., & Atkinson, D. S. (2011). Multi-Scale GEOBIA with Very High Spatial Resolution Digital Aerial Imagery: Scale, Texture and Image Objects. *International Journal of Remote Sensing*, 32(10), 2825-2850.
- KLH, (2014). *Laporan Informasi Spasial Penutup/Penggunaan Lahan Pulau Kalimantan Berbasis Citra Satelit Penginderaan Jauh Resolusi Menengah*. Kalimantan Timur: Kementerian Lingkungan Hidup – Pusat Pengelolaan Ekoregion Kalimantan.
- LAPAN (2014). The Remote Sensing Monitoring Program of Indonesia's National Carbon Accounting System: Methodology and Products, Version 1. *LAPAN-IAFCP*. Jakarta.
- Lillesand T. M., Kiefer R. W., Chipman J. W., (2005). *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons.
- Lunetta, R. S., Knight, J. F., Ediriwickrema, J., Lyon, J. G., & Worthy, L. D. (2006). Land-Cover Change Detection Using Multi-Temporal MODIS NDVI Data. *Remote sensing of environment*, 105(2), 142-154.
- Myint, S. W., Gober, P., Brazel, A., Grossman-Clarke, S., & Weng, Q. (2011). Per-Pixel vs. Object-Based Classification of Urban Land Cover Extraction Using High Spatial Resolution Imagery. *Remote sensing of environment*, 115(5), 1145-1161.
- Republik Indonesia, 2012. Undang-Undang No. 20 Tahun 2012 tentang Pembentukan Provinsi Kalimantan Utara. Sekretarian Negara. Jakarta.
- Rouse Jr, J., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *NASA special publication*, 351, 309.
- Rikimaru, A., & Miyatake, S. (1997). Development of Forest Canopy Density Mapping and Monitoring Model Using Indices of Vegetation, Bare Soil and Shadow. Available at <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1997/ts5/index.shtm>.
- SNI., (2010). Standar Nasional Indonesia Klasifikasi Penutup Lahan. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Thenkabail, P. S., Schull, M., & Turrall, H. (2005). Ganges and Indus River Basin Land Use/Land Cover (LULC) and Irrigated Area Mapping Using Continuous Streams of MODIS Data. *Remote Sensing of Environment*, 95(3), 317-341.
- Trimble. 2013. eCognition Developer 8.9. Reference Book, München
- Whiteside, T., & Ahmad, W. (2005, September). A Comparison of Object-Oriented and Pixel-Based Classification Methods for Mapping Land Cover in Northern Australia. In *Proceedings of SSC2005 Spatial intelligence, innovation and praxis: The national biennial Conference of the Spatial Sciences Institute* (pp. 1225-1231).

Whiteside, T. G., Boggs, G. S., & Maier, S. W. (2011). Comparing Object-Based and Pixel-Based Classifications for Mapping Savannas. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(6), 884-893.

Whiteside, T. G., Maier, S. W., & Boggs, G. S. (2014). Area-Based and Location-Based Validation Of Classified Image Objects. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 28, 117-130.

MODEL PERUBAHAN PENUTUPAN/PENGGUNAAN LAHAN UNTUK IDENTIFIKASI LAHAN KRITIS DI KABUPATEN BOGOR, KABUPATEN CIANJUR, DAN KABUPATEN SUKABUMI

(Land Use/Cover Change Models to Identify the Critical Land in Bogor Regency, Cianjur Regency, and Sukabumi Regency)

Siti Hadjar Kubangun¹, Oteng Haridjaja², dan Komarsa Gandasasmita²

¹Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Papua

²Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Jl. Gunung Salju, Amban, Manokwari, Papua Barat, Indonesia

E-mail : sh.kubangun@gmail.com

Diterima (received): 25 Januari 2016; Direvisi (revised): 1 Maret 2016; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 5 April 2016

ABSTRAK

Pemanfaatan lahan yang melampaui kemampuan lahannya, dapat mengakibatkan degradasi lahan. Degradasi lahan jika dibiarkan akan menimbulkan lahan kritis. Dampak yang terjadi akibat lahan kritis mengakibatkan lahan mengalami penurunan kualitas sifat-sifat tanah, penurunan fungsi konservasi, fungsi produksi, hingga berpengaruh pada kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat yang memanfaatkan lahan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi lahan kritis, berdasarkan pemodelan perubahan penutupan/penggunaan lahan dengan metode *Artificial Neural Network* (ANN). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa lahan-lahan yang tergolong kritis mencakup lahan berlereng dengan penutupan/penggunaan lahan yang telah terkonversi. Faktor utama penyebab konversi lahan adalah tingginya kebutuhan hidup terhadap pangan, sandang, dan papan, akibat meningkatnya kepadatan penduduk. Selain hal tersebut, kemiringan lereng, jarak dari jalan, dan jarak dari permukiman juga menjadi faktor penyebab perubahan lahan. Upaya pemanfaatan lahan sebaiknya didukung oleh peningkatan kualitas sumber daya manusia, yang tidak hanya berorientasi pada kebutuhan sosial dan ekonomi, namun juga berorientasi pada lingkungan yang berkelanjutan.

Kata kunci: jaringan saraf tiruan, perubahan penutupan/penggunaan lahan, model spasial, lahan kritis.

ABSTRACT

Over used of land can caused the degradation, it can be lead to the critical of the land. The impacts of this issue such as the decreasing of the soil characteristics quality, conservation function, production, affecting social and economic of the society which used the land. This research aims to identify the critical land based on the land use cover change models with Artificial Neural Network (ANN) method. This research shows the critical lands including land with the slope which has been converted with the land use cover change models. The main factors caused land converse are the high of need of food, clothing, and shelter, cause of the increasing population density. Besides those factors, the shape of slope, distance from the road and settlements are also the result of the land changing. The efforts in using the land should be supported by the increasing of the human resources, which are not only be oriented on the need of social and economic, but also on the sustainable environment.

Keywords: artificial neural network (ANN), land use cover change (LUCC), spatial models, critical land.

PENDAHULUAN

Penggunaan lahan yang melampaui kemampuan lahannya, sangat berpotensi menyebabkan lahan terdegradasi, jika keadaan ini terus dibiarkan akan memicu terjadinya lahan kritis (Barus, *et al.* 2011). Dampak yang terjadi akibat lahan kritis, tidak hanya mengakibatkan lahan mengalami penurunan kualitas dan produktifitas, namun membahayakan sosial ekonomi masyarakat. Akibat dampak tersebut, lahan kritis saat ini menjadi perhatian penting dari berbagai pihak.

Penanganan lahan kritis oleh berbagai instansi/lembaga terkait yang selama ini telah

dilaksanakan adalah dengan cara Reboisasi. Hal ini menunjukkan bahwa lahan kritis kerap dihubungkan dengan penutupan/ penggunaan lahan. Penutupan/penggunaan lahan merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap erosi. Pentingnya penutupan/ penggunaan lahan yakni dalam hal mengurangi kekuatan energi kinetik air hujan (Sitorus, *et al.* 2011), selain faktor sifat fisik lahan yang memang sulit diubah, seperti curah hujan yang tinggi, lereng yang curam, dan tanah yang rentan erosi.

Dengan demikian, untuk melihat potensi lahan menjadi kritis, salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah dengan mengkaji perubahan

penutupan/penggunaan lahan. Dalam kaitannya dengan lahan kritis, lahan-lahan yang mengalami perubahan penutupan yang sebelumnya rapat, berubah menjadi jarang, merupakan lahan-lahan yang berpotensi mengalami kritis; sebagai contoh, perubahan lahan hutan (primer, sekunder ataupun hutan tanaman) menjadi lahan budidaya (tegalan/ladang), permukiman, semak belukar, atau bahkan menjadi lahan terbuka.

Perubahan penutupan/penggunaan lahan diilustrasikan sebagai semua bentuk intervensi manusia terhadap lahan dalam rangka memenuhi kebutuhan hidup baik materil maupun spiritual (Arsyad, 2010). Perubahan lahan akan terus berlangsung sejalan dengan meningkatnya jumlah dan aktifitas penduduk dalam menjalankan kehidupannya (ekonomi, sosial, dan budaya). Hal ini pada akhirnya akan berdampak positif maupun negatif sebagai konsekuensi dari pertumbuhan sosial ekonomi masyarakat (Munibah, 2008). Berdasarkan definisi tersebut, dapat dikatakan bahwa faktor utama penyebab terjadinya perubahan penutupan/penggunaan lahan secara umum adalah karena peningkatan jumlah penduduk, sehingga mengakibatkan adanya perkembangan ekonomi yang menuntut ketersediaan lahan bagi penggunaan lahan lain, seperti permukiman, industri, infrastruktur, maupun jasa.

Lahan kritis kerap dihubungkan dengan intervensi manusia terhadap lahan, hal ini disebabkan manusia adalah anasir utama dalam perubahan penutupan/penggunaan lahan. Selain faktor sifat fisik lahan yang juga sangat berperan terhadap kejadian lahan kritis. Berdasarkan pemahaman ini, maka perubahan penutupan/penggunaan lahan dapat dianalisis melalui pendekatan model yang berbasis spasial berdasarkan perubahan penutupan/penggunaan lahan.

Model adalah penyederhanaan suatu sistem tertentu di dunia nyata (Purnomo, 2012). Pemodelan penutupan/penggunaan lahan ini, dibangun dengan mengkombinasikan model dinamika perubahan lahan dengan Sistem Informasi Geografik (SIG) dengan menggunakan pendekatan *Artificial Neural Network (ANN)*.

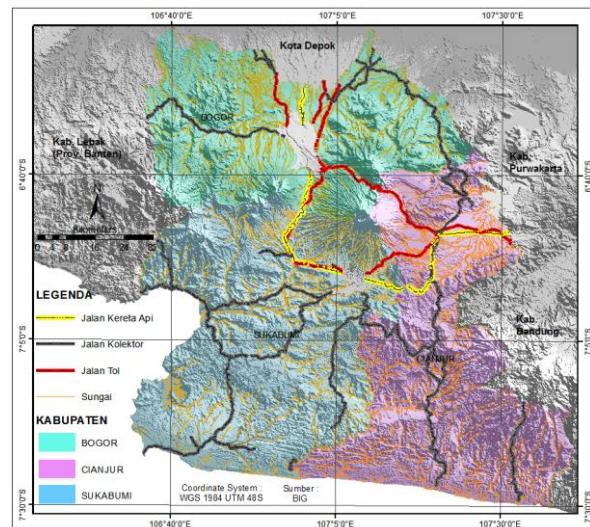
ANN dalam bahasa Indonesia berarti jaringan syaraf tiruan. ANN yang diaplikasikan pada pemodelan perubahan penutupan/penggunaan lahan, bekerja dalam empat tahap, yaitu (1) menentukan *input* dan arsitektur jaringan, (2) membuat jaringan dengan menggunakan sebagian piksel dari *input*, (3) menguji jaringan dengan menggunakan semua piksel dari *input*, dan (4) menggunakan informasi yang telah dihasilkan oleh jaringan untuk memprediksi perubahan penggunaan lahan ke depan (Atkinson dan Tatnall 1997).

ANN merupakan suatu struktur komputasi yang memiliki kelebihan, yakni mempertimbangkan faktor pendorong untuk menilai perubahan penutupan/penggunaan lahan seperti jarak terhadap jalan, terhadap permukiman, kepadatan

penduduk, hingga kemiringan lereng yang juga merupakan salah satu parameter penentu lahan kritis. Dengan demikian hasil prediksi perubahan penutupan/penggunaan lahan inilah yang kemudian digunakan untuk pengambilan kebijakan jangka panjang.

METODE

Lokasi penelitian meliputi Kabupaten Bogor, Cianjur dan Sukabumi, tanpa Kotamadya Bogor dan Kotamadya Sukabumi. Secara geografis terletak pada 6°19'–7°25' LS dan 106°1'–107°25' BT, dengan luas wilayah penelitian mencakup 10.410,40 Km². Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2014 sampai November 2014. Peta lokasi penelitian tersaji pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.

Bahan penelitian berupa data andsat 7 ETM (*Path 122 Row 065*) tahun 2000, 2006, dan 2011, yang diproyeksikan ke sistem koordinat UTM (*Universal Transverse Mercator*) pada Zone 48 South yang diunduh dari www.glovis.usgs; data spasial penggunaan lahan multi temporal yaitu tahun 2000, 2006, dan 2011 (1:100.000) yang diperoleh dari Badan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS) Ciliwung – Citarum; data spasial jaringan jalan diperoleh dari Peta Rupa Bumi Indonesia (1:50.000) yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG), data *Digital Elevation Model (DEM)* yang diperoleh dari data SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) yang diunduh dari <http://srtm.csi.cgiar.org>; dan data penduduk yang diperoleh dari data Kabupaten Dalam Angka yang dipublikasikan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Bogor, Kabupaten Cianjur, dan Kabupaten Sukabumi tahun 2012 (data real tahun 2011). Bahan penelitian kemudian dianalisis menggunakan perangkat keras komputer, beserta perangkat lunak *ArcGIS 10* dan *Idrisi Selva*. Selanjutnya untuk kepentingan verifikasi lapang, digunakan GPS, kamera, dan alat tulis.

Penelitian ini diawali dengan mempersiapkan peta penutupan/penggunaan lahan dan faktor-

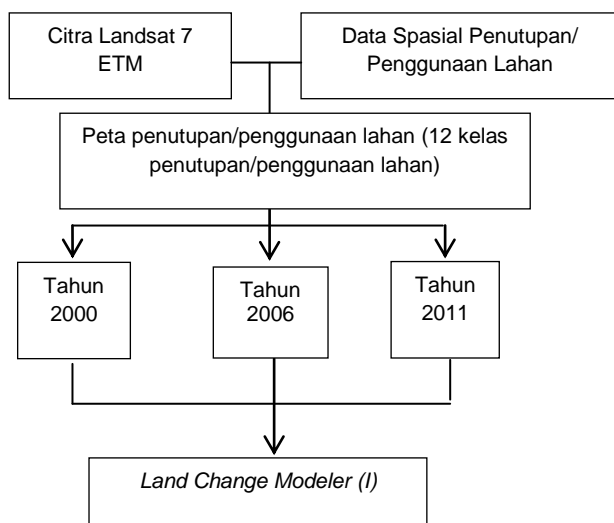
faktor pendorong perubahan lahan. Peta penutupan/penggunaan lahan dihasilkan dari interpretasi andsat dan berdasarkan data spasial temporal penggunaan lahan (2000, 2006, dan 2011) yang menghasilkan 12 kelas penutupan/penggunaan lahan, berdasarkan klasifikasi Badan Planologi Kementerian Kehutanan, yakni: (1) Hutan Primer, (2) Hutan Sekunder, (3) Hutan Tanaman, (4) Hutan Mangrove, (5) Perkebunan, (6) Pertanian Lahan Kering, (7) Pertanian Lahan Kering Campuran, (8) Sawah, (9) Permukiman, (10) Semak/Belukar, (11) Tanah Terbuka, dan (12) Tubuh air.

ANN dijalankan dengan menggunakan aplikasi LCM (*Land Change Modeler*) pada perangkat lunak *Idrisi Selva* dengan tiga tahapan, yakni :

1. Tahap analisis perubahan

Tahap ini menganalisis perubahan penggunaan lahan pada *input* data beda tahun. Grafik perubahan luas tiap penggunaan lahan disajikan pada tahap ini berdasarkan jumlah penambahan ataupun pengurangan luas area dari tiap kelas perubahan lahan.

Berikut dapat dilihat diagram alur tiap tahapan pemodelan disajikan pada **Gambar 2**.

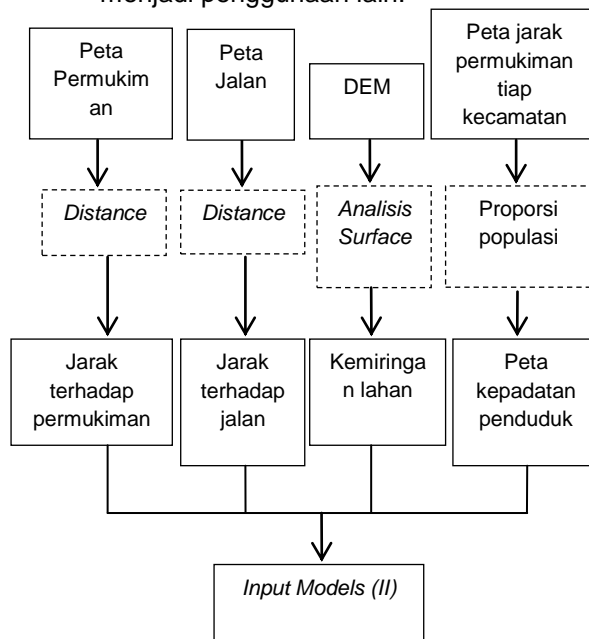


Gambar 2. Tahap Analisis Perubahan.

2. Tahap pemodelan perubahan penggunaan lahan.

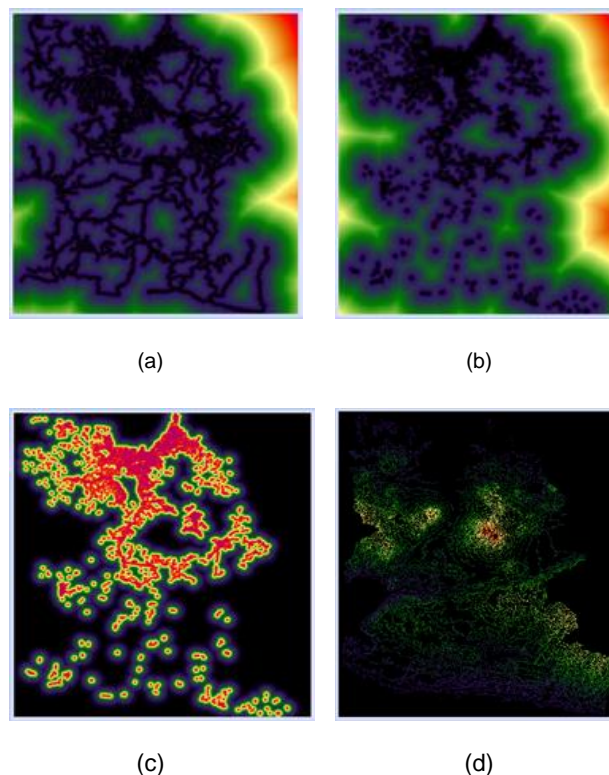
- a. Tiap kelas perubahan penutupan/penggunaan lahan dimodelkan untuk memprediksi lokasi yang berpotensi berubah menjadi penutupan/penggunaan lahan yang lain.
- b. Variabel faktor pendorong, yakni jarak dari jalan, jarak dari permukiman, kepadatan penduduk dan kemiringan lereng dimasukkan dalam tahap ini. Pemodelan disajikan pada **Gambar 3**.
- c. Hasil dari pemodelan ini adalah peta peluang perubahan lahan (*Potential Transition Map*) yang memiliki nilai peluang antara 0-1, yakni semakin besar

dari 0, maka daerah tersebut memiliki peluang yang besar untuk berubah menjadi penggunaan lain.



Gambar 3. Tahap Potensi Transisi.

Peta faktor pendorong yang dimasukkan pada pemodelan tahap ini, disajikan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Faktor Pendorong; (a) Jarak dari Jalan, (b) Jarak dari Permukiman, (c) Kepadatan Penduduk; dan (d) Kemiringan Lereng.

Data spasial jarak dari jalan dan jarak dari permukiman dibuat dengan menjalankan modul *Distance*. Jarak dihitung berdasarkan *Euclidean*, yakni jarak dari satu objek ke objek yang lainnya. Jumlah penduduk dibuat dalam format data

spasial, dengan asumsi bahwa populasi penduduk menyebar secara sirkular dengan jari-jari 2 km (populasi bergerak dan berinteraksi secara aktif pada jarak 2 km) dan populasi akan bertambah besar ketika mendekati pusatnya. Persamaan 1 untuk menilai proporsi populasi mengacu pada Alberto dan Dasanto (2010).

$$\text{Proporsi populasi} = 0.2402^{(-0.9464 * (\text{peta jarak ke permukiman}/1000))} \dots\dots\dots (1)$$

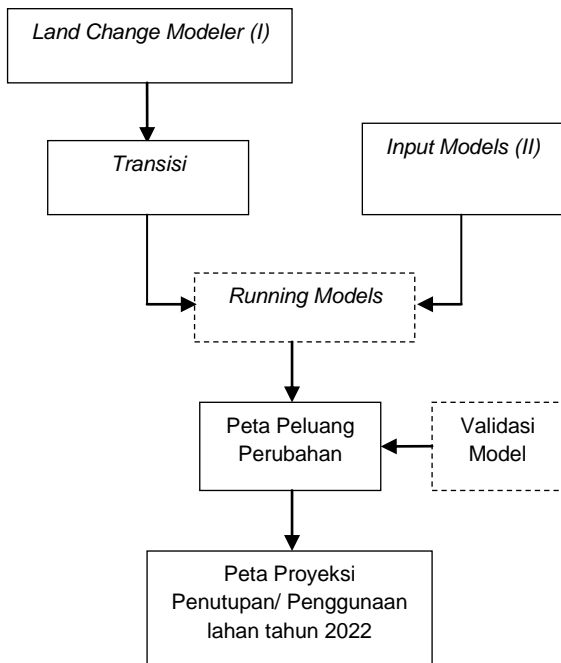
Setelah proporsi populasi diperoleh, selanjutnya dibuat faktor kepadatan penduduk dalam bentuk data spasial per piksel (Persamaan 2) (Alberto dan Dasanto, 2010).

$$Pd = \rho * A * P * C \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

- Pd = peta kepadatan penduduk per piksel
- ρ = kepadatan penduduk non-spasial (penduduk/km²)
- A = luas wilayah penyebaran populasi (km²) = 3,14 * (2 km)² = 12,5 km²
- P = proporsi populasi
- C = faktor konversi, dari 1 km² ke 1 piksel

3. Tahap proyeksi penggunaan lahan
Tahap proyeksi penggunaan lahan tersaji pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Tahap Proyeksi Penggunaan Lahan.

a. Proyeksi penggunaan lahan ke depan menggunakan metode *Markov Chain* dengan asumsi bahwa perubahan yang terjadi di masa depan memiliki pola dan peluang serupa dengan pola perubahan yang terjadi selama periode data yang digunakan.

- b. Matriks transisi akan dihasilkan pada tahap ini sebagai dasar untuk membuat peta proyeksi.
- c. Uji validasi model, dilakukan dengan cara membuat matriks perbandingan tiap kelas lahan hasil pemodelan dengan kelas penutupan/penggunaan lahan eksisting, berdasarkan nilai *Kappa*.
- d. Hasil dari tahap inilah yang dijadikan acuan pengambilan kebijakan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis penggunaan lahan atau dalam hal ini kerapatan tutupan lahan sangat berperan terhadap proses degradasi lahan, yang merupakan awal terjadinya lahan kritis. Selain itu, kemampuan dan peruntukan lahan juga sangat berpengaruh (Baharuddin, 2010).

Kemampuan lahan (*land capability*) yang merupakan penilaian secara sistematis dalam pengelompokan 8 kelas lahan berdasarkan sifat-sifat, potensi, dan penghambat dalam penggunaannya, telah terangkum mengenai geomorfologi, iklim, kemiringan lahan, serta bahaya erosi (Hardjowigeno dan Widiatmaka, 2011). Dengan kata lain penggunaan lahan (*land use*) yang berada pada kemampuan lahan yang baik dan sesuai dengan peruntukan lahannya, akan sangat baik dalam menjaga lahan dari proses degradasi dan sebaliknya.

Dengan demikian, untuk melihat potensi lahan menjadi kritis, pemodelan perubahan penggunaan lahan dilakukan dengan asumsi bahwa kejadian lahan kritis dipengaruhi oleh perubahan kerapatan penutupan lahan, yakni dari lahan yang bervegetasi rapat ke lahan yang bervegetasi jarang, yang juga dalam tahap pemodelannya dimasukkan faktor pendorong kemiringan lereng yang merupakan salah satu faktor terjadinya lahan kritis, serta penduduk yang merupakan faktor terjadinya perubahan lahan.

Secara tabulasi, luas penggunaan lahan di lokasi penelitian pada tahun 2000, 2006, dan 2011 tersaji pada **Tabel 1**. Pada **Tabel 1**, terlihat bahwa pertanian lahan kering dan pertanian lahan kering campuran, merupakan penggunaan lahan yang paling banyak terdapat di lokasi penelitian, dengan luasan lahan yang cenderung berubah-ubah. Hal ini dikarenakan kedua lahan tersebut memiliki sifat perubahan yang dapat balik (*reversible*).

Hutan sekunder dan sawah, memiliki perubahan lahan yang cenderung menurun dengan sifat perubahan yang tidak dapat balik (*irreversible*). Hal ini berarti jika hutan sekunder dan sawah telah beralih fungsi, maka sulit untuk dikembalikan pada penggunaan semula; sedangkan untuk permukiman, tentu saja memiliki kecenderungan yang terus meningkat tiap tahunnya akibat bertambahnya populasi penduduk.

Tabel 1. Luas Penggunaan Lahan Lokasi Penelitian pada Tahun 2000, 2006 Dan 2011.

Penutupan Penggunaan lahan (Land use land cover)	2000		2006		2011	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Hutan Primer (1)	66,28	1	66,28	1	66,28	1
Hutan Sekunder (2)	887,39	9	765,35	7	756,13	7
Hutan Tanaman (3)	1.297,60	12	1.243,65	12	1.286,67	12
Hutan Mangrove (4)	0,27	0	0,27	0	0,27	0
Perkebunan (5)	925,98	9	900,09	9	731,53	7
Pertanian Lahan Kering (6)	2.334,76	22	1.875,00	18	3.629,36	35
Pertanian Lahan Kering Campuran (7)	2.200,00	21	2.700,00	26	1.699,80	16
Sawah (8)	1.900,00	18	1.800,00	17	1.419,84	14
Permukiman (9)	202,77	2	389,48	4	522,67	5
Semak/Belukar (10)	314,55	3	344,02	3	168,53	2
Tanah Terbuka (11)	237,63	2	274,08	3	91,15	1
Tubuh Air (12)	43,18	0	43,18	0	43,18	0
Jumlah (Total area)	10.410,40	100	10.410,40	100	10.410,40	100

Analisis Perubahan Lahan

Tahap pertama pemodelan perubahan lahan adalah dengan asumsi bahwa proses degradasi lahan sangat dipengaruhi oleh adanya perubahan penutupan/penggunaan lahan bervegetasi rapat menjadi lahan dengan vegetasi jarang.

Pemodelan perubahan penutupan/penggunaan lahan dipilih dalam mengidentifikasi lahan kritis, karena perubahan lahan merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap terjadinya erosi, sebagai awal terjadinya proses degradasi lahan dan lahan kritis.

Erosi pada awalnya tidak berbahaya (erosi alami), karena laju erosi berbanding lurus dengan proses pembentukan tanah, namun dengan adanya aktifitas manusia dalam menggunakan lahan, proses erosi menjadi dipercepat, hal inilah yang mengakibatkan adanya degradasi lahan. Keadaan ini diperparah jika penggunaan lahan yang dilakukan tidak sesuai dengan kemampuan dan peruntukan lahannya.

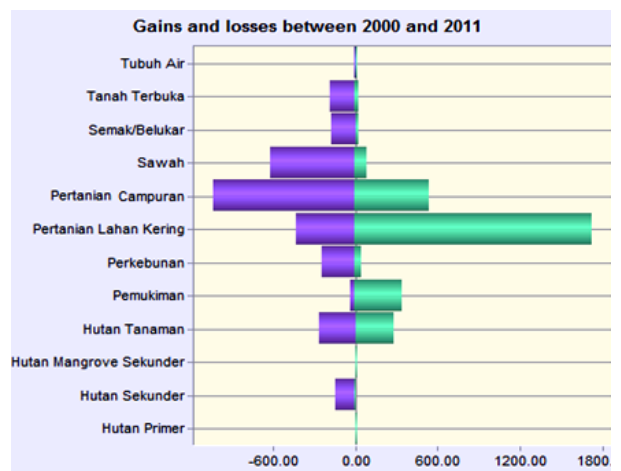
Penutupan/penggunaan lahan dalam hal kerapatan vegetasi, sangat berpengaruh dalam mengurangi kekuatan energi kinetik air hujan yang dapat memecah struktur tanah menjadi partikel-partikel lebih kecil. Partikel-partikel tanah yang terlepas pada akhirnya akan ikut terhanyut oleh aliran air di permukaan menuju tempat yang lebih rendah. Ketiga faktor sifat fisik lahan ini (tanah, curah hujan, dan lereng) memang sulit diubah, namun dalam hal mengidentifikasi hingga memitigasi lahan kritis, faktor perubahan lahan dapat diupayakan.

Dalam mengidentifikasi lahan kritis, perubahan dari lahan yang bervegetasi rapat, seperti hutan, baik primer, sekunder ataupun hutan tanaman dan perkebunan dapat diidentifikasi akan terjadi degradasi jika yang berubah menjadi lahan dengan vegetasi yang kurang rapat, seperti

pertanian lahan kering, permukiman, semak belukar, hingga lahan terbuka.

Berikut hasil simulasi penambahan dan pengurangan luas tiap kelas penggunaan lahan pada tahun 2000 dan 2011. **Gambar 6**, menunjukkan bahwa secara spasial pertanian lahan kering campuran mengalami pengurangan luas lahan yang cukup besar, namun disini lain pertanian lahan kering dan juga pertanian lahan kering campuran mengalami penambahan luas yang besar. Perubahan ini dapat dikatakan terjadi pada lokasi yang berbeda.

Permukiman memiliki kecenderungan yang terus meningkat dan sebaliknya sawah dan hutan sekunder mengalami kehilangan luas area yang sangat besar.



Gambar 6. Analisis Perubahan Penutupan/Penggunaan Lahan Antara Tahun 2000 dan 2011 (Km²).

Potensi Transisi

Pada tahap ini dilakukan pemodelan perubahan lahan dengan memasukan faktor-faktor pendorong perubahan lahan, yakni; jarak dari

jalan, jarak dari permukiman, kepadatan penduduk, dan kemiringan lereng, yang juga merupakan salah satu faktor terjadinya lahan kritis.

Jalan merupakan faktor pendorong perubahan dari segi ekonomi, daerah yang memiliki banyak akses jalan cenderung akan mendorong perubahan lahan ke arah yang tidak dapat balik. Hal ini tentu disebabkan karena daerah yang dekat dengan jalan memiliki *land rent* yang tinggi. Jalan juga merupakan salah satu faktor pendorong adanya permukiman atau lahan terbangun.

Permukiman, merupakan faktor pendorong perubahan lahan dari sisi sosial, yang jumlahnya berbanding lurus dengan kepadatan penduduk. Kepadatan penduduk yang tinggi tentu saja menyebabkan tingginya kebutuhan akan lahan.

Kemiringan lereng menjadi faktor pendorong perubahan lahan dari segi kondisi fisik lahan. Wilayah yang memiliki daerah yang cenderung datar pada umumnya lebih banyak mengalami perubahan lahan, dibandingkan daerah yang tidak datar (berlereng).

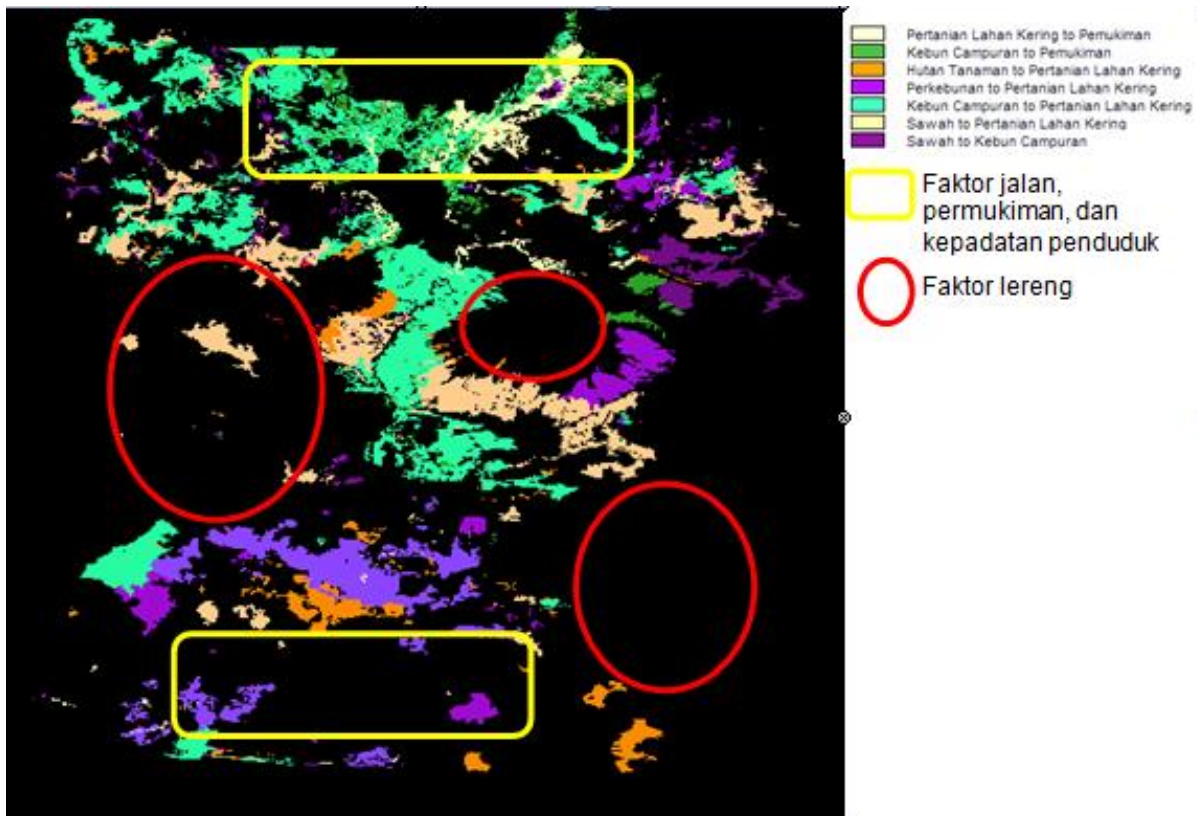
Dari hasil pemodelan tahap 2, selanjutnya dihasilkan peta lokasi perubahan dan kelas penutupan/penggunaan lahan. Dalam kejadian lahan kritis, diasumsikan bahwa lahan yang patut diperhatikan adalah lahan yang mengalami perubahan dari lahan tertutup menjadi lahan terbuka, dan sebaliknya lahan kritis tidak akan berpengaruh pada lokasi yang tetap memiliki penutupan/penggunaan lahan yang tetap (tertutup). Berikut dapat dilihat hasil peta

perubahan lahan di lokasi penelitian tersaji pada **Gambar 7**.

Pada **Gambar 7**, terdapat 7 perubahan lahan yang ditandai dengan pola yang berwarna, sedangkan warna hitam mengindikasikan bahwa lahan tersebut tidak mengalami perubahan. Kotak kuning menunjukkan pentingnya pengaruh jalan, permukiman dan kepadatan penduduk.

Pada daerah utara terdapat banyak perubahan, hal ini terjadi karena pada daerah tersebut banyak terdapat permukiman dan jalan, yang mengidentifikasi daerah ini memiliki kepadatan penduduk yang tinggi tersaji pada **Gambar 4 a,b,c**; sedangkan kotak kuning di bagian selatan, tidak banyak terjadi perubahan lahan, yang ditandai dengan tampilan yang cenderung hitam. Hal ini terbukti karena Kabupaten Bogor bagian utara memiliki akses jalan, permukiman dan penduduk yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan Kabupaten Sukabumi dan Kabupaten Cianjur bagian selatan.

Selain pentingnya jalan, permukiman dan kepadatan penduduk, perubahan lahan juga dipengaruhi oleh kemiringan lereng. Daerah yang ditandai dengan lingkaran berwarna merah, menunjukkan bahwa penutupan lahan pada daerah tersebut cenderung tetap dan tidak mengalami perubahan, dengan topografi bergunung dengan kemiringan >40% seperti tersaji pada **Gambar 4d**. Daerah ini, kurang memiliki akses jalan dan permukiman, serta kepadatan penduduk yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah yang datar.



Gambar 7. Lokasi Perubahan Lahan.

Pengaruh faktor pendorong terhadap persentasi perubahan lahan, disajikan pada **Gambar 8**. **Gambar 8** menunjukkan bahwa semakin dekat jarak lahan dari jalan dan permukiman; semakin banyak penduduk yang menempati suatu lahan dan semakin rendah ketinggian tempat, maka semakin banyak terjadi perubahan lahan di daerah tersebut, dan sebaliknya.

Dari hasil tersebut, terlihat bahwa semua faktor pendukung yang dimodelkan sangat berpengaruh terhadap perubahan lahan, yang berturut-turut; kepadatan penduduk, kemiringan lereng, jarak dari jalan, dan jarak dari permukiman.

Kebutuhan primer, yakni sandang, pangan, dan papan, mengakibatkan kepadatan penduduk menjadi faktor utama dalam perubahan lahan. Lahan yang berubah mula-mula berada pada daerah dengan elevasi yang rendah yang memiliki kelas kemampuan lahan paling baik, yang kemudian akses jalan semakin banyak, permukiman (lahan terbangun) menjadi semakin banyak pula, yang pada suatu ketika lahan-lahan yang berada pada daerah yang tinggi dan berlereng juga akan dimanfaatkan, karena tingginya tekanan manusia terhadap lahan.

Prediksi Perubahan Lahan

Berdasarkan *trend* perubahan pada tahap sebelumnya, maka dilakukan prediksi penutupan/penggunaan lahan dengan metode *Markov Chain* disajikan pada **Tabel 2**. *Markov Chain* menggunakan asumsi bahwa perubahan yang akan terjadi di masa depan memiliki pola dan peluang yang serupa dengan pola perubahan yang terjadi selama periode waktu yang digunakan.

Pada tahapan ini, dilakukan uji analisis data spasial penutupan/penggunaan lahan tahun 2000 hingga tahun 2006 untuk prediksi tahun 2011. Uji ini berfungsi agar peta hasil prediksi tahun 2011 dapat divalidasi dengan peta penutupan/penggunaan lahan tahun 2011. Jika hasil prediksi *valid*, maka akan dilanjutkan dengan prediksi lahan pada tahun 2022, yakni dengan asumsi pola perubahan lahan yang diprediksi (tahun 2022) berasal dari rentang *input* tahun yang sama (tahun 2000 – 2011).

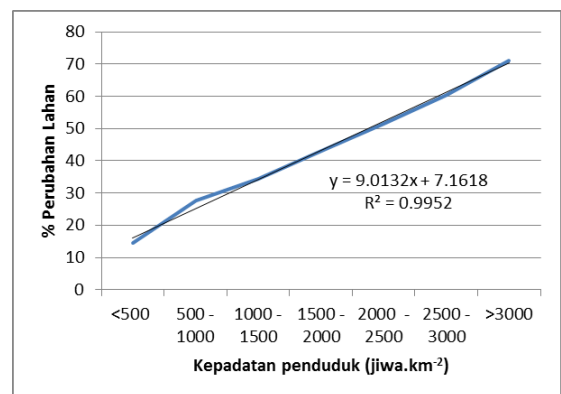
Matriks pada **Tabel 2** memiliki nilai 0 – 1 yang menunjukkan suatu peluang terhadap besarnya perubahan penggunaan lahan. Penggunaan lahan yang cenderung akan mengalami perubahan, yakni jika nilainya lebih dari 0,00 atau kurang dari 1,00; sebaliknya nilai 0,00 atau 1,00 berarti lahan tersebut tidak berubah (tetap); sebagai contoh dalam **Tabel 2**, hutan primer eksisting dengan hutan primer prediktif memiliki nilai 1,00; adapun untuk penggunaan lain bernilai 0,00 sehingga hutan primer pada waktu mendatang tidak akan berubah. Keadaan yang sama juga terjadi pada kelas “hutan mangrove” dan “tubuh air”. Jika nilai berkisar antara 0,01 hingga 0,99 maka berpeluang untuk berubah menjadi penggunaan lain.



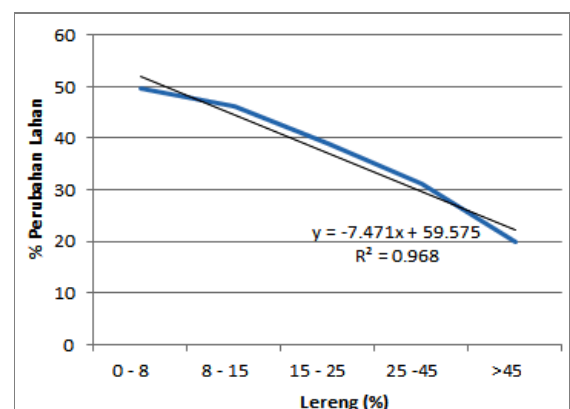
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 8. Grafik Faktor Pendorong terhadap Perubahan Lahan; (a) Jarak dari Jalan; (b) Jarak dari Pemukiman; (c) Pengaruh Kepadatan Penduduk; (d) Pengaruh Lereng.

Tabel 2. Matriks Prediksi Perubahan Penutupan/ Penggunaan Lahan.

A	Luas Penutupan/Penggunaan Lahan Hasil Permodelan 2011											
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
(1)	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(2)	-	0,84	-	0,13	0,00	0,00	0,01	0,01	-	0,01	0,00	-
(3)	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(4)	-	0,01	-	0,79	-	0,00	0,11	0,06	0,01	0,01	0,00	-
(5)	-	-	-	-	0,99	-	0,00	0,00	0,00	-	-	-
(6)	-	0,00	-	0,01	0,01	0,74	0,19	0,04	0,01	-	0,00	-
(7)	-	-	-	0,00	0,05	0,00	0,84	0,10	0,01	-	0,00	-
(8)	-	0,00	-	0,02	0,07	0,00	0,36	0,53	0,01	-	0,01	-
(9)	-	0,00	-	0,00	0,02	0,00	0,23	0,05	0,68	-	0,00	-
(10)	-	0,00	-	0,05	0,00	0,08	0,24	0,14	0,01	0,45	0,02	-
(11)	-	-	-	0,41	0,06	0,01	0,25	0,01	0,01	0,00	0,25	-
(12)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00

Keterangan: A (Luas Penutupan/Penggunaan Lahan 2016), 1 (Hutan Primer), 2 (Hutan Sekunder), 3 (Hutan Mangrove Sekunder), 4 (Hutan Tanaman), 5 (Permukiman), 6 (Perkebunan), 7 (Pertanian Lahan Kering), 8 (Kebun Campuran), 9 (Sawah), 10 (Semak /Belukar), 11 (Tanah Terbuka), 12 (Tubuh Air).

Besarnya Peluang perubahan ini bergantung pada besarnya nilai peluang perubahan. Jika nilai peluang kurang dari 0,50 atau mendekati 0,01 maka penggunaan lahan tersebut memiliki peluang untuk berubah menjadi penggunaan lain lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai peluang yang lebih dari 0,50 hingga mendekati 0,99.

Pada lahan dengan kelas “tanah terbuka”, memiliki nilai tertinggi (0,4) untuk berubah menjadi penggunaan lain (hutan tanaman) sedangkan untuk tetap menjadi “tanah terbuka” hanya 0,2; dengan demikian pada waktu mendatang lahan terbuka mungkin akan beralih fungsi, hal ini jelas terlihat seperti yang tersaji pada pada **Tabel 1**, kelas “tanah terbuka” memiliki luasan yang semakin berkurang.

Lahan sawah mempunyai kecenderungan tetap menjadi lahan sawah (0,6) namun ada kecenderungan dapat berubah menjadi lahan pertanian (ladang/tegalan), hal ini terbukti juga dengan berkurangnya luasan sawah tiap tahunnya tersaji pada **Tabel 1**.

Lahan pertanian (ladang/tegalan) cenderung memiliki *trend* untuk dapat berubah menjadi lahan pertanian campuran (kebun campuran) dan sebaliknya. Kedua penggunaan lahan ini dapat berubah dikarenakan perubahan keduanya bersifat dapat balik (*reversible*) tergantung pada kondisi ekonomi masyarakat. Hal ini tidak seperti halnya dengan permukiman yang sifatnya tidak dapat

balik. Kenyataan ini dibuktikan dengan besarnya nilai perubahan permukiman ke permukiman mencapai 0,9 yang berarti pada waktu yang akan datang permukiman akan tetap menjadi lahan permukiman.

Validasi

Peta prediksi yang telah dihasilkan, kemudian divalidasi dengan peta penutupan/penggunaan lahan eksisting tahun 2011. Untuk mengetahui akurasi dari prediksi ini digunakan metode *Kappa* yang memperhitungkan semua elemen pada baris dan kolom dari matriks pengujian (Altman, 1991). Hasil validasi dengan metode ini disajikan pada **Tabel 3**.

Nilai *Kappa* atau nilai kesesuaian (kemiripan) antara jumlah kolom dan baris maksimal adalah bernilai 1,00. Menurut Altman (1991) nilai *Kappa* 0,81-1,00 menunjukkan adanya kesepakatan yang sangat baik, nilai *Kappa* 0,61-0,80 adalah baik, 0,41-0,60 adalah sedang, 0,21-0,40 adalah kurang dari sedang, dan nilai <0,21 dikatakan buruk. Hasil validasi proyeksi ini menunjukkan bahwa nilai *Kappa* yang diperoleh adalah sebesar 0,972 tersaji pada **Tabel 3**. Nilai ini menunjukkan bahwa pemodelan ini tergolong mempunyai kesepakatan atau kemiripan yang “sangat baik” terhadap kondisi eksisting penutupan/penggunaan lahan tahun 2011.

Tabel 3. Validasi Silang Antara Luas Penutupan/ Penggunaan Lahan Hasil Pemodelan untuk Tahun 2011 dengan Luas Penutupan/Penggunaan Lahan Eksisting Tahun 2011.

A	Penutupan Lahan Hasil Permodelan 2011												Σ
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
(1)	66,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	66,2
(2)	0	627,5	98,3	0	0	0	30,2	0	0	0	0	0	756
(3)	0	0	1.029,3	0	51,4	77,2	77,2	5,1	0	0	0	0	221,1
(4)	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
(5)	0	0	0	0	585,2	131,6	7,3	0	0	0	0	0	724,1
(6)	0	0	0	0	72,5	3.012,3	362,9	36,2	181,4	0	0	0	3.665,3
(7)	0	0	0	0	5,0	500,9	884,9	16,7	33,4	0	0	0	1.440,9
(8)	0	0	0	0	2,8	326,5	70,9	965,4	28,4	1,4	0	0	1.395,4
(9)	0	0	0	0	0	0	0	0	547,1	0	0	0	547,1
(10)	0	0	0	0	13,0	32,7	16,3	0,8	3,2	73,5	0,1	0	139,6
(11)	0	0	0	0	5,4	27,3	0,9	0	8,2	0	9,1	0	50,9
(12)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43	43
Σ	66,2	627,5	1127,6	0,2	735,3	4.108,5	1.450,6	1.024,2	801,7	74,9	9,2	43	0,972

Keterangan: A (Penutupan Lahan 2011), 1 (Hutan Primer), 2 (Hutan Sekunder), 3 (Hutan Mangrove Sekunder), 4 (Hutan Tanaman), 5 (Permukiman), 6 (Perkebunan), 7 (Pertanian Lahan Kering), 8 (Kebun Campuran), 9 (Sawah), 10 (Semak /Belukar), 11 (Tanah Terbuka), 12 (Tubuh Air).

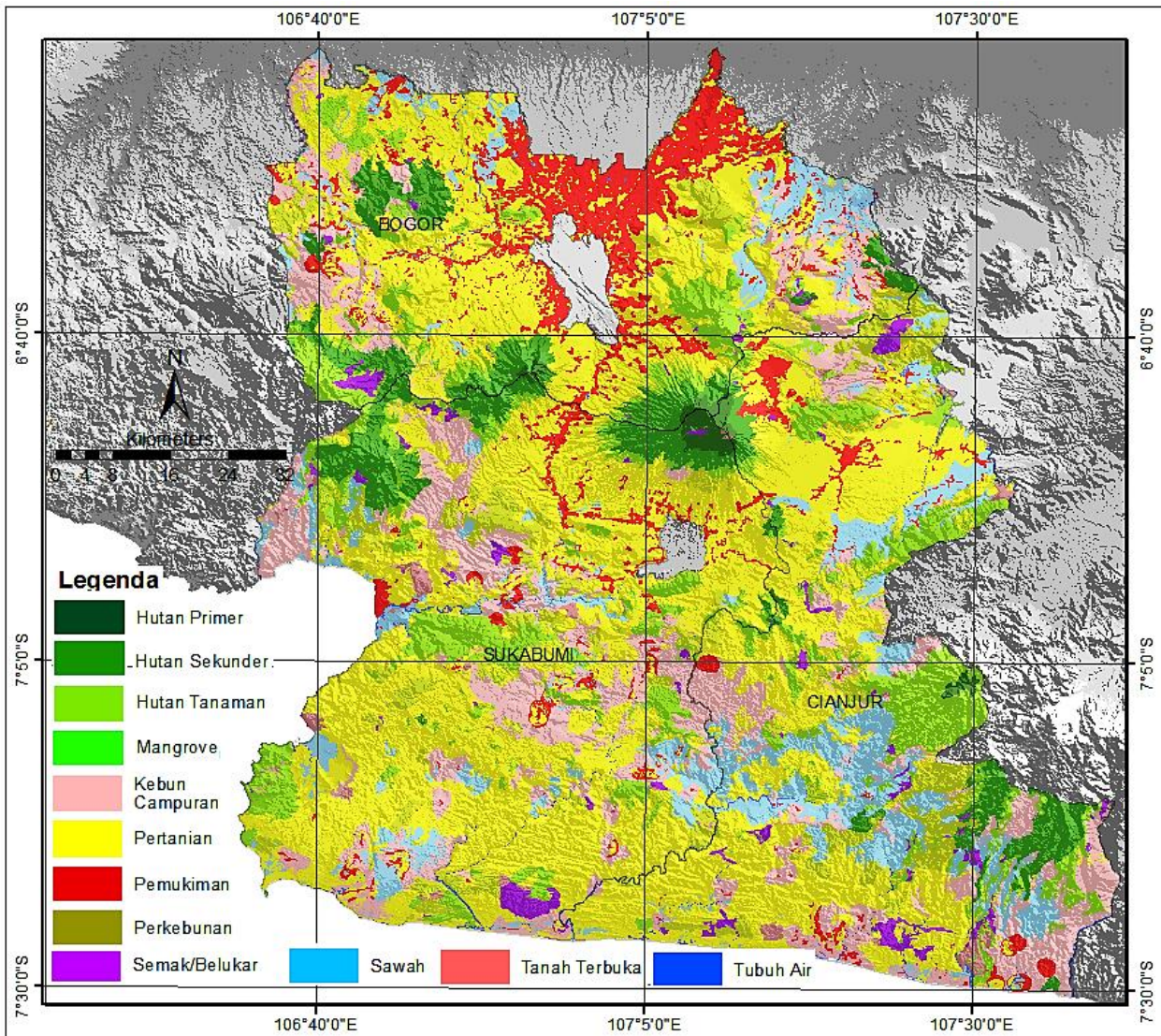
Tabel 4. Prediksi Luas Penutupan/Penggunaan Lahan Lokasi Penelitian Pada Tahun 2022.

Penutupan Penggunaan lahan	2022	
	Km ²	%
Hutan Primer (1)	66,28	1
Hutan Sekunder (2)	654,23	6
Hutan Tanaman (3)	1.244,88	12
Hutan Mangrove (4)	0,26	0
Perkebunan (5)	593,73	6
Pertanian lahan kering (6)	4.368,62	42
Pertanian lahan kering campuran (7)	1.433,83	14
Sawah (8)	926,74	9
Permukiman (9)	824,04	8
Semak/ Belukar (10)	163,57	2
Tanah Terbuka (11)	91,04	1
Tubuh Air (12)	43,18	0
Jumlah	10410,40	100

Dengan tingginya nilai *Kappa* tersebut, maka model ini selanjutnya dapat digunakan untuk memprediksi pola persebaran dan luasan penutupan/penggunaan lahan untuk prediksi tahun 2020, yaitu dengan mendasarkan pada *trend historis* yang telah terjadi pada proyeksi pemodelan ANN tersebut. **Tabel 4** menunjukkan bahwa hasil prediksi pada tahun 2022 yaitu penggunaan lahan tetap didominasi oleh pertanian lahan kering, sedangkan hutan sekunder semakin berkurang. Permukiman memusat pada daerah utara dan perkotaan, sedangkan lahan sawah terus mengalami penurunan. Berdasarkan hasil

tersebut, lahan-lahan di daerah penelitian terindikasi memiliki laju degradasi yang cukup tinggi, akibat besarnya luasan lahan yang digunakan untuk pertanian lahan kering, sedangkan hutan sekunder yang terus menurun. Peta prediksi penutupan/ penggunaan lahan pada tahun 2022 tersaji pada **Gambar 9**.

Perubahan penutupan lahan, khususnya perubahan kawasan hutan merupakan penyebab utama dari penurunan sistem ekologi, degradasi tanah, hilangnya keanekaragaman hayati, dan barang dan jasa yang disediakan oleh sistem alam (Sanchez-Cuervo, et al. 2012).



Gambar 9. Peta Prediksi Penutupan/Penggunaan Lahan pada Tahun 2022.

Di hutan tropis, kawasan hutan sekunder semakin berkurang, sebagai akibat dari tingginya pertumbuhan penduduk dan permintaan untuk komoditas pangan (Jiang, *et al.* 2012). Penggunaan lahan untuk komoditas pertanian tidak semata-merta mengakibatkan lahan menjadi terdegradasi, pengaturan jenis penggunaan lahan tertentu dengan manajemen lahan yang baik dapat menekan terjadinya degradasi lahan, namun keadaan di lapang peruntukan lahan yang bukan untuk lahan budidaya, tetap diusahakan untuk budidaya tanaman pertanian pada **Gambar 10**.

Kegiatan budidaya yang dilakukan di lokasi pertanian, umumnya tanpa mengikuti kaidah konservasi tanah dan air, yakni lahan tanpa menggunakan terracing dan penanaman tanpa mengikuti garis kontur. Jika keadaan ini dibiarkan dan tidak ditindak dengan usaha Rehabilitasi dan Revegetasi, maka lahan-lahan tersebut akan berakibat menjadi lahan kritis yang rentan mengalami longsor di musim penghujan dan kekeringan di musim kemarau.

Lahan-lahan yang tergolong kritis mencakup daerah berlereng yang diusahakan untuk budidaya pertanian, sedangkan Pola Ruang yang merupakan distribusi untuk fungsi lindung dan fungsi budidaya, tertuang jelas dalam RTRW tiap Kabupaten. Namun dikarenakan kepadatan penduduk merupakan faktor pendorong utama dalam perubahan penggunaan lahan, sebaiknya peraturan dan rencana strategis yang ada, didukung oleh peningkatan Sumber Daya Manusia dalam menggunakan lahan. Lahan dengan lereng dan elevasi yang tinggi sebaiknya tetap dijaga sebagai daerah konservasi terhadap air, keanekaragaman hayati dan jasa lingkungan. Akses jalan dan permukiman sebaiknya tetap hanya berada pada kawasan yang memang diperuntukkan untuk kawasan terbangun, dengan demikian lahan yang digunakan bukan hanya berorientasi pada ekonomi, namun juga berorientasi pada lingkungan agar tetap lestari dan berkelanjutan.



(a)



(b)

Gambar 10. Keadaan di Lapangan; (a) Lahan Berlereng yang Dijadikan Pertanian Hortikultura; (b) Pengelolaan Lahan yang Tidak Mengikuti Kaidah Konservasi Tanah.

KESIMPULAN

Model perubahan lahan menunjukkan bahwa semua faktor pendorong memiliki pengaruh yang besar terhadap perubahan lahan, namun kepadatan penduduk, memiliki pengaruh yang sangat besar, dengan demikian mitigasi bahaya lahan kritis dapat dilakukan dengan peningkatan Sumber Daya Manusia dalam mengelola lahan.

Pemodelan perubahan penggunaan lahan dengan metode ANN memiliki akurasi yang sangat

baik, namun disarankan penggunaan variabel pendorong perubahan perlu ditambah, seperti kesuburan tanah, iklim, adanya jaringan sungai/irigasi, sehingga dapat diketahui pengaruh faktor pendorong terhadap akurasi model dan nilai peluang yang dihasilkan.

Rehabilitasi lahan yang memiliki vegetasi jarang, sebaiknya dilakukan agar menekan lahan kritis dengan melindungi tanah lahan tersebut dari energi kinetik hujan. Perlindungan terhadap kawasan hulu serta memberi sanksi tegas atas

pelanggarannya diharapkan dapat memberikan peningkatan kesadaran masyarakat atas ekonomi, namun harus pada lingkungan yang berkelanjutan agar tetap lestari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada Ketua Program Studi Mitigasi Bencana Kerusakan Lahan, dan Para Dosen Dept. Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, IPB. Kepada Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPDAS) Citarum–Ciliwung di Bogor, Badan Informasi Geospasial (BIG), dan Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Bogor yang telah membantu dalam perolehan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberto, A. & Dasanto, B. D. (2010). Model Perubahan Penggunaan Lahan dan Pendugaan Cadangan Karbon di Daerah Aliran Sungai Cisadane, Jawa Barat. *Jurnal Agrometeorologi*, 24(2):18-26.
- Altman, D. G. (1991). Comparing Groups—Categorical Data. *Practical statistics for medical research*, 1, 261-5.
- Arsyad, S. (2010). Konservasi Tanah dan Air. Edisi ke-2. IPB Press. Bogor.
- Atkinson, P. M., & Tatnall, A. R. L. (1997). Introduction Neural Networks in Remote Sensing. *International Journal of remote sensing*, 18(4), 699-709.
- Baharuddin. (2010). Pemanfaatan Inderaja dan Sistem Informasi Geografis dalam Inventarisasi Lahan Kritis di Kabupaten Kolaka Utara. *Jurnal Perennial*, 6(2) : 83 – 89.
- Barus, B., Gandasasmita, K., Tarigan, S., Rusdiana, O. (2011). Laporan Akhir Penyusunan Kriteria Lahan
- kerusakan dan ancaman bahaya pada lahan, dan penggunaan lahan tidak hanya berorientasi pada Kritis. Bogor. Kerjasama Kementerian Lingkungan Hidup dengan Pusat Pengkajian Pengembangan Wilayah (P4W) Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Kabupaten Bogor. 2012. Kabupaten Bogor dalam Angka. BPS. Bogor.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Kabupaten Cianjur. 2012. Kabupaten Cianjur dalam Angka. BPS. Cianjur.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Kabupaten Sukabumi. 2012. Kabupaten Sukabumi Barat dalam Angka. BPS. Sukabumi.
- Hardjowigeno S, dan Widiatmaka. 2011. Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Perencanaan Tata Guna Lahan. Edisi ke-2. UGM Press. Yogyakarta.
- Jiang, D., Huang, Y., Zhuang, D., Zhu, Y., Xu, X., & Ren, H. (2012). A Simple Semi-Automatic Approach for Land Cover Classification from Multispectral Remote Sensing Imagery. *PloS one*, 7(9), e45889.
- Munibah, K. (2008). Model Spasial Perubahan Penggunaan Lahan dan Arah Penggunaan Lahan Berwawasan Lingkungan (Studi Kasus DAS Cidanau, Provinsi Banten).
- Purnomo, Herry. (2012). Pemodelan dan Simulasi untuk Pengelolaan Adaptif Sumberdaya Alam dan Lingkungan. IPB Press. Bogor.
- Sánchez-Cuervo, A. M., Aide, T. M., Clark, M. L., & Etter, A. (2012). Land Cover Change in Colombia: Surprising Forest Recovery Trends Between 2001 and 2010. *PLoS One*, 7(8), e43943.
- Sitorus, S. R., Susanto, B., & Haridjaja, O. (2011). Kriteria dan Klasifikasi Tingkat Degradasi Lahan di Lahan Kering (Studi Kasus: Lahan Kering di Kabupaten Bogor).

KAJIAN SPASIAL EVALUASI RENCANA TATA RUANG BERBASIS KEBENCANAAN DI KABUPATEN KUDUS PROVINSI JAWA TENGAH

(Spatial Planning Evaluation using Disaster based Analysis in Kudus District,
Central of Java)

Jaka Suryanta dan Irmadi Nahib

Pusat Penelitian, Promosi dan Kerjasama, Badan Informasi Geospasial
Jl. Raya Jakarta-Bogor Km. 46, Cibinong, 16911, Indonesia
E-mail: jakaeriko@gmail.com

Diterima (received): 24 Oktober 2015; Direvisi (revised): 25 Maret 2016; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 31 Maret 2016

ABSTRAK

Pemerintah daerah diberikan kewenangan untuk mengatur dan mengurus rumah tangganya melalui Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW). Dokumen RTRW diharapkan menjadi dasar dalam pengaturan, pengendalian dan pemanfaatan ruang di wilayah Kabupaten/Kota sehingga pembangunan dapat dilakukan secara berkelanjutan dan terhindar dari bencana, mengingat di setiap wilayah administrasi Kabupaten di Indonesia selalu dijumpai bagian yang rawan bencana. Kajian ini bertujuan untuk mengevaluasi dokumen RTRW Kabupaten Kudus berdasarkan data spasial kebencanaan. Metode yang digunakan adalah analisis *overlay* data spasial rawan bencana terhadap pola ruang dan struktur ruang serta *wighting/scoring*. Analisis spasial menunjukkan pola ruang yang sudah didesain akan terdampak rawan bencana seluas 13.023,22 ha terdiri atas wilayah rawan banjir 11.692,52 ha (89,78%) dan longsor 1.331,17 ha (10,22%). Rawan banjir berdampak pada lahan pertanian sawah 9.497,83 ha (85,32%), permukiman sebesar 1.168,28 ha (10,5%), sedangkan rawan longsor terjadi di wilayah hutan lindung sebesar 459,68 (34,53%), kawasan pertanian tanaman pangan sebesar 524,90 ha (39,43%) dan kawasan hutan produksi sebesar 120,89 ha (13,32%). Hasil penelitian menunjukkan kondisi *exsisting* sawah dan kawasan hutan bertampalan dengan wilayah rawan bencana longsor dan banjir maka RTRW memungkinkan untuk ditinjau kembali. Struktur ruang khususnya jaringan jalan dapat memberikan akses ke wilayah terdampak longsor maupun banjir dengan baik sehingga evakuasi mudah dilaksanakan. Implementasi pola ruang maupun struktur ruang selanjutnya perlu kajian rekayasa penanggulangan wilayah rawan bencana dengan cara struktural berupa bangunan fisik, maupun peningkatan kapasitas masyarakat dan pemasangan instrumen peringatan dini yang akan dipasang baik pada wilayah rawan longsor maupun banjir. Alokasi pola ruang khususnya pada sawah yang rawan terdampak banjir dan hutan yang rawan terdampak longsor perlu ditinjau kembali atau dibuat infrastruktur untuk mengurangi dampak.

Kata kunci: keruangan, rencana tata ruang wilayah (RTRW), kebencanaan, Kabupaten Kudus

ABSTRACT

Local governments are given the authority to regulate and manage their own domestic affairs through spatial planning. Documents of Spattial Planing (RTRW) which become the basics for regulating, controlling and utilizing the district area to implementing sustainable development and avoid disaster, considering that every administrative Regency in Indonesia have disaster-prone areas. This study aims-to evaluate the Spatial Planning Document of Kudus District based on spatial disaster data. The method used is the overlaying analysis of disaster-prone spatial data to the spatial patterns and structures as well as the space weighting/scoring. The spatial analysis showed that spatial patterns will be affected by a disaster-prone area of 13.023,22 hectares consisting of flood-prone area 11.692,52 ha (89,78%) and landslides 1.331,17 ha (10,22%). Prone to flooding impact on agricultural land paddy 9.497,83 ha (85,32%), settlement of 1.168,28 ha (10,5%), while prone to landslides occurred in the protected forest area of 459,68 (34,53%), the area of food crops amounted to 524,90 ha (39,43%) and production forest area of 120,89 ha (13,32%). The results showed some areas of rice fields and forest areas overlap with the potential for landslides and flooding so RTRW allow to be reviewed. The spatial structure mainly the road network access to areas of landsliding and flooding so that the evacuation is well implemented. In the implementation of the spatial planning and structure need to feasibility study due to reduce disaster-prone by using structural means that physically, as well as community capacity building and need to install of early warning instruments that will be used in either region of landslides and floods prone. The spatial pattern allocation especially used for rice fields that affected by floods and landslides affected the vulnerable forest need to be reviewed or created infrastructure to reduce the impact.

Keywords: spatial, spatial planning, disaster, Kudus District

PENDAHULUAN

Diberlakukannya Undang-Undang No. 22 Tahun 1999 tentang Pemerintah Daerah, yang telah direvisi dengan Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2014 tentang Pemerintahan Daerah (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 244, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5587) dan Undang-Undang No. 25 Tahun 1999 tentang Perimbangan Keuangan antara Pemerintah Pusat dan Daerah, maka landasan administrasi dan keuangan diarahkan untuk mengembangkan otonomi daerah kepada Pemerintah Kabupaten/Kota. Undang-undang tersebut dikenal dengan undang-undang otonomi daerah, yang memberikan kewenangan luas kepada Pemerintah Kabupaten /Kota untuk mengatur dan mengurus rumah tangganya serta menata wilayahnya sendiri tetapi masih dalam kerangka yang sejalan dengan Provinsi maupun level Nasional. Hampir semua wilayah Kabupaten/Kota di Propinsi Jawa tengah telah memiliki Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) sebagai alat pengaturan, pengendalian dan pengarahannya pemanfaatan ruang. Diharapkan kebijakan dan strategi pembangunan antar wilayah Kabupaten/Kota sudah menunjukkan keterpaduan antar wilayah dan antar sektor, sehingga peningkatan ekonomi masyarakat, kenyamanan dan keserasian dengan lingkungan terjaga serta terhindar dari bencana.

Kejadian bencana alam di Indonesia yang terulang baik jenis yang sama maupun berbeda mendorong semakin pentingnya peran pengurangan resiko bencana. *Hyogo Framework for Action* (HFA), yang disepakati dalam Konferensi Pengurangan Resiko Bencana Dunia di Kobe pada tahun 2005, mengamanatkan perencanaan tata ruang sebagai salah satu alat untuk pengurangan resiko bencana. Peran perencanaan tata ruang dalam pengurangan resiko bencana telah banyak diusulkan dalam praktik perencanaan baik di negara-negara maju maupun negara-negara berkembang. Pengurangan resiko bencana umumnya dilakukan secara struktural yaitu membangun fisik misalnya tanggul sungai, namun dapat juga dilakukan dengan cara lain, salah satunya dengan peningkatan ketahanan komunitas (*community resilience*) masyarakat yang dapat dilakukan dengan mengadopsi perencanaan tata ruang khususnya isi pola ruang (Burby, *et al.* 2000).

Bencana-bencana yang berskala sangat besar (*catashtropy*) biasanya jarang terjadi, sedangkan bencana tahunan, seperti banjir dan tanah longsor biasanya datang setiap musim yang mengindikasikan alokasi tata ruang perlu diperbaiki. Wilayah dengan kemiringan >30%, kondisi geologi bebatuan lepas, vegetasi jarang serta curah hujan tinggi akan mudah longsor. Seperti yang terjadi di bagian hulu gunung muria banyak indikasi rawan longsor, bagian hilir sering terdampak banjir tahunan dari Sungai Juono dan

aliran dari hulu sungai Kudus. Genangan banjir di Kabupaten Kudus tahun 2014 kurang lebih 34,1% berada di permukiman seluas 2.323,4 ha, sawah irigasi 60 % seluas 11.889,4 ha dan sawah non-irigasi 500,7 ha (Suryanta, 2014). Memperhatikan keadaan ini, keharmonisan pemanfaatan ruang di sepanjang bantaran sungai maupun wilayah sekitarnya dalam konteks DAS hulu, tengah dan hilir harus terintegrasi. Di sisi lain kepedulian masyarakat atas lingkungannya merupakan contoh komponen tata ruang berbasis masyarakat sebagai salah satu indikator untuk menilai tingkat ketahanan masyarakat terhadap resiko bencana (Twigg, 2009).

Sistem Informasi Geografis (SIG) mampu menciptakan protokol pengambilan keputusan untuk manajemen lahan dengan mengembangkan model hubungan antara *environmental values* dengan berbagai data *layer* pada suatu wilayah perencanaan (Brody, 2004). SIG memiliki peran dalam pembangunan berkelanjutan pasca bencana, pada saat tanggap darurat dapat menyajikan data yang informatif dan komunikatif sehingga membantu pengambilan keputusan serta pada jangka menengah dan panjang dapat menjadi basis utama dalam pembangunan.

Berkaitan dengan penataan ruang, hampir semua wilayah Kabupaten/Kota di Propinsi Jawa Tengah telah memiliki dokumen Rencana Tata Ruang Wilayah sebagai alat pengaturan, pengendalian dan pengarahannya pemanfaatan ruang. Akan tetapi bisa terjadi kebijakan dan strategi pembangunan antar wilayah Kabupaten /Kota dalam suatu wilayah Propinsi, belum menunjukkan keterpaduan antar wilayah dan antar sektor. Pemerintah daerah tentu menargetkan peningkatan Pendapatan Asli Daerah (PAD), sehingga dalam upaya mencapai target kadang kala mengeluarkan kebijakan pemanfaatan ruang yang tidak konsisten dengan RTRW yang disusun. Memperhatikan permasalahan penataan ruang dan paradigma baru di atas, dalam kerangka pembangunan wilayah, dipandang perlu untuk melakukan evaluasi terhadap implementasi rencana tata ruang terkait dengan aspek kebencanaan.

RTRW Provinsi/Kabupaten/Kota yang telah diterbitkan Peraturan Daerah setelah tahun 2013, tentu sudah dikonsultasikan dengan Badan Informasi Geospasial, dengan menguji sejauh mana peta RTRW sesuai dengan uraian isi Raperda dan mengikuti PP 8/2013 tentang tingkat ketelitian peta untuk penataan ruang.

Dokumen RTRW belum pernah dilakukan uji coba kesesuaian dengan potensi daerah dan faktor lain misalnya kebencanaan, dan belum pernah dikaji sejauh mana realisasi RTRW dalam pemanfaatan ruangnya

Penelitian ini akan menggunakan sample RTRW Kabupaten Kudus karena telah diperdakan selama 5 tahun, sehingga sudah saatnya dievaluasi kembali. Analisis dilakukan dengan

membandingkan antara RTRW dan data potensi kebencanaan melalui analisis *overlay*, *weighting* dan *skoring*. Tujuan penelitian adalah:

- Melakukan analisis potensi kebencanaan Wilayah Kabupaten Kudus Provinsi Jawa Tengah
- Melakukan evaluasi RTRWK berdasarkan potensi kebencanaan

METODE

Tata Ruang terdiri atas pola ruang dalam peta digital berupa data poligon dan struktur ruang secara umum berbentuk garis. Untuk mengetahui keberhasilan tata ruang dapat ditinjau melalui indikator diantaranya: peningkatan ekonominya, wilayah ruang yang aman dan terhindar dari bencana, serta prosedur pembuatan rencana tata ruang hingga menjadi Peraturan Daerah. Aspek penting lain dari perencanaan tata ruang dan kaitannya dengan pengurangan resiko bencana adalah fakta bahwa perencanaan dapat pula berfungsi sebagai media pengambilan keputusan dalam pembangunan. Dengan demikian keputusan dalam bentuk kebijakan pembangunan dapat diarahkan untuk mengurangi komponen pembentuk resiko, baik menghindari lokasi bahaya, mengeliminasi kerentanan, sampai dengan memperkuat kapasitas sumberdaya manusianya.

Penelitian ini ditekankan pada peluang pola ruang Kabupaten Kudus yang dapat terdampak rawan bencana alam banjir dan longsor dengan pendekatan spasial analisis potensi rawan bencana tersaji pada **Gambar 1**.

Data sekunder

- Data RTRK Kabupaten Kudus (peta pola ruang skala 1:25.000, peta struktur ruang skala 1:25.000, Peta penutup lahan 1:25.000)
Sumber data: Bappeda Kabupaten Kudus
- Peta geologi skala 1:100.000
- Peta lereng skala 1:25.000, BIG

- Peta Sistem Lahan skala 1: 250.000, BIG
 - Data hujan tahun 2009 – tahun 2014 BMKG
- Peralatan yang digunakan adalah seperangkat komputer lengkap dengan *software* GIS dan RS.

Tahapan kegiatan ini:

- Menginventori data sekunder.
- Mencari informasi jenis bencana yang ada di Kabupaten Kudus.
- Melakukan analisis kebencanaan rawan banjir. Tahapan kerja disajikan pada **Gambar 2** dengan kriteria penilaian yang disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kriteria Penilaian Rawan Banjir (BIG 2014).

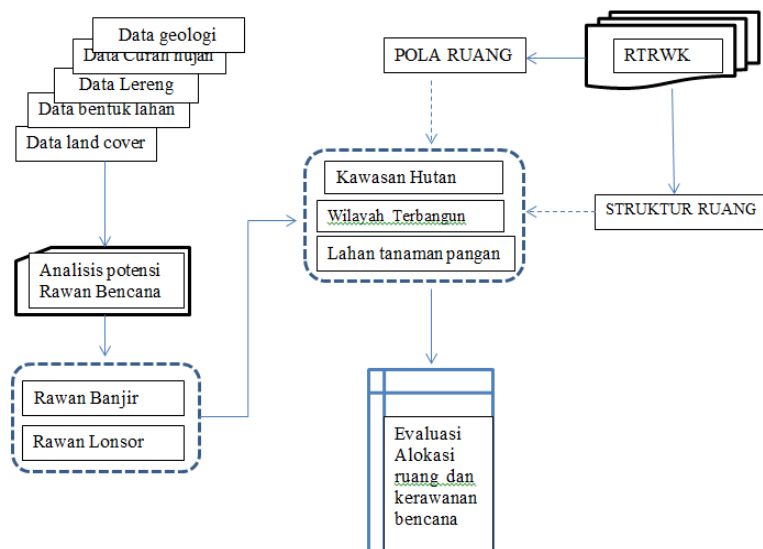
No	Klasifikasi daerah rawan banjir	Nilai
1	Aman	0,00 – 3,00
2	Rendah	4,00 – 6,00
3	Sedang	7,00 – 9,00
4	Tinggi	10,0 – 13,0

- Melakukan analisis kebencanaan rawan longsor. Tahapan kerja disajikan pada **Gambar 3** dengan kreteria penilaian disajikan pada **Tabel 2**.

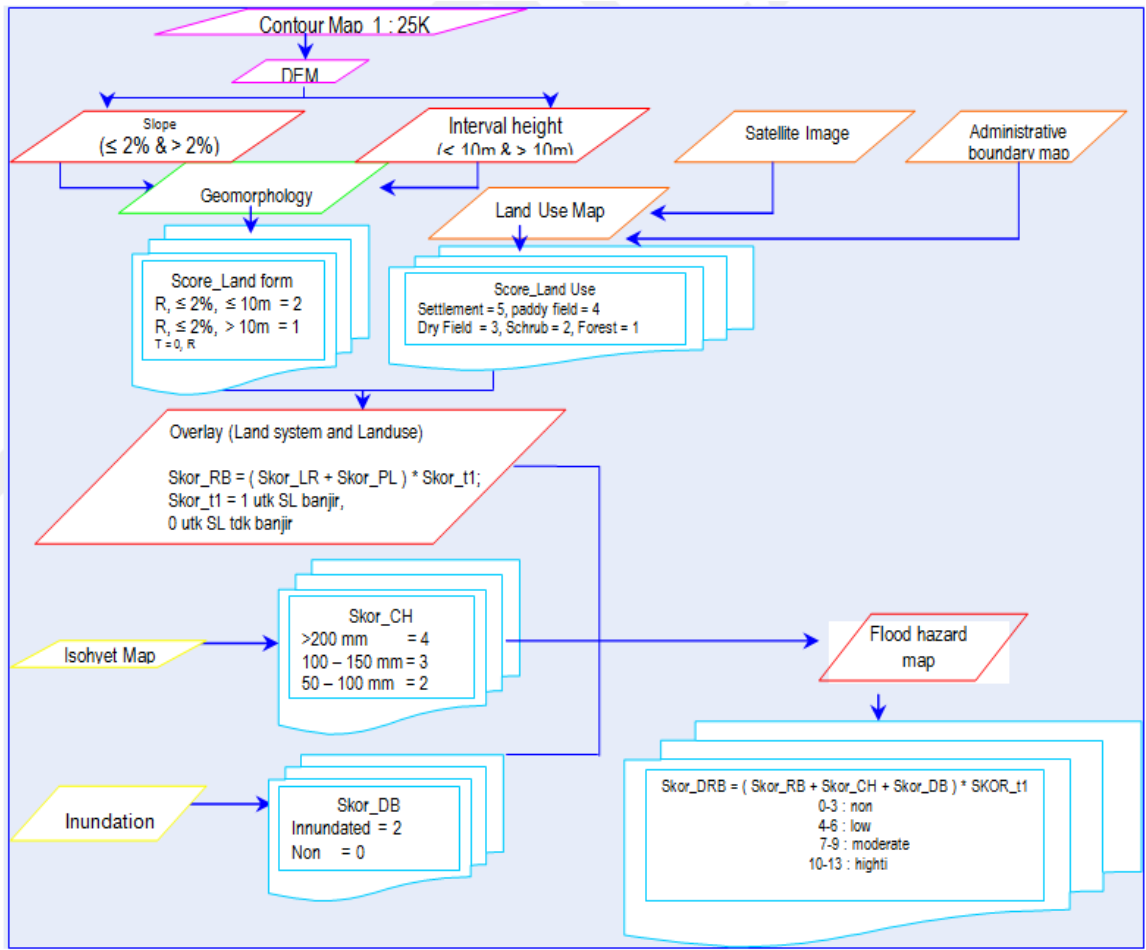
Tabel 2. Kreteria Penilaian Rawan Longsor (Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi).

No	Klasifikasi daerah rawan longsor	Nilai
1	Aman	≤ 1,4
2	Rendah	≥ 1,5– ≤ 2,6
3	Sedang	>2,6 – ≤ 3,6
4	Tinggi	≥ 3,7

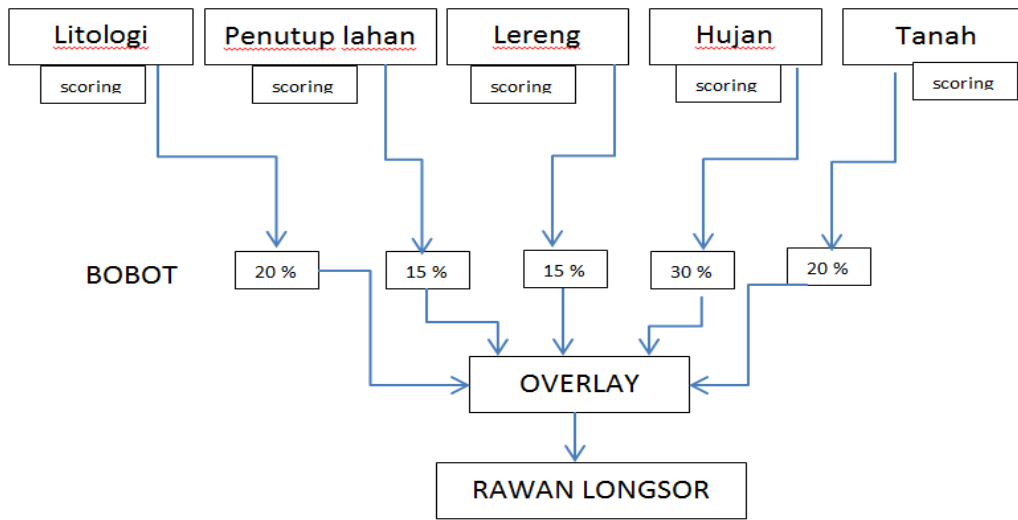
- Melakukan *overlay union* peta pola ruang dan struktur ruang dengan peta kebencanaan untuk menentukan area terdampak.



Gambar 1. Diagram Alir Kajian Spasial Implementasi Pelaksanaan RTRWK Terhadap Potensi Rawan Bencana.



Gambar 2. Diagram Alir.



Gambar 3. Diagram Alir.

Dalam melakukan analisa pemetaan rawan banjir *layer* tematik yang dipakai diantaranya peta geomorfologi, isohhyet, penggunaan lahan dan kejadian genangan yg pernah ada (Suryanta, 2015). Pada indikator ini di lakukan pembobotan dan scoring sebagai dasar dalam analisis peta rawan banjir. Data DEM digunakan untuk kros cek posisi rawan banjir. Peta geomorfologi untuk memilah peluang tipe banjir yang terjadi sesuai data lereng. Spasial analisis dan penyajian hasil

akhir memanfaatkan kemampuan peralatan sistem informasi geografi. Peta isohyete dibuat berdasar hujan 10 harian dari data rata-rata hujan 5 tahun terakhir. Data sejarah genangan merujuk kejadian 5 – 10 tahun terakhir.

Curah hujan merupakan faktor dominan penyebab terjadinya bencana longsor (Luckita, *et al.* 2015), sehingga nilainya lebih tinggi dari parameter lainnya. Curah hujan memiliki bobot sebesar 30% dari total pembobotan, sedangkan

tanah dan geologi memiliki bobot yang sama yaitu 20% dan 15% merupakan bobot yang diberikan untuk faktor penggunaan lahan dan kemiringan lereng. Berdasarkan hasil skor kumulatif maka daerah rawan (potensial) tanah longsor dikelompokkan ke dalam empat kelas, yaitu (i) sangat rawan; (ii) rawan; dan (iii) kurang rawan.

Skor Kumulatif= (30% x Faktor Curah Hujan) + (20% x Faktor Tanah) + (20% x Faktor Geologi) + (15% x Faktor Penggunaan Lahan) + (15% x Faktor Kemiringan Lereng)

- Menghitung wilayah rawan terdampak berdasar pola ruang yang sudah ditetapkan
- Overlay* Pola Ruang dengan rawan bencana
- Overlay* struktur ruang dengan rawan bencana

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola Ruang membedakan kategori wilayah yang ditanami/dilindungi atau di konservasi dengan penetapan wilayah yang menjadi kawasan strategis. Struktur tata ruang, terutama berkaitan dengan ketersediaan jaringan infrastruktur pendukung (jalan, jaringan transmisi listrik, dan aksesibilitas ke pusat pertumbuhan atau pusat kegiatan/bisnis regional/lokal). Status lahan ditetapkan berdasar suatu Ijin Tetap, Ijin Eksplorasi/Cadangan, dan area yang bebas dari perijinan/area yang tidak ada konsesinya.

Di samping sebagai “*guidance of future actions*” RTRW pada dasarnya merupakan bentuk intervensi yang dilakukan agar interaksi manusia/makhluk hidup dengan lingkungannya dapat berjalan serasi, selaras, seimbang untuk tercapainya kesejahteraan manusia/makhluk hidup serta kelestarian lingkungan dan keberlanjutan pembangunan (*development sustainability*) (Deviana, et al. 2011).

Secara alami terdapat wilayah rawan bencana yang perlu diantisipasi atau diminimalkan risikonya akibat bencana lingkungan sekitarnya, sehingga kondisi kebencanaan dalam perencanaan penggunaan ruang dan strukturnya sangat diperhitungkan. Kawasan hutan perlu dipertahankan hutannya untuk mengurangi rawan longsor dan menjaga peresapan air. Sempadan sungai untuk meminimalkan kerusakan badan sungai dan munculnya banjir akibat luapan sungai. Wilayah sawah dipertahankan untuk menunjang ketahanan pangan dan terhindar dari banjir yang dapat mengganggu panen. Kawasan terbangun di kendalikan agar memperhitungkan ruang terbuka hijau. Ruang terbuka publik dapat dijadikan lokasi evakuasi saat terjadi bencana misalnya taman, kebun, lapangan, jalan, dan tanah kosong yang kepemilikannya oleh pemerintah atau penduduk dan dapat diakses secara bebas (Saraswati, et al. 2013).

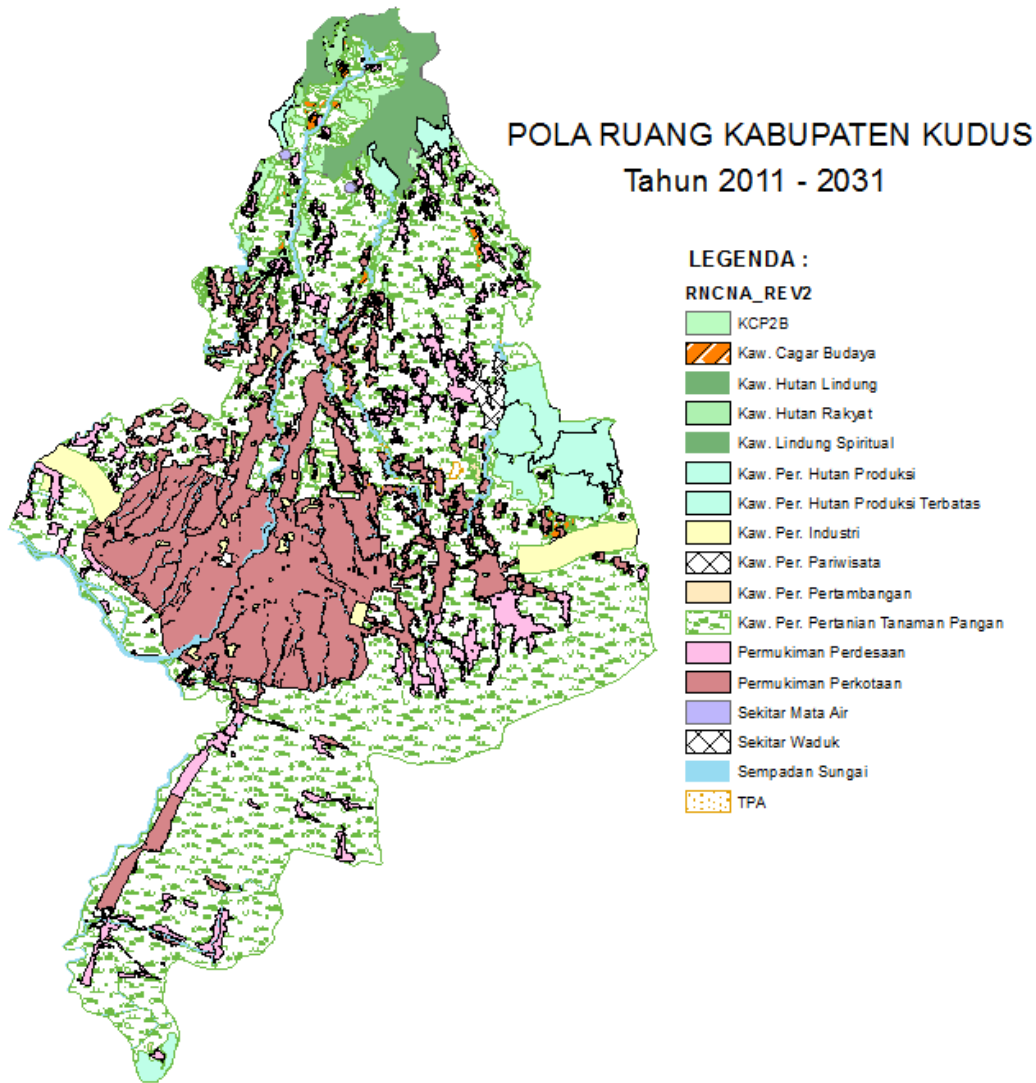
Peran lembaga-lembaga pemerintah yang resmi menerbitkan perijinan harus bisa mengendalikan perubahan pemanfaatan wilayahnya serta menyajikan data ketersediaan lahan untuk perencanaan pembangunan. Integrasi data spasial merupakan bagian penting untuk analisa pemanfaatan ruang yang tepat dan perlunya opsi-opsi yang dapat dimunculkan untuk dipilih oleh pengambil kebijakan termasuk didalamnya wilayah rawan bencana.

Terdapat enam belas *item* pola ruang yang direncanakan pemerintah Kabupaten mencakup kawasan terlindungi dan kawasan strategis selengkapnya disajikan pada **Gambar 4**. Kelengkapan rencana pola ruang dan luasannya tersaji pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Luas Kawasan Budidaya dan Kawasan Lindung Kabupaten Kudus.

Fungsi Kawasan	Pola Ruang	Luas (ha)	Prosen (%)
Kawasan Cadangan Pertanian Berkelanjutan	Kawasan Budidaya	535,00	1,19
Kaw. Hutan Rakyat	Kawasan Budidaya	105,00	0,23
Kaw. Per. Hutan Produksi	Kawasan Budidaya	1.118,00	2,49
Kaw. Per. Hutan Prod. Terbatas	Kawasan Budidaya	1.005,00	2,24
Kaw. Per. Industri	Kawasan Budidaya	1.132,00	2,53
Kaw. Per. Pariwisata	Kawasan Budidaya	44,00	0,10
Kaw. Per. Pertambangan	Kawasan Budidaya	30,00	0,07
Kaw. Per. Perta Tanaman Pangan	Kawasan Budidaya	25.334,00	56,52
Permukiman Perdesaan	Kawasan Budidaya	2.653,00	5,92
Permukiman Perkotaan	Kawasan Budidaya	9.883,00	22,05
Tempat Pembuangan Akhir	Kawasan Budidaya	18,00	0,04
Kaw. Cagar Budaya	Kawasan Lindung	195,00	0,44
Kaw. Hutan Lindung	Kawasan Lindung	1.469,00	3,28
Kaw. Lindung Spiritual	Kawasan Lindung	0,00	0,00
Sekitar Mata Air	Kawasan Lindung	24,00	0,05
Sekitar Waduk	Kawasan Lindung	199,00	0,44
Sempadan Sungai	Kawasan Lindung	1.078,00	2,41
		44.822,00	100,00

Sumber: Bappeda Kabupaten Kudus, 2014



Sumber: Bappeda Kabupaten Kudus, 2014

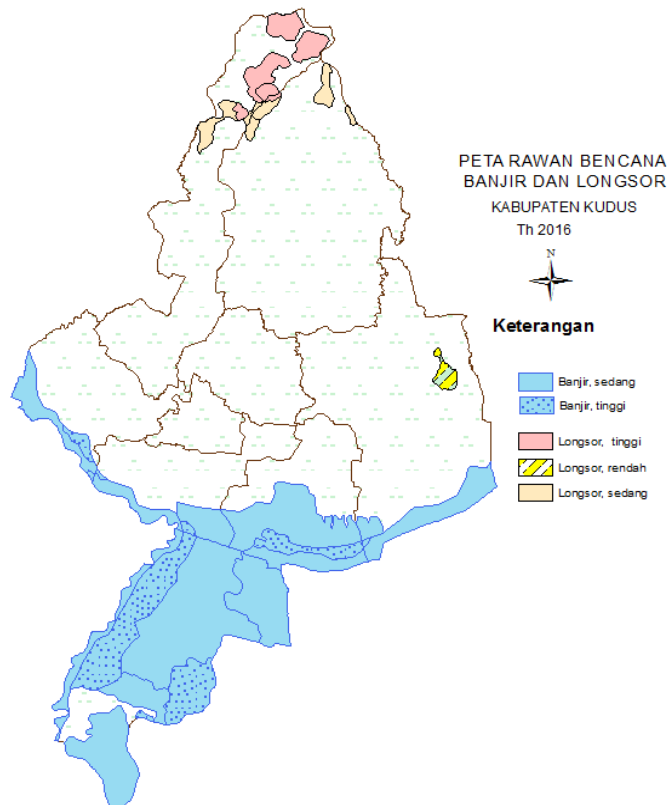
Gambar 4. Pola Ruang Kabupaten Kudus .

Hasil analisis rawan bencana terdapat dua jenis rawan bencana yang ada di Kabupaten Kudus adalah rawan banjir dan rawan longsor tersaji pada **Tabel 4**. Curah hujan yang cukup tinggi pada bulan Januari sampai Maret dan kondisi topografi maupun geologi berpotensi menjadi pemicu longsor di Kecamatan Dawe dan Gebog. Sedangkan rawan banjir ada pada daerah hilir di sepanjang sungai Kudus. Jika intensitas hujan tinggi air sungai akan meluap ditambah lagi ketika Sungai Yuono juga meluap maka akan menggenangi sejumlah Kecamatan Jekulo, Mejobo, dan Undaan.

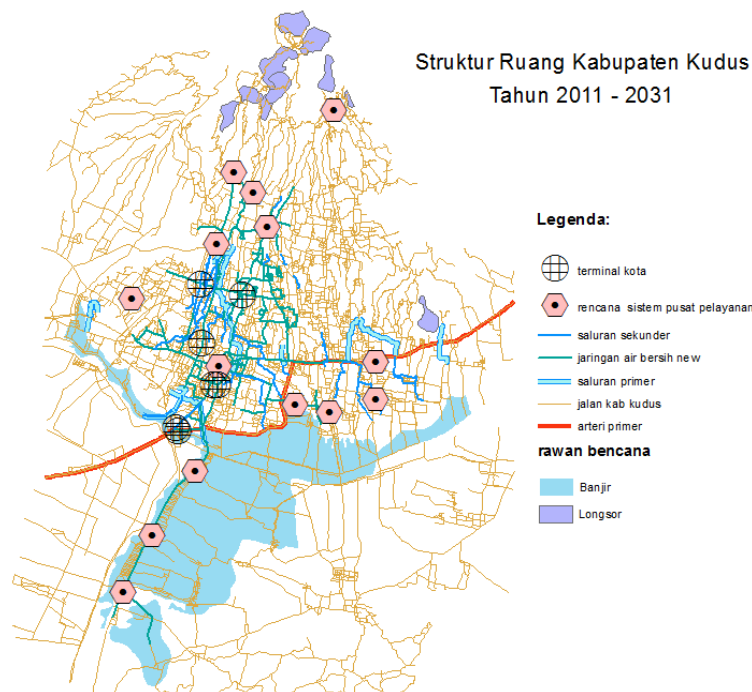
Gambar 5 menyajikan wilayah rawan bencana longsor dan banjir di Kabupaten Kudus. Total wilayah rawan bencana 13.023,224 ha terdiri rawan banjir mencapai 11.692,52 hektar (89,8%) berada di wilayah hilir dan rawan longsor seluas 1.331,17 hektar (10,22%) berada di hulu mendekati puncak gunung muria. Wilayah ini diklasifikasi dari rendah hingga tinggi disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Wilayah Rawan Bencana Kabupaten Kudus.

Jenis Bencana	Klas Rawan Bencana	Lokasi	Luas (Ha)
Banjir	sedang	Kecamatan Jati	653,00
Banjir	sedang	Kecamatan Jekulo	807,00
Banjir	sedang	Kecamatan Kaliwungu	439,00
Banjir	sedang	Kecamatan Mejobo	1.674,00
Banjir	sedang	Kecamatan Undaan	5.305,00
Banjir	tinggi	Kecamatan Jati	31,00
Banjir	tinggi	Kecamatan Jekulo	10,00
Banjir	tinggi	Kecamatan Kaliwungu	91,00
Banjir	tinggi	Kecamatan Mejobo	313,00
Banjir	tinggi	Kecamatan Undaan	1.797,00
Longsor	tinggi	Kecamatan Dawe	16,00
Longsor	tinggi	Kecamatan Gebog	679,00
Longsor	rendah	Kecamatan Jekulo	133,00
Longsor	sedang	Kecamatan Dawe	263,00
Longsor	sedang	Kecamatan Gebog	233,00



Gambar 5. Peta Rawan Bencana Banjir dan Longsor Kabupaten Kudus 2016.



Gambar 6. Stuktur Ruang Kabupaten Kudus.

Dari hasil analisis spasial (*union*) antara peta arahan pola ruang dengan peta rawan bencana di peroleh wilayah yang kemungkinan besar terdampak bila terjadi bencana. Wilayah rawan terkena banjir adalah pertanian padi dan permukiman kota, sedangkan longsor dominan pada kawasan hutan lindung maupun produksi bahkan pada cagar budaya maupun permukiman pedesaan. Rincian lengkap tersaji pada **Table 5**.

Dalam struktur ruang yang disajikan pada **Gambar 6** ditunjukkan Peta rawan bencana di *overlay* dengan jaringan jalan arteri, jalan kabupaten, rencana pusat pelayanan, terminal, jaringan air bersih primer dan sekunder untuk bisa melakukan simulasi apa yang harus dilakukan apabila terjadi bencana.

Tabel 5. Jenis Bencana dan Wilayah Terdampak serta Luasnya.

No	Bencana	Wilayah terdampak	Luas wilayah (ha)	Luas %
1	Banjir	Kaw. Per. Pertanian Tanaman Pangan	94.978,33	85,32
2	Banjir	Permukiman Perdesaan	6.084,01	5,47
3	Banjir	Permukiman Perkotaan	5.598,80	5,03
4	Banjir	Sempadan Sungai	3.195,77	2,87
5	Banjir	Kaw. Per. Hutan Produksi	1.381,23	1,24
6	Banjir	Kaw. Per. Pertambangan	42,21	0,04
7	Banjir	Kaw. Per. Industri	41,29	0,04
	<i>Sub Rawan Banjir</i>		11.692,52	100,00
8	Longsor	Kawasan Cadangan Pertanian Berkelanjutan	954,72	7,17
9	Longsor	Kaw. Per. Hutan Produksi	120,89	9,08
10	Longsor	Kaw. Per. Hutan Produksi Terbatas	563,90	4,24
11	Longsor	Kaw. Per. Pertanian Tanaman Pangan	5.249,00	39,43
12	Longsor	Kaw. Cagar Budaya	186,87	1,40
13	Longsor	Sempadan Sungai	484,27	3,63
14	Longsor	Kaw. Hutan Lindung	4.596,80	34,53
15	Longsor	Kaw. Hutan Rakyat	0.010,1	0,01
16	Longsor	Permukiman Perdesaan	15,01	0,11
17	Longsor	Sekitar Mata Air	52,12	0,39
	<i>Sub Rawan Longsor</i>		1.331,17	100,00
Luas Total Rawan Bencana			13.023,224	

Sumber: hasil analisis

Memperhatikan bagian dari struktur ruang Kabupaten Kudus yang diintegrasikan dengan wilayah rawan bencana ini, bisa diidentifikasi hal hal sebagai berikut :

- Semua wilayah rawan bencana baik longsor maupun banjir sudah tersedia akses jalan-jalan kabupaten yang memudahkan untuk evakuasi pertolongan.
- Rencana titik-titik pusat pelayanan terjauhkan dari wilayah rawan bencana.
- Terminal terjauhkan dari rawan bencana banjir
- Jaringan air bersih terjauhkan dari rawan bencana banjir.
- Pusat pelayanan juga bisa dimanfaatkan untuk tempat pengungsian sementara bila terjadi bencana.

Hasil integrasi data antara konsep pembangunan (dalam bentuk pola ruang) dengan daerah-daerah beresiko bencana di Kabupaten Kudus, dapat digunakan untuk mengoreksi usulan perencanaan, baik struktur ruang, pola ruang, maupun penentuan kawasan-kawasan strategis. Ketidaksiesuaian skala kedetailan resiko bencana dengan tingkat kedetailan rencana tata ruang

merupakan hal penting karena perbedaan ini secara signifikan menentukan seberapa detail rekomendasi pengurangan resiko melalui perencanaan tata ruang yang dihasilkan. Pada akhirnya, usaha pertampalan harus berorientasi akhir pada keluaran produk rencana tata ruang yang merupakan bagian dari sistem penyelenggaraan penataan ruang yang baku. Dengan demikian hasil analisis perencanaan tata ruang yang sesuai strategis untuk pembangunan namun bertampalan dengan daerah yang terpapar (*exposed*) terhadap bencana alam dapat diketahui oleh masyarakat, investor potensial-pelaku usaha, dan pemerintah.

Konsep pada HFA terdapat 5 fokus integrasi perencanaan tata ruang dengan pengurangan resiko bencana, yakni:

- integrasi kajian resiko bencana ke dalam perencanaan perkotaan, termasuk di dalamnya perhatian khusus terhadap permukiman yang rentan terhadap bencana,
- pengarusutamaan pertimbangan resiko bencana terhadap kegiatan pembangunan infrastruktur vital,

- c) pengembangan dan penggunaan alat pemantauan untuk mengukur aspek pengurangan resiko yang diperoleh atas suatu kebijakan perencanaan tata ruang,
- d) integrasi kajian resiko bencana terhadap perencanaan pembangunan perdesaan, terutama di daerah pegunungan dan pesisir, serta
- e) revisi ataupun pengembangan terhadap building code serta praktik rekonstruksi dan rehabilitasi pada tingkat nasional dan lokal.

Indonesia telah melakukan usaha integrasi pengurangan resiko bencana dalam penyelenggaraan penataan ruang, dilihat dari keterkaitan antara UU 24/2007 mengenai Penanggulangan Bencana dan UU 26/2007 mengenai Penataan Ruang. Persoalannya adalah belum terdapat petunjuk baku mengenai bagaimana kajian resiko bencana untuk setiap jenjang perencanaan sehingga dapat lebih operasional. Pengukuran rencana tata ruang secara kuantitatif, dan kaitannya dengan mitigasi bencana dapat direncanakan secara terukur (Brody, 2003). Perencanaan tata ruang bertindak sebagai landasan utama pembangunan di daerah dengan penentuan alokasi ruang dari yang bersifat umum sampai dengan rinci.

Memperhatikan lahan pertanian sawah Kabupaten Kudus yang rawan kena dampak banjir, dalam kacamata resiko bencana, degradasi lingkungan dapat ditempatkan sebagai faktor yang memperbesar kerentanan wilayah pertanian tersebut. Hal ini pernah diamati, (Becker, *et al.* 2010) di Selandia Baru, dimana pengembangan kebijakan zonasi merupakan bagian dari pembangunan berkelanjutan secara umum dari aspek lingkungan. Contoh lain dari Negara Jerman, yang menyediakan *flood plain* (bantaran sungai) atau dikenal juga dengan "*leaving more space to rivers*" yang dilakukan dalam bentuk alokasi ruang terbuka (Shen, 2010). Dalam kaitannya dengan mitigasi bencana, minimnya data analisis bahaya serta resiko pada tingkat mikro juga menghambat implementasi arahan kepada masyarakat. Lebih lanjut, hal semacam ini hampir tidak dapat dilakukan secara mandiri oleh Tim Perencana suatu Kabupaten/Kota, sementara sudah terdapat banyak kajian resiko bencana pada tingkat makro, meso, yang sudah dikaji di pusat-pusat penelitian misalnya BNPB, LIPI, BIG atau perguruan tinggi.

Tata ruang dan pemasangan sistem peringatan dini merupakan instrumen yang cukup baik untuk pengurangan dan penanganan resiko bencana. Dari studi kasus ini instrumen peringatan dini rawan longsor bisa di tempatkan pada lereng yang dibawahnya banyak terdapat permukiman. Alat peringatan dini juga bisa di pasang pada permukiman yang berdekatan dengan wilayah rawan banjir. Struktur ruang yang dibangun khususnya jaringan jalan sudah memberikan akses pada rawan longsor maupun

banjir sehingga memudahkan dalam evakuasi maupun tanggap darurat.

Fasilitas yang terbangun membuat masyarakat menjadi lebih siap jika sewaktu-waktu bencana terjadi, sehingga mereka mengetahui jalur evakuasi dan tempat pengungsian dengan lebih cepat. Instrumen lain yang bisa berperan dan perlu diintegrasikan dengan perencanaan tata ruang misalnya penanganan bencana berbasis komunitas (*community based disaster risk reduction*), dimana masyarakat diharapkan berperan aktif dalam pengurangan resiko bencana (*people centered approach*) (Basher, 2006). Pendekatan ini muncul karena pendekatan yang bersifat terpusat memiliki kesulitan dalam pengambilan keputusan yang berakibat lambatnya respon dalam penanganan bencana.

Pendekatan berbasis masyarakat memiliki nilai lokal yang tinggi dan mampu mengeksplorasi kemampuan masyarakat yang sebelumnya terabaikan (Shaw, 2009). Oleh karena itu sejak UU 26/2007 tentang Penataan Ruang disusun, salah satu hal yang ditekankan adalah mengenai partisipasi masyarakat sangat penting untuk diakomodasikan dalam peningkatan kualitas perencanaan tata ruang dan pengurangan resiko bencana. Sebagai contoh masyarakat yang bersiap dalam menghadapi resiko kejadian bencana seperti dalam studi ketahanan (*resilience*) masyarakat di Gunung Merapi (Sagala, *et al.* 2009). Hal ini kemudian dapat diimplementasikan baik dalam persiapan individual maupun secara komunal, termasuk di dalamnya kesepakatan terhadap tata guna lahan yang memasukkan unsur resiko bencana di Kabupaten Kudus. Koordinasi juga merupakan faktor lain yang sangat penting bila berbicara kejadian bencana pada wilayah lintas administratif dan antar kota maupun antar provinsi (Sagala, *et al.* 2011; Cross, 2001).

Terkait kelembagaan yang bertanggung jawab, Indonesia sudah membentuk badan, dimana Pemerintah Provinsi sudah dilengkapi dengan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD), termasuk Kabupaten/Kota yang memiliki resiko bencana tinggi. Namun demikian, mekanisme koordinasi antara BPBD dengan Bappeda sebagai induk perencanaan pembangunan masih belum jelas, dalam pengertian bagaimana kajian resiko bencana seharusnya ditempatkan dan bagaimana kemudian dapat mengoreksi perencanaan tata ruang dan perencanaan pembangunan pada umumnya. Bappeda maupun Dinas Tata Ruang (pada umumnya) merupakan dinas yang bertanggungjawab dalam perencanaan, namun pihak yang memantau pemanfaatannya belum dengan jelas dibebankan pada dinas apa.

KESIMPULAN

Wilayah rawan bencana di Kabupaten Kudus seluruhnya ada 13.023,224 ha terdiri dari rawan

banjir pada level sedang hingga tinggi mencapai 11.692,52 hektar (89,8%) berada di wilayah hilir. Rawan longsor seluas 1.331,17 hektar (10,22%) terdiri dari level tinggi, sedang, hingga rendah berada di hulu puncak gunung muria.

Berdasar pola ruang yang sudah disusun, maka rawan banjir 85,32% dominan berdampak pada kawasan pertanian tanaman pangan atau persawahan, 10,5% permukiman dan 2,9% sempadan sungai. Rawan longsor dominan berdampak pada kawasan tanaman perkebunan seluas 39,43%, hutan lindung 34,53 % dan hutan produksi 9,00%.

Dari struktur ruang menunjukkan jaringan aksesibilitas ke wilayah rawan bencana cukup baik. Dari sebaran wilayah rawan bencana maka fasilitas pelayanan dapat di pilih pada ruang yang terhindar dari aspek bencana.

Metode ini dapat dipakai untuk mengevaluasi tata ruang suatu daerah dalam mengetahui seberapa luas wilayah bisa terdampak bencana alam daerah yang bersangkutan. Kajian ini perlu dilanjutkan untuk perencanaan tempat bangunan fisik pengurangan resiko bencana maupun peringatan dini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kepala Bidang Pemetaan Tata Ruang, Pusat Pemetaan Tata Ruang, Badan Informasi Geospasial dan Bappeda Kudus yang sudah membatu menyediakan sebagian data penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Informasi Geospasial (2014) Norma Standard Pedoman dan Kriteria Pemetaan Rawan Banjir. Pusat PPIT BIG.
- Basher, R. (2006). Global Early Warning Systems for Natural Hazards: Systematic and People-Centred. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 364(1845), 2167-2182.
- Brody, S. D. (2003). Implementing the Principles of Ecosystem Management Through Local Land Use Planning. *Population and Environment*, 24(6), 511-540.
- Burby, R. J., Deyle, R. E., Godschalk, D. R., & Olshansky, R. B. (2000). Creating Hazard Resilient Communities Through Land-Use Planning. *Natural hazards review*, 1(2), 99-106.
- Chaskin, R. J. (2001). Building Community Capacity a Definitional Framework and Case Studies from a Comprehensive Community Initiative. *Urban affairs review*, 36(3), 291-323.
- Cross, J. A. (2001). Megacities and Small Towns: Different Perspectives on Hazard Vulnerability. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 3(2), 63-80.
- Deviana, A., Kridasantausa, I., & Suryadi, Y. (2011). *Kajian Pemodelan Spasial Banjir untuk Mendukung Kebijakan Sempadan Sungai dan Tata Ruang Wilayah (Studi Kasus Wilayah Pengembangan Baleendah)* (Doctoral dissertation, Tesis).
- Luckita, R. E., & Safitri, I. (2015). Arahan Penataan Ruang Berbasis Mitigasi Bencana Alam Geologi di Kabupaten Majalengka. *Prosiding Perencanaan Wilayah dan Kota*, 1-8.
- Sagala, S., & Saraswati, S. (2013). Analisis Spasial Ketersediaan Ruang Terbuka Publik pada Permukiman Padat untuk Evakuasi pada Gempa Susulan (Studi Kasus: Kelurahan Sukahaji, Bandung).
- Sagala, S., Okada, N., & Paton, D. (2009). Predictors of Intention to Prepare for Volcanic Risks in Mt Merapi, Indonesia. *Journal of Pacific Rim Psychology*, 3(02), 47-54.
- Shaw, R., Sharma, A., & Takeuchi, Y. (2009). *Indigenous Knowledge and Disaster Risk Reduction*. Nova Science Publishers, Inc..
- Shen, X. (2010). Flood Risk Perception and Communication within Risk Management in Different Cultural Contexts. *Graduate Research Series (1)*, UNU-EHS, Bonn.
- Suryanta, J. (2014). Penggunaan Unmanned Aerial Vehicle untuk Validasi Peta Rawan Banjir di Kabupaten Kudus dan Pati. *Majalah Ilmiah Globe*, 16(1).
- Suryanta, J (2015). Karakteristik Banjir di Kabupaten Sigi. *Prosiding Mosaik Informasi Geospasial Wilayah Sulawesi Tengah*. IPB Press
- Twigg, J. (2009). Characteristics of a Disaster-Resilient Community: a guidance note (version 2).
- Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2014 tentang Pemerintahan Daerah (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 244, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5587).

ANALISIS SPASIAL KEMAMPUAN LAHAN DALAM PERENCANAAN PENGELOLAAN DAS MIKRO

Kasus di DAS Mikro Naruwan, Sub DAS Keduang, DAS Solo

*(Spatial Land Capability Analysis in Micro Watershed Management Planning, Case Study
in Naruwan Micro Watershed, Keduang Sub Watershed, Solo Watershed)*

Nining Wahyuningrum dan Agung Budi Supangat

Badan Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan DAS Surakarta

Jl. Jend. Ahmad Yani, Pabelan, PO Box 295, Surakarta, Indonesia

E-mail: nining0709@yahoo.com

Diterima (received): 20 Januari 2016; Direvisi (revised): 30 Maret 2016; Disetujui untuk dipublikasikan (accepted): 5 April 2016

ABSTRAK

Untuk mewujudkan kondisi lahan yang produktif sesuai dengan daya dukung DAS diperlukan rencana detil sehingga mudah diterapkan di lapangan. Perencanaan detil perlu didahului dengan penelaahan global untuk mengetahui gambaran umum kondisi lahan aktual, sehingga dapat digunakan untuk menetapkan prioritas-prioritas lokasi yang penting untuk segera ditangani. Dalam paper ini dilakukan analisis kemampuan penggunaan lahan (*land use capability analysis*) skala detil (DAS mikro) berdasar kepada informasi semi detil (sub DAS) dengan menggunakan ArcMap 9.3. Penelitian dilakukan di DAS Mikro Naruwan yang termasuk dalam Sub DAS Keduang, DAS Solo. DAS Solo merupakan salah satu dari 108 DAS prioritas yang harus dipulihkan. Hasil analisis menunjukkan bahwa 38% lokasi penelitian didominasi tegal, kebun campur 23%, hutan 20% dan sisanya oleh sawah, permukiman dan semak belukar. Meskipun kebun campur dan hutan mendominasi, akan tetapi terdapat 56,24% penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan klas kemampuan lahannya. Pada lahan yang tidak sesuai tersebut 33,14% mengalami erosi pada taraf sangat berat (>480 ton/ha). Lahan yang tidak sesuai tersebut terutama adalah tegal. Karena sebagian besar merupakan lahan milik masyarakat sehingga tidak mudah untuk merubah penggunaannya. Oleh sebab itu perlu dilakukan kompromi untuk mengurangi dampak negatifnya yaitu dengan pengembangan hutan rakyat dengan sistem agroforestri, perbaikan hutan di bantaran sungai, peningkatan persentase penutupan lahan, pembuatan teras gulud, pemberian mulsa, pembuatan rorak, pembangunan dam penahan dan dam pengendali untuk mengendalikan erosi.

Kata kunci: kemampuan lahan, penggunaan lahan, erosi, perencanaan, konservasi

ABSTRACT

To create a productive land condition in accordance with the carrying capacity of watershed needs a detailed planning so it is applicable in the field. The detailed planning needs to be preceded by a global assessment to comprehend the actual general description, so it can be used to set priorities that are important to be addressed. In this paper, land use capability analysis were used in the detail planning (micro-catchment) based on the semi-detail (sub-watershed) information by utilizing GIS analysis. The study was conducted in Naruwan micro watershed which is included in Keduang Sub-Watershed of Solo Watershed. Solo Watershed is one of 108 watersheds that should be recovered. Analysis show that 38% of the area is dominated by dryland, 23% mixed garden, 20% production forest, and the rest consisted of paddy field, settlement and shrubs. Although the mixed garden and forest dominate, but there are 56,24% of the land use that is suitable to its land capability. The 33,4% of the unsuitable land use, have very severe erosion (>480 ton/ha). The unsuitable land use is dry land agriculture. Since most of the land belonging to the community, so it is not easy to change its usage. Therefore it is necessary to compromise the type of land uses which reducing its negative impact namely the development of community forest by applying agroforestry system, improvement of riparian forest, increasing the percentage of permanent land cover, terracing, mulching, manufacture of sediment trap (rorak), building retaining dam and control dam to control erosion.

Keywords: land capability, land use, erosion, planning, conservation

PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) sebagai unit ekologis dan unit pengelolaan dapat merepresentasikan suatu kondisi keterpaduan dan kelestarian komponen-komponennya. Setiap komponen penyusun DAS, seperti lahan, vegetasi, air dan manusia, mempunyai peran yang saling berpengaruh satu dengan lainnya. Dengan demikian, sinkronisasi dari masing-masing komponen tersebut sangat diperlukan untuk meminimalisir dampak negatif dari suatu kejadian. Sebagai kesatuan ruang yang terdiri atas unsur abiotik (tanah, air, dan udara), biotik (vegetasi, binatang dan organisme hidup lainnya) dan kegiatan manusia yang saling berinteraksi dan saling ketergantungan satu sama lain, maka pengelolaan hutan, tanah, air, masyarakat dan lain-lain harus memperhatikan peranan dari komponen-komponen ekosistem tersebut.

Pengelolaan DAS adalah upaya manusia dalam mengatur hubungan timbal balik antara sumberdaya alam dengan manusia di dalam DAS dan segala aktivitasnya, agar terwujud kelestarian dan keserasian ekosistem serta meningkatnya kemanfaatan sumberdaya alam bagi manusia secara berkelanjutan (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2012, 2012). Sedangkan tujuan pengelolaan DAS adalah mewujudkan kesadaran, kemampuan dan partisipasi aktif lembaga terkait dan masyarakat dalam pengelolaan DAS yang lebih baik, mewujudkan kondisi lahan yang produktif sesuai dengan daya dukung dan daya tampung lingkungan DAS secara berkelanjutan, mewujudkan kuantitas, kualitas dan keberlanjutan ketersediaan air yang optimal menurut ruang dan waktu dan mewujudkan peningkatan kesejahteraan masyarakat (Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia No. P61/Menhut-II/2014, 2014).

Dalam rangka mewujudkan kondisi lahan yang produktif yang sesuai dengan daya dukung DAS diperlukan rencana detil agar rencana tersebut mudah diterapkan dilapangan. Perencanaan detil perlu didahului dengan penelaahan global untuk mengetahui gambaran umum kondisi lahan aktual, dengan demikian akan dapat memotret distribusi dan variasi kondisi lahan terkini sehingga dapat digunakan untuk menetapkan prioritas-prioritas lokasi yang penting untuk segera ditangani.

Pendekatan kemampuan lahan (*land capability*) dapat digunakan untuk melakukan perencanaan detil. Analisis kemampuan lahan mengukur kondisi fisik lahan terkait dengan keterbatasannya untuk suatu jenis penggunaan (Bibby, *et al.* 1991; Fletcher, dan Gibb, 1990). Jenis penggunaan lahan yang sesuai dapat dilakukan dengan mengetahui jenis-jenis pembatasannya agar dapat berfungsi secara lestari. Pendekatan ini diperlukan mengingat keterbatasan luas lahan yang tersedia untuk

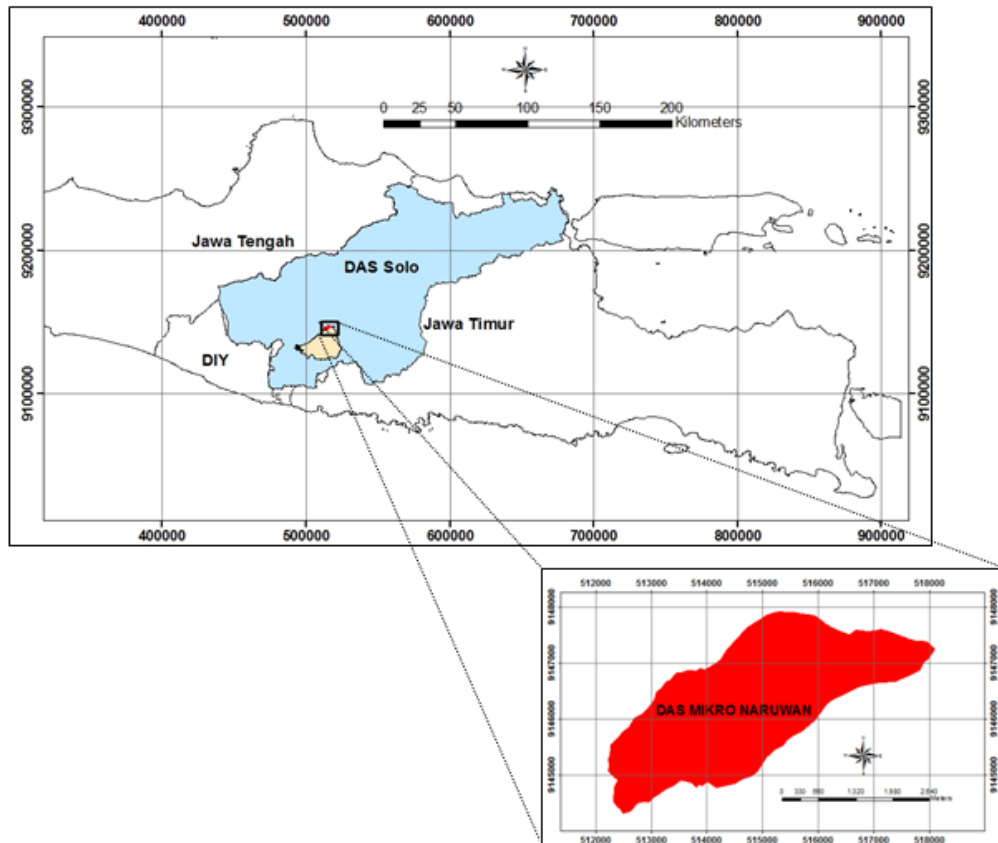
dapat memenuhi segala jenis kebutuhan dalam suatu DAS. Pemilihan penggunaan lahan yang tidak tepat akan memicu kepada terjadinya degradasi lahan sehingga akan menurunkan daya dukungnya. Analisis kemampuan lahan ini dapat dipakai sebagai arahan/acuan bagi instansi/dinas terkait dalam upaya penetapan skala prioritas kegiatan Rehabilitasi Hutan dan Lahan (RHL), termasuk di dalamnya penyelenggaraan reboisasi, penghijauan, dan konservasi tanah dan air, baik vegetatif, agronomis, struktural, maupun manajemen.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kemampuan lahan dalam rangka mendukung perencanaan pengelolaan DAS mikro. Dalam paper ini akan dilakukan analisis Kemampuan Penggunaan Lahan (*land use capability analysis*) skala detil (DAS mikro) berdasar kepada informasi semi detil (sub DAS) dengan mendayagunakan GIS (*Geographic Information System*). Informasi distribusi spasial klas Kemampuan Penggunaan Lahan (KPL) ini terutama diperlukan untuk menentukan jenis dan lokasi kegiatan konservasi tanah (Fletcher, dan Gibb, 1990).

METODE

Penelitian ini dilakukan pada tingkat DAS yaitu DAS Solo dan Sub DAS Keduang. Informasi penutup lahan diperoleh dari BPKH (Balai Pengukuhan Kawasan Hutan) Yogyakarta, yang berasal dari andsat ETM 7, sedangkan pada penelitian ini menggunakan Quickbird sehingga menjadi lebih detil. Penelitian dilakukan di DAS Mikro Naruwan yang termasuk dalam Sub DAS Keduang, DAS Solo yang disajikan pada **Gambar 1**. Lokasi ini digolongkan sebagai DAS Mikro, sesuai dengan Pedoman Pembangunan Areal DAS Mikro (Peraturan Dirjen Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial, Nomor:P.15/V-Set/2009, 2009) bahwa DAS dengan luas sampai dengan 5000 ha, dapat dikategorikan sebagai DAS Mikro. DAS Solo merupakan salah satu dari 108 DAS prioritas yang harus dipulihkan (Keputusan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: SK 328/Menhut-II/2009, 2009). Pada lokasi tersebut didominasi oleh jenis penggunaan lahan tanaman semusim di areal miring seperti yang disajikan pada **Gambar 2**.

Bahan dan peralatan yang digunakan adalah: (1) SPAS (Stasiun Pengamatan Arus Sungai), (2) AWLR (*Automatic Water Level Recorder*), (3) ARR (*Automatic Rainfall Recorder*), (4) GPS (*Global Positioning System*), (5) Peta RBI (Rupa Bumi Indonesia) skala 1:25.000, (6) DEM (*Digital Elevation Model*) Aster 30 x 30 m, (7) Citra Quickbird tahun 2011 skala 1:5000, (8) Peta RePPProt skala 1:250.000, (9) *Software*: ArcMap 9.3, *Google-earth-4.2.0196-Beta*, MSOffice: Excel, Word.



Gambar 1. Lokasi DAS Mikro Naruwan, Sub DAS Keduang, DAS Solo.



Gambar 2. Kondisi Umum DAS Mikro Naruwan.

Data yang dikumpulkan meliputi data hidrologi tahun 2009-2014 yang meliputi: data curah hujan bulanan, tinggi muka air, debit pada berbagai variasi tinggi muka air, contoh sedimen, kelerengan dari DEM, dan data sekunder: jenis tanah, tekstur dan struktur tanah, data penutupan lahan dan jenis konservasi tanah dari *Quickbird* tahun 2011 skala 1:5000. Jenis konservasi dalam hal ini teras-teras dapat diidentifikasi secara visual dengan kenampakan berupa alur-alur yang membentuk pola yang teratur. Validasi data berupa survey lapangan dilakukan pada tahun 2015.

Data debit sungai diperoleh dari data tinggi muka air yang dikonversi menjadi debit dengan bantuan *rating curve* (hubungan antara tinggi muka air dan debit), kemudian dibuat grafik hubungan antara tinggi muka air dan debit. Sedimen (*sedimen yield*) didekati dengan kandungan sedimen dan debit. Tingkat sedimentasi didapatkan dengan mengalikan kandungan sedimen dengan debit. Limpasan diperoleh dengan membagi debit dengan luas DAS (Pramono, *et al.* 2000). Klasifikasi penutupan lahan dilakukan dengan menggunakan citra *Quickbird* tahun 2011 secara dijitasi pada layar (*onscreen digitizing*) dan analisis secara visual dengan menggunakan ArcMap 9.3. Klasifikasi didasarkan pada hasil pengecekan lapangan dan informasi yang didapat dari *Google Earth*. Kemiringan lahan diperoleh dari analisis DEM dengan menggunakan ArcMap 9.3. Kemiringan lahan diklasikan menjadi klas 0-8%, 8-15%, 15-25%, 25-45% dan >45%.

Evaluasi lahan dilakukan untuk mengetahui klas Kemampuan Penggunaan Lahan (KPL), yang kemudian digunakan untuk menentukan kesesuaian penggunaannya, serta perbaikan kondisi biofisik lahan untuk suatu jenis penggunaan tertentu. Metode yang dilakukan adalah seperti yang dilakukan oleh (Fletcher dan Gibb, 1990; Wahyuningrum, *et al.* 2003). Tabel kriteria KPL disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kriteria Kemampuan Penggunaan Lahan.

No	Hambatan (Limitation)	Kelas (Class)	I	II	III
1.	Adanya teknik konservasi tanah, terasering, dll	E	100	100	60-80
2.	Tingkat Erosi	E	Terbaik	Ringan	Sedang
3.	Drainase	W	Terhambat	Agak terhambat	Sedang
4.	Tekstur tanah	S	L, SiL	SL, SCL, CL, SiCL	LS, Si, SC, C, SiC
5.	Struktur tanah	S	Granular kasar	Granular halus	Blocky-platy
6.	Kedalaman tanah (cm)	S	> 90	60-90	30-60
7.	Kedalaman regolith (cm)	S	> 200	100-200	80-100
8.	Persentase kerikil (%)	S	-	-	-
9.	Persentase singkapan (%)	S	-	-	-
10.	Iklim	C	7-12	7-9 atau 5-6	5-6 atau 3-4
	Bulan basah > 200 mm				
	Bulan kering < 100 mm	C	0-1	2-3 atau 0-1	2-6 atau 0-1
11.	Slope (%)	G	0-8	-	8-15

Tabel 1 Lanjutan.

No	Hambatan (Limitation)	Kelas (Class)	IV	V	VI	VII	VIII
1.	Adanya teknik konservasi tanah, terasering, dll	E	60-80	20-60	10-40	1-20	1-20
2.	Tingkat Erosi	E	Berat	-	-	-	-
3.	Drainase	W	Cepat	Sangat cepat	-	-	-
4.	Tekstur tanah	S	S	-	-	-	-
5.	Struktur tanah	S	Blocky	-	-	-	-
6.	Kedalaman tanah (cm)	S	15-30	0-15	-	-	-
7.	Kedalaman regolith (cm)	S	60-80	40-60	20-40	10-20	<10
8.	Persentase kerikil (%)	S	-	1-10	10-20	20-6-	>60
9.	Persentase singkapan (%)	S	1-10	10-20	20-40	40-80	>80
10.	Iklim	C	3-4	3-4 atau 0-3	0-2	0-2	0-1
	Bulan basah > 200 mm						
	Bulan kering < 100 mm	C	2-6	7-8 atau 0-1	2-6	7-9	-
11.	Slope (%)	G	15-25	-	25-45	>45	-

Tingkat erosi, yang merupakan salah satu parameter untuk menentukan kelas KPL, diprediksi dengan menggunakan rumus *Universal Soil Loss Equation (USLE)* (Weischmeier dan Smith, 1978) dengan rumus sebagai berikut:

$$A = R K L S C P \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- A = Banyaknya tanah tererosi (ton/ha/tahun),
- R = Indeks erosivitas hujan,
- K = Indeks erodibilitas tanah,
- LS = Indeks panjang dan kemiringan lereng,
- C = Indeks pengelolaan tanaman,
- P = Indeks upaya konservasi tanah

Indeks erosivitas hujan (R) dihitung dengan rumus EI30 (Utomo, 1989), yaitu:

$$EI30 = -8,79 + (7,01 \times R) \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

- EI30 = Erosivitas hujan,
- R = Hujan rata-rata bulanan (cm)

Indeks panjang dan kemiringan lereng dihitung dengan rumus (Paningbatan, 2001), nilai lereng citra diambil dari DEM.

$$LS = 0,2 S^{1,33} + 0,1 \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

- LS = Indeks panjang lereng,
- S = Lereng (%)

Nilai CP diperoleh dari analisis penutupan lahan dari citra Citra *Quickbird* 2011 dan tabel CP hasil penelitian Pusat Penelitian Tanah (Munibah, et al. 2010) sedangkan nilai K diperoleh dari RePProt skala 1:250.000 dengan melihat parameter jenis tanah sesuai dengan yang digunakan Dariah, et al. (2004). Tumpang susun peta hujan, tanah, lereng dan penutupan lahan dilakukan dengan ArcMap 9.3 untuk selanjutnya dilakukan perhitungan erosi dengan USLE. Hasil prediksi erosi selanjutnya diklasifikasikan seperti yang disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Klasifikasi Tingkat Erosi.

Tingkat erosi	Erosi (ton/ha/th)
Sangat ringan	< 15
Ringan	15-60
Sedang	60-180
Berat	180-480
Sangat berat	>480

Sumber: (Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Daerah Aliran Sungai, 1995)

HASIL PEMBAHASAN

Analisis lebih detil dilakukan di DAS Mikro Naruwan yang mempunyai luas 957,12 ha, dengan dominasi penutupan hutan dan kebun campur disajikan pada **Tabel 3**, sedangkan lereng dominan adalah klas lereng 25-45% dan > 45% disajikan pada **Tabel 4**. Dari kondisi lereng tersebut tergambar potensi lahan untuk

mengalami degradasi, apabila tidak dikelola dengan baik.

Tabel 3. Jenis Penutupan Lahan DAS Mikro Naruwan.

Jenis Penutupan Lahan	ha	%
Hutan	192,55	20,12
Kebun campur	228,62	23,89
Pemukiman	61,42	6,42
Sawah	102,16	10,67
Semak belukar	2,19	0,23
Tegal	370,19	38,68
Jumlah	957,12	100,00

Sumber: Data primer

Tabel 4. Klas Lereng DAS Mikro Naruwan.

Klas Kelerengan	ha	%
15-25	10,22	1,07
25-45	537,11	56,12
>45	409,8	42,82
Jumlah	957,12	100

Sumber: Data primer

Dari peta RePProt terlihat bahwa di Naruwan sub grup tanah *dystropepts* dan *humitopepts* memiliki luas yang hampir sama. Kedua sub grup tersebut termasuk ordo *inseptisols* (Samekto, 2007).

Perhitungan erosi dengan USLE menunjukkan bahwa besarnya erosi rata-rata tertimbang DAS mikro Naruwan adalah 363,5 ton/ha/th dan erosi total sebesar 435.861 ton/th. Indeks erosi (IE) rata-rata tertimbang 57,38. Nilai IE ini termasuk pada kategori sedang (Pedoman Monitoring dan Evaluasi DAS, 2009). Analisis KPL menunjukkan bahwa DAS Mikro Naruwan

mempunyai klas KPL tinggi yaitu V, VI dan VII disajikan pada **Tabel 5**. Distribusi spasial klas KPL disajikan pada **Gambar 3**.

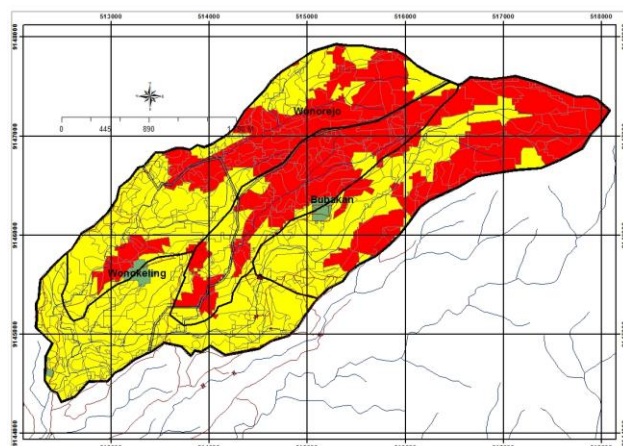
Semakin tinggi klas KPL maka penggunaannya akan semakin terbatas. Menurut (Fletcher dan Gibb, 1990) dan (Wahyuningrum, et al. 2003), Klas V-VII tidak sesuai untuk tanaman semusim dan terbatas hanya untuk padang rumput, agroforestri dan kehutanan. Klas V dan VI dapat sesuai untuk tanaman semusim apabila terdapat teras bangku, karena teras bangku dapat mengurangi efek kemiringan lahan yaitu mengurangi kecepatan aliran permukaan dan mengurangi erosi. Teras bangku yang dibuat harus sesuai dengan garis kontur dan selalu dipelihara. Klas VII hanya sesuai untuk padang rumput, agroforestri dan kehutanan. Dari **Tabel 5** terlihat bahwa lebih kurang 56% lahan memiliki klas KPL VIg dan 42% masuk pada klas VIIg. Klas pembatas g menunjukkan bahwa gradien atau kelerengan lahan yang menjadi pembatas penggunaan lahan.

Meskipun didominasi oleh hutan dan kebun campur yang disajikan pada **Gambar 4** ternyata di beberapa lokasi digunakan tidak sesuai dengan klas kemampuannya. **Gambar 4** memperlihatkan distribusi spasial penutupan lahan DAS Mikro Naruwan. Dari gambar tersebut terlihat bahwa hutan terdistribusi di bagian hulu. Tegalan terdistribusi merata baik di punggung-punggung bukit (batas DAS) sampai ke lembah (pinggir sungai). Konservasi tanah yang paling banyak dijumpai di lokasi tersebut adalah teras gulud seperti yang disajikan pada **Gambar 2**.

Tabel 5. Jenis Penutupan Lahan pada Beberapa Klas KPL.

Penutupan Lahan	Klas KPL							
	Ve		VIg		VIIg		Jumlah	
	ha	%	ha	%	Ha	%	ha	%
Hutan	0,00	0,00	38,86	3,85	155,70	16,27	192,56	20,12
Kebun campur	5,60	0,58	154,38	16,13	64,13	6,70	224,10	23,41
Pemukiman	4,49	0,47	53,73	5,61	7,71	0,81	65,94	6,89
Sawah	0,02	0,00	75,92	7,93	26,22	2,74	102,16	10,67
Semak belukar	0,00	0,00	2,19	0,23		0,00	2,19	0,23
Tegal	0,11	0,01	214,03	22,36	156,04	16,30	370,18	38,68

Sumber: Hasil Analisis Data

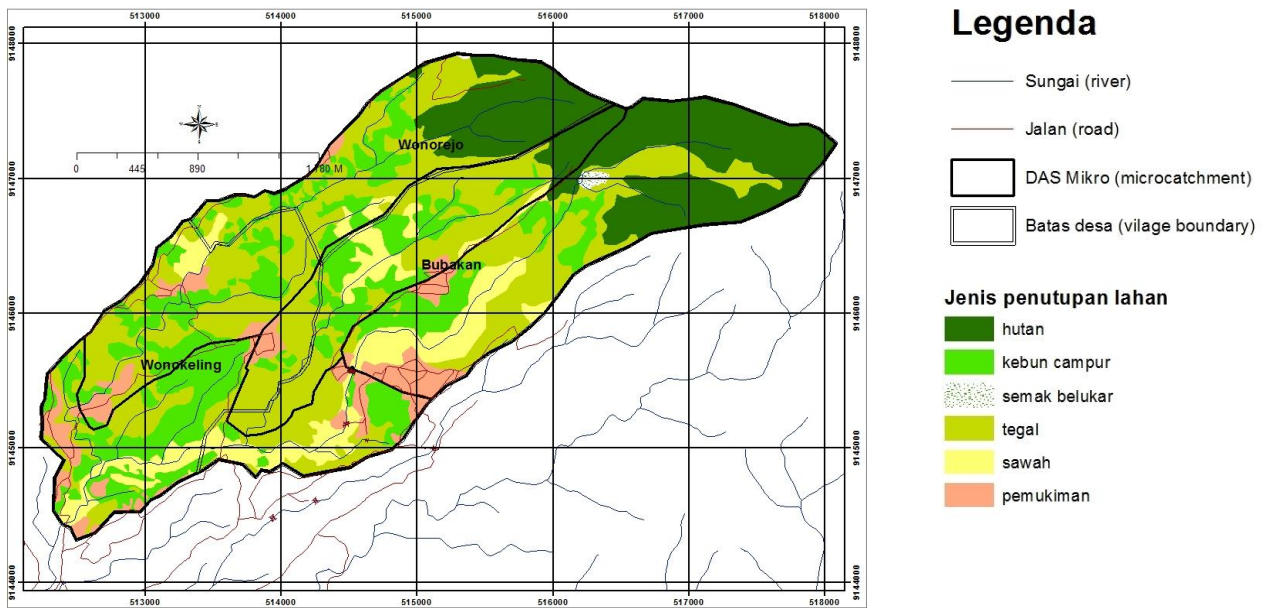


Legenda

- Sungai (river)
- Jalan (road)
- DAS Mikro (microcatchment)
- Batas desa (village boundary)

- KPL**
- Ve
 - VIg
 - VIIg

Gambar 3. Distribusi Klas KPL DAS Mikro Naruwan.



Gambar 4. Jenis Penutupan Lahan Das Mikro Naruwan.

Tabel 6. Tingkat Erosi pada Klas Kesesuaian KPL.

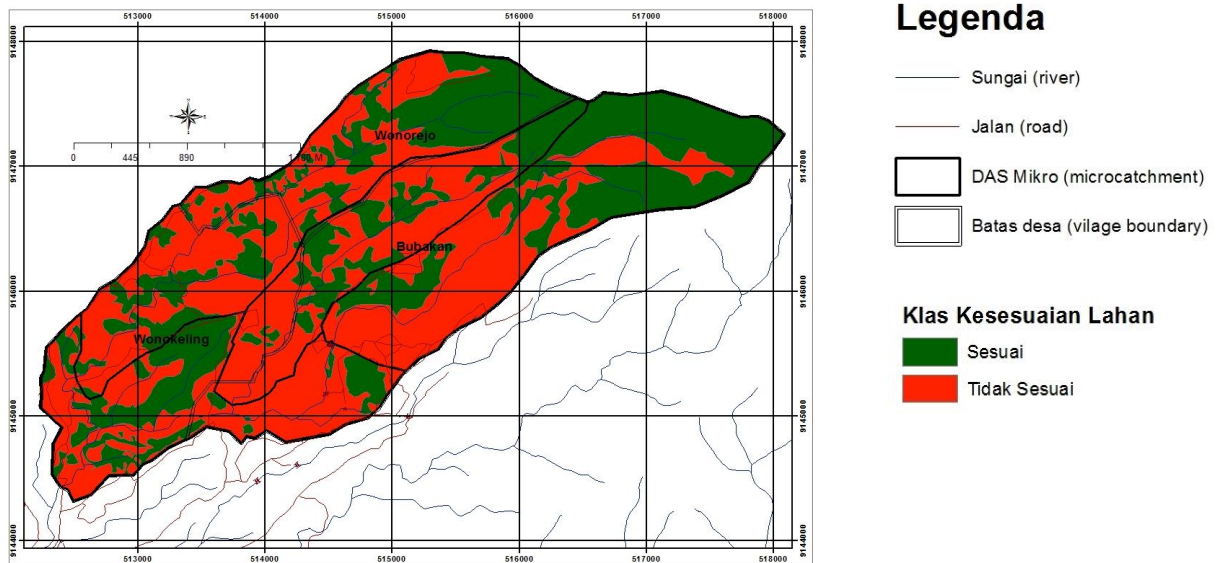
Tingkat Erosi	Klas Kesesuaian					
	Sesuai		Tidak Sesuai		Jumlah	
	Ha	%	ha	%	ha	%
Sangat Berat (SB)	185,54	19,39	317,15	33,14	502,69	52,52
Berat (B)	122,67	12,82	83,88	8,76	206,55	21,58
Sedang (S)	91,53	9,56	85,90	8,97	177,42	18,54
Ringan (R)	13,52	1,41	43,83	4,58	57,35	5,99
Sangat Ringan (SR)	5,60	0,58	7,51	0,79	13,11	1,37

Sumber: Hasil analisis data merujuk Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Daerah Aliran Sungai, 1995.

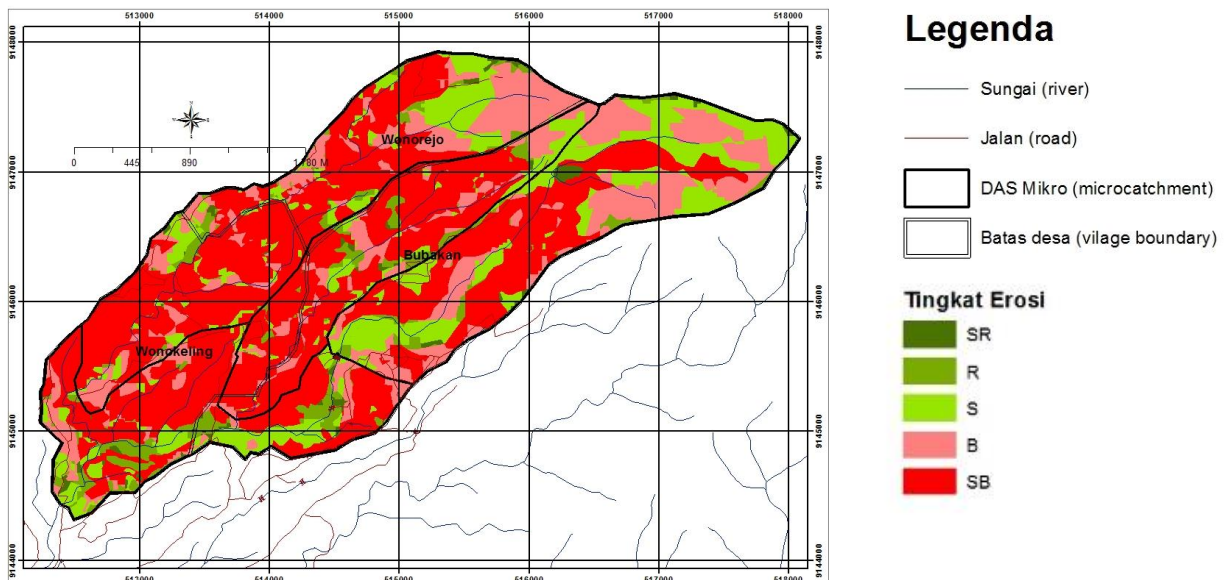
Ketidaksesuaian penggunaan lahan ini dapat berdampak buruk yang ditunjukkan oleh adanya tingkat erosi berat dan sangat berat disajikan pada **Tabel 6**. Lebih kurang 56% luas DAS Mikro Naruwan digunakan tidak sesuai dengan klas kemampuannya disajikan pada **Gambar 5**. Dari ketidaksesuaian penggunaan ini terlihat bahwa sebagian besar lokasinya berpotensi mengalami erosi sangat berat (33%) dan berat (8%) disajikan pada **Gambar 6**. Hal ini sejalan dengan hasil analisis (Wahyuningrum dan Wardojo, 2008) yang menyatakan bahwa sub DAS yang didominasi oleh penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan kemampuannya menghasilkan sedimen yang lebih besar bila dibanding dengan sub DAS yang lebih banyak digunakan untuk penggunaan lahan yang sesuai. Menurut Kiersch (2000), penutupan dan penggunaan lahan pada DAS skala kecil ini tidak hanya berpengaruh terhadap erosi dan

sedimentasi saja tetapi juga akan berdampak pada debit rata-rata, debit puncak, aliran dasar, fluktuasi air tanah, sedimen, patogen, unsur hara, salinitas dan pestisida.

Melihat pengaruh ketidaksesuaian penggunaan lahan yang sangat besar tersebut, maka informasi mengenai distribusi spasial lokasi-lokasi tersebut sangat diperlukan untuk perencanaan. Informasi tersebut juga digunakan untuk mengetahui para pihak yang dapat dilibatkan dan mempunyai kepentingan terhadap lahan tersebut, selain untuk mengetahui jenis tindakan perbaikan pengelolaan. Erosi yang dihasilkan oleh DAS Mikro Naruwan ini, memberi sumbangan terhadap erosi yang terjadi di Sub DAS Keduang. Rata-rata hujan tahunan Sub DAS Keduang adalah 1963 mm/th, debit rata-rata 8.088 m³/dtk, dan limpasan 2.006,88 mm.



Gambar 5. Sebaran Klas Kesesuaian Lahan DAS Mikro Naruwan.

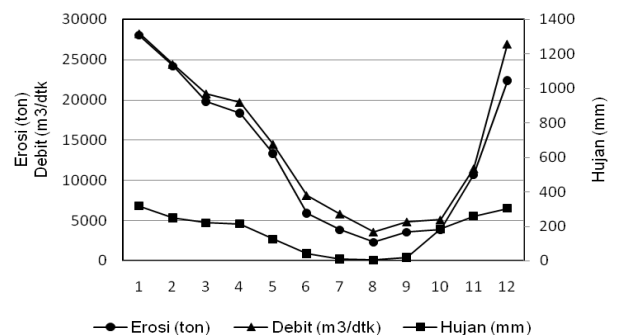


Gambar 6. Sebaran Tingkat Erosi DAS Mikro Naruwan.

Analisis data bulanan hujan, debit aliran dan besarnya sedimen yang terangkut pada *outlet* menunjukkan adanya kecenderungan yang sama antara hujan, debit dengan jumlah sedimen terangkut (erosi) disajikan pada Gambar 7. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar debit aliran langsung akan semakin besar membawa tanah menuju ke *outlet*. Hujan, debit dan erosi tinggi terjadi pada bulan bulan Januari dan Desember.

Hasil penelitian Wijaya, *et al.* (2015) menunjukkan bahwa 19,69% lahan DAS Solo tidak sesuai penggunaannya. Ketidaksiesuaian tersebut terutama berasal dari klas VI dan VII yang digunakan untuk agroforestri dan tanaman semusim. Selanjutnya dari analisis Sub DAS Keduang, diperoleh ketidaksiesuaian penggunaan lahan yaitu lahan dengan klas VIg dengan

penutupan lahan tegal seluas 13% dari luas sub DAS. Tegal pada klas VIg ini terletak pada lereng 25-45% disajikan pada Gambar 8.



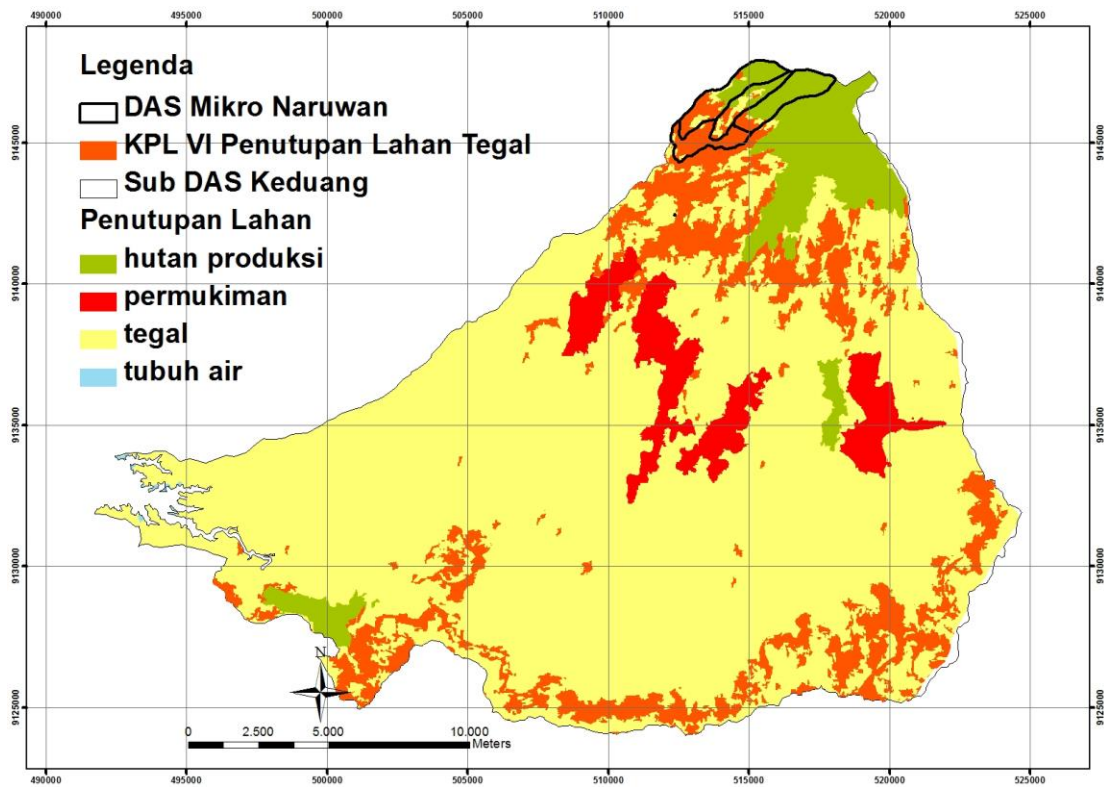
Gambar 7. Fluktuasi Hujan, Debit Aliran dan Erosi Bulanan.

Menurut kajian JICA (2007) sumber sedimentasi di waduk Gajahmungkur berasal dari erosi tanah pada pengolahan lahan tegalan dan kawasan pemukiman. Penyumbang sedimen terbesar yang masuk ke dalam waduk adalah Sungai Keduang. Erosi tanah yang tinggi ini bisa disebabkan oleh konsekuensi pengelolaan lahan yang buruk dan kegiatan pertanian tanaman semusim di lahan-lahan yang secara topografis rentan terhadap degradasi, yaitu pada lahan lereng yang terjal.

Kedetilan informasi penutup lahan mempengaruhi penentuan rekomendasi. Penutup lahan dari Landsat ETM 7 memberikan hasil, bahwa di DAS Mikro Naruwan hanya terdapat 2 jenis penutup lahan yaitu hutan produksi dan tegal, sedangkan dari Quickbird memberikan hasil yang lebih detil disajikan pada Tabel 7.

Dari Tabel 7. Terlihat bahwa hutan produksi hasil analisis Landsat 7 ETM masih dapat didetilkkan lagi menjadi kebun campur,

pemukiman, sawah, semak belukar dan tegal. Demikian juga dengan tegal, dapat didetilkkan menjadi kebun campur, pemukiman dan sawah. Melihat perbedaan hasil analisis dari sumber data yang berbeda ini, tentu saja dapat berakibat pada prediksi erosi yang berbeda, mengingat nilai C masing-masing jenis penutupan lahan tersebut berbeda-beda. Untuk tujuan perencanaan tentu saja sekala detil akan lebih tepat digunakan terutama untuk menentukan rekomendasi-rekomendasi untuk tujuan konservasi melalui perbaikan kondisi penutup lahan. Untuk perbaikan pengelolaan akan sulit bila masyarakat pemilik lahan serta merta diminta untuk mengubah penggunaan lahannya, mengingat besarnya ketergantungan masyarakat terhadap lahan. Lahan merupakan sumber makanan dan pendapatan. Oleh sebab itu beberapa kompromi perlu dilakukan untuk mengurangi dampak negatifnya.



Gambar 8. Peta Penutupan Lahan Sub DAS Keduang dan Klas KPL Vig dengan Penutupan Lahan Tegal.

Tabel 7. Perbedaan Hasil Analisis Penutupan Lahan dari Sumber Data yang Berbeda.

Quickbird	Landsat 7 ETM					
	Hutan Produksi		Tegal		Jumlah	
	ha	%	ha	%	ha	%
Hutan Produksi	192,6	20,1	0,0	0,0	192,6	20,1
Kebun Campur	65,3	6,8	158,8	16,6	224,1	23,4
Pemukiman	6,6	0,7	59,3	6,2	65,9	6,9
Sawah	27,9	2,9	74,3	7,8	102,2	10,7
Semak Belukar	2,2	0,2	0,0	0,0	2,2	0,2
Tegal	171,8	18,0	198,4	20,7	370,2	38,7
Jumlah	466,3	48,7	490,8	51,3	957,1	100,0

Perbaikan yang paling ideal adalah merubah penggunaan lahan, terutama tegal, menjadi hutan. Karena sebagian besar adalah lahan milik masyarakat, maka kompromi yang bisa dilakukan adalah dengan menerapkan pola agroforestri. Kombinasi tanaman yang dapat digunakan adalah (Diniyati, *et al.* 2013):

1. Tanaman Sengon + Tanaman perkebunan + Tanaman buah + Tanaman bawah (kapulaga)
2. Tanaman Sengon + Tanaman perkebunan + Tanaman buah + Tanaman bawah (kapulaga) + tanaman pangan (singkong)
3. Tanaman Sengon + Tanaman buah + Tanaman bawah (kapulaga)

Pengembangan hutan rakyat dengan sistem tersebut secara finansial layak ($BCR > 1$) bila mempunyai luasan antara 0,26-0,50 ha dan 0,16-0,25 ha, namun bila kepemilikan lahan kurang dari itu maka jenis tanaman harus lebih bervariasi (Diniyati, *et al.* 2013). Teras gulud perlu dibuat untuk mengurangi kecepatan aliran permukaan. Teras gulud merupakan salah satu teknik konsevasi tanah dan air mekanik yang efektif dalam mengendalikan erosi pada lahan kering berlereng. Teras akan terbentuk karena adanya barisan guludan yang ditanami rumput penguat teras yang dapat menahan partikel tanah yang hanyut karena terbawa aliran permukaan. Teras gulud yang diperkuat dengan strip rumput vetiver dapat menurunkan erosi tanah dari 52,6 t/ha menjadi 8,80 t/ha atau efektivitasnya mencapai hampir 400% (Iswandi, 2010). Selain mengurangi kecepatan aliran permukaan, pembuatan teras tersebut juga akan meningkatkan karbon organik tanah (Xu, *et al.* 2015). Selain itu juga dapat diterapkan metode vegetatif, yaitu dengan menanam strip rumput karena metode ini mampu mengurangi erosi sekitar 40.672,0%. Pemberian mulsa dapat juga dilakukan untuk mengurangi erosi. Menurut Irawan dan Nurida (2014) mulsa yang dikombinasikan dengan strip rumput dan barisan tanaman *Gliricidia sp.* mampu mengurangi erosi sebesar 74,1-74,4% pada lahan kering berlereng 10-20%. Mulsa vertikal dapat diaplikasikan pada saluran-saluran air. Menurut Pratiwi dan Narendra (2012), mulsa vertikal dapat menampung aliran permukaan, dan menginfiltirasikannya sehingga menekan aliran permukaan sebesar 55%. Kelebihan aliran permukaan yang tidak terserap dalam suatu saluran mulsa vertikal akan menjadi aliran permukaan dengan kecepatan aliran yang lebih rendah dan akan tertampung pada saluran mulsa vertikal di bagian hilirnya. Mulsa vertikal meningkatkan kapasitas infiltrasi karena air terserap tidak hanya didasar saluran tetapi juga di dinding saluran.

Untuk menghambat aliran permukaan dan menampung sedimen dapat dibuat rorak. Menurut Pratiwi dan Salim (2013) rorak ini mampu mengendalikan kehilangan unsur hara, mengurangi laju erosi dan aliran permukaan.

Pada bantaran sungai, yaitu dikiri dan kanan sungai dapat ditanami tanaman keras sehingga berfungsi seperti hutan (*riparian forest*), karena zona ini mempunyai peran penting dalam menjaga kualitas dan kuantitas air, mengurangi penumpukan sedimen dan mencegah erosi (Dindaroglu, *et al.* 2015)

Dalam skala Mikro DAS Naruwan secara keseluruhan, vegetasi penutup perlu terus dipertahankan, penutup lahan dapat berupa tajuk tanaman maupun semak belukar, rumput dan seresah, karena hal ini merupakan kunci dalam mengendalikan kehilangan air dan tanah (Gu, *et al.* 2015). Karena di lokasi didominasi lereng terjal, perlu dibuat dam penahan, yaitu bendungan kecil yang lolos air dengan konstruksi bronjong batu, anyaman ranting atau trucuk bambu/kayu yang dibuat pada alur jurang (Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P. 4/Menghut-II/2011, 2011) untuk menghalangi aliran sedimen sekaligus mencegah perkembangan jurang agar tidak menjadi lebar.

KESIMPULAN

Informasi mengenai sebaran klas KPL pada skala detil sangat bermanfaat untuk menentukan jenis penggunaan lahan dengan tepat. Ketidaktepatan penggunaan lahan berdampak pada tingginya erosi. Untuk meminimalkan dampak tersebut perlu dilakukan penerapan konservasi tanah dan air baik sipil maupun vegetatif. Rekomendasi pemanfaatan lahan di Mikro DAS Naruwan adalah untuk pengembangan agroforestri, serta aplikasi teknik konservasi tanah dan air secara tepat. Prioritas perbaikan lebih banyak dilakukan pada lahan tegal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih diucapkan kepada BPTKPDAS Solo Badan Litbang dan Inovasi LHK atas dukungan biaya penelitian, Kepala Desa Wonorejo, Bubakan dan Wonokeling yang telah memberikan ijin untuk melakukan penelitian di wilayahnya, serta Dody Yulianto yang sudah membantu dalam pengumpulan data di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bibby, J., Douglas, H., Thomasson, A. dan Robertson, J. (1991). *Land Capability Classification for Agriculture: Macaulay Land Use Research Institute*
- Dariah, A., Subagyo, H., Tafakresnanto, C. dan Marwanto, S. (2004). Kepekaan Tanah terhadap Erosi Konservasi Tanah pada Lahan Kering Berlereng. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat.
- Dindaroglu, T., Reis, M., Akay, A. E., & Tonguç, F. (2015). Hydroecological Approach for Determining the Width of Riparian Buffer Zones for Providing Soil Conservation and Water Quality. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(1), 275-284.

- Diniyati, D., Achmad, B. dan Santoso, H. B. (2013). Analisis Finansial Agroforestry Sengon di Kabupaten Ciamis (Studi Kasus di Desa Ciomas Kecamatan Panjalu). *Jurnal Penelitian Agroforestry*, 1(1), 13-30.
- Fletcher, J. R. dan Gibb, R. G. (1990). Land Resource Survey Handbook for Soil Conservation Planning in Indonesia: Ministry of Forestry Directorate General Reforestation and Land Rehabilitation Indonesia and Department of Scientific and Industrial Research DSIR Land Resources Palmerston North New Zealand.
- Gu, Z., Wu, X., Zhou, F., Sanchez-Azofeifa, G. A., Feng, J., & Qiu, N. (2015). Analysis of Time Scale Influences on Water and Soil Conservation Effects for Trees on Experimental Plots Using Vegetation Fractional Coverage. *Forest Science*, 61(1), 67-75.
- Irawan dan Nurida, N. L. (2014). Valuasi Ekonomi Aplikasi Teknik Konservasi Tanah. In F. Agus, D. Subardja, dan Y. Soelaeman (Eds.), *Konservasi Tanah Menghadapi Perubahan Iklim*. Jakarta: IAARD Press, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- JICA. (2007). Studi Penanganan Sedimentasi Waduk Serbaguna Wonogiri. Jakarta: Nippon Koei and Yachiyo Engineering Co. Ltd.
- Keputusan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: SK 328/Menhut-II/2009 tentang Penetapan Daerah Aliran Sungai (DAS) Prioritas dalam Rangka Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) Tahun 2010-2014 (2009).
- Kiersch, B. (2000, 18 September-27 October 2000). Land Use Impacts on Water Resources: a Literature Review. Paper presented at the Land-Water Linkages in Rural Watersheds, Rome, Italy.
- Munibah, K., Sitorus, S. R. P., Rustiadi, E., & Gandasmita, K. Hartrisari. (2010). Dampak Perubahan Penggunaan Lahan terhadap Erosi di DAS Cidanau, Banten. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 32, 55-69.
- Paningbatan, E. P., Penning de Vries, F. W. T., Bricquet, F. A., & Virmani, S. M. (2001). *Hydrology and Soil Erosion Models for Catchment Research and Management* (No. H029243). International Water Management Institute.
- Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Daerah Aliran Sungai, Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Jeneberang-Walanae Makassar, Direktorat Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan, Direktorat Jenderal (1995)
- Pedoman Monitoring dan Evaluasi DAS. Jakarta: Ditjen Rehabilitasi Lahan Perhutanan Sosial, Departemen Kehutanan. (2009)
- Peraturan Dirjen Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial, Nomor:P.15/V-Set/2009 tentang Pedoman Pembangunan Areal Model DAS Mikro (MDM) (2009).
- Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P. 4/Menhut-II/2011 tentang Pedoman Reklamasi Hutan (2011).
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Nomor 37 Tahun 2012. (2012)
- Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia No. P61/Menhut-II/2014 (2014).
- Pramono, I. B., Murtiono, U. H., Supangat, A. B. dan Mastur. (2000). Petunjuk Teknis Analisis Data Hujan dan Aliran Sungai. *Info DAS*, 9, 1-39.
- Pratiwi dan Narendra, B. H. (2012). Pengaruh Penerapan Teknik Konsevasi Tanah terhadap Pertumbuhan Pertanaman Mahoni (*Swietenia macrophylla* King) di Hutan Penelitian Carita, Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 9(2), 139-150.
- Pratiwi dan Salim, A. G. (2013). Aplikasi Teknik Konservasi Tanah dengan Sistem Rorak pada tanaman Gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.) di KHDTK Carita, Banten *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 10(3), 273-382.
- Samekto, R. (2007). Hubungan Taksonomi Tanah dengan Klasifikasi Kemampuan Tanah (FCC) di Tanah Mineral Asam. *INNOFARM : Jurnal Inovasi Pertanian*, 6, No. 1, 22-43.
- Utomo, W. H. (1989). Mencegah Erosi. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Wahyuningrum, N., Priyono, C. N. S., Wardojo, Harjadi, B., Savitri, E., Sudimin. (2003). Pedoman Teknis Klasifikasi Kemampuan dan Penggunaan Lahan. *Info DAS*, 15, 1-103, Badan Litbang Kehutanan, Puslit PHKA.
- Wahyuningrum, N. dan Wardojo. (2008). Analisis Kemampuan Lahan di Sub DAS Tajum. Paper presented at the Seminar Nasional Hasil Penelitian: Teknologi, Sosial Ekonomi dan Kelembagaan sebagai Basis Pengelolaan DAS Purwokerto.
- Wijaya, W. W., Basuki, T. M. dan Wahyuningrum, N. (2015, 7 Maret 2015). Evaluasi Kemampuan Penggunaan Lahan Di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo. Paper presented at the Peran Geograf dan Peneliti dalam Menghasilkan Penelitian dan Pengabdian yang Berdayaguna Bagi Masyarakat, Surakarta.
- Xu, G., Lu, K., Li, Z., Li, P., Wang, T., & Yang, Y. (2015). Impact of Soil and Water Conservation on Soil Organic Carbon Content in a Catchment of the Middle Han River, China. *Environmental Earth Sciences*, 74(8), 6503-6510.

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 GLOBë Volume 18 No.1, April 2016, sebagai berikut:

No	Judul Paper	Mitra Bebestari/ Dewan Editor
1.	Dampak El Niño 1997 dan El Niño 2015 terhadap Kelimpahan Konsentrasi Klorofil-A di Perairan Selatan Jawa dan Bali-Sumbawa	Dr. Johnson L. Gaol Prof. Dr. Dewayany
2.	Ekstrasi Informasi Penutup Lahan Skala Besar dengan Metode Expert Knowledge Object-Based Image Analysis (OBIA) pada Citra Landsat 8 Oli Pulau Kalimantan	Dr. Projo Danoedoro
3.	Model Perubahan Penutupan/Penggunaan Lahan Untuk Identifikasi Lahan Kritis di Kabupaten Bogor, Kabupaten Cianjur, dan Kabupaten Sukabumi	Dr. Buce M. Soleh Prof. Dr. Dewayany
4.	Kajian Spasial Evaluasi Rencana Tata Ruang Berbasis Kebencanaan di Kabupaten Kudus Provinsi Jawa Tengah	Prof. Dr. Dewayany
5.	Analisis Spasial Kemampuan Lahan Dalam Perencanaan Pengelolaan DAS Mikro	Ir. Irmadi Nahib, M.Si.