

# FORUM GEOGRAFI



JURNAL PENELITIAN GEOGRAFI

Vol. 26, No. 1 Juli 2012

ANALISIS BAHAYA DAN RESIKO BENCANA GUNUNGAPI PAPANDAYAN  
(Studi Kasus:Kecamatan Cisarupan,KABUPATEN GARUT)

*Saut Aritua Hasiholan Sagala dan Hadian Idhar Yasaditama*

POTENSI BENCANA TSUNAMI DAN KESIAPSIAGAAN MASYARAKAT  
MENGHADAPI BENCANA STUDI KASUS DESA SUMBERAGUNG  
BANYUWANGI JAWATIMUR

*Sunarto dan Muh Aris Marfai*

APLIKASI MODEL SMAR PADA DUA DAS INDENTIK

*Indarto*

DINAMIKA CADANGAN KARBONAKIBAT PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN  
PERMUKIMAN DI KOTA PADANG SUMATERA BARAT

*Dedi Hermon*

KAJIAN MINERAL LEMPUNG PADA KEJADIAN BENCANA LONGSOR-  
LAHAN DI PEGUNUNGAN KULONPROGO DAERAH ISTIMEWA  
YOGYAKARTA

*Kuswaji Dwi Priyono*

PENILAIAN KERENTANAN PANTAI MENGGUNAKAN METODE INTEGRASI  
CVI-MCA STUDI KASUS PANTAI INDRAMAYU

*Faizal Kasim dan Vincentius P. Siregar*

HASIL AMAN PENURAPAN AIR TANAH UNTUK KEBUTUHAN NON  
PERTANIAN DI KABUPATEN BANTUL

*Setyawan Purnama*

APLIKASI SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS UNTUK ZONASI KAWASAN  
HUTAN BERDASARKAN KEMENTRIAN KEHUTANAN DAN KEMAMPUAN  
LAHAN DI KABUPATEN BANDUNG

*Iskandar Muda Purwaamijaya*

Terakreditasi Berdasarkan Surat Keputusan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional  
Nomor: 51/DIKTI/Kep/2010 per 5 Juli 2010

FORUM  
GEOGRAFI

Vol. 26

No. 1

Halaman  
1 - 102

F. Geografi-UMS  
Juli 2012

ISSN 0852-2682

# **ANALISIS BAHAYA DAN RESIKO BENCANA GUNUNGAPI PAPANDAYAN (STUDI KASUS: KECAMATAN CISURUPAN, KABUPATEN GARUT)**

## ***Hazard and Disaster Risk Analysis of Papandayan Volcano (Case Study: Cisurupan, Garut Regency)***

**Saut Aritua Hasiholan Sagala dan Hadian Idhar Yasaditama**

Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota

Sekolah Arsitektur, Perencanaan, dan Pengembangan Kebijakan

Institut Teknologi Bandung

E-mail: Saut.Sagala@gmail.com

### **ABSTRACT**

*Risk assessment is an important step to be carried out for disaster management. It provides information for decision makers and communities in pre-disaster, during disaster and post disaster event. Nevertheless, risk assessment in Indonesia, especially on active volcanoes is still limited. This paper presents the risk assessment of Mt. Papandayan (2.665 m), the most active volcano in West Java. The unit of analysis in this study follows the administrative boundaries of village so that the identification can be applied at village level using GIS. Hazard analysis refers to the official hazard map produced by PVMBG while the vulnerability analysis is carried out in 3 sub-analysis, physical vulnerability (7 indicators), social vulnerability (7 indicators), and economic vulnerability. The hazard and vulnerability were overlaid in order to produce the risk which is subsequently made into risk map. The findings indicate that the villages located near and on the direction of the crater have relatively higher risk compared to other villages. The risk map can be incorporated as one of references for spatial planning that integrates disaster mitigation.*

**Keywords:** GIS, hazard, Papandayan, risk assessment, vulnerability

### **ABSTRAK**

*Analisis risiko merupakan sebuah tahap penting di dalam manajemen bencana. Analisis risiko memuat informasi yang berguna bagi pengambil keputusan dan komunitas pada masa sebelum bencana, saat bencana, dan setelah bencana terjadi. Akan tetapi keberadaan analisis risiko di Indonesia sendiri, khususnya terkait gunungapi aktif masih sangatlah terbatas. Tulisan ini menyajikan analisis risiko pada Gunung Papandayan (2.665 m), sebuah gunungapi yang paling aktif di Jawa Barat. Unit analisis di dalam penelitian ini mengikuti batas administrasi desa, sehingga hasil penelitian dapat dimanfaatkan sampai pada level desa dengan menggunakan SIG. Analisis bahaya dilakukan dengan mengacu pada peta bahaya resmi yang diproduksi PVMBG, sementara itu analisis kerentanan dilakukan pada 3 sub-analisis, yaitu kerentanan fisik (7 indikator), kerentanan sosial (7 indikator), dan kerentanan ekonomi. Analisis bahaya dan kerentanan ditumpang susun untuk menghasilkan risiko, yang kemudian dibuat menjadi peta risiko. Temuan menunjukkan bahwa desa-desa yang berlokasi dekat dengan arah kawah memiliki nilai risiko yang relatif lebih besar dibanding desa lain. Hasil dari peta risiko ini nantinya dapat diintegrasikan sebagai sebuah referensi dalam membuat perencanaan tata ruang berbasis mitigasi bencana.*

**Kata kunci:** bahaya, kerentanan, papandayan, penilaian risiko, SIG

## PENDAHULUAN

Indonesia sangat rawan terhadap fenomena vulkanik, ditandai dengan keberadaan 129 gunung api di wilayahnya (ESDM, 2009). Bencana gunungapi adalah bencana alam yang disebabkan oleh erupsi gunungapi, yaitu proses keluarnya magma dan atau gas vulkanik dari dalam bumi ke permukaan-nya. Potensi ancaman erupsi memiliki 4 tingkatan mulai dari yang terendah sampai tertinggi, yakni tingkatan normal, waspada, siaga, dan awas (Permen ESDM No 15 Tahun 2011). Pemetaan risiko bencana akan berguna untuk perencanaan tata ruang di dalam menghasilkan perencanaan yang berbasis mitigasi bencana (UU No 26/2007; Sagala dan Bisri, 2011) yang sejalan dengan amanat *Hyogo Framework for Action* (UNISDR 2005). Proses mitigasi dalam rencana tata ruang seharusnya memiliki upaya pengurangan risiko bencana didalamnya (Pasal 42 UU 24/2007).

Provinsi Jawa Barat dengan jumlah penduduknya 18,16% dari total jumlah penduduk Indonesia, memiliki 7 gunungapi yang masih aktif yaitu Papandayan, Guntur, Galunggung, Gede, Ceremai, Salak, dan Tangkuban Perahu yang sebagian besar terbentang di bagian selatan provinsi ini.

Gunung Papandayan (2.665 m) terletak di Kecamatan Cisurupan, Kabupaten Garut dan tergolong gunung api golongan A, yakni tercatat pernah mengalami erupsi sekurang-kurangnya satu kali sesudah tahun 1600. Erupsi dahsyat pada tahun 1772 mengakibatkan 2.951 korban jiwa dan kehancuran sedikitnya 40 perkampungan (PVMBG, 1998). Terakhir sejak erupsi tahun 2002, Gunung Papandayan memiliki status yang cukup fluktuatif, dimana saat ini pun masih direpresentasikan dengan status siaga.

Kondisi dan struktur bentang alamnya dengan beberapa kawah belerang aktif yang relatif mudah dijangkau, keberadaan hamparan padang tumbuhan edelweiss serta deretan lembah yang terbentuk dari gunung-gunung kecil disekitarnya, membuat kawasan ini cukup populer untuk dijadikan kawasan kegiatan pariwisata (Dinas Pariwisata Jawa Barat, 2010). Selain itu banyak terdapatnya aktivitas pertanian dan perkebunan yang dilakukan masyarakat disekitar gunung ini pada akhirnya dapat meningkatkan potensi paparan ancaman bahaya Gunung Papandayan terhadap kerentanan fisik, sosial, maupun ekonomi wilayah studi. Jika mengacu pada kondisi potensi bahaya Gunung Papandayan terhadap kerentanan wilayah sekitar tersebut khususnya Kecamatan Cisurupan pada saat ini, maka risiko terhadap bencana Gunung Papandayan dikhawatirkan akan meningkat.

Penelitian ini menyajikan proses identifikasi zona tingkatan risiko bencana Gunung Papandayan di wilayah studi sebagai salah satu upaya mitigasi. Selanjutnya metodologi yang dilakukan untuk menjawab tujuan studi akan dibahas pada bagian metode penelitian dalam tulisan ini. Hasil temuan akan memberi gambaran mengenai zona tingkatan risiko dari bencana Gunung Papandayan di wilayah studi serta elaborasinya dengan proses perencanaan berbasis mitigasi bencana. Pada bagian akhir tulisan, kesimpulan dari studi ini akan memberikan beberapa rekomendasi terkait upaya pengurangan risiko melalui utilisasi peta risiko sebagai salah satu keluaran pada penelitian ini.

## METODE PENELITIAN

### Wilayah Studi

Secara geografis Kabupaten Garut terletak

di sebelah tenggara Kota Bandung dan secara administratif terdiri dari 42 kecamatan didalamnya. Kabupaten Garut mempunyai posisi geomorfologi yang dikelilingi oleh rangkaian-rangkaian gunungapi, dengan keberadaan 2 gunungapi yang masih aktif yakni Gunung Papandayan, dan Gunung Guntur.

Sektor Pertanian saat ini masih menjadi andalan sebagai penyumbang terbesar PDRB (Pemerintah Kabupaten Garut, 2011). Pada tahun 2009 Kabupaten Garut tercatat sebagai produsen padi terbesar urutan ke 5 di Provinsi Jawa Barat (BPS Jawa Barat, 2009). Hal ini sangat berkaitan erat dengan komposisi penggunaan lahan untuk sektor pertanian yang hampir mencapai 75% dari luas wilayahnya dan mengindikasikan bahwa perekonomian masyarakat masih sangat bergantung pada basis pertanian (Pemerintah Kabupaten Garut, 2011).

Kecamatan Cisarupan terletak di  $\pm 20$  km sebelah barat daya Ibukota Kabupaten Garut. Wilayah ini berada di arah bukaan kawah Papandayan di arah timur laut serta berada di sepanjang beberapa aliran sungai yang berhulu di kawah tersebut seperti Sungai Ciparugpug dan Cibeureum Gede dengan Sungai Cimanuk sebagai hilirnya, sehingga potensi aliran lahar dingin juga akan meningkat di ketiganya (PVMBG, 1998). Secara geografis wilayah studi memiliki luas wilayah sekitar 4.521,04 Ha, berbatasan dengan Kecamatan Sukaresmi di sebelah utara, sebelah timur berbatasan dengan Kecamatan Bayongobong dan Cigedug, sebelah selatan berbatasan dengan Kecamatan Cikajang, dan sebelah barat dengan Kabupaten Bandung. Secara administratif Kecamatan Cisarupan terdiri dari 16 desa didalamnya.

Secara historis, beberapa erupsi Gunung Papandayan yang pernah terjadi pun

memiliki hampir sebagian besar dampaknya di wilayah Kecamatan Cisarupan. Erupsi tahun 1772 menelan 2.951 korban jiwa dan mengakibatkan sekitar 10 desa beserta 40 dusun di wilayah studi ketika itu terkena dampaknya (PVMBG, 1998). Erupsi pada tahun 2002 menyebabkan sekitar 3.349 penduduk dari 5 desa mengungsi, serta mengakibatkan kerusakan berbagai infrastruktur seperti rumah, jembatan, masjid, pondok pesantren, dan beberapa jenis lahan persawahan maupun perkebunan di wilayah studi (PKPU, 2002).

Sejak letusan tahun 2002, Gunung Papandayan memiliki pergerakan status yang fluktuatif. Tiap kurun waktu 1 sampai 2 tahun, selalu terjadi peningkatan dan penurunan 1 level, dari status normal menjadi waspada maupun sebaliknya. Status waspada pernah ditetapkan dalam kurun waktu 3 tahun pada periode April 2008 sampai pertengahan Agustus 2011. Sejak 13 Agustus 2011 sampai saat ini (Januari 2012) status Gunung Papandayan ditingkatkan menjadi siaga (Gambar 1).

Kecamatan Cisarupan terpilih menjadi wilayah studi mengingat baik secara geografis maupun historis potensi besar bahaya Gunung Papandayan memang berada di wilayah tersebut. Selain itu struktur perekonomian wilayah studi yang sangat didominasi oleh sektor pertanian (Cisarupan dalam Angka 2010), memunculkan kekhawatiran bahwa potensi besar bencana Gunung Papandayan tersebut kedepannya dan dalam jangka waktu yang panjang akan dapat mempengaruhi stabilitas baik terhadap perekonomian lokal maupun basis pertanian Kabupaten Garut itu sendiri.

### **Pengumpulan Data**

Pengumpulan data dilakukan melalui



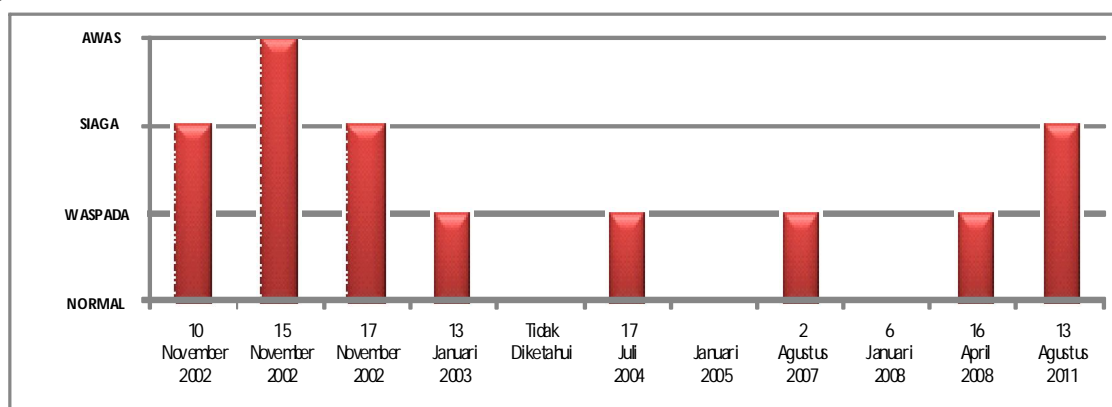
survei data primer dan sekunder. Survei data primer ini meliputi kegiatan observasi melalui penggunaan Global Positioning System (GPS) untuk mendapatkan data titik lokasi dari infrastruktur pendidikan dan kesehatan (salah satu data kerentanan fisik) serta perhitungan perkiraan luas dari setiap infrastruktur pendidikan dan kesehatan tadi melalui perhitungan jumlah lantai masing-masing infrastruktur tersebut. Selain itu, dilakukan juga wawancara untuk mendapatkan data terkait kerentanan ekonomi di wilayah studi seperti biaya bangun (rata-rata biaya keseluruhan yang dibutuhkan untuk membangun infrastruktur) serta jumlah produksi dan harga jual dari komoditas pertanian unggulannya (rata-rata hasil penjualan komoditas pertanian). Proses wawancara sendiri dilakukan terhadap 16 perangkat desa di wilayah studi.

Adapun survei data sekunder dilakukan melalui tinjauan literatur dan survei instansional terhadap instansi terkait (BAPEDA, BPS, PVMBG) untuk mendapatkan peta kawasan rawan bencana Gunung Papandayan, data RTRW, data demografi, dan perpetaan wilayah studi Kecamatan Cisurupan.

## Analisis Bahaya

Bahaya adalah sebuah kejadian, fenomena atau aktivitas manusia, yang berpotensi merusak secara fisik, dimana dapat menyebabkan kerugian jiwa atau cedera, kerusakan infrastruktur, gangguan sosial dan ekonomi, atau degradasi lingkungan (United Nations, 2002). Sheets et al (1979) dan Wittiri (2004) mengategorikan bahaya gunung api kedalam 2 jenis yakni bahaya primer dan sekunder. Bahaya primer merupakan bahaya yang ditimbulkan secara langsung oleh letusan gunung api, meliputi: lava, awan panas, gas vulkanik, abu vulkanik, lahar letusan, dan lontaran piroklastika (Permen ESDM No 15 Tahun 2011). Bahaya sekunder terdiri atas bahaya yang ditimbulkan secara tidak langsung oleh letusan gunung api, yaitu meliputi lahar dingin, tsunami, dan longsor.

Permen ESDM No. 15 (2011) tentang Pedoman Mitigasi Bencana Gunung Api, Gerakan Tanah, Gempa Bumi, dan Tsunami menyebutkan bahwa salah satu pertimbangan dalam penilaian risiko bencana gunung api adalah hasil analisis kawasan rawan bencana (KRB), dimana dalam hal ini prosesnya seperti yang telah



Sumber: ESDM 2007, ESDM 2008, Kompas 2011, Hasil Interpretasi 2011

Gambar 1. Fluktuasi Status Gunung Papandayan dalam 10 Tahun Terakhir

disesuaikan dengan SNI. Oleh sebab itu Peta KRB Gunung Papandayan Tahun 1998 (*Hazard Map 1998*) terbitan resmi PVMBG dijadikan acuan pada proses analisis faktor bahaya ini.

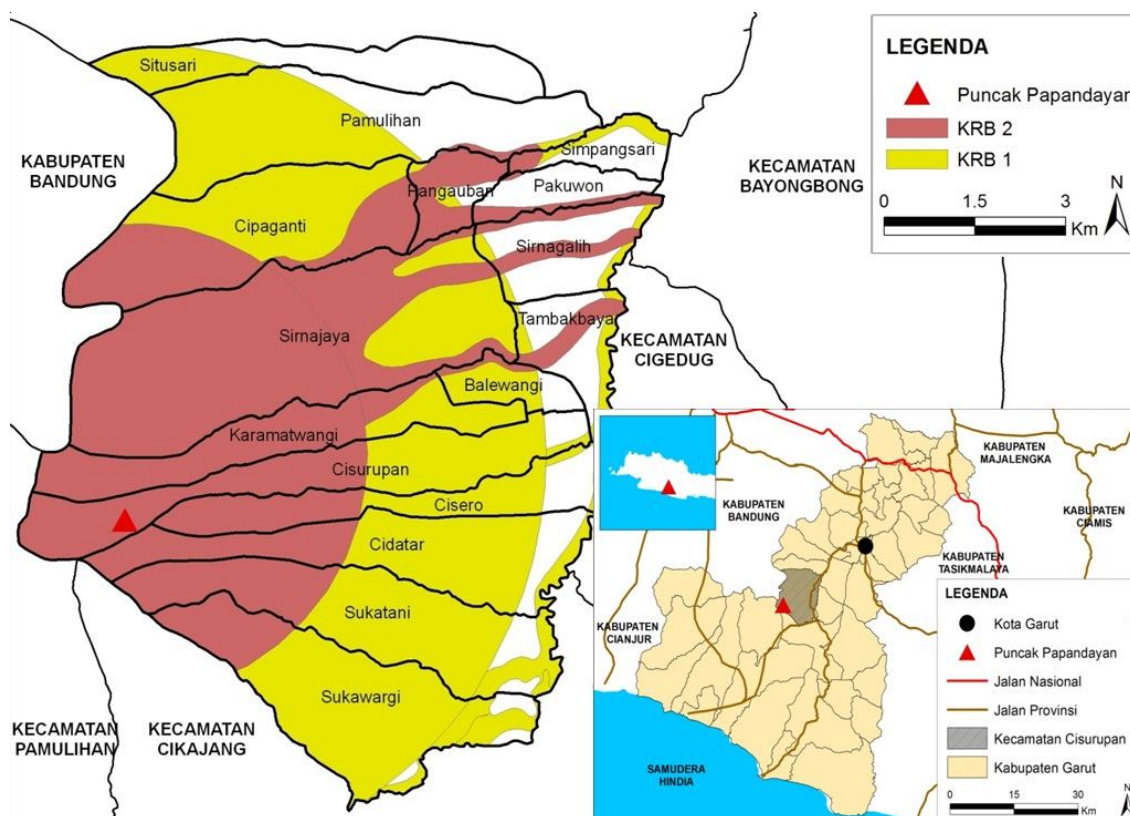
Peta KRB Gunung Papandayan Tahun 1998 terbagi menjadi 2 tingkatan KRB yaitu KRB 2 dan KRB 1 (Hadisantono et al, 1998). Setiap tingkatan KRB tersebut, merepresentasikan sifat bahaya dari faktor bahaya yang dimaksud, akan diberi nilai (Gambar 2). Karena KRB 2 merepresentasikan jenis faktor bahaya yang lebih berbahaya dibandingkan KRB 1, maka zona KRB 2 diberikan nilai yang lebih besar (Nilai 2) dibandingkan zona KRB 1 (Nilai 1). Adapun karena penelitian ini memiliki unit analisis desa, maka pemahaman spasial

yang didapatkan memungkinkan setiap unit desa untuk memiliki zona non KRB didalamnya. Karena zona non KRB sama sekali tidak merepresentasikan jenis faktor bahaya apapun, maka zona ini diberikan nilai 0.

Melalui berbagai fungsi GIS (Fauzi et. al, 2009; Mutalazimah et. al, 2009) yang digunakan, perpaduan dari penilaian setiap tingkatan zona KRB tersebut selanjutnya akan menghasilkan nilai faktor bahaya per unit analisis desa sebagai hasil akhirnya.

### Analisis Kerentanan

Kerentanan adalah karakteristik manusia atau kelompok dan situasinya yang dapat mempengaruhi kapasitas mereka dalam mengantisipasi, mengatasi, bertahan, dan



Sumber: BAPEDA Kabupaten Garut dan Hasil Analisis, 2011

Gambar 2. Penilaian Tingkatan Kawasan Rawan Bencana Gunung Papandayan

pulih dari pengaruh bahaya alami (kejadian maupun prosesnya) (Wisner et al., 2004). Kerentanan juga dapat berarti ukuran kecenderungan dari objek, tempat, individu, grup, komunitas, negara, atau entitas lainnya untuk terkena konsekuensi bahaya (Coppola 2007).

Merujuk pada Coppola (2007), analisis kerentanan pada penelitian ini terbagi menjadi 3 subfaktor, yakni kerentanan fisik, sosial, dan ekonomi. Selain itu berdasarkan berbagai sumber penelitian lebih lanjut, setiap subfaktor juga akan terdiri dari beberapa indikator penyusun. Subfaktor kerentanan fisik akan terdiri dari 7 indikator penyusun yakni luas permukiman, lahan pertanian, lahan perkebunan, lahan ladang, jumlah infrastruktur pendidikan, kesehatan, dan panjang jalan. Subfaktor kerentanan sosial akan terdiri dari 7 indikator penyusun yakni jumlah penduduk, kepadatan penduduk, persentase penduduk wanita, penduduk usia < 15 tahun, penduduk usia > 65 tahun, penyandang cacat, dan persentase jumlah pra Keluarga Sejahtera (pra KS). Sedangkan subfaktor kerentanan ekonomi akan terdiri dari indikator biaya bangun infrastruktur, biaya konstruksi jalan, jumlah produksi dan harga jual komoditas di bidang pertanian.

Khusus untuk indikator kerentanan ekonomi, setiap indikator yang digunakan pada dasarnya memiliki tujuan untuk merepresentasikan nilai ekonomi langsung dari satuan tiap indikator fisik. Indikator biaya bangun misalnya, merupakan perkiraan keseluruhan biaya untuk membangun tiap sebuah infrastruktur (digunakan untuk menilai risiko ekonomi indikator permukiman, infrastruktur pendidikan, dan kesehatan). Biaya konstruksi, merupakan perkiraan keseluruhan biaya untuk membangun tiap infrastruktur jalan (digunakan untuk

menilai risiko ekonomi indikator infrastruktur jalan). Adapun indikator nilai produksi pertanian yang merupakan perpaduan dari data jumlah produksi dan harga jual komoditas, merupakan bentuk representasi dari nilai ekonomi langsung lahan pertanian. Pemahamannya yaitu ketika lahan pertanian tidak dinilai dari harga lahannya saja, melainkan nilai dari produktivitas lahannya (hasil penjualan dari produksi komoditasnya), dimana dalam penelitian ini hanya untuk masa 1 kali musim panen saja.

Faktor kerentanan selanjutnya dapat diterjemahkan kedalam berbagai tingkat skala sehingga penggunaannya dapat disesuaikan dengan berbagai jenis dan ketersediaan data. UNDRO (1979), Smith (1992) dalam Thouret et al (2000) pernah menggunakan skala terkecil 0 (potensi tidak ada kerusakan) sampai skala terbesar 1 (potensi rusak total). Utami (2008) yang pernah menggunakan 5 tingkat skala dalam penilaian kerentanan kawasan Gunung Merapi. Dalam penelitian kali ini nilai faktor kerentanan untuk setiap indikatornya (kecuali kerentanan ekonomi yang hanya berupa data hasil wawancara) akan didapatkan melalui proses klasifikasi besaran setiap indikator kerentanan kedalam 3 tingkatan nilai (1/2/3), dimana nilai 1 menunjukkan potensi kerusakan terkecil (kerentanan terkecil) sampai pada nilai 3 yang menunjukkan potensi terbesar (kerentanan terbesar).

Metode klasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *natural breaks* dalam aplikasi GIS. Prahasta (2002) Menyebutkan keunggulan metode ini kemampuannya untuk meminimalkan variansi di dalam satu tingkatan serta di sisi lain mampu memaksimalkan variansi antar tingkatannya (batas antara tingkat kerentanan rendah, sedang, dan tinggi), sehingga dinilai mampu untuk meng-

Tabel 1. Indikator Kerentanan yang Digunakan

Indikator	Justifikasi dan Referensi Penelitian	Relevansi dengan Peningkatan Kerentanan
<b>Indikator Fisik (7 Indikator)</b>		
Luas Permukiman	Permukiman dapat menunjukkan lokasi keberadaan segala bentuk aktivitas utama dari penduduk di suatu wilayah. Merupakan bentuk representasi dari kawasan budidaya terbangun dari suatu wilayah. <b>Sumber:</b> Lirer et al (1997), Lavigne (1999), Pareschi et al (2000), Cutter et al (2003)	(+)
Luas Lahan Persawahan, Perkebunan, Perladangan,	Sektor pertanian memiliki peranan penting dalam perkembangan wilayah studi, baik terkait perkembangan struktur ekonominya maupun terkait kehidupan sosial ekonomi hampir sebagian besar penduduknya yang bermatapencaharian di sektor ini. <b>Sumber:</b> Lirer et al (1997), Lavigne (1999), Quesada et al (2007)	(+)
Jumlah Infrastruktur Pendidikan	Infrastruktur ini dapat meningkatkan tingkat pendidikan dan pemahaman penduduk terhadap bencana. Dengan tingkat pendidikan yang memadai tentu masyarakat akan lebih tanggap dan sigap dalam menghadapi setiap kejadian bencana. <b>Sumber:</b> Lavigne (1999), Westen (2002), Cutter et al (2003), Quesada et al (2007)	(+)
Jumlah Infrastruktur Kesehatan	Infrastruktur kesehatan berperan dalam peningkatan kondisi fisik penduduk, dimana dalam konteks kebencanaan yaitu ketika pelayanan kesehatan yang dihasilkannya mampu meningkatkan kesiapan fisik penduduk dalam menghadapi bencana. <b>Sumber:</b> Lavigne (1999), Westen (2002), Cutter et al (2003), Quesada et al (2007)	(+)
Panjang Infrastruktur Jalan	Infrastruktur ini berperan penting dalam peningkatan akses penduduk untuk mencapai segala sumberdaya saat menghadapi bencana, selain juga dapat mempermudah segala bentuk upaya dalam tahapan kesiapsiagaan bencana, misalnya proses evakuasi. <b>Sumber:</b> Lavigne (1999), Quesada et al (2007)	(+)
<b>Indikator Sosial (7 Indikator)</b>		
Jumlah Penduduk	Kerentanan sosial akan muncul dengan sendirinya ketika terdapat keberadaan individu manusia sebagai objek, yang selanjutnya mungkin dapat terkena konsekuensi dari sebuah bencana. <b>Sumber:</b> Lavigne (1999), Wisner et al (2004), Quesada et al (2007)	(+)
Kepadatan Penduduk	Tingginya kepadatan penduduk mampu mengurangi tingkat pelayanan sosial wilayahnya dimana misalnya akses masyarakat untuk mendapatkan pelayanan sosial seperti kesehatan dan pendidikan pun berkurang, sehingga hal ini mampu mengurangi kesiapan fisik dan pemahaman penduduk dalam menghadapi kejadian bencana. Kepadatan penduduk yang tinggi juga dapat mempersulit proses evakuasi. <b>Sumber:</b> Lirer et al (1997), Lavigne (1999), Thouret et al (2000), Cutter et al (2000), Pareschi et al (2000), Cutter et al (2003), Utami (2008)	(+)
Presentase Jumlah Penduduk Wanita	Wanita memiliki rasa kekhawatiran yang lebih tinggi dibanding penduduk laki-laki. Oleh sebab itu penduduk wanita akan cenderung lebih sulit dalam berbagai pengambilan keputusan pada situasi darurat bencana. Selain itu wanita cenderung dapat memiliki keterbatasan mobilitas dalam proses evakuasi. <b>Sumber:</b> Fothergill et al (1996), Cutter et al (2003), Wisner et al (2004), Utami (2008)	(+)
Presentase Jumlah Penduduk Muda (<15 Tahun)	Penduduk usia muda memiliki resistensi yang kecil terhadap penyakit dan seringkali memiliki sumber daya serta mobilitas yang terbatas sehingga nantinya dapat mengurangi kesiapannya dalam menghadapi setiap kejadian bencana. <b>Sumber:</b> Thouret et al (2000), Cutter et al (2003), Wisner et al (2004), Utami (2008)	(+)
Presentase Jumlah Penduduk Lansia (>65 Tahun)	Penduduk lansia memiliki mobilitas yang terbatas dan memiliki kecenderungan untuk enggan meninggalkan tempat tinggalnya, sehingga dapat mempersulit misalnya dalam proses evakuasi. <b>Sumber:</b> Thouret et al (2000), Cutter et al (2003), Wisner et al (2004), Utami (2008)	(+)
Presentase Jumlah Penyandang Cacat	Penyandang cacat memiliki kemungkinan terpengaruh yang tak sebanding ketika terjadi bencana karena sifat keterbelakangannya di masyarakat serta ketidakmampuannya dalam mengidentifikasi maupun bertindak pada situasi bencana. <b>Sumber:</b> Cutter et al (2003), ISDR 2002b:76 dalam Wisner et al (2004), Utami (2008)	(+)
Presentase Jumlah Pra KS (Keluarga Sejahtera)	Golongan pra KS dengan segala keterbatasan sumber dayanya khususnya ekonomi, cenderung memiliki resiliensi yang rendah terhadap kejadian bencana. Kecenderungan terhadap akses pendidikan dan kesehatan yang terbatas juga mampu mempengaruhi kesiapannya terhadap kejadian bencana. <b>Sumber:</b> Cutter et al (2003), ISDR 2002b:76 dalam Wisner et al (2004), Utami (2008)	(+)

Sumber: hasil analisis

identifikasi kelas yang sebenarnya (*real*) dari setiap data indikator kerentanan yang digunakan.

### Analisis Risiko

Analisis risiko dilakukan untuk mengetahui seberapa besar potensi berbagai jenis kerugian yang dapat ditimbulkan oleh kejadian bencana Gunung Papandayan, dimana risiko bencana secara skematis digambarkan melalui kombinasi antara kerentanan dan ancaman bahaya bencana (Wisner et al, 2004):

$$R = H \times V$$

R : Risiko

H : Faktor Bahaya

V : Faktor Kerentanan

Mengacu pada pembagian faktor kerentanan kedalam 3 subfaktor (Coppola, 2007), maka proses analisis risiko juga akan terbagi menjadi analisis risiko fisik, sosial, dan ekonomi.

Proses penilaian risiko dilakukan melalui konsep tumpang susun (*overlay*) antara faktor bahaya dan tingkat kerentanan yang telah didapatkan pada analisis sebelumnya, dimana pada dasarnya operasi hanya diaplikasikan melalui penggunaan perhitungan nilai atribut untuk memberikan penilaian risiko yang lebih bersifat kuantitatif serta akurat.

Hasil yang didapat dari proses tersebut yaitu berupa nilai risiko dari setiap indikator fisik dan sosial di setiap desa di wilayah studi. Nilai risiko ini akan dinyatakan dalam bentuk nilai ordinal 0-3 sebagai rentang nilai dari hasil perkalian antara nilai faktor bahaya dan nilai kerentanan. Selain itu akan disajikan pula bentuk peta risiko setelah nilai risiko tersebut diklasifikasikan terlebih dahulu kedalam 3 tingkatan risiko melalui metode natural breaks dalam aplikasi GIS,

yaitu tingkat risiko rendah, risiko sedang, dan risiko tinggi.

Selanjutnya nilai risiko dari setiap indikator fisik dan sosial tadi akan digeneralisasi kedalam nilai risiko fisik dan sosial keseluruhan. Nilai risiko fisik keseluruhan akan mempertimbangkan nilai risiko dari 7 indikator fisik yang telah didapatkan sebelumnya. Adapun nilai risiko sosial keseluruhan akan mempertimbangkan nilai risiko dari 7 indikator sosial didalamnya. Dalam penelitian ini setiap indikator yang digunakan dianggap memiliki bobot yang sama, Ini berarti bahwa setiap indikator tersebut dianggap memiliki kontribusi yang sama satu sama lainnya dalam membentuk sebuah risiko kebencanaan di wilayah studi. Oleh sebab itu maka penyusunan nilai risiko fisik dan sosial keseluruhan tadi selanjutnya dapat disistematisasikan sebagai berikut:

$$R \text{ Fisik} = \frac{\sum R \text{ Indikator Fisik}}{7}$$

$$R \text{ Sosial} = \frac{\sum R \text{ Indikator Sosial}}{7}$$

Adapun khusus untuk penilaian risiko ekonomi, prosesnya akan dilakukan melalui fungsi tumpang susun (*overlay*) pada aplikasi GIS antara peta faktor bahaya (Hazard Map Tahun 1998) dengan peta persebaran dari setiap indikator fisik yang digunakan. Seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa khusus untuk indikator fisik infrastruktur pendidikan dan kesehatan, data mengenai lokasi serta perkiraan luasan bangunannya masing-masing didapatkan melalui kegiatan observasi, melengkapi data lokasi serta luasan dari indikator fisik lainnya yang telah didapatkan sebelumnya dari BAPEDA Kabupaten Garut.

Proses tumpang susun tadi selanjutnya akan menghasilkan persebaran dan luas dari

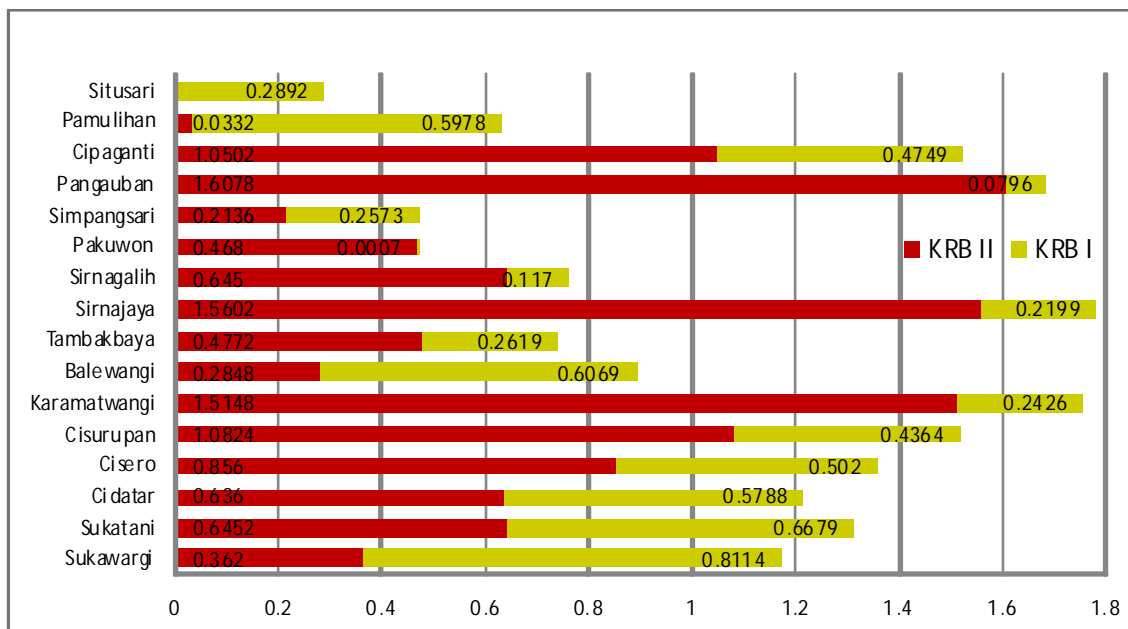
setiap indikator fisik yang terkena faktor bahaya Gunung Papandayan. Pemahaman yang diberikan bahwa setiap indikator fisik yang terkena setiap faktor bahaya Gunung Papandayan ini pada akhirnya akan mengalami kerugian baik secara fisik (kehancuran, kerusakan) maupun finansial. Oleh sebab itu maka setiap besaran dari indikator fisik yang terkena faktor bahaya ini selanjutnya akan dikalikan dengan nilai satuan kerugian untuk masing-masing jenis indikator fisik tersebut (data kerentanan ekonomi; biaya bangun, nilai produksi hasil pertanian, dan biaya konstruksi). Hasil perkalian ini yang selanjutnya dapat disebut sebagai nilai risiko ekonomi yang dinyatakan dalam satuan rupiah.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Faktor Bahaya

Potensi ancaman faktor bahaya (H) dari bencana Gunung Papandayan yang direpresentasikan melalui nilai faktor

bahaya, memperlihatkan bahwa desa dengan nilai faktor bahaya terbesar adalah desa-desa yang secara geografis terletak di bagian timur laut wilayah studi Kecamatan Cisurupan, yaitu di arah bukaan kawah, selain juga tentunya yang memiliki jarak lebih dekat dengan kawah tersebut (Gambar 3). Desa-desa dengan nilai faktor bahaya terbesar yang dimaksud, berurutan dari yang terbesar yaitu Desa Sirnajaya, Karamat-wangi, Pangauban, Cipaganti, dan Cisurupan memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap besarnya nilai faktor bahaya di Desa Sirnajaya, Cipaganti Pangauban, dan Karamatwangi. Sedangkan faktor geografis jarak dengan kawah memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap besarnya nilai faktor bahaya di beberapa desa seperti Cisurupan, Cisero, dan Sukatani. Nilai faktor bahaya yang didapatkan pada analisis bahaya ini merepresentasikan tingkatan bahaya dari segala bentuk jenis bahaya yang dimiliki erupsi Gunung Papandayan, artinya beberapa zona (dalam penelitian ini



Sumber: Hasil Analisis, 2011

Gambar 3. Nilai Faktor Bahaya Gunung Papandayan di Kecamatan Cisurupan

didefinisikan desa) yang memiliki nilai faktor bahaya tertinggi akan memiliki potensi terpapar yang lebih tinggi pula dibanding zona lainnya.

Beberapa desa seperti Desa Sukawargi dan Sukatani, dimana berada pada kondisi proporsi nilai KRB II yang lebih kecil dibandingkan nilai KRB I, ternyata mampu menghasilkan nilai faktor bahaya keseluruhan yang tergolong tinggi. Hal ini tidak lain disebabkan ketika hampir seluruh luas wilayah dari masing-masing desa tersebut berada pada zona rawan bencana secara umum. Adapun Desa Sitisari yang berada di batas utara wilayah studi memiliki nilai faktor bahaya terkecil dengan komposisi zona KRB I secara keseluruhan yang mengindikasikan bahwa Desa Sitisari merupakan zona yang berpotensi terkena paparan paling sedikit dari berbagai jenis bahaya.

### **Faktor Kerentanan**

Nilai faktor kerentanan yang teridentifikasi menunjukkan adanya perbedaan tingkat kerentanan secara keseluruhan untuk setiap indikator kerentanan fisik, sosial, maupun ekonomi di wilayah studi. Artinya setiap jenis indikator kerentanan memiliki zonasi tingkat kerentanan yang cenderung berbeda-beda di wilayah studi.

Untuk indikator fisik persawahan misalnya, sebagian besar zona tingkat kerentanan tingginya berada di bagian utara wilayah studi. Temuan ini dapat didefinisikan bahwa di bagian utara wilayah studi akan lebih banyak lahan persawahan yang berpotensi terpapar bahaya erupsi Gunung Papandayan. Pemahaman serupa nantinya juga akan digunakan untuk mendefinisikan zonasi tingkat kerentanan dari indikator kerentanan lainnya.

Berbeda dengan persawahan, untuk indikator fisik perkebunan misalnya,

sebagian besar zona tingkat kerentanan tingginya berada di bagian selatan wilayah studi. Akan berbeda pula untuk indikator sosial jumlah penduduk, dimana sebagian besar zona tingkat kerentanan tingginya berada di desa-desa yang berdekatan dengan pusat kegiatan kecamatan. Adapun untuk indikator ekonomi biaya bangun, temuan yang didapatkan bahwa nilainya akan lebih besar di wilayah-wilayah yang sifatnya lebih perkotaan.

Perbedaan kecenderungan zonasi tingkat kerentanan untuk setiap indikator di wilayah studi selanjutnya dapat dilihat pada tabel 2 yang direpresentasikan melalui legenda warna, nilai kerentanan, serta klasifikasinya, dengan masing-masing keterangan indikatornya adalah sebagai berikut:

1. Luas Permukiman
2. Luas Persawahan
3. Luas Perkebunan
4. Luas Perladangan
5. Jumlah Infrastruktur Pendidikan
6. Jumlah Infrastruktur Kesehatan
7. Panjang Infrastruktur Jalan
8. Jumlah Penduduk
9. Kepadatan Penduduk
10. Persentase Wanita
11. Persentase Usia < 15 Tahun
12. Persentase Usia > 65 Tahun
13. Persentase Penyandang Cacat

### **Risiko Fisik**

Desa Sirnajaya memiliki nilai risiko fisik yang terbesar, dilanjutkan Desa Cisurupan serta Sukawargi dan Cipaganti, dimana kesemuanya diklasifikasikan pada zona risiko fisik tinggi (Gambar 4). Adapun Desa Sitisari memiliki nilai risiko fisik paling rendah. Hal ini kemudian dapat diartikan bahwa Desa Sirnajaya adalah desa

yang memiliki potensi kerusakan atau kehancuran fisik terbesar. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa nilai risiko fisik Desa Sirnajaya berada cukup jauh dengan nilai risiko fisik kedua terbesar setelahnya, artinya bahwa selain memang dipengaruhi nilai faktor bahayanya yang terbesar, Desa Sirnajaya juga memiliki rata-rata nilai faktor kerentanan fisik yang tergolong cukup besar perbedaannya dengan desa lainnya. Hal ini dapat diindikasikan mengingat perbedaan nilai faktor bahayanya yang tidak terlalu signifikan dengan desa lainnya di wilayah studi serta memang secara geografis Desa Sirnajaya memiliki luasan wilayah yang paling besar, sehingga diperkirakan akan lebih banyak terdapat keberadaan setiap jenis indikator fisik di wilayah tersebut.

Adapun secara keseluruhan dalam penilaian risiko fisik ini, faktor bahaya (H) diperkirakan memiliki pengaruh yang lebih besar karena rata-rata desa yang tergolong memiliki kategori risiko fisik tertinggi adalah desa-desa yang memang hampir

sebagian besar memiliki nilai faktor bahaya terbesar seperti Desa Sirnajaya, Karamatwangi, dan Cipaganti. Adapun hanya untuk nilai risiko fisik besar dari Desa Sukawargi saja yang dalam prosesnya lebih dipengaruhi oleh faktor kerentanan (V).

### Risiko Sosial

Desa Pangauban memiliki nilai risiko sosial yang terbesar dilanjutkan Karamatwangi, Cisero, Sirnajaya, Sukatani, serta Cipaganti, dimana kesemuanya diklasifikasikan pada zona risiko sosial tingkat tinggi (Gambar 4). Hal ini kemudian dapat diartikan bahwa Desa Pangauban adalah desa yang memiliki potensi gangguan sosial terbesar bila bencana Gunung Papandayan terjadi.

Hasil menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang cukup besar diantara setiap nilai risiko sosial dari masing-masing desa di wilayah studi. Hal ini mengindikasikan bahwa setiap desa di wilayah studi memiliki rata-rata nilai faktor kerentanan sosial yang tidak jauh berbeda satu sama lainnya karena memang nilai faktor bahaya diantara desa dengan nilai risiko sosial terbesarnya pun

Tabel 2. Nilai Kerentanan Fisik dan Sosial

Indikator / Desa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Sukawargi	3	1	3	2	3	2	3	3	2	1	2	1	1	1
Sukatani	1	1	3	1	2	1	2	2	1	3	2	1	3	2
Cidatar	2	1	2	2	3	2	3	3	2	1	2	1	1	1
Cisero	2	1	2	2	3	1	1	2	2	2	1	2	3	3
Cisurupan	3	1	1	2	3	2	2	2	1	1	2	1	2	1
Karamatwangi	2	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1
Balewangi	2	1	1	1	2	2	1	1	3	2	3	1	2	1
Tambakbaya	1	2	1	1	3	2	1	1	2	2	3	1	2	2
Sirnajaya	2	3	2	3	2	2	2	2	1	1	2	1	1	3
Sirmagalih	1	1	2	1	3	2	2	2	2	2	1	3	1	3
Pakuwon	1	1	1	1	2	2	1	1	3	2	2	1	1	3
Simpangsari	1	1	1	1	2	2	1	2	3	1	2	1	2	2
Pangauban	1	1	1	1	2	3	1	1	2	2	1	2	2	3
Cipaganti	2	3	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2
Pamulihan	2	3	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	3
Situsari	1	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	3	2

Legenda Warna & Nilai Kerentanan	Klasifikasi
3	Kerentanan Tinggi
2	Kerentanan Sedang
1	Kerentanan Rendah

Sumber: hasil analisis, 2011



tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan diantaranya.

Beberapa desa yang berada pada kategori risiko tinggi seperti Desa Sirnajaya, Karamatwangi, Cipaganti, dan Pangauban memang merupakan 4 desa dengan nilai faktor bahaya terbesar di wilayah studi. Temuan ini selanjutnya kembali memperlihatkan bahwa secara keseluruhan faktor bahaya memiliki pengaruh yang lebih besar dalam memunculkan wilayah yang berisiko tinggi.

## Risiko Ekonomi

Kerugian finansial terbesar dari bencana erupsi Gunung Papandayan di wilayah studi akan diberikan oleh indikator fisik permukiman, disusul oleh indikator fisik perkebunan (Tabel 3).

Selanjutnya bila nilai risiko ekonomi tersebut diklasifikasikan berdasarkan desa, maka Desa Cipaganti akan memiliki nilai risiko ekonomi yang terbesar, disusul oleh Desa Karamatwangi, Sukawargi serta

Tabel 3. Nilai Risiko Ekonomi Bencana Gunung Papandayan (dalam Miliar Rupiah)

Indikator / Desa	1	2	3	4	5	6	7	Total Risiko Ekonomi
Sukawargi	259,1	-	94,4	1,6	1,6	0,09	41,6	398,7
Sukatani	147,1	-	121,9	0,3	1,0	-	24,5	294,9
Cidatar	243,7	-	41,3	1,0	2,8	-	37,6	326,5
Cisero	46,2	0,2	71,3	0,6	0,5	-	15,9	134,7
Cisurupan	153,0	0,1	46,3	1,3	1,6	0,03	36,3	238,8
Karamatwangi	371,7	-	8,5	0,8	1,1	-	19,6	401,9
Balewangi	238,7	0,1	-	0,4	1,3	-	4,6	245,3
Tambakbaya	19,0	0,3	-	0,07	0,2	0,05	10,5	30,4
Sirnajaya	123,4	1,5	0,3	4,1	0,3	0,01	75,4	205,4
Sirnalih	46,1	-	0,1	0,2	0,1	0,1	22,2	69,0
Pakuwon	1,1	-	0,7	-	-	-	2,4	4,3
Simpangsari	37,7	-	-	-	-	-	4,0	41,7
Pangauban	191,7	-	-	-	1,1	0,1	6,5	199,5
Cipaganti	406,2	2,7	-	0,1	0,5	0,1	17,0	426,8
Pamulihan	4,6	2,7	-	0,2	-	-	15,3	22,9
Situsari	-	-	-	0,06	-	-	1,1	1,1

Sumber: hasil analisis, 2011

### Keterangan Indikator

- |                |                             |
|----------------|-----------------------------|
| 1) Permukiman  | 5) Infrastruktur Pendidikan |
| 2) Persawahan  | 6) Infrastruktur Kesehatan  |
| 3) Perkebunan  | 7) Infrastruktur Jalan      |
| 4) Perladangan |                             |

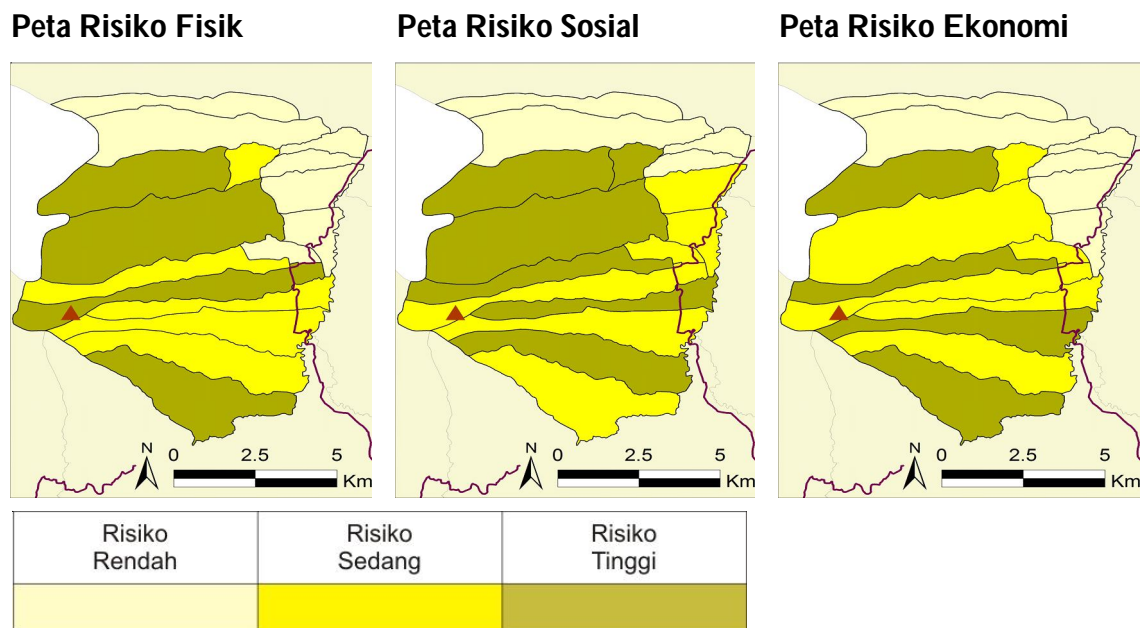
### Catatan:

Harga dasar tiap jenis indikator didapatkan melalui proses wawancara kepada perangkat setiap desa. Setiap perangkat desa diasumsikan mengetahui kondisi wilayah desanya masing-masing

Cidatar, dimana kesemuanya diklasifikasikan pada zona risiko ekonomi tingkat tinggi (gambar 4). Hal ini kemudian dapat didefinisikan bahwa Desa Cipaganti adalah desa yang memiliki potensi kerugian finansial (dalam Rupiah) terbesar bila bencana Gunung Papandayan terjadi. Kerugian finansial disini adalah terbatas pada kerugian langsung, dalam hal ini yaitu kerusakan atau kehancuran fisik dari setiap jenis indikator fisik yang terkena bahaya erupsi Papandayan.

### KESIMPULAN DAN SARAN

1. Potensi ancaman faktor bahaya (H) Gunung Papandayan yang memperlihatkan bahwa desa dengan nilai faktor bahaya terbesar adalah desa-desa yang secara geografis terletak di bagian timur laut wilayah studi Kecamatan Cisurupan, yaitu di arah bukaan kawah, selain juga tentunya yang memiliki jarak lebih dekat dengan kawah tersebut.
2. Penelitian ini telah mengidentifikasi perbedaan tingkat kerentanan secara keseluruhan untuk setiap indikator kerentanan fisik, sosial, maupun ekonomi (faktor kerentanan, V) di wilayah studi. Beberapa contoh misalnya, untuk indikator fisik persawahan lebih tinggi tingkat kerentanannya di bagian utara wilayah studi; indikator fisik perkebunan lebih tinggi tingkat kerentanannya di bagian selatan wilayah studi; indikator sosial kepadatan penduduk serta indikator ekonomi biaya bangun yang lebih tinggi tingkat kerentanannya di wilayah pusat kegiatan desa atau kecamatan.
3. Penelitian ini menghitung, bahwa secara umum, Desa Sirnajaya, berada pada zona risiko fisik dan sosial yang tertinggi. Akan tetapi, dari sisi risiko ekonomi dapat diidentifikasi bahwa Desa Cipaganti, Karamatwangi, Sukawargi, dan Cidatar berada pada zona risiko ekonomi tingkat tinggi bencana Gunung Papandayan.



Sumber: Hasil Analisis, 2011

Gambar 4. Peta Risiko Bencana Gunung Papandayan di Kecamatan Cisarupan

Dengan mengetahui lokasi daerah-daerah yang berbahaya, serta risiko yang tinggi untuk risiko fisik, sosial dan ekonomi, pemerintah dapat mengetahui tingkat bahaya dan kemungkinan lokasi yang berbahaya. Pengetahuan ini dapat diintegrasikan dengan arahan pembangunan yang dapat dibuat dengan melakukan 'overlay' antara peta risiko dengan rencana tata ruang yang ada.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Bappeda Kabupaten Garut untuk penyediaan data sekunder dan rekan-rekan yang membantu dalam proses pengumpulan data: Ramanditya Wimbardana dan Donald Ganitua Sianturi. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada dua *reviewer* yang memberikan koreksi untuk perbaikan naskah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- BPS Jawa Barat. 2009. *Luas Panen, Hasil Per Hektar dan Produksi Padi Jawa Barat*. Diakses dari <http://jabar.bps.go.id/index.php/pertanian/21-luas-panen-hasil-per-hektar-dan-produksi-padi-jawa-barat> pada 28 Juli 2011
- Coppola, D. 2007. *Introduction to International Disaster Management*. Oxford. Elsevier
- Cutter, Susan L., Mitchell, Jerry T., Scott, Michael S. 2000. *Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of George Town County, South Carolina*. *Annals of the Association of American Geographers*, 90(4), p. 713-737. Blackwell Publishers.
- Cutter, Susan L., Boruff, Bryan J., Shirley, W. Lynn. 2003. *Social Vulnerability to Environmental Hazards*. Southwestern Social Science Association.
- Dinas Pariwisata Jawa Barat. 2010. *Wisata Pegunungan-Gunung Papandayan*. Diakses dari <http://disparbud.jabarprov.go.id/wisata/dest-det.php?id=34&lang=id> pada 18 Juni 2011
- ESDM. 2007. *Peningkatan Status G. Papandayan menjadi Waspada*. Diakses dari [http://psdg.blogspot.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=513:peningkatan-status-gpapandayan-menjadi-waspada&catid=8:geology](http://psdg.blogspot.com/index.php?option=com_content&view=article&id=513:peningkatan-status-gpapandayan-menjadi-waspada&catid=8:geology) pada 18 Juni 2011
- ESDM. 2008. *Status Aktivitas Gunung Papandayan Ditingkatkan*. Diakses dari <http://www.esdm.go.id/berita/geologi/42-geologi/1658-status-aktivitas-gunung-papandayan-ditingkatkan.html> pada 18 Juni 2011
- Fauzi, Y., Susilo, B. dan Mayasari, Z. 2009, Analisis Kesesuaian Lahan Wilayah Pesisir Kota Bengkulu Melalui Perancangan Model Spasial dan Sistem Informasi Geografis (SIG), *Forum Geografi*, Vol. 23, No. 2, Desember 2009: 101-111
- Fothergill, A. 1996. *Gender, Risk, and Disaster*. *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, March 1996, Vol. 14, No.1, pp. 33-56. Department of Sociology, The Natural Hazards Center, University of Colorado, Colorado.

- Hadisantono, R. D., Sumpena, A. D., and Santoso, M. S. 1998. *Peta Kawasan Rawan Bencana Gunung Api Papandayan Provinsi Jawa Barat*. Direktorat Vulkanologi.
- Kecamatan Cisurupan dalam Angka 2010*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Garut
- Kelompok Keilmuan Geodesi ITB. *Pemantauan Deformasi Gunungapi Papandayan dengan GPS*. Diakses dari [http://geodesy.gd.itb.ac.id/?page\\_id=288](http://geodesy.gd.itb.ac.id/?page_id=288) pada 15 November 2011
- Kompas. 2011. *Gunung Papandayan Siaga*. Diakses dari <http://regional.kompas.com/read/2011/08/13/08025542/Gunung.Papandayan.Siaga> pada 13 Agustus 2011
- Lavigne, Franck. 1999. Lahar Hazard Micro-Zonation and Risk Assessment in Yogyakarta City, Indonesia. *Geo Journal* 49: 173–183. Netherlands. Kluwer Academic Publishers
- Lirer, L., Vitelli, L. 1998. *Volcanic Risk Assessment and Mapping in the Vesuvian Area Using GIS*. *Natural Hazards* 17:1-15
- Mutalazimah, Handaga, B., Sigit, A. Aplikasi Sistem Informasi Geografis pada Pemantauan Status Gizi Balita di Dinas Kesehatan Sukoharjo, *Forum Geografi*, Vol. 23, No. 2, Desember 2009, 153-166
- Pareschi, M. T., Cavarra, L., Favalli, M., Giannini, F., Meriggi, A. 2000. *GIS and Volcanic Risk Management*. *Natural Hazards* 21: 361-379. Netherlands. Kluwer Academic Publishers.
- Pemerintah Kabupaten Garut. 2011. *Profil Ekonomi*. Diakses dari [http://www.garutkab.go.id/pub/static\\_menu/detail/ekonomi\\_profile\\_domestik](http://www.garutkab.go.id/pub/static_menu/detail/ekonomi_profile_domestik) pada 28 Juli 2011
- Permen ESDM (Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral) Nomor 15 Tahun 2011 tentang *Pedoman Mitigasi Bencana Gunung Api, Gerakan Tanah, Gempa Bumi, dan Tsunami*
- PKPU. 2002. *Laporan Bencana Alam Gunung Papandayan, Garut Jawa Barat*. Diakses dari <http://www.pkpu.or.id/news/laporan-bencana-alam-gunung-papandayan-garut-jawa-barat> pada 18 Juni 2011
- Prahasta, E. 2002. *Konsep-Konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. Informatika. Bandung.
- PVMBG. 1998. *Gunung Papandayan*. Diakses dari [www.garutkab.go.id/galleries/pdf\\_link/sekilas/gunung\\_papandayan.pdf](http://www.garutkab.go.id/galleries/pdf_link/sekilas/gunung_papandayan.pdf) pada 1 April 2011
- Quesada, Jose Fernando Aceves, Salgado, Jesus Diaz, and Blanco, Jorge Lopez. 2007. *Vulnerability Assessment in A Volcanic Risk Evaluation in Central Mexico through A Multi-criteria-GIS Approach*. *Nat Hazards* (2007) 40:339–356. Springer Science+Business Media B.V.
- Sagala, S. and Bisri, M. 2011 *Perencanaan Tata Ruang Berbasis Kebencanaan di Indonesia*, dalam Anwar, H. dan Haryono, H. (2011) *Perspektif Kebencanaan dan Lingkungan di*

Indonesia: Studi Kasus dan Pengurangan Dampak Risikonya. Penerbit Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)

Thouret, J. C., and Lavigne, Franck. 2000. *Hazards and Risks at Gunung Merapi, Central Java: A Case Study*.

*Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana*

*Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang*.

UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction). 2005. Hyogo Framework for Action 2005-2015: *Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. World Conference on Disaster Reduction 18-22 January 2005*. Kobe, Hyogo, Japan.

United Nations. 2002. *Living With Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. United Nations/Inter-Agency Secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction*. Geneva: UN/ISDR

Utami, P. 2008. *Measuring Social Vulnerability in Volcanic Hazards: The Case Study of Merapi Volcano, Indonesia*. University of Bristol Dissertation in degree of Master of Science in Science of Natural Hazards in the Faculty of Science

Westen, C. J. v., Montoya, Lorena, Boerboom, Luc. 2002. *Multihazard Risk Assessment Using GIS in Urban Areas: A Case Study for the City of Turrialba, Costa Rica*. The Regional Workshop on Best Practices in Disaster Mitigation. International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands and Elena Badilla Coto, Universidad de Costa Rica, San Jose, Costa Rica

Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. 2004. *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disaster*. London. Routledge

Wittiri, S. R. 2004. *Gunung Api Indonesia*. Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.

**POTENSI BENCANA TSUNAMI DAN KESIAPSIAGAAN MASYARAKAT  
MENGHADAPI BENCANA  
STUDI KASUS DESA SUMBERAGUNG BANYUWANGI JAWA TIMUR**

***Tsunami Hazard and Community Preparedness  
Case Study Sumberagung Village Banyuwangi East Java***

**Sunarto dan Muh Aris Marfai**

Fakultas Geografi UGM, Bulaksumur 55281, Yogyakarta  
E-mail: sunartogeo@gmail.com

**ABSTRACT**

*This research aims to, 1) identify the physical condition and vulnerability due to tsunami at Pancer, Sumberagung Banyuwangi and 2) identify the awareness program done by community to reduce the risk and impact due to tsunami. Field observation and analysis of morphology, topography and physical characteristic of the coastal area of Pancer has been done in this research. Interview with key person and stakeholders has been conducted in order to understand the awareness system and program done by the community. Descriptive analysis has been used to describe the research result. From the topographical point of view, study area consist of lowland and hilly area. Lowland area is dominated by settlement and paddy field, meanwhile the hilly area is mainly for forest and dry farming system. Lowland area is the most vulnerable area for inundation due to tsunami. Coastal community has knowledge on tsunami hazard. Many program has been implemented to strengthen the community capacity and awareness, such as campaign, workshop for evacuation route identification, and evacuation simulation.*

**Keywords :** Banyuwangi, Sumberagung Village, coastal area, community awareness, tsunami

**ABSTRAK**

*Penelitian ini bertujuan untuk, 1) melakukan identifikasi kondisi fisik kawasan Pancer Desa Sumberagung Banyuwangi terhadap potensi bahaya tsunami, dan 2) melakukan identifikasi kesiap-siagaan yang dilaksanakan masyarakat untuk pengurangan risiko di masa mendatang. Metode yang digunakan adalah observasi lapangan dan pengamatan terhadap morfologi, topografi kawasan dan karakteristik fisik kawasan pesisir. Wawancara dilakukan untuk mengetahui kesiap-siagaan yang telah dilakukan oleh masyarakat. Analisis deskriptif kualitatif digunakan untuk menguraikan dan mendeskripsikan hasil penelitian. Dilihat dari topografi kawasan, Pantai Pancer Desa Sumberagung terdiri dari dua morfologi, yaitu daerah dataran dan perbukitan. Daerah dataran digunakan untuk permukiman dan sawah, sementara kawasan perbukitan untuk hutan dan tegalan. Daerah dataran merupakan kawasan yang paling rawan terhadap bahaya genangan akibat tsunami. Masyarakat di daerah penelitian mempunyai pengetahuan terhadap bahaya tsunami. Berbagai bentuk sosialisasi, workshop dan simulasi pernah dilakukan di daerah penelitian sebagai bentuk kesiap-siagaan menghadapi bencana.*

**Kata kunci:** Banyuwangi, Desa Sumberagung, kawasan pesisir, kesiapsiagaan masyarakat, tsunami

## PENDAHULUAN

Sebagai negara yang terletak di pertemuan lempeng *Eurasian*, *India-Australian*, *Pacific plates* Indonesia mempunyai kerawanan tinggi terhadap bencana tsunami (Lavigne dkk 2006, 2007; Marfai dkk 2008a, Marfai dkk 2009). Daerah yang rawan terhadap ancaman bencana tsunami meliputi sepanjang pantai barat Sumatera, pantai selatan Jawa terus ke timur sampai ke Bali dan ke utara meliputi kawasan pesisir Papua dan Sulawesi. Kejadian bencana tsunami yang paling besar dalam kurun waktu 20 tahun terakhir terjadi di Aceh dan Sumatra Utara pada Bulan Desember 2004. Lebih dari 200.000 orang meninggal dunia dan lebih dari 500.000 lainnya harus dievakuasi (Lavigne dkk 2006). Kemudian kejadian tsunami di kawasan pesisir selatan Pulau Jawa pada tanggal 17 Juli 2006 yang mengakibatkan korban lebih dari 730 orang meninggal dunia.

Di Pulau Jawa, daerah yang paling rawan bencana tsunami adalah wilayah kepebisiran bagian Selatan. Wilayah kepebisiran bagian Selatan Pulau Jawa merupakan wilayah rawan bencana tsunami dikarenakan wilayah ini merupakan wilayah yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia yang dalam hal ini merupakan zona pertemuan antara lempeng tektonik *Eurasian* dan *Indian-Australian*. Wilayah kepebisiran di bagian Selatan yang membentang dari Provinsi Jawa Barat, Provinsi Jawa Tengah, Provinsi Yogyakarta dan Provinsi Jawa Timur mempunyai kerawanan terhadap bencana tsunami. Beberapa daerah telah mengalami bencana tsunami, seperti daerah Pangandaran, Cilacap, Kebumen dan Banyuwangi. Tsunami yang terjadi pada tanggal 17 Juli 2006 di selatan Jawa merupakan salah satu kejadian tsunami yang membawa bencana besar. Gempa yang terjadi dengan titik

pusat berkisar 225 km dari Pantai Pangandaran (9.222°S-107.320°E) telah mengakibatkan tsunami di wilayah kepebisiran bagian Selatan Pulau Jawa (Lavigne dkk 2007). Sebagian besar kelurahan dan desa di sepanjang Provinsi Jawa Tengah mengalami dampak dari kejadian tersebut. Paling tidak 95 desa dan kelurahan pesisir yang terletak di Kabupaten Cilacap, Kebumen dan Purworejo mengalami dampak kerusakan. Di Kabupaten Cilacap tercatat sebanyak 142 orang meninggal, 57 orang hilang dan 7 orang luka-luka. Di Kabupaten Kebumen korban meninggal sebanyak 12 orang, 46 orang dinyatakan hilang dan 27 orang luka-luka serta sebanyak 1.388 orang dievakuasi (Kementerian PU, 2007). Kejadian tsunami di Pangandaran menghasilkan ketinggian gelombang tsunami 4,2 sampai 8,6 m Lavigne dkk (2007).

Salah satu wilayah di Provinsi Jawa Timur yang pernah terlanda bencana tsunami adalah wilayah kepebisiran bagian Selatan Kabupaten Banyuwangi. Kejadian tsunami pada Tahun 1994 mengakibatkan kerusakan parah di daerah sepanjang Pantai Pancer Desa Sumberagung Banyuwangi. Menurut data Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, yang dikutip oleh Prasetyo (2008) kejadian tsunami Tahun 1994 di wilayah kepebisiran bagian Selatan Jawa Timur telah mengakibatkan korban meninggal dunia sebanyak 377 jiwa, mengakibatkan orang hilang sebanyak 15 jiwa, orang yang mengalami luka-luka sebanyak 789 orang. Sementara itu kerusakan fisik rumah mencapai 992 rumah dengan kategori rusak ringan hingga rusak berat dan mengakibatkan hilangnya perahu nelayan di sepanjang pantai selatan sebanyak 340 buah. Secara lebih detail diuraikan juga oleh Prasetyo (2008) bahwa terdapat berbagai variasi tinggi gelombang dan jarak jangkauan tsunami ke darat, antara

lain tinggi gelombang 6,9 meter dengan jarak jangkau ke pantai mencapai 300 meter terdapat di kawasan Grajagan, sedangkan di Lampon tinggi gelombang mencapai 11 meter dengan jarak jangkau ke arah daratan sepanjang 300 meter. Sementara itu di kawasan pesisir Pancer tinggi gelombang mencapai 11 meter dengan jarak jangkau sepanjang 300 meter ke arah daratan, di Rajegwesi tinggi gelombang mencapai 14 meter dengan jarak jangkau 150 meter.

Pengetahuan tentang kondisi fisik kawasan pesisir sangat diperlukan, terutama untuk memberikan pemahaman pada masyarakat dan meningkatkan kesiap-siagaan (*awareness*) dari masyarakat lokal di kawasan rawan bencana (Marfai dkk 2008b; Marfai dan Khasanah 2009, Marfai 2011a). Pengetahuan dan pemahaman tentang kondisi fisik sosial dan budaya suatu kawasan yang rawan terhadap bencana tsunami akan memberikan kontribusi informasi dan pengetahuan dalam kaitannya dengan perencanaan pengurangan risiko bencana. Pengetahuan dan pemahaman tentang kondisi fisik suatu wilayah dapat dikaji dan dipelajari melalui interpretasi data geo-spasial, dalam hal ini misalnya data peta rupa bumi, citra satelit dan lain sebagainya (Marfai dan Sekaranom 2012). Disamping dapat dipakai untuk analisis kerentanan (Hizbaron, *et al.*, 2010), Pemahaman kondisi fisik dapat digunakan untuk perencanaan program kesiapsiagaan, misalnya memberikan kontribusi pada penentuan jalur evakuasi, perhitungan nilai kerugian dan lain sebagainya.

Kesiapsiagaan masyarakat lokal di kawasan rawan bencana selain dengan pemahaman kondisi fisik lingkungan juga dapat ditingkatkan dengan melakukan sosialisasi bencana dan program gladi lapang. Program gladi lapang dapat meliputi sistem evakuasi, sistem monitoring, deteksi dini,

perhitungan risiko dan lain sebagainya (Tim Pusat Studi Bencana Universitas Gadjah Mada, 2009). Oleh karena itu, maka diperlukan suatu kajian tentang kesiapsiagaan masyarakat lokal di kawasan rawan bencana tsunami agar dapat disusun suatu program manajemen bencana yang tepat dalam rangka pengurangan risiko bencana. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk: 1) Mengidentifikasi kondisi fisik kawasan pesisir Desa Sumberagung banyuwangi dalam kaitannya dengan potensi bahaya tsunami dan 2) Mengidentifikasi kesiapsiagaan masyarakat kawasan pesisir dalam menghadapi bencana tsunami.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan data geo-spasial berupa data Peta Rupabumi Indonesia (RBI) dan data penginderaan jauh. Daerah penelitian meliputi kawasan pesisir Pancer, Desa Sumberagung Banyuwangi. Interpretasi kondisi fisik dan morfologi kawasan dilakukan secara visual terhadap data geo-spasial tersebut. Analisis dilakukan secara spasial dan deskriptif terhadap hasil interpretasi. Wilayah rawan genangan tsunami dibatasi berdasarkan hasil analisis *digital elevation model* dengan ketinggian maksimum 50 meter dari permukaan laut. Sementara itu identifikasi kesiap-siagaan dilakukan dengan studi laporan terdahulu, wawancara dan evaluasi terhadap pelaksanaan gladi lapang sistem evakuasi yang pernah dilakukan sebelumnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Fisik, potensi bencana tsunami dan dampaknya di Pantai Pancer

Secara geografis, Kabupaten Banyuwangi



terletak di ujung timur Pulau Jawa yang tepatnya berada di koordinat antara 7°34' -8°46' LS dan 113°53' – 114°38' Bujur Timur. Menurut Banyuwangi dalam angka (2008) luas kabupaten yang mencapai 5.782,50 km<sup>2</sup> secara topografi memiliki daerah dengan ketinggian bervariasi dari 0 hingga lebih dari 2000 m dpl. Umumnya daerah bagian selatan, barat, dan utara merupakan daerah pegunungan. Sementara daerah dataran terbentang dari bagian selatan hingga utara. Berdasarkan penggunaan lahannya Kabupaten Banyuwangi terdiri dari 31,72% merupakan kawasan hutan, sisanya digunakan antara lain untuk permukiman, sawah, ladang, dan tambak. Cukup banyaknya DAS dan curah hujan yang memadai di sana membuat kondisi tanah subur untuk pertanian. Selain itu sepanjang garis pantai yang mencapai 175,8 km merupakan daerah potensi perikanan laut.

Pantai Pancer, Desa Sumberagung, Banyuwangi merupakan daerah rawan gempa. Kejadian gempa yang terjadi di lautan lepas di dekat perairan Pantai Pancer, Desa Sumberagung dapat menimbulkan potensi kejadian tsunami. Pada Tahun 2007 telah terjadi beberapa kali gempa bumi. Misalnya gempa bumi sebesar 4,9 pada Skala Richter di barat laut Banyuwangi, Jawa Timur pada 10 September 2007 dini hari.

Pantai Pancer Desa Sumberagung merupakan daerah yang sangat strategis karena berada di kawasan dengan topografi datar. Daerah ini secara geomorfologi berada di daerah teluk dengan topografi disekitarnya yang berbukit. Pertumbuhan permukiman terkonsentrasi pada daerah dengan topografi datar di kawasan teluk. Permukiman juga berada pada beting gisik yang relatif datar dan merupakan daerah terbuka sehingga sangat rentan terhadap hembasan gelombang tsunami. Morfologi beting gisik

berada pada jarak antara 200 m -300 m dari pantai. Elevasi permukaan di kawasan teluk berkisar 2-3 m. Ke arah darat, permukaan tanah cenderung lebih rendah membentuk bentuklahan rawa belakang. Topografi kawasan teluk Pancer secara umum terdiri dari dua unit morfologi yang berbeda, yaitu dataran dengan elevasi 0-50 m dan perbukitan dengan elevasi lebih dari 50 m (Gambar 1).

Pantai Pancer merupakan daerah yang rawan terhadap tsunami karena mempunyai topografi datar dan berada pada daerah teluk. Gelombang tsunami yang datang dari arah teluk Pancamaya akan diakumulasi di daerah dengan topografi datar ini. Sementara itu pemanfaatan lahan pada dataran rendah tersebut sebagian merupakan kawasan permukiman. Berbagai bentuk penggunaan lahan lainnya di daerah ini antara lain adalah sawah irigasi, hutan, tegalan, semak, permukiman, gisik dan lahan kosong (Gambar 2).

Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa daerah penelitian mempunyai bentuk penggunaan lahan yang kompleks (multi fungsi). Menurut Marfai (2011a) kebanyakan kawasan pesisir dicirikan dengan pemanfaatan lahan yang dinamis dan kompleks. Penggunaan lahan yang kompleks tersebut merupakan salah satu faktor mengapa di kawasan pesisir merupakan kawasan yang rawan terhadap kejadian bencana. Penggunaan lahan yang kompleks tersebut juga dapat mengakibatkan terjadinya degradasi lingkungan (Marfai 2005), seperti terjadinya pencemaran, kerusakan kawasan, memicu meningkatnya erosi (Marfai 2011). Dalam perkembangannya di masa yang akan datang dan dengan melihat trend pertumbuhan permukiman serta penggunaan lahan lainnya di daerah penelitian, permasalahan lingkungan yang telah disebutkan diatas dapat saja terjadi dan merupakan ancaman bagi pelaksanaan pembangunan.

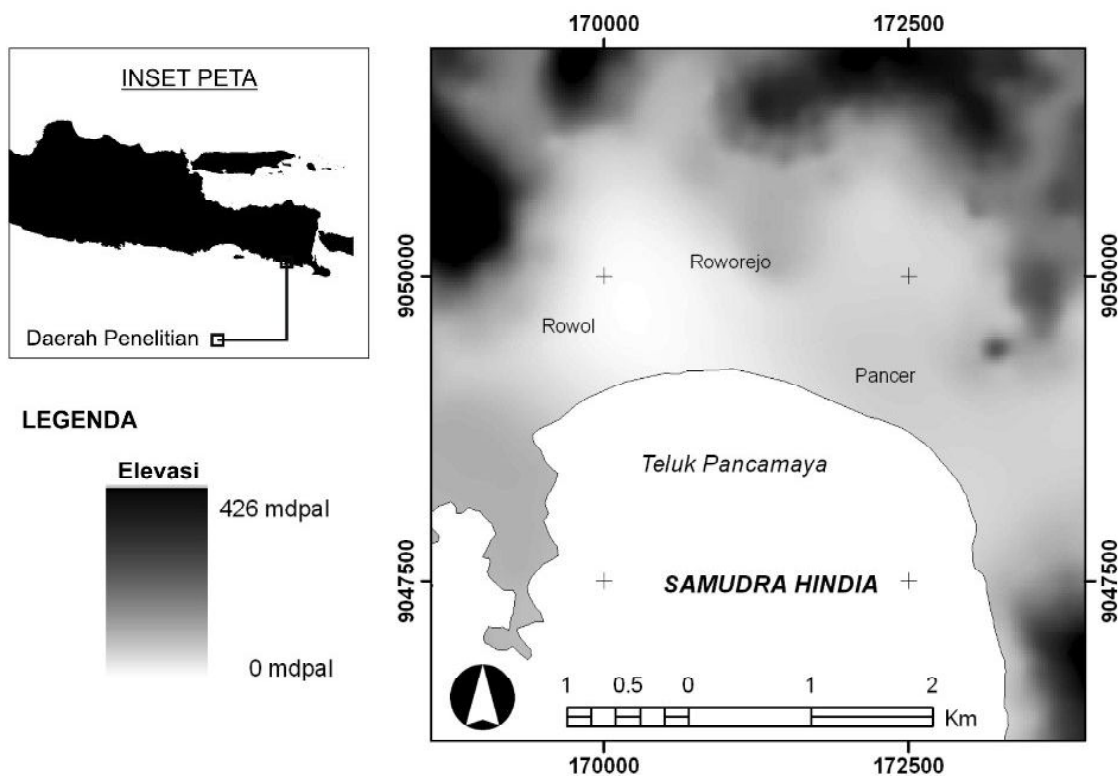
Dengan menggunakan analisis model elevasi, seperti pemanfaatan garis kontur dan titik ketinggian, kawasan rawan genangan akibat bencana dapat diidentifikasi. Marfai (2006) mengenalkan analisis elevasi medan untuk pemetaan bencana. Data elevasi medan dalam bentuk *digital elevation model* (DEM) juga dapat dimanfaatkan untuk melakukan pemetaan genangan di kawasan pesisir (Marfai dkk 2012). Dalam penelitian ini analisis elevasi medan digunakan untuk mengidentifikasi kawasan genangan akibat tsunami. Dalam hal ini identifikasi kawasan rawan genangan tsunami

dilakukan dengan menggunakan *threshold* (ambang batasan) ketinggian 50 m berdasarkan peta RBI daerah penelitian. Kawasan rawan bencana tersebut disajikan pada Gambar 3.

### Kesiapsiagaan Masyarakat dalam Menghadapi Bencana

Berangkat dari tingginya tingkat kerawanan bencana yang dihadapi oleh masyarakat yang bertempat tinggal di kawasan pesisir, menjadi penting untuk melihat bagaimana masyarakat yang ada di sana melakukan persiapan dan kesiapsiagaan menghadapi potensi bencana. Di

### PETA LOKASI BESERTA DEM PANTAI PANCER DAN SEKITARNYA



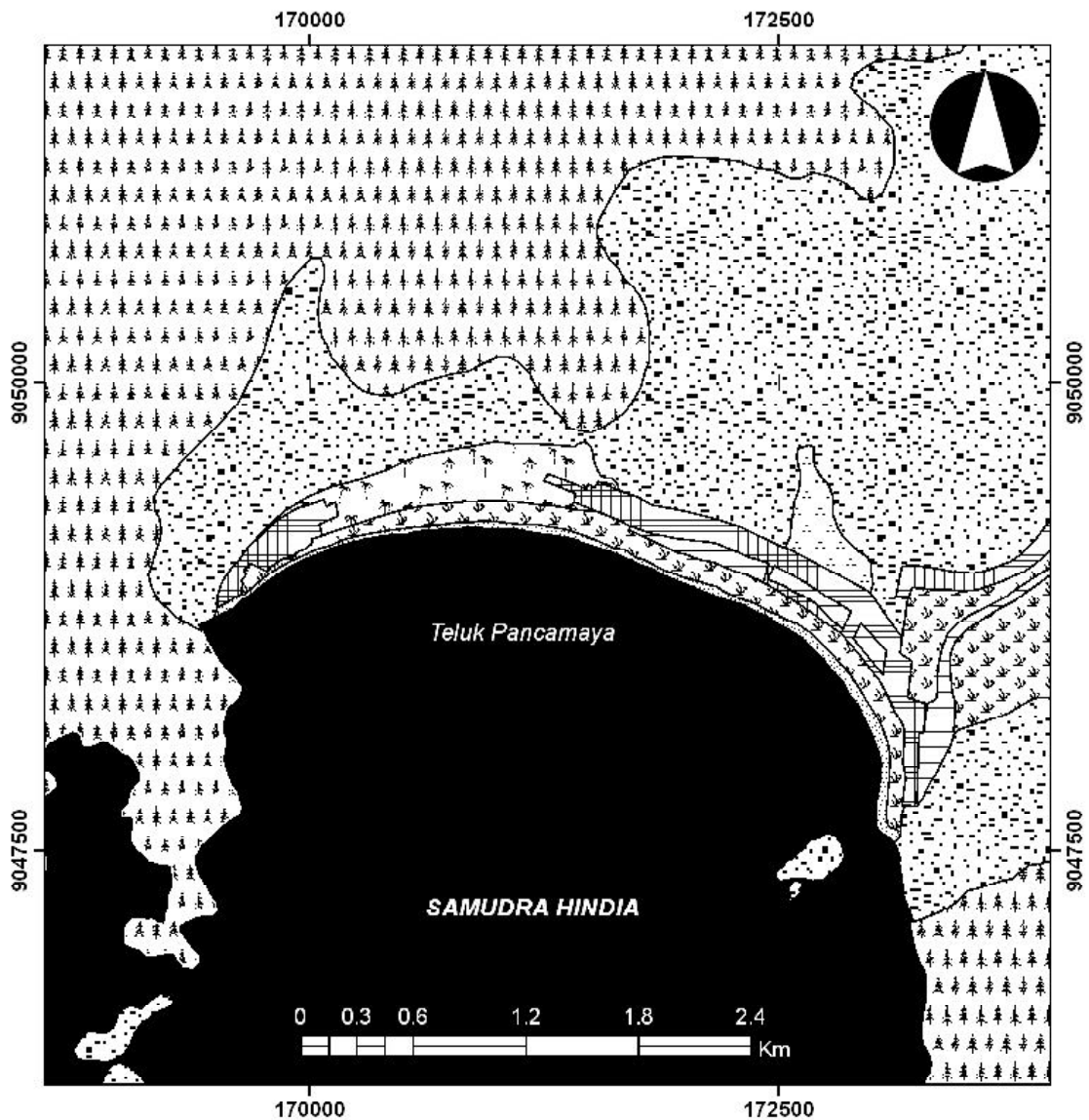
Sumber: Peta RBI lembar Siliragung dan Sarongan Tahun 2000, Bakosurtanal

Dibuat oleh: Sunarto dan MA Marfai  
Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada  
Bulaksumur 55281, Yogyakarta

Sumber: hasil analisis

Gambar 1. Peta Daerah Penelitian dengan Digital Elevation Model

## PETA PENGGUNAAN LAHAN PANTAI PANCER DAN SEKITARNYA



### Legenda

 Gisik	 Sawah Irigasi	 Kebun
 Hutan	 Semak	 Lahan Kosong
 Permukiman	 Tegalan	 Laut

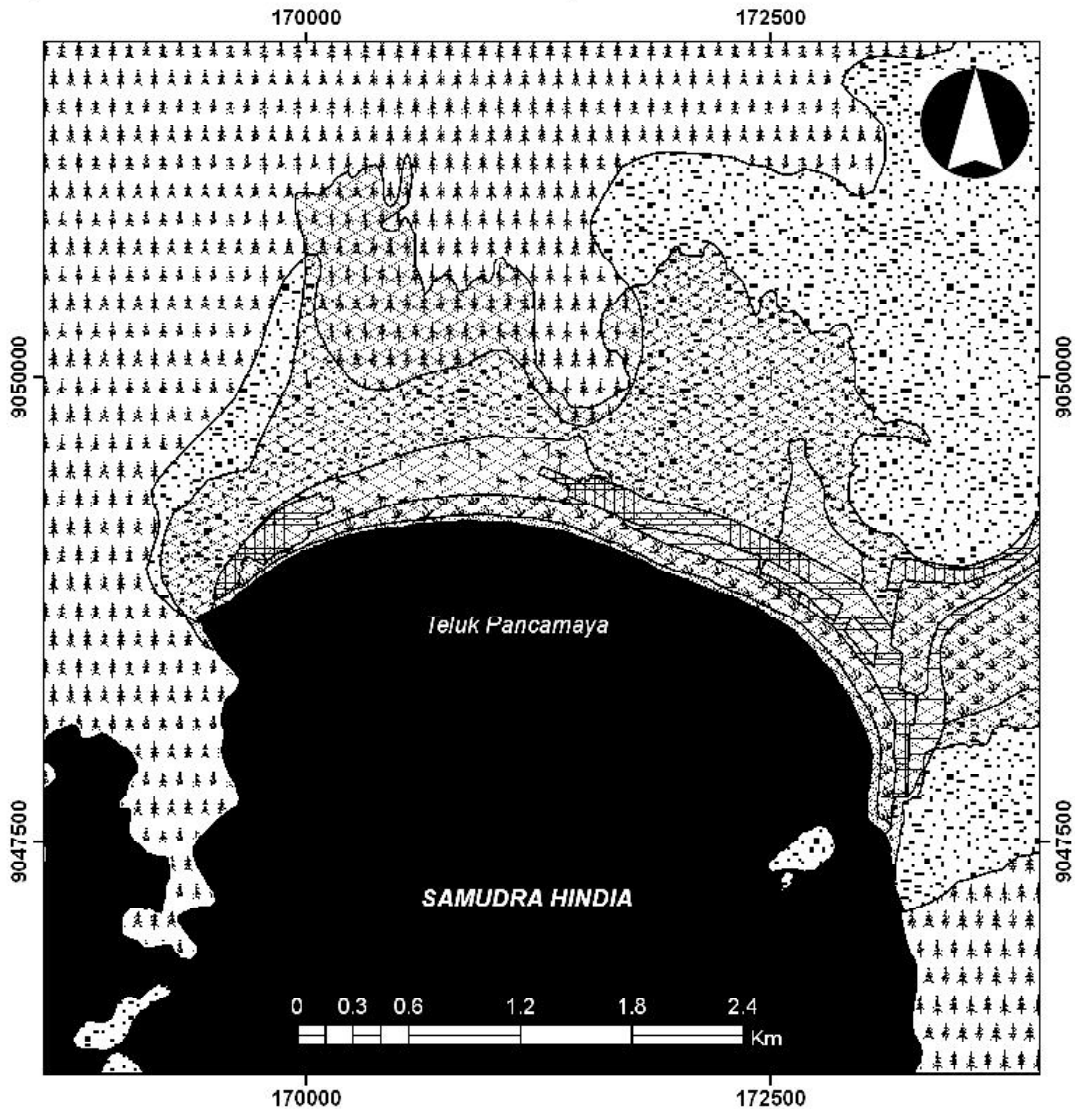
Sumber: Peta RBI lembar Siliragung dan Sarongan Tahun 2000. Bakosurtanal

Dibuat oleh: Sunarto dan MA Marfai  
Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada  
Bulaksumur 55281, Yogyakarta

Sumber: hasil analisis

Gambar 2. Peta Penggunaan Lahan Daerah Penelitian

## PETA POTENSI PENGGENANGAN TSUNAMI PANTAI PANCER DAN SEKITARNYA



**Legenda**

- |  |   |  |
|--|---|--|
|  Area terdampak tsunami |   |  |
| <b>Penggunaan Lahan</b>  |   |  |
|  Permukiman             |  Sawah Irigasi |  Gisik        |
|  Hutan                  |  Tegalan       |  Lahan Kosong |
|  Kebun                  |  Semak         |  Laut         |

Sumber: Peta RBI lembar Siliragung dan Sarongan Tahun 2000, Bakosurtanal

Dibuat oleh: Sunarto dan MA Marfai  
Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada  
Bulaksumur 55281, Yogyakarta

Sumber: hasil analisis

Gambar 3. Peta Daerah Rawan Penggenangan Akibat Tsunami

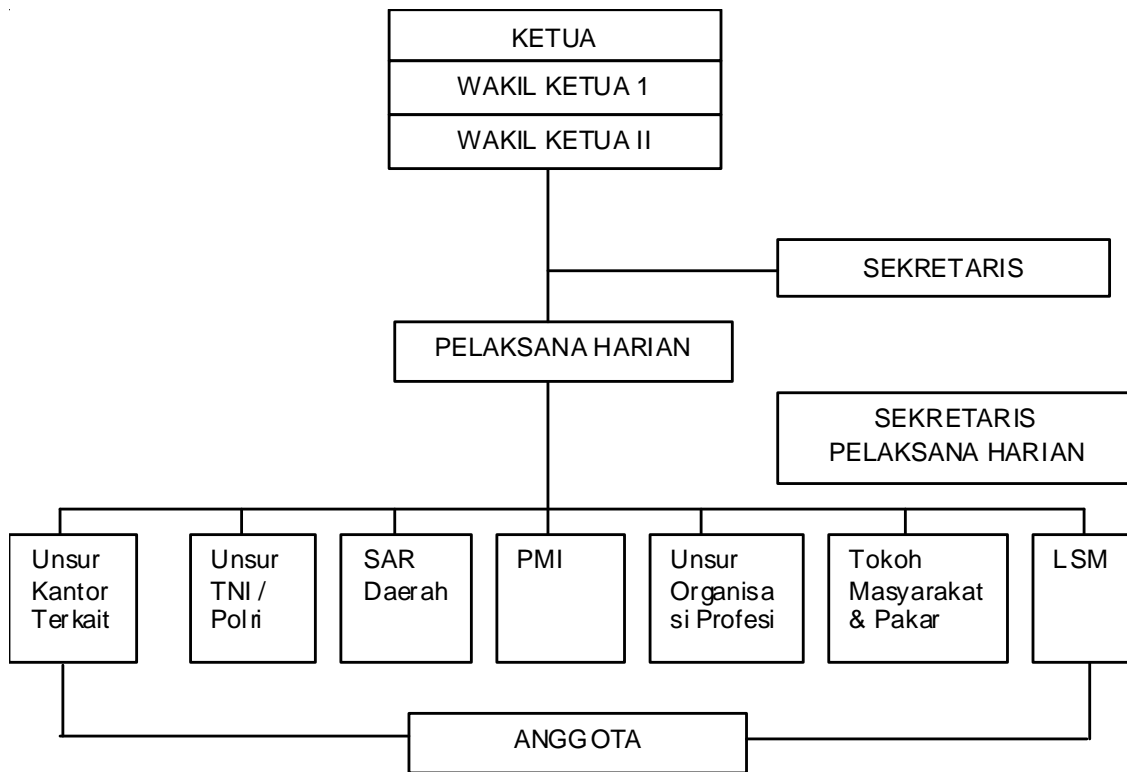
tingkat Kabupaten Banyuwangi, kesiapsiagaan menghadapi bencana telah dilakukan dengan dicerminkan oleh unit-unit pemerintahan yang khusus menangani kebencanaan. Dengan kondisi daerah pesisir yang rawan terhadap bencana tsunami dan dengan mempertimbangkan berbagai potensi bencana alam lainnya, Pemerintah Banyuwangi mendorong penanganan dan penanggulangan bencana yang melibatkan segenap aparat pemerintah setempat dan masyarakat terkait melalui diterbitkannya dokumen berupa PROTAP PB di Kabupaten Banyuwangi. Secara kelembagaan, upaya penanganan dan penanggulangan bencana di Kabupaten Banyuwangi dilakukan oleh lembaga-lembaga tertentu yang ditetapkan berdasarkan Surat Keputusan Bupati. Adapun lembaga tersebut Berdasarkan Surat Keputusan Bupati No 188/368/KEP/429.012/2007 dibentuk Satuan Pelaksana Penanganan Bencana (SATLAK PB) yang bertugas melaksanakan kegiatan penanganan bencana yang mencakup kegiatan pencegahan, penjinakan, kesiapsiagaan, penyelamatan, rehabilitasi, dan rekonstruksi.

Selain dibentuk satlak, dibentuk pula Unit Operasi PB di masing-masing Kecamatan dan satuan Linmas Tingkat Desa/Kelurahan. Unit yang lain yaitu Hansip/Linmas Desa/kelurahan juga mempunyai tugas: menyusun potensi hansip/linmas dalam regu-regu pelaksana menurut kebutuhan desa/kelurahan, dan mengerahkan potensi hansip/linmas dalam penanganan bencana yang terjadi di wilayahnya baik sebelum, pada saat, dan sesuai dan sesudah terjadi bencana (Tim Pusat Studi Bencana Universitas Gadjah Mada, 2009).

Selain itu, berdasarkan Surat Keputusan Bupati No 188.184/Kep/429.012/2008 dibentuk Tim Investigasi Bencana untuk

Kabupaten Banyuwangi (Gambar 4). Adapun tugas dari tim tersebut yaitu (1) menghimpun laporan terjadinya bencana yang masuk dari wilayah yang tertimpa bencana, (2) melakukan tinjau lapang/mendata jumlah korban bencana dengan tim teknis terkait dan mengkalkulasi perkiraan jumlah kerugian dan jumlah kebutuhan rehabilitasi serta rencana penempatan kembali korban bencana, (3) memberikan bantuan dan melaksanakan rehabilitasi dan atau rekonstruksi permukiman, fasilitas sosial serta fasilitas umum di daerah bencana; (4) menerima dan menyalurkan bantuan bagi para korban yang tertimpa bencana; (5) melaksanakan tugas-tugas lain yang diberikan oleh Bupati sepanjang pelaksanaan tugas tim dimaksud serta mendorong terciptanya situasi dan kondisi bagi kelancaran pemerintahan dan pembangunan; dan (6) bertanggung jawab dan melaporkan hasil pelaksanaan tugasnya kepada Bupati Banyuwangi.

Sementara itu untuk kawasan Desa Sumberagung, terutama di wilayah Pantai Pancer, masyarakat lokal telah mendapatkan pengetahuan dan pelatihan tentang tsunami dan pengurangan risiko bencana. Salah satu pelatihan yang dilakukan adalah kegiatan dari Kementerian sosial dengan Pusat Studi Bencana Universitas Gadjah Mada Tahun 2009. Kegiatan yang dilakukan oleh tim kementerian Sosial dan Pusat Studi Bencana Universitas Gadjah Mada Tahun 2009 merupakan salah satu bentuk kegiatan komprehensif untuk pendampingan masyarakat lokal dalam pengurangan risiko bencana. Pendampingan tersebut diawali dengan kegiatan sosialisasi tentang kebencanaan, pembentukan kader tangguh bencana, workshop evakuasi dan pengurangan risiko bencana (Gambar 5) serta simulasi evakuasi. Dalam kegiatan simulasi evakuasi melibatkan seluruh komponen terkait seperti PMI, Rumah Sakit, Militer,



Sumber: hasil analisis

Gambar 4. Struktur Tim Investigasi Bencana Kabupaten Banyuwangi (Tim Pusat Studi Bencana Universitas Gadjah Mada, 2009)



Sumber: hasil analisis

Gambar 5. Kegiatan Workshop untuk Penentuan Rute Evakuasi (Koleksi Marfai 2009)



Kepolisian, Pemerintah Kecamatan, Perguruan tinggi, dan masyarakat setempat. Lebih dari 300 peserta mengikuti kegiatan tersebut (Tim Pusat Studi Bencana Universitas Gadjah Mada, 2009).

## KESIMPULAN DAN SARAN

Kawasan pesisir Desa Sumberagung, Kabupaten Banyuwangi, khususnya pantai Pancer merupakan kawasan rawan bencana tsunami. Kejadian tsunami Tahun 1994 mengakibatkan kerugian yang besar secara material dan immaterial. Morfologi di daerah penelitian secara umum merupakan kawasan dataran dan daerah perbukitan. Dataran pantai dimanfaatkan untuk permukiman dan persawahan, sementara daerah perbukitan digunakan untuk tegalan dan hutan. Morfologi pantai berupa teluk dan terdapat dataran yang rendah merupakan kawasan yang sangat rawan terhadap dampak bencana tsunami. Dengan melihat ketinggian daerah berdasarkan garis kontur pada peta RBI dapat dilihat bahwa sebagian kawasan daerah penelitian sangat rawan terhadap genangan akibat tsunami.

Masyarakat di daerah penelitian mempunyai pengetahuan tentang kebencanaan. Berbagai bentuk kesiap-siagaan masyarakat dalam menghadapi bencana terlihat antara lain dengan dibentuknya tim investigasi bencana dan terdapat berbagai bentuk kegiatan terkait manajemen kebencanaan. Kegiatan sosialisasi, workshop penyusunan rute evakuasi dan simulasi evakuasi merupakan bentuk-bentuk kegiatan dalam rangka kesiap-siagaan menghadapi

bencana yang terdapat di daerah penelitian.

Identifikasi potensi kerawanan tsunami yang dilakukan di daerah penelitian masih merupakan identifikasi awal. Perlu dilakukan penelitian yang lebih detil untuk meningkatkan akurasi dalam identifikasi dan pemetaan kawasan rawan genangan akibat tsunami. Hal tersebut dapat dilakukan melalui pengembangan pemodelan berbasis raster dalam sistem informasi geografis. Sementara itu, bentuk kesiap-siagaan yang telah ada di masyarakat perlu terus dipertahankan dan dikembangkan dengan dukungan dan pendampingan dari pemerintah kabupaten. Instansi badan penanggulangan bencana daerah (BPBD) tingkat kabupaten mempunyai peran penting untuk meningkatkan kewaspadaan dan kesiap-siagaan masyarakat dalam menghadapi bencana.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagian penelitian ini mendapatkan dukungan dari program kegiatan sosialisasi bencana yang dilaksanakan oleh Kementerian Sosial dan Pusat Studi Bencana UGM. Penelitian ini juga mendapatkan dukungan dari Beasiswa Unggulan Program Pengembangan Doktor (BU-P2D) 2011-2012, Biro Perencanaan dan Kerjasama Luar Negeri (BPKLN) Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. Terima kasih disampaikan kepada Ahmad Cahyadi, Andung Bayu S., dan Bachtiar Wahyu Mutaqin yang membantu menyiapkan data-geospasial dan beberapa referensi, serta kepada reviewer yang telah memberikan masukan untuk penyempurnaan tulisan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Banyuwangi dalam angka (2008). *Profil Kabupaten Banyuwangi*. Pemerintah Daerah kabupaten Banyuwangi.

- Hizbaron, D. R., D.S. Hadmoko, G. Samodra, S.A. Dalimunthe, dan J. Sartohadi (2007) Tinjauan Kerentanan, Risiko dan Zonasi Rawan Bahaya Rockfall di Kulonprogo, Yogyakarta, *Forum Geografi*. Vol. 24 (2). pp. 119 - 136.
- Kementerian Pekerjaan Umum (2007). *Database Bencana Alam*. www.sda.pu.go.id. Accessed 13-11-2007
- Lavigne F, Paris R, Wassmer P, Gomez C, Brunstein D, Grancher D, Vautier F, Sartohadi J, Setiawan A, Syahnan, Gunawan T, Fachrizal, Waluyo B, Mardiatno D, Widagdo A, Cahyadi R, Lespinasse N, Mahieu L (2006). Learning from a major disaster (Banda Aceh, December 26th, 2004): a methodology to calibrate simulation codes for tsunami inundation models, *Zeitschrift für Geomorphologie*, 2006, *N.F., Suppl.-vol. 146*, 253 - 265.
- Lavigne F, Gomez C, Gifo M, Wassmer P, Hoebreck C, Mardiatno D, Priyono J, Paris R (2007) Field Observations of the 17 July 2006 Tsunami in Java, *Natural Hazard and Earth System Science*. 7(1): 177 - 183
- Marfai MA (2005). *Moralitas Lingkungan, Refleksi Kritis Atas Krisis Lingkungan Berkelanjutan*. Kreasi Wacana dan Wahana Hijau Yogyakarta
- Marfai MA (2006). Analisis Neighbourhood operations dalam Sistem Informasi Geografis berbasis raster dan aplikasinya, *Seminar Nasional Aplikasi teknologi informasi*, 17 Juni 2006, hal 7-12, Yogyakarta Indonesia <http://snati.informatika.web.id>
- Marfai MA (2011a). Impact of coastal inundation to ecology and agricultural land use, Case in Central Java Indonesia. *International Journal of Quaestiones Geographicae*, Pages 19-32. DOI 10.2478/v10117-011-0024-y 30(3): 19-32.
- Marfai MA (2011b). The hazard of coastal Erosion in Central Java Indonesia: an Overview. *GEOGRAFIA, Malaysia Journal of Society and Space* 7 issue 3 (1 - 9) 1, ISSN 2180-2491
- Marfai MA dan Khasanah T (2009). Kerawanan dan kemampuan adaptasi masyarakat pesisir terhadap bahaya banjir genangan dan tsunami. *Laporan Penelitian*. Hibah Penelitian Bencana dan Budaya. CRCS. Sekolah Pasca Sarjana UGM.
- Marfai MA, Sekaranom AB (2012). Sistem Informasi Geografis dan Peranannya untuk Analisis Bahaya Banjir. *Proceeding Seminar Nasional Pemanfaatan Teknologi SIG Dan PJ untuk Analisis Kebencanaan Berbasis Pengurangan Risiko*. Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Press. ISBN: 978-979-636-137-3
- Marfai MA, King L, Singh LP, Mardiatno D, Sartohadi J, Sri Hadmoko D, Dewi A (2008a) Natural hazards in Central Java Province, Indonesia: an overview. *Environmental Geology*. 56: 335-351, doi 10.1007/s00254-007-1169-9
- Marfai MA, King L, Sartohadi J, Sudrajat S, Budiani SR, Yulianto F (2008b). The impact of tidal flooding on a coastal community in Semarang, Indonesia. *Environmentalist*, 28: 237-248



- Marfai, MA, Putri RF, Mardiatno D, Sartohadi J (2009). Potential Loss Estimation Of Agricultural Production Due To Tsunami Hazard. *Proceeding International Coastal Conference, Nagoya, 23-25 February 2009*. Pp 15-21.
- Marfai MA, Pratomoatmojo NA, Hidayatullah T, Nirwansyah AW, Gomareuzzaman (2012). *Coastal Vulnerability Based on Shorelines Changes and Flood Tides. (Case Study : Pekalongan)*. Cahaya Press. ISSN: 978-620-19549-4-2
- Prasetyo K (2008). Aksiologis Pendidikan Geografi dalam Penanggulangan Bencana (Belajar dari Peristiwa Bencana Tsunami di Pantai Selatan Jawa Timur Tahun 1994). Dalam Rini Rachmawati, Andri Kurniawan, Erlis Saputra dan Raditya Jati (eds) 2008. *Proceeding Filsafat Sains Geografi, 12 Juli 2008*. Fakultas Geografi UGM.
- Tim Pusat Studi Bencana Universitas Gadjah Mada (2009). *Laporan Hasil Sosialisasi Bencana di Kabupaten Banyuwangi*. Kerjasama Kementerian Sosial dan Tim Pusat Studi Bencana (PSBA) Universitas Gadjah Mada.

# APLIKASI MODEL SMAR PADA DUA DAS IDENTIK

## *Application of SMAR Model at Two Identical Watershed*

**Indarto**

Lab. Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (TPKL), PS Teknik Pertanian,  
Fakultas Teknik Pertanian, Universitas Negeri Jember  
E-mail: indarto.ftp@unej.ac.id

### **ABSTRACT**

*This paper shows the evaluation process (calibration and validation) of SMAR (The Soil Moisture Accounting Rainfall-Runoff) model at two identical catchment areas (Rawatamtu and Kloposawit) in East Java – Indonesia. Daily discharge, rainfall data and meteorological data were collected from measurement stations located at the catchments areas. Potential evapotranspiration (PET) was calculated from meteorological data extracted from existing stations located inside of the catchments. Calibration was conducted for periods of: 1991 to 1994, while validation was tested for periods of: 1995 to 2000. Model performance was evaluated by means of: (1) Nash-Sutcliffe coefficient, (2) correlation coefficient and (3) graphical comparison of calculated and measured flow. The result shows the Nash-Sutcliffe coefficient = 0,73 and correlation coefficient = 0,86 for calibration period at Rawatamtu, while the same coefficients for Kloposawit are 0,54 and 0,74. Validation periods produce Nash-Sutcliffe and correlation coefficients = 0,35 and 0,64 for Rawatamtu. While for Kloposawit the values are 0,48 and 0,81.*

**Key words:** Calibration, Validation, SMAR Model, identical catchments, East Java

### **ABSTRAK**

*Tulisan ini memaparkan proses dan hasil kalibrasi dan validasi model SMAR (The Soil Moisture Accounting Rainfall Model) pada dua sub-DAS yang relatif identik karakteristik fisiknya (SubDas Rawatamtu dan SubDas Kloposawit, Jawa Timur). Data hujan harian, evaporasi harian dan debit harian diperoleh dari alat ukur yang terletak pada kedua SubDAS tersebut. Metodologi mencakup: visualisasi data, kalibrasi dan validasi model. Kalibrasi dilakukan menggunakan kombinasi metode Automatic dan Manual yang tersedia pada model. Kalibrasi dilakukan pada periode: 1991 sd 1994. Validasi dilakukan pada periode: 1995 sd 2000. Selanjutnya, Coefficient Nash-Sutcliffe, koefisien korelasi dan perbandingan grafik debit terukur dan terhitung digunakan untuk menilai hasil kalibrasi dan validasi. Proses kalibrasi pada Sub-DAS rawatamtu menghasilkan koefisien Nash = 0,73 dan koefisien korelasi = 0,86. Kalibrasi pada Sub-DAS Kloposawit menghasilkan koefisien Nash = 0,54 dan korelasi = 0,74. Validasi pada periode selanjutnya menghasilkan koefisien Nash = 0,35 dan korelasi = 0,64 untuk sub DAS Rawatamtu. Validasi pada sub-DAS Kloposawit menghasilkan koefisien Nash = 0,48 dan korelasi = 0,81.*

**Kata Kunci :** Kalibrasi, validasi, model SMAR, DAS identik, Jawa Timur

## PENDAHULUAN

**SMAR** (*soil moisture and accounting*) adalah model konseptual global hujan-aliran (*rain-fall runoff*) untuk neraca air. Fokus utama adalah pemodelan proses hidrologi terkait dengan perubahan kadar lengas tanah (*O'Connell et al., 1970; Kachroo, 1992; Tuteja and Cunnane, 1999*). Model menghitung aliran permukaan, debit air-tanah (*ground-water discharge*), evapotranspirasi dan kehilangan (*leakage*) dari profil tanah untuk seluruh wilayah DAS (Daerah Aliran Sungai) pada interval waktu harian.

### Struktur Model dan Deskripsi Proses Hidrologi

Model SMAR terdiri dari dua komponen utama: (1) neraca air dan (2) penelusuran aliran. SMAR menggunakan input berupa data hujan dan evaporasi (hasil pengukuran panci evaporasi) untuk simulasi debit aliran sungai pada DAS. Model dikalibrasi dengan data pengukuran debit outlet DAS. Komponen neraca air membagi kolom tanah menjadi lapisan-lapisan horizontal. Lapisan tersebut diasumsikan telah mengandung sejumlah lengas tanah (*soil moisture*), biasanya 25 mm ekuivalen tebal-air pada kapasitas lapang. Evaporasi dari permukaan tanah dimodelkan dan diasumsikan mengurangi kadar air di dalam tanah secara eksponensial dari nilai kebutuhan evapotranspirasi potensial. Komponen penelusuran aliran (*routing component*) mentransfer aliran-permukaan (*runOff*) yang dihasilkan oleh komponen neraca air sampai outlet DAS menggunakan persamaan Gamma dari Nash(1960). Persamaan tersebut diselesaikan dengan persamaan differensial dalam sistem input dan output tunggal. Selanjutnya, aliran air-bawah-tanah (*groundwater flow*) yang dihasilkan, dipropagasi melalui reservoir-

linear tunggal yang selanjutnya memberi kontribusi ke aliran sungai pada outlet DAS. Model SMAR menggunakan (5) parameter neraca air dan (4) parameter untuk penelusuran aliran.

Aliran yang dihasilkan oleh permukaan tanah di dalam DAS (*landscape*) ditransfer (*attenuation and lag*) ke outlet menggunakan model-reservoir-linear-bertingkat (*linear-cascade model*) dari Nash(1960).

Penyelesaian umum untuk menyatakan hubungan antara satu satuan volum input dan output dinyatakan dalam persamaan (1):

$$h(t) = \frac{1}{t} \int_{t-1}^t \frac{1}{KT(n)} \exp\left(\frac{-\tau}{K}\right) \left(\frac{\tau}{K}\right)^{n-1} d\tau \quad (1)$$

dimana:

$t$  = interval simulasi (d)

$d$  = hari

$\tau$  = waktu (s) = detik

$K_1 = K_2 = \dots = K_n = K$  adalah koefisien penyimpanan dari sejumlah ( $n$ ) *reservoir-linear* yang disusun secara bertingkat,

$h(t)$  = ordinat dari fungsi respon pada hitungan ke ( $d^{-1}$ )

$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} \exp(-\tau) \tau^{n-1} d\tau$  adalah fungsi

gamma dari sistem (tidak berdimensi).

Selanjutnya dijelaskan oleh Nash (1960): "that under constraints of conservation, stability, high damping and the absence of feedback, this two-parameter equation with  $n$  an integer and  $K$  positive, is almost as general a model as the differential equation of unlimited order. With additional flexibility obtained by allowing  $n$  to take fractional values, the impulse response of this equation has the ability to represent, ad-

*equately, almost all shapes commonly encountered in the hydrological context”.*

### Komponen Neraca Air

Komponen neraca air menggunakan (5) parameter untuk mendeskripsikan gerakan air masuk dan ke luar pada kolom tanah di bawah kondisi tekanan atmosfer, yaitu: C, Z, H, Y dan T.

1. Parameter C (tidak-berdimensi) mengatur penguapan dari lapisan tanah. Evaporasi diasumsikan berubah sebagai fungsi eksponensial dari bentuk  $C^{i-1}$ , di mana C bernilai antara 0 dan 1 dan  $(i) = 1,2,3,\dots$  menunjukkan urutan lapisan tanah. Oleh karena itu jika diberikan nilai evaporasi potensial, lapisan pertama akan memenuhi kebutuhan ini pada laju potensial, lapisan ke dua pada laju  $C$ , lapisan ke tiga dengan laju  $C^2$ , dan seterusnya. Hal ini akan menggambarkan pengurangan kadar lengas tanah secara eksponensial. Laju evapotranspirasi potensial dari lapisan atas pada hakekatnya mewakili evapotranspirasi dari reservoir intersepsi dan lapisan tanah bagian atas, dengan asumsi tidak ada hambatan oleh gaya kapilaritas tanah.
2. Parameter Z(mm), mewakili kapasitas penyimpanan lengas efektif (*effective moisture storage capacity*) dari tanah yang berkontribusi terhadap mekanisme pembentukan aliran. Tiap lapisan mengandung 25 mm air pada kapasitas lapang.
3. Parameter H (tidak berdimensi), digunakan untuk mengestimasi variabel  $H'$ , bagian dari kelebihan hujan (*rainfall excess*) yang menjadi aliran, karena tanah telah jenuh (aliran ini sering disebut sebagai *Dunne run-off*).  $H'$  diperoleh dari nilai H, kelebihan

hujan dan kejenuhan tanah. Kejenuhan tanah (*soil saturation*) didefinisikan sebagai perbandingan antara kadar lengas yang tersedia (dalam mm pada waktu  $t$  (days) dan 125 mm. Nilai 125 mm, melambangkan kadar air maksimum lima lapisan pertama.

4. Parameter Y ( $\text{mm.d}^{-1}$ ) menggambarkan kapasitas infiltrasi tanah dan digunakan untuk mengestimasi aliran yang dihasilkan karena kapasitas infiltrasi tanah telah terlampaui (*Hortonian run-off*).
5. Parameter T (tidak berdimensi), digunakan untuk menghitung evaporasi potensial dari panci evaporasi (E).

Aliran permukaan dihitung dari kelebihan hujan (*excess rainfall*) sebagai: aliran karena tanah jenuh (*saturation excess runoff*) + aliran Horton + proporsi lengas tanah  $(1-G)$  yang melebihi kapasitas penyimpanan tanah (misalnya: *through flow*).

### Penelusuran Aliran secara Lateral

Air tanah dan aliran permukaan yang dihasilkan dari komponen neraca-air, dialirkan untuk simulasi selang waktu (*lag time*) sejak kejadian hujan sampai aliran teramati pada outlet DAS. Persamaan yang digunakan untuk memodelkan komponen aliran secara lateral adalah sebagai berikut (Kachroo dan Liang, 1992).

### Komponen aliran permukaan

Aliran permukaan yang dihasilkan ( $r_s$ , dalam mm/hari) dan propagasi aliran

( $Q_T^r$ , mm/hari) dapat dicari nilai reratanya, menggunakan persamaan (2) dan (3), untuk merepresentasikan nilai harian.

$$r_s(t) = \frac{1}{t} \int_{\tau-t}^t r_s(\tau) d\tau \text{ ----- (2)}$$

$$Q_T^r(t) = \int_{t-\tau}^t Q_T^r(\tau) d\tau \text{ ----- (3)}$$

Persamaan linear (4) merupakan persamaan sederhana yang menghubungkan antara input sebagai fungsi waktu (aliran yang dihasilkan) dan aliran yang ditranfer (*routed run-off*). Persamaan ini digunakan dalam pemodelan konseptual, sebagai komponen yang merepresentasikan proses penelusuran aliran.

$$Q_T^r(t) = \sum_{j=1}^m h(j)r_s(t-j+1) \text{ ----- (4)}$$

di mana :

$m$  = *pulse response function (d)*.

### Komponen aliran airtanah

Persamaan kesetimbangan massa untuk aliran air bawah tanah dapat ditulis (5).

$$Q_T^{rech}(\tau) - Q_T^r = \frac{dS(\tau S)}{dt} = DS(\tau) \text{ ----- (5)}$$

keterangan:

$Q_T^{rech}$  = air tanah yang terisi ulang (mm/s)

$Q_T^r$  = air tanah yang dilepaskan (mm/s)

$\tau$  = waktu (s)

$S(\tau)$  = simpanan air tanah

$D = d/d\tau$  = operator diferensial ( $s^{-1}$ ).

### Input Model

Data masukan (*input*) terdiri dari:

#### 1. Hujan (*rainfall*)

Data rentang waktu (*time series*) hujan yang kontinyu. Data hujan tersebut adalah nilai hujan wilayah yang mewakili DAS. Hanya data hujan dalam satuan (mm/hari) yang dapat digunakan.

#### 2. Evaporasi

Data evapotranspirasi potensial (PET) yang kontinyu atau evapotranspirasi aktual yang mewakili evapotranspirasi DAS (satuan mm/hr).

#### 3. Pengukuran aliran (data debit)

Data debit harian digunakan untuk proses kalibrasi model. Satuan yang dapat digunakan: (mm/hari) atau ( $m^3/s$ ). Jika input data adalah  $m^3/s$  maka luas daerah tangkapan hujan harus diketahui.

#### 4. Luas daerah tangkapan hujan

Data ini diperlukan untuk konversi masukan (input) dan luaran (output) antara debit dalam satuan ( $m^3/detik$ ) dan ke debit dalam (mm/hari).

### Luaran model

Data luaran (*output*) dari model SMAR adalah berupa aliran harian ataupun bulanan (Tabel 1).

### Nilai parameter

Model akan memberikan nilai awal tertentu (*default*) sebelum setting parameter dilakukan. Nilai parameter model (minimum, maksimum dan default) diberikan dalam Tabel 2.

Selanjutnya, proses kalibrasi dan validasi pada suatu DAS akan menghasilkan nilai parameter diantara minimum dan maksimum.

### Aplikasi model

Model SMAR merupakan bagian dari satu paket program aplikasi yang disebut RRL (*rainfall runoff library*). RRL digunakan untuk membandingkan proses hidrologi pada tempat yang berbeda dan juga untuk mempelajari tentang model *hujan - aliran*. RRL mempunyai lima (5) model yang dapat digunakan untuk menghitung *runoff*, mengkalibrasi model dan menyediakan

berbagai fasilitas untuk proses kalibrasi model. Model-model RRL sudah dites pada DAS dengan ukuran dari 10km<sup>2</sup> sd 10000 km<sup>2</sup> (Podger, 2004). Artikel ini memaparkan hasil kalibrasi dan validasi model pada dua sub-DAS yang relatif identik (sub DAS Rawatamtu dan sub-DAS KlopoSawit).

## METODE PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di sub-DAS Rawatamtu

(bagian dari DAS Bedadung) dan sub-DAS KlopoSawit (bagian dari DAS Sampean). Ke dua DAS terletak di Wilayah Tapalkuda – Jawa Timur (Gambar 1).

Secara Geografis sub-DAS Rawatamtu terletak pada: 7°58'8" - 8°13'52" LS (Lintang selatan) dan 113°35' – 114°1'17" BT (Bujur Timur). Secara administratif meliputi wilayah Kabupaten Jember (92%) dan Kabupaten Bondowoso (8%) dengan luas sub-DAS sekitar 698 km<sup>2</sup>. Sedangkan, sub-DAS KlopoSawit terletak pada 7°48'11"LS - 8°6'59"LS dan 113°40'9"BT

Tabel 1. Luaran Model SMAR

	Data rentang Waktu	Satuan	Interval Waktu
Iklim	Hujan ( <i>Rainfall</i> )	mm/hari	harian
	Evaporasi ( <i>Evapotranspiration</i> )	mm/hari	harian
Aliran	Debit terukur ( <i>Observed flow</i> )	mm/hari (m <sup>3</sup> /detik)	harian
	Debit terhitung ( <i>Simulated flow</i> )	mm/hari (m <sup>3</sup> /detik)	harian/ bulanan

Sumber: Podger, 2004

Tabel 2. Luas Hampanan Jenis Batuan di Daerah Penelitian

Parameter	Nilai Default	Nilai Minimum	Nilai Maksimum
C	0	0	1
G	0	0	1
H	0	0	1
Kg	0	0	1
N	1	1	6
NK	1.00	0.01	1.00
T	0	0	1
Y	0	0	5000
Z	200	0	5000

Sumber: hasil analisis

– 114°3'39"BT yang meliputi sebagian besar wilayah Kabupaten Bondowoso (94%) dan sebagian kecil Kabupaten Jember (6%), dengan luas total sub-DAS sekitar 706 km<sup>2</sup>.

Kedua sub-DAS saling membelakangi pada sisi hulunya dan membentuk triangle-melebar. Sub-DAS Kloposawit mengalir ke arah Situbondo (Laut Utara) sebaliknya sub-DAS Rawatamtu mengalir ke Laut Selatan Pulau Jawa. Dari gambar (1) dan tabel (1), dapat disimpulkan bahwa luas dan bentuk kedua sub-DAS relatif identik. Perbedaan luas kedua sub-DAS, hanya sekitar  $(8/700 \times 100\%) = 1,1\%$ .

Perbandingan karakteristik fisik mencakup (topografi, peruntukan lahan, jenis

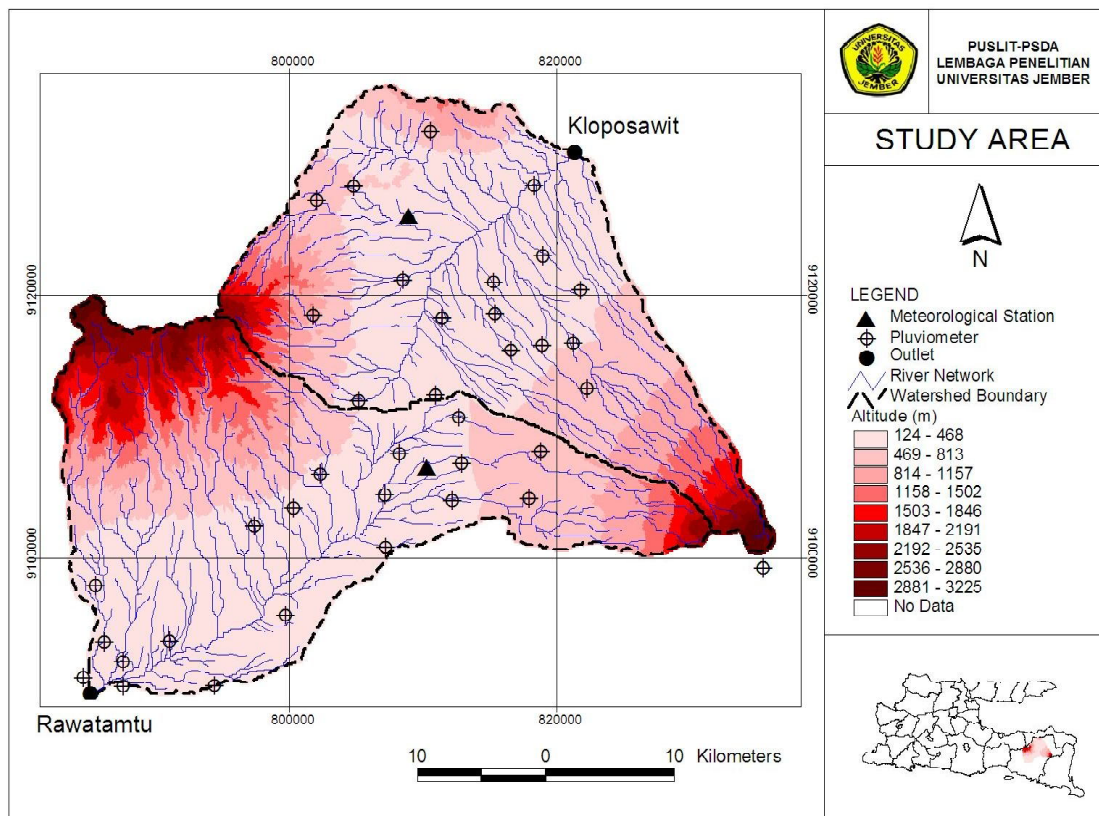
dan kelas tekstur tanah, hidro-geologi, jaringan sungai) menunjukkan bahwa karakteristik fisik ke dua DAS relatif identik (Tabel 3).

Sedangkan karakteristik hidroklimatologi ke dua DAS relatif tidak identik, meskipun ke dua DAS berada pada wilayah yang sama.

### Data Masukan

### Data Hujan

Hujan merupakan parameter yang bervariasi (Indarto, 2011). Data hujan harian dari 35 stasiun hujan (17 di wilayah sub-DAS Kloposawit dan 18 di wilayah sub-DAS Rawatamtu) digunakan sebagai masukan untuk analisa statistik hujan.



Sumber: hasil analisis

Gambar 1. Sub-Das Rawatamtu Dan Sub-Daskloposawit, Menunjukkan : Batas DAS, Peta Ketinggian (DEM), Jaringan Sungai, Lokasi Stasiun Hujan, Lokasi Awlr

Periode rekaman yang digunakan adalah dari tahun 1991 sd 2005. Hujan wilayah dihitung berdasarkan nilai rerata hujan-harian dari 17 dan 18 stasiun hujan tersebut secara aritmatik.

### Evapotranspirasi

Nilai evapotranspirasi potensial (PET/ Eto) dihitung dari data klimatologi yang diambil dari stasiun klimatologi yang ada pada masing-masing sub-DAS (stasiun Cindogo dan Stasiun Kaliwining). Input data berupa: kecepatan angin, lama penyinaran matahari, suhu dan kelembaban udara. Periode rekaman yang digunakan dari tahun 1991 sd 2000. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode Penman-Monteith FAO Irrigation and Drainage Paper No 56 (Allen, 2006), dengan rumus:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta[R_n - G] + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad \text{--- (6)}$$

Keterangan :

- Eto = Evapotranspirasi potensial (mm/hari)
- D = Slope tekanan uap jenuh ( $kP_a^{\circ C^{-1}}$ )
- g = Konstanta psychrometric ( $kP_a^{\circ C^{-1}}$ )
- Rn = Radiasi netto ( $MJ/m^2$ hari)

- $U_2$  = Kecepatan angin rerata (m/s)
- $e_a$  = Tekanan uap rata-rata ( $kP_a$ )
- $e_s$  = Tekanan uap jenuh ( $kP_a$ )
- T = Suhu rata-rata ( $^{\circ}C$ )
- G = Flux panas tanah ( $MJ/m^2$ hari).

### Data Debit

Data debit diperoleh dari stasiun AWLR yang terpasang pada outlet ke dua Sub DAS, yaitu: stasiun AWLR di Rawatamtu dan AWLR di Kloposawit. Periode rekaman data debit antara: 1991 sd 2000.

### Format Data

Data-data tersebut diurutkan dalam dua kolom Excel (tanggal, data) dan disimpan ke dalam format comma delimited (\*.csv). Data tersebut selanjutnya diimport ke dalam model. Dari file (\*.csv) selanjutnya disimpan dalam format space-separated-file (\*.prn). File (\*.prn) dapat dibuka dengan wordpad dan selanjutnya disimpan dalam format text (\*.dat). File (\*.dat) inilah yang selanjutnya diimport ke dalam model.

### Tahap pemodelan

Tahap penelitian mencakup: (1) visualisasi data, (2) kalibrasi model, dan (3) Validasi (verifikasi) model.

Tabel 3. Karakteristik Sub-DAS

Karakteristik	Sub-DAS	
	Rawatamtu	Klopo Sawit
Bentuk DAS	Triangle melebar	Triangle melebar
Luas ( $km^2$ )	698	706
Range ketinggian (d.p.l) m	(40 - 3218)	(150 - 3218)
luas wilayah di atas ketinggian > 1000 m	> 50%	> 50%
Bifurcation ratio	3,69	3,7

Sumber: hasil analisis



## Visualisasi data

Visualisasi data digunakan untuk melihat kesesuaian antara data hujan dan data debit.

## Pemilihan periode kalibrasi

Karena keterbatasan keseragaman data, maka untuk keperluan pemodelan digunakan rentang waktu antara 1990 sd 2000 (Tabel 4).

Selanjutnya, dari periode dimana terdapat data rentang-waktu (hujan, debit, evaporasi) dibagi menjadi dua periode: periode untuk kalibrasi dan periode untuk Validasi. Dalam hal ini, kalibrasi dilakukan pada periode pengukuran 1991 s/d 1994. Sedangkan validasi dilakukan dengan data dari tahun 1995 s/d 2000.

## Kalibrasi dan validasi secara terpisah

Dalam penelitian ini, model terlebih dahulu di kalibrasi dan divalidasi (verifikasi) pada ke dua sub-DAS (Klopo Sawit dan Rawatamtu) secara terpisah.

### a. Prosedur kalibrasi

Ada tiga metode kalibrasi yang disediakan paket Software RRL, yaitu: *generic*, *manual*, *custom*. Pada kasus ini dipilih metode kombinasi *Generic dan manual*.

### b. Parameter dan kriteria

Optimalisasi nilai parameter dilakukan setelah hasil kalibrasi dan validasi diperoleh.

1. Nilai parameter kalibrasi dan validasi  
Parameter-parameter yang terkait dengan model SMAR yaitu parameter C, Z, H, Y, T, Kg, G, n dan nK.

2. Kriteria Statistik yang Digunakan

Kriteria statistik yang digunakan adalah koefisien Nash dan koefisien korelasi. Koefisien Nash menunjukkan tingkat ketelitian dari korelasi hubungan antara data yang terukur dan terhitung. Kalibrasi yang baik akan menghasilkan nilai koefisien Nash mendekati 1. Nilai koefisien Nash dirumuskan (Podger, 2004), sebagai berikut:

Keterangan :

$$\text{Nash - Sutcliffe} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{si} - Q_{mi})^2}{\sum_{i=1}^N (\bar{Q} - Q_{mi})^2} \quad \text{--- (7)}$$

$Q_{si}$  = debit terhitung pada interval waktu i

$Q_{mi}$  = debit terukur pada interval waktu i

$\bar{Q}$  = debit terukur rerata untuk periode yang digunakan

i = interval waktu,

N = jumlah data dalam interval waktu tersebut.

Tabel 4. Data Masukan untuk Pemodelan

Jenis data	Rentang waktu
Hujan harian	1990 - 2000
Eto harian	1990 - 2000
Debit harian	1990 - 2000

Sumber: hasil analisis

Sedangkan koefisien korelasi menunjukkan keeratan hubungan data terukur (variabel X) dan data terhitung (variabel Y), sehingga dapat digunakan untuk menunjukkan adanya hubungan yang erat. Koefisien korelasi mempunyai range nilai antara 0 hingga 1, jika korelasinya tinggi nilainya akan mendekati 1. Nilai koefisien korelasi dirumuskan (Podger, 2004).

$$r = \frac{n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{\{\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2\} \{n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2\}}} \dots (8)$$

Keterangan :

$X_i$  = data terukur ke-i,

$Y_i$  = data terhitung ke-i

### b. Prosedur Validasi

Metode kalibrasi yang dilakukan mengacu pada *metode 1: The split sample test. Setting* nilai parameter yang dihasilkan selama periode kalibrasi, selanjutnya digunakan untuk verifikasi/validasi untuk periode: 1995 sd 2000.

### c. Visualisasi Hasil

Ketepatan atau kesahihan model selama proses kalibrasi dan validasi dinilai dengan: koefisien Nash dan koefisien korelasi. Visualisasi hasil dilakukan dengan membandingkan grafik hasil perhitungan dan pengukuran.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Visualisasi Data

Analisa sederhana terhadap data hujan dan debit pada ke dua subDAS menunjukkan grafik yang sesuai. Secara umum hujan yang jatuh pada kedua sub-DAS diikuti dengan kenaikan debit sungai, secara konsisten selama periode rekaman data (Gambar 2).

### Hasil Kalibrasi

Penerapan metode kalibrasi *Generic* dan metode optimasi *pattern search* pada di sub-DAS Rawatamtu menghasilkan koefisien Nash = 0.70 dan koefisien korelasi = 0.84. Metode optimasi lain tidak dapat menghasilkan nilai Nash & koefisien korelasi lebih baik. Selanjutnya kombinasi parameter hasil kalibrasi tersebut dioptimasi secara manual sampai diperoleh nilai koefisien Nash dan koefisien korelasi yang lebih baik, yaitu sebesar 0.73 dan 0.86.

Penggunaan metode yang sama untuk sub-DAS kloposawit, menghasilkan nilai koefisien Nash = 0.53 dan koefisien korelasi = 0,73. Perbandingan hasil kalibrasi diberikan pada tabel (5) dan gambar (3) sd (5).

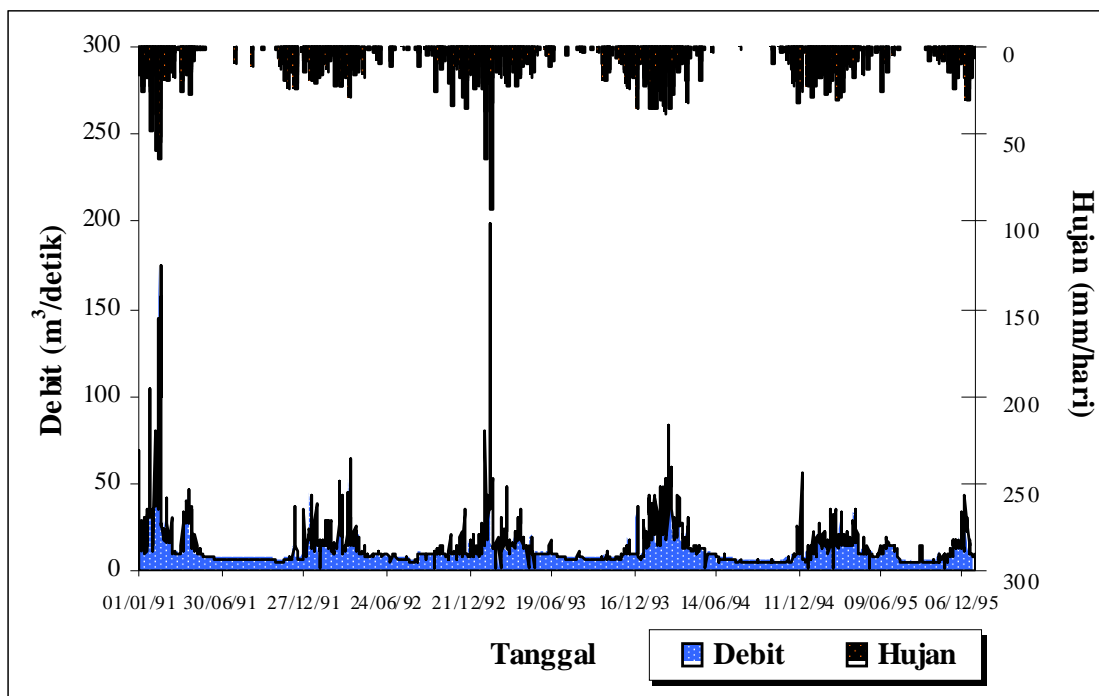
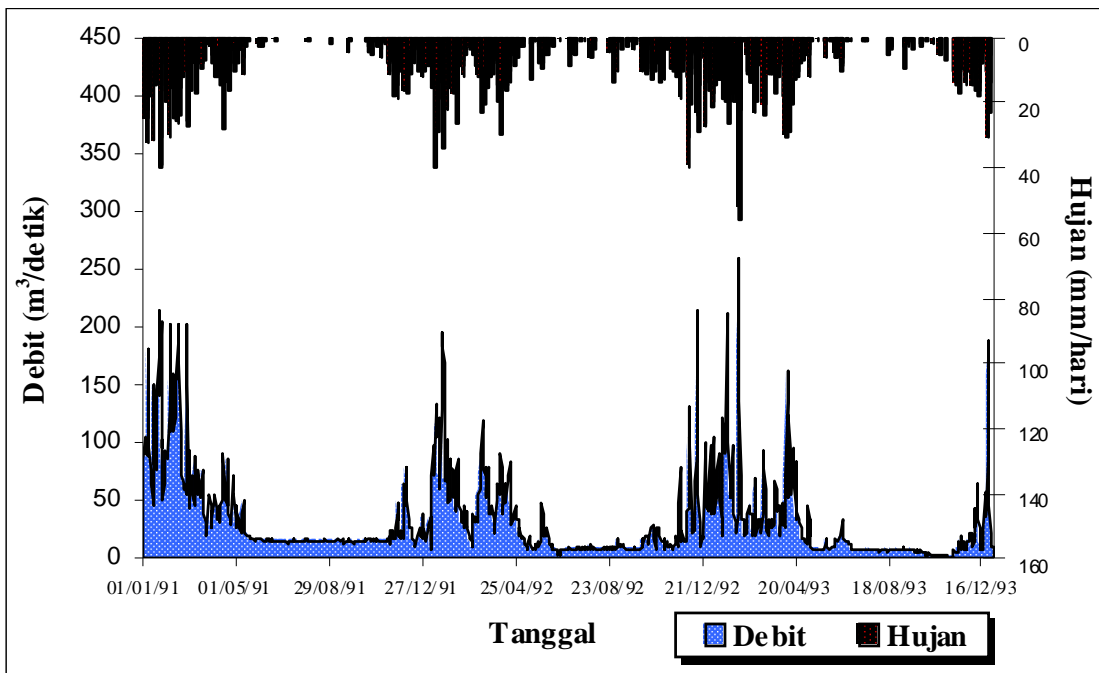
Gambar (3) sd (5) menunjukkan bahwa pada prinsipnya model dapat menirukan fluktuasi debit baik pada musim kemarau, periode banjir (musim hujan), maupun untuk jangka waktu tahunan.

Dalam hal ini, kalibrasi dilakukan untuk melihat performance model secara umum, bukan untuk memprediksi debit banjir, atau memperkirakan debit pada periode kering.

Pada gambar (6), untuk sub-DAS rawatamtu terlihat bahwa model memprediksi lebih tinggi debit musim kemarau, hal ini disebabkan pemakaian air untuk irigasi yang berlebihan pada periode tersebut. Data irigasi tidak diikuti dalam pemodelan, sehingga menyebabkan perhitungan debit lebih tinggi dari realitanya.

Nilai parameter model selama proses kalibrasi diberikan dalam Tabel 6.

Tabel (6) menunjukkan bahwa parameter (C, H,T,n,NK, dan G) relatif tidak terlalu



Sumber: hasil analisis

Gambar 2. Konsistensi Kenaikan Hujan yang Dikuti Kenaikan Debit Sungai Pad Sub-DAS Rawatamtu (Atas) dan Sub-DAS Bedadung (Bawah)

berbeda, sedangkan parameter (Z, Y, Kg) masih menunjukkan range yang lebar. Nilai parameter dari tabel 5, selanjutnya dapat dipertimbangkan untuk aplikasi model pada DAS-DAS di sekitarnya.

### Hasil Validasi

Nilai parameter yang diperoleh pada tahap kalibrasi, selanjutnya digunakan untuk evaluasi model pada periode validasi (1995 sd 2000). Hasil validasi diberikan dalam tabel 6. Zoom hasil pemodelan selama periode validasi diberikan dalam gambar (6).

Nilai coefficient Nash sangat dipengaruhi oleh debit besar. Dalam hal ini model tidak dapat mereproduksi dengan baik debit besar, hal ini karena data yang tersedia juga kurang lengkap, sehingga proses pemodelan tidak optimal.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Visualisasi grafis dan kriteria statistik yang dihasilkan menunjukkan bahwa secara umum model SMAR dapat mereproduksi proses hidrologi (hujan menjadi aliran) pada ke dua Sub-DAS. Ketepatan hasil pemodelan lebih ditentukan oleh ketersediaan dan kelengkapan data dan proses pemodelan dapat diperbaiki dengan menambah jumlah dan kualitas input data.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dinas PU pangairan Jawa Timur dan UPT PSAWS Sampean baru atas penyediaan data-data untuk penelitian ini dan kepada semua pihak yang telah membantu proses penelitian.

Tabel 5. Kriteria Statistik Hasil Kalibrasi

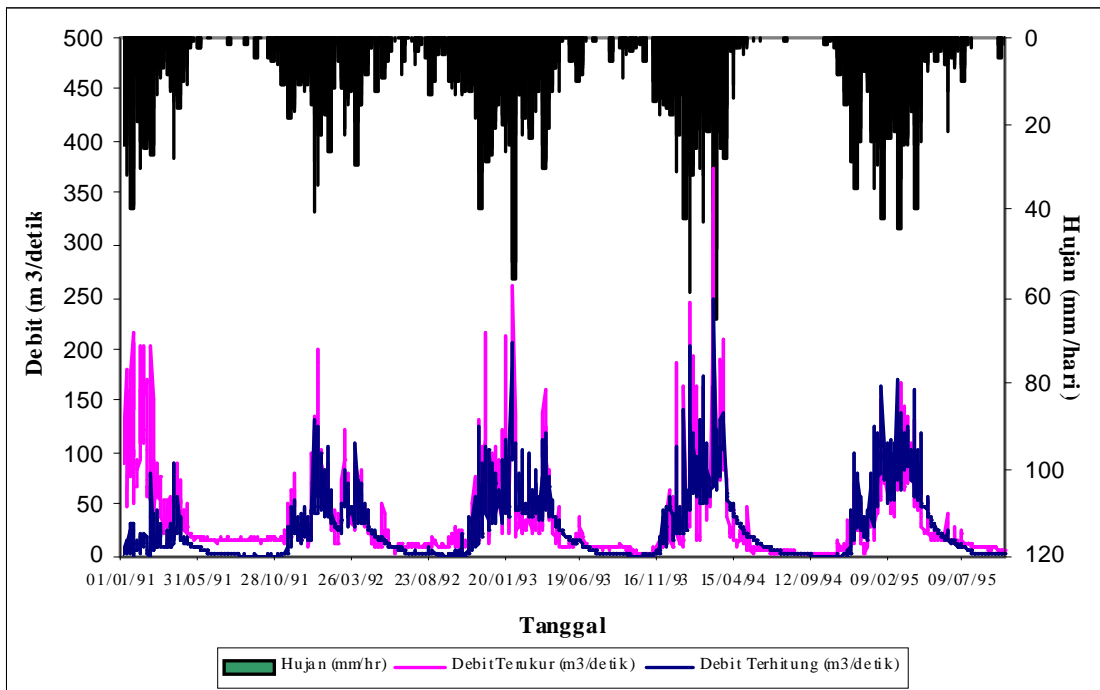
Kriteria	Rawatamtu	KlopoSawit
Nash-Sutcliffe	0.73	0.54
Koefisien Korelasi	0.86	0.73

Sumber: hasil analisis

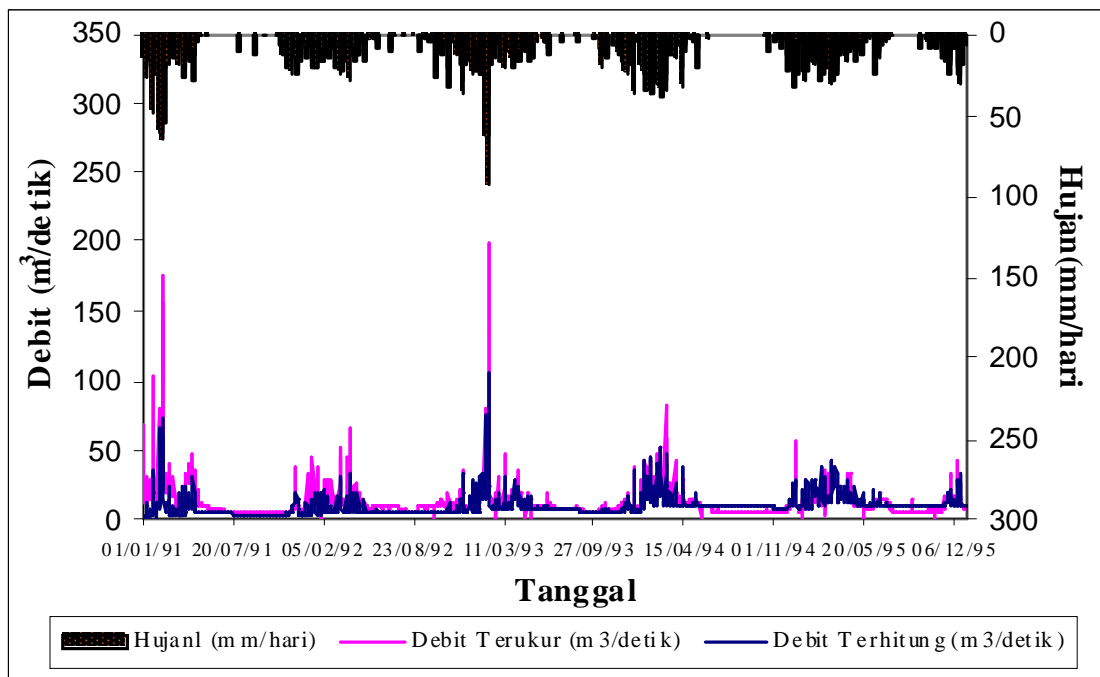
Tabel 6. Parameter Hasil Kalibrasi

Parameter	Sub-DAS Rawatamtu	Sub-DAS Kloposawit	Range Parameter
C	0,59	1	0 sd 1
Z	658	377	0 sd 5000
H	0,102	0,104	0 sd 1
Y	45	40	0 sd 5000
T	0,51	0,50	0 sd 1
Kg	0,025	0,001	0 sd 1
n	1,80	2,70	1 sd 6
Nk	0,24	1	0.01 sd 1
G	0,69	0,94	0 - 1

Sumber: hasil analisis



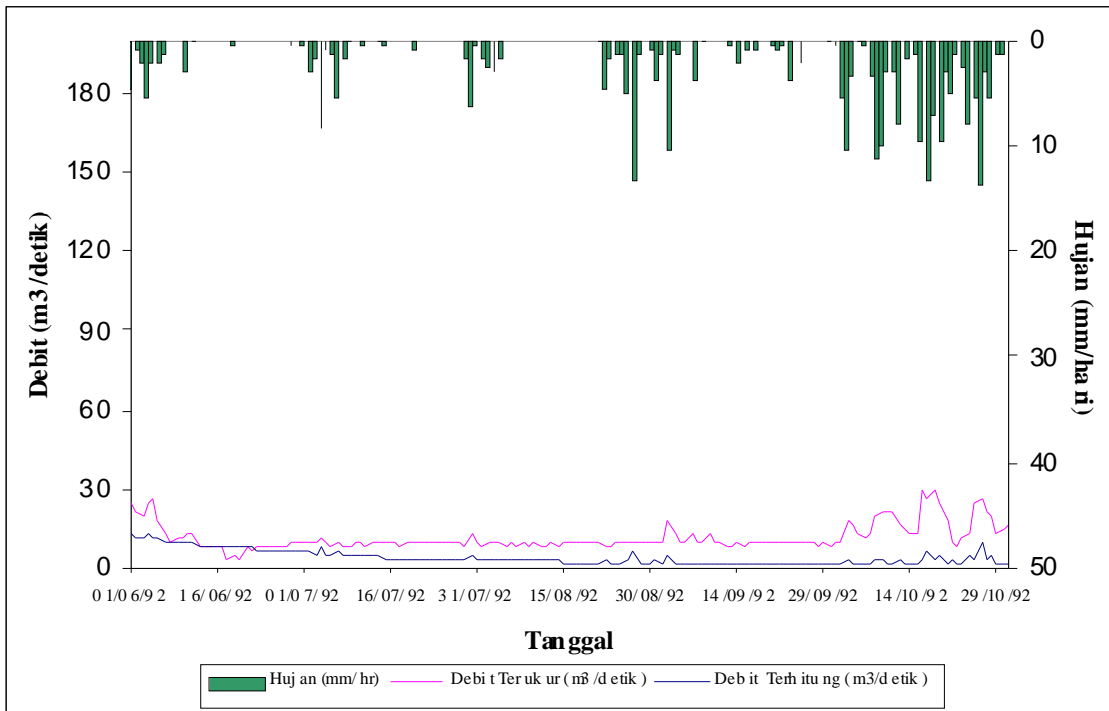
Sub-DAS Rawatamtu



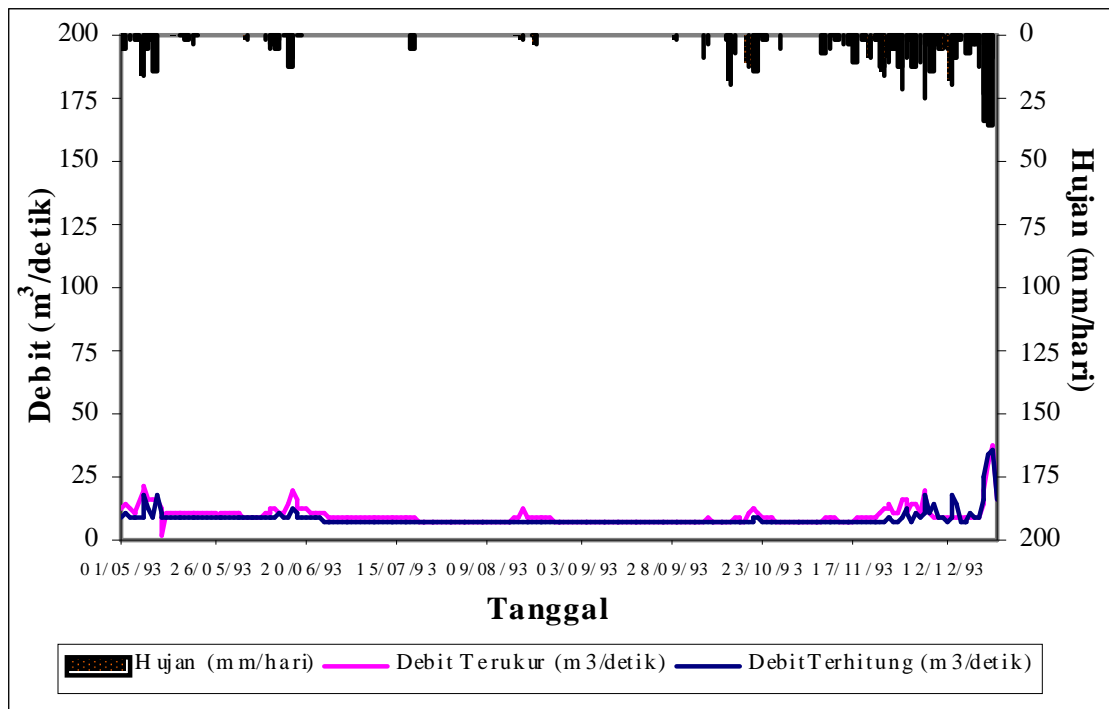
Sub-DAS Kloposawit

Sumber: hasil analisis

Gambar 3. Hasil Kalibrasi, Zoom untuk Periode Tahunan



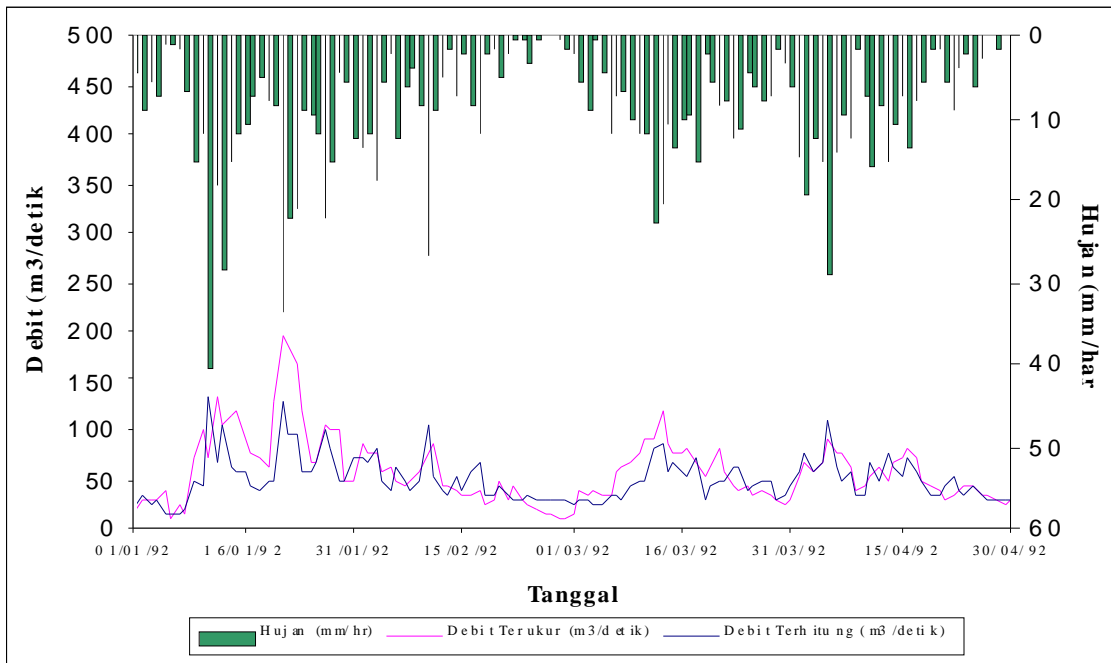
Sub-DAS Rawatamtu



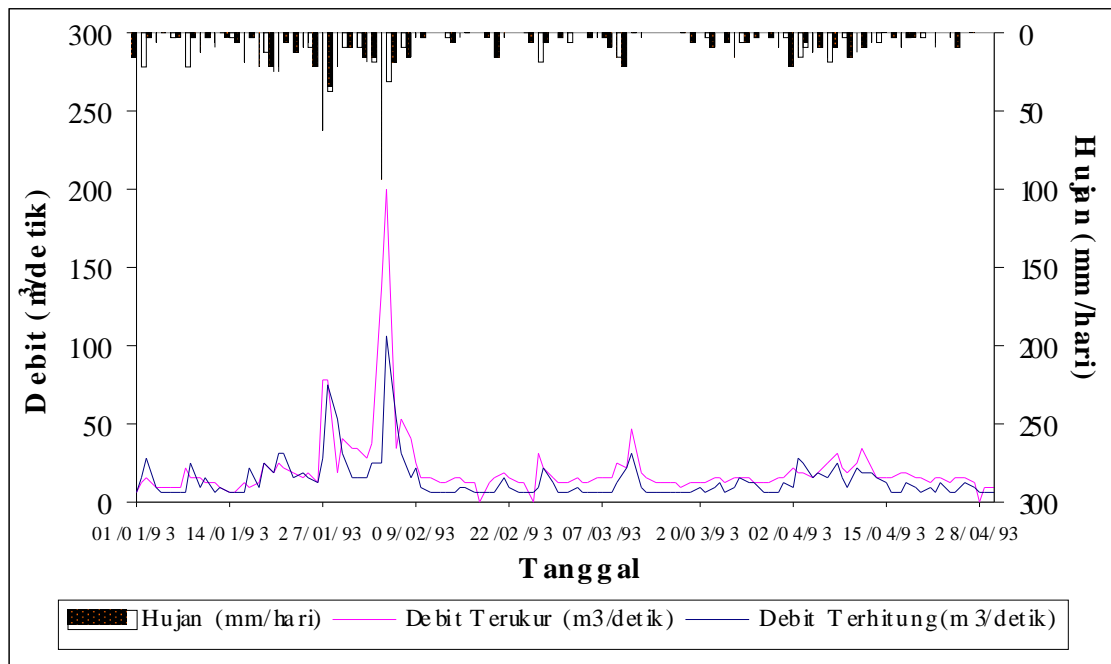
Sub-DAS Kloposawit

Sumber: hasil analisis

Gambar 4. Hasil Kalibrasi, Zoom untuk Periode Kering (Juni - Oktober)



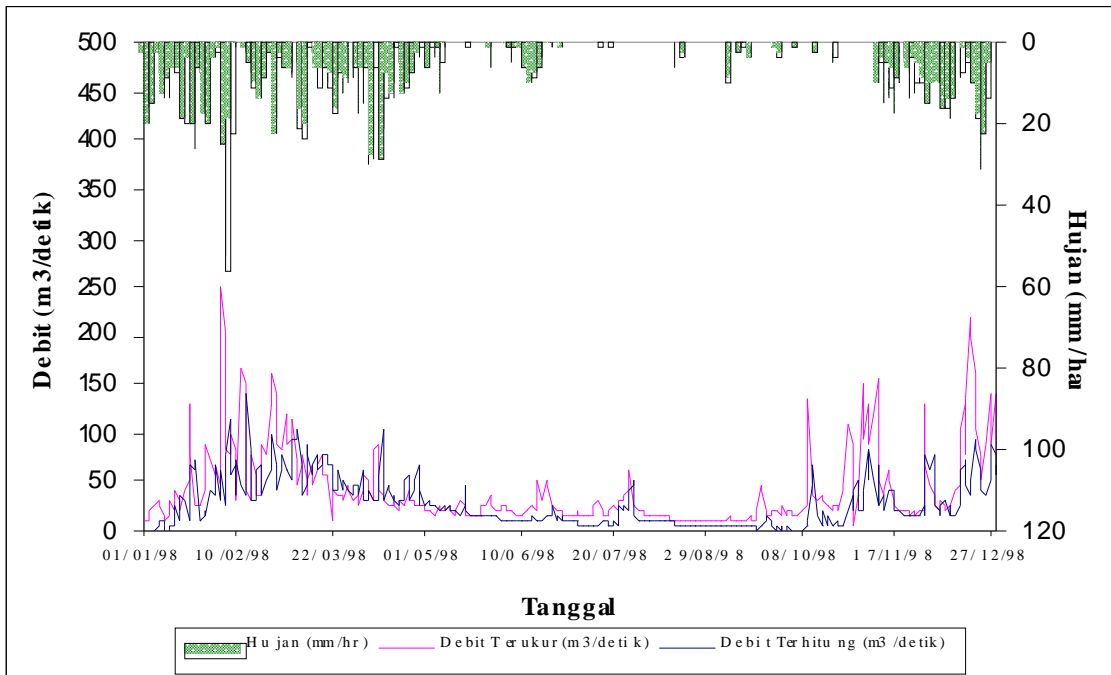
Sub-DAS Rawatamtu



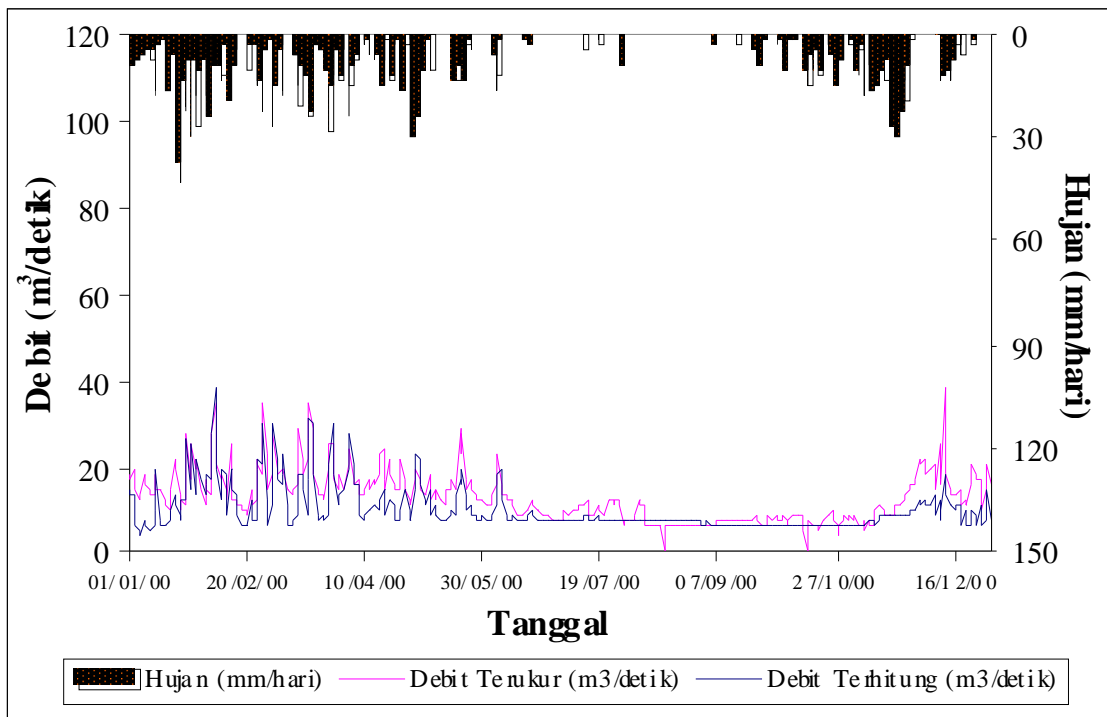
Sub-DAS Kloposawit

Sumber: hasil analisis

Gambar 5. Hasil Kalibrasi, Zoom untuk Periode Penghujan (Januari - April)



Sub-DAS Rawatamtu



Sub-DAS Kloposawit

Sumber: hasil analisis

Gambar 6. Hasil Validasi, Zoom untuk Periode Tahunan



## DAFTAR PUSTAKA

- Indarto. (2011). Aplikasi Esda untuk Studi Variabilitas Spasial Hujan Bulanan di Jawa Timur. *Forum Geografi*. Vol. 25, No. 2, pp. 178 - 193.
- Kachroo R.K., and Liang. (1992). *River Flow Forecasting*. Part 5. Applications of Conceptual Model. *Journal of Hydrology*. 133, 141 – 178.
- Nash J.E. (1960). *A Unit Hydrograph Study with Particular reference to British Catchment*. Proceedings of the Institute of Civil Engineers, 17, 249 – 282.
- O'Connell, P.E., Nash, J.E and Farrel, J.P. (1970). *Riverflow Forecasting through Conceptual Models, part2*. The Brosna Catchment at Ferbane. *Journal of Hydrology*. 10 : 317 – 329.
- Podger, G. (2004). *Rainfall RunOff Library Versi 1.05 User Guide*. Department of Infrastructure, Planning and Natural Resources; CRC for Catchment Hydrology.
- Tuteja, N.K. and O'Connor, C. (1999). *A Quasi Physical Snowmelt Run-off Modelling System for Small Catchment*. *Hydrological Processes*. 13 (12/13): 1961 – 1975.
- Todini, E. (1998). *Rainfall RunOff Modelling Post, Present and Future* *Journal of Hydrology*.100, 141-352.

# DINAMIKA CADANGAN KARBON AKIBAT PERUBAHAN TUTUPAN LAHAN MENJADI LAHAN PERMUKIMAN DI KOTA PADANG SUMATERA BARAT

## *Dynamics of Carbon Stocks Changes from Land Cover into Land Settlement in the Padang City, West Sumatra*

Dedi Hermon

Fakultas Geografi dan Pascasarjana  
Universitas Negeri Padang (UNP)  
E-mail: dihermon006@gmail.com

### **ABSTRACT**

*The purpose of this study was to analyse the dynamics of carbon stocks changes from land cover into land settlement in the Padang City, West Sumatra. Method to formulate the change of landcover into land settlement in the Padang City is the analysis of Landsat Imagery 5+TM 1988, Landsat 7+ETM Image of 1998 and Landsat 7+ETM Image of 2008. Stratified Sampling Technique was Purpose Composite plot refers to the technique, but in this study carried out modification to the size of the plot which is then converted to the extend of each hectare of land cover. estimating tree biomass using the equation according Kattering allometric, (2001). The result of the research conducted found that the dynamics of carbon stocks always decline from 1988, 1998 and 2008. this is caused by a reduction in forest area, shrubs, gardens, and fields are consistently due to the increased amount of land used for settlement.*

**Keywords:** dynamics of carbon reserves, land cover, biomass

### **ABSTRAK**

*Tujuan penelitian ini adalah menganalisis perubahan cadangan karbon akibat perubahan tutupan lahan menjadi lahan permukiman di Kota Padang, Sumatera Barat. Perubahan tutupan lahan menjadi lahan permukiman di Kota Padang di analisis dari Citra Landsat TM+5 tahun 1988, Citra Landsat ETM+7 tahun 1998, dan Citra Landsat ETM+7 tahun 2008. Analisis ini menggunakan GIS ERDAS 8.6. Teknik pengambilan sampel adalah stratified purposive komposit sampling yang mengacu pada teknik plot, tapi dalam penelitian ini dilakukan modifikasi ukuran plot yang kemudian dikonversi pada luasan hektar dari masing-masing tutupan lahan. Pendugaan biomassa pohon menggunakan persamaan allometrik (Kattering, 2001), yaitu  $BK=0,11\bar{n}D^{2.62}$  dimana  $D$  (diameter pohon setinggi dada, cm) dan  $\bar{n}$  (berat jenis kayu). Hasil analisis perubahan tutupan lahan di Kota Padang diketahui bahwa pada tahun 1988, luasan lahan permukiman adalah 3.157 ha, pada tahun 1998 berkembang menjadi 10.168 ha, dan tahun 2008 berkembang menjadi 16.608 ha.*

**Kata kunci:** cadangan karbon, tutupaan lahan, biomassa

## PENDAHULUAN

Pembangunan yang pesat telah menyebabkan perubahan tutupan lahan, dimana lahan terbangun semakin mendominasi dan mendesak lahan-lahan alami (hutan) untuk berubah fungsi. Sejalan dengan perkembangan kota, dengan semakin besar desakan terhadap lahan-lahan dan wilayah-wilayah yang tergolong sebagai kawasan cadangan karbon alami (hutan), mengakibatkan terjadinya perubahan-perubahan cadangan karbon pada setiap tahunnya (Harun, 1992; Kustiawan, 1997; Pribadi *et al.*, 2006).

Karbon sangat mempengaruhi terjadinya perubahan iklim, sehingga akan berdampak negatif pada keberlanjutan bumi beserta isinya. Lusiana *et al.* (2005); Departemen Kehutanan dan IFCA (2007); serta WWF (2008), menjelaskan bahwa sekitar 20% dari emisi gas rumah kaca (GRK) dunia disebabkan oleh deforestasi atau perubahan tutupan lahan hutan menjadi lahan permukiman. Emisi dari penggunaan lahan, perubahan penggunaan lahan dan kehutanan Indonesia pada tahun 2000 diperkirakan seluas 2.563 Mt CO<sub>2</sub> atau sama dengan 20 % dari total emisi perubahan lahan dan hutan dunia, sebagian besar penyumbang emisi ini adalah deforestasi dan degradasi hutan.

Kota Padang merupakan ibu kota Propinsi Sumatera Barat yang berbatasan dengan Kabupaten Pesisir Selatan di bagian utara, di bagian selatan berbatasan dengan Kabupaten Padang Pariaman, di bagian timur berbatasan dengan Kabupaten Solok, dan di sebelah barat berbatasan dengan Samudera Indonesia. Kota Padang memiliki topografi yang heterogen dengan tipe relief datar-berbukit, pada bagian timur dan selatan kota umumnya didominasi oleh hutan primer, sedangkan permukiman umumnya terkonsentrasi pada pusat kota dan memanjang mengikuti pantai. Selain itu, juga terdapat penggunaan

lahan sawah, kebun campuran, semak, dan sedikit lahan terbuka.

Dinamika perubahan tutupan lahan (hutan) menjadi lahan permukiman terus terjadi. Ritohardoyo (2007) menjelaskan bahwa hakekat perkembangan permukiman desa di setiap wilayah adalah perubahan, yang dapat terjadi secara terencana maupun secara tidak terencana. Hal ini berakibat pada perkembangan kuantitas dan kualitas permukiman bervariasi secara keruangan. Selanjutnya Dahroni (2008) menambahkan bahwa permukiman tidak akan berhenti sebagai sumber masalah dalam sejarah kehidupan manusia. Di Kota Padang pada tahun 1980 luas perubahan tutupan lahan menjadi lahan permukiman adalah 3.044,20 ha, tahun 1995 bertambah menjadi 8.288,28 ha, dan pada tahun 2005 berkembang menjadi 12.444,21 ha dari luas lahan Kota Padang seluas 69.496,00 ha (BPS Kota Padang tahun 1981, 1995, dan 2006). Perubahan tutupan lahan menjadi lahan permukiman umumnya terjadi pada Kecamatan Lubuk Kilangan, Kecamatan Bungus Teluk Kabung, Kecamatan Koto Tangah, dan Kecamatan Padang Selatan, yang tergolong pada wilayah perbukitan dengan vegetasi hutan. Tujuan yang ingin di capai adalah diketahuinya dinamika cadangan karbon akibat terjadinya perubahan tutupan lahan menjadi lahan permukiman di Kota Padang.

## METODE PENELITIAN

Rumusan dinamika perubahan tutupan lahan menjadi lahan permukiman adalah menurut Zain (2002), dengan melakukan interpretasi Citra Landsat 5+TM tahun 1988, Citra Landsat 7+ETM tahun 1998, dan Citra Landsat 7+ETM tahun 2008 dengan alat analisis ERDAS 8.6. Klasifikasi tutupan lahan dianalisis dengan teknik *su-*

*pervised classification* pada masing-masing citra, sehingga dirumuskan enam pola tutupan lahan sementara, yaitu: (1) hutan, (2) kebun, (3) semak, (4) lahan terbuka, (5) sawah, dan (6) permukiman. Melakukan analisis perubahan luas lahan (ha) pada masing-masing tutupan lahan tahun 1988, 1998, dan 2008, terutama perubahan tutupan lahan menjadi lahan permukiman dengan ERDAS 8.6., dengan *tools Interpreter (GIS Analysis-Matrix)*. Untuk menduga cadangan karbon pada masing-masing tutupan lahan dilakukan dengan teknik survey secara sistematis. Teknik pengambilan sampel adalah *stratified purposive komposit sampling* yang mengacu pada teknik plot yang dikembangkan oleh Hairiah dan Rahayu (2007), tapi dalam penelitian ini dilakukan modifikasi ukuran plot yang kemudian dikonversi pada luasan hektar dari masing-masing tutupan lahan. Ukuran plot untuk pengambilan sampel pohon adalah 10x10 m dan untuk tumbuhan bawah serta serasah diambil pada ukuran plot 1x1 m yang dibuat pada setiap tutupan lahan. Sampel Pohon (batang, dahan, ranting, dan daun) diambil secara komposit dan dianalisis dengan metode non destruktif, sedangkan sampel serasah dan tumbuhan bawah dianalisis dengan metode destruktif. Pendugaan biomassa pohon menggunakan persamaan allometrik (Kattering, 2001), yaitu  $BK = 0,11 \bar{n} D^{2,62}$  dimana D (diameter pohon setinggi dada, cm) dan  $\bar{n}$  (berat jenis kayu). Untuk biomassa serasah dan tumbuhan bawah dihitung berdasarkan total berat kering perkuadran (hasil diperoleh dalam satuan gr/m<sup>2</sup> dan dikonversi ke satuan ton/ha), yaitu dengan rumus: Total BK (gr) = BK/BB x Total BB (gr), dimana BK (berat kering, gr) dan BB (berat basah, gr). Total cadangan karbon diperoleh dari biomassa total dikali 0,46 (konsentrasi C dalam bahan organik sekitar 46 %) (Hairiah dan Rahayu, 2007). Penghitungan perkiraan cadangan

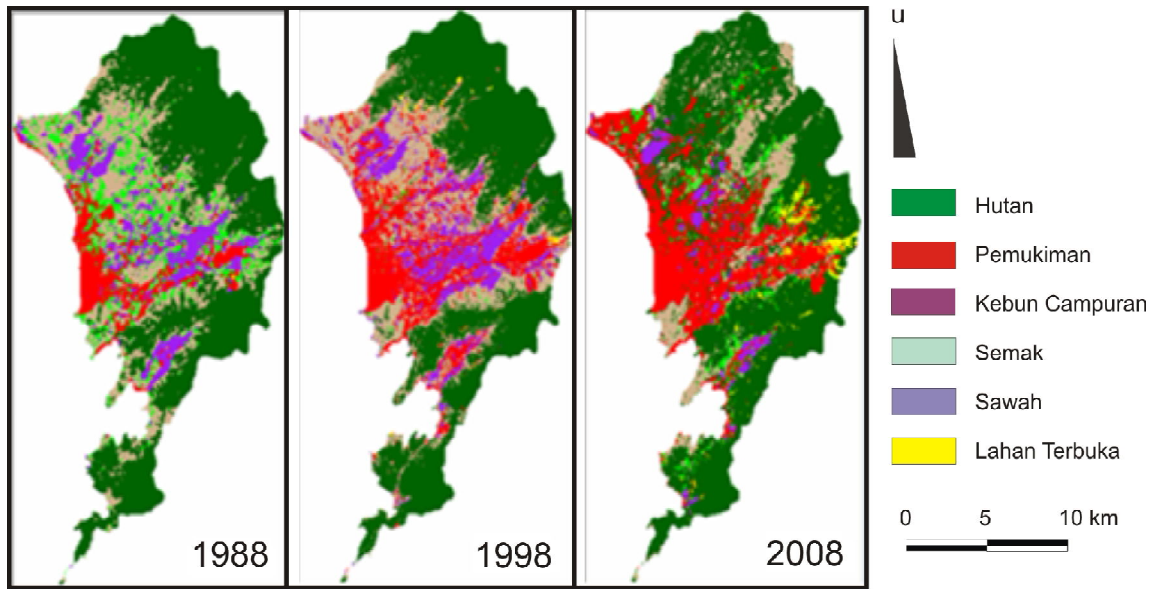
karbon pada masing-masing tutupan lahan pada tahun 1988 dan tahun 1998 adalah berdasarkan hasil perhitungan karbon pada tahun 2008 yang dikonversikan dengan luasan masing-masing tutupan lahan pada tahun 1988 dan tahun 1998.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis Citra Landsat 5+TM tahun 1988, Citra Landsat 7+ETM tahun 1998, dan Citra Landsat 7+ETM tahun 2008, diperoleh data perubahan tutupan lahan selama 20 tahun, yaitu antara tahun 1988 hingga tahun 1998 dan tahun 1998 hingga tahun 2008. Dinamika spasial perubahan tutupan lahan di Kota Padang periode 1988-1998 dan periode 1998-2008 dapat dilihat pada Gambar 1.

Perubahan tutupan lahan menjadi lahan permukiman di Kota Padang terus berkembang, baik pada periode tahun 1988-1998 maupun pada periode tahun 1998-2008. Berkembangnya lahan permukiman pada 20 tahun terakhir umumnya terjadi pada kawasan bagian timur Kota Padang melalui alih fungsi tutupan lahan hutan, kebun, semak, dan sawah menjadi lahan permukiman. Tahun 1988, luasan lahan permukiman adalah 3.157 ha, pada tahun 1998 berkembang menjadi 10.168 ha, dan tahun 2008 berkembang menjadi 16.608 ha. Hal ini berbanding terbalik dengan perubahan luasan lahan hutan, semak, kebun, dan sawah di Kota Padang dalam 20 tahun terakhir. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Periode tahun 1988-1998, terjadi penyusutan luas lahan hutan dan berubah menjadi lahan permukiman seluas 625,8 ha, penyusutan luas lahan kebun dan berubah menjadi lahan permukiman seluas 2.397,6 ha, penyusutan luas lahan semak dan berubah menjadi lahan permukiman seluas



Sumber: analisis data

Gambar 1. Model Spasial Perubahan Tutupan Lahan di Kota Padang (Periode tahun 1988-1998 dan 1998-2008)

Tabel 1. Luas Masing-Masing Tutupan Lahan Tahun 1988, 1998, dan 2008 di Kota Padang

No	Tipe Tutupan Lahan	Luas (ha)		
		1988	1998	2008
1	Permukiman	3.157	10.168	16.608
2	Lahan Terbuka	1.209,7	1.209,7	1.174
3	Semak	4.419,4	2.417,4	2.316
4	Kebun Campuran	13.307,4	10.909,8	7.511
5	Hutan	40.279,5	39.653,7	39.424
6	Sawah	6.743	4.757,4	2.083
7	Sungai dan Laut	380	380	380
<b>Jumlah</b>		<b>69.496</b>	<b>69.496</b>	<b>69.496</b>

Sumber: Hasil Analisis Matrix Citra Landsat 5+TM tahun 1988, Citra Landsat 7+ETM tahun 1998, dan Citra Landsat 7+ETM tahun 2008 dengan ERDAS 8.6 (2011)

2.002 ha, dan penyusutan luas lahan sawah dan berubah menjadi lahan permukiman seluas 1.985,6 ha. Periode tahun 1998-2008 juga terjadi penyusutan luas lahan hutan, kebun, semak, dan sawah yang berubah menjadi lahan permukiman. Penyusutan luas lahan hutan adalah seluas 229,7 ha, luas lahan kebun berkurang seluas 3.398,8 ha, luas lahan semak berkurang seluas 101,4 ha, dan luas lahan sawah berkurang seluas 2.674,4 ha. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Terjadinya perubahan luas lahan hutan, kebun, semak, dan sawah menjadi lahan permukiman di Kota Padang periode tahun 1988-1998 maupun periode tahun 1998-2008 mengindikasikan terjadinya perubahan cadangan karbon di Kota Padang, baik pada periode tahun 1988-1998 maupun periode tahun 1998-2008. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.

Kondisi tahun 2008, cadangan karbon di Kota Padang adalah 1.887,932 ton/ha, yang tersebar pada lahan hutan sebesar 1.306,676 ton/ha, pada lahan semak sebesar 131,514 ton/ha, pada lahan kebun sebesar 337,64 ton/ha, dan pada lahan sawah sebesar 112,102 ton/ha. Total cadangan karbon tahun 2008 di Kota Padang dapat dilihat pada Tabel 4.

Kondisi pada tahun 2008, total cadangan karbon di Kota Padang adalah 54.286.364,644 ton, yang tersebar pada lahan hutan sebesar 51.514.394,625 ton, semak sebesar 2.447,514 ton, kebun sebesar 2.536.014,04 ton, dan sawah sebesar 233.508,466 ton. Total cadangan karbon terbesar terdapat pada lahan hutan, sehingga kelestarian lahan hutan harus selalu diupayakan berkelanjutan. Diperolehnya cadangan karbon tahun 2008, diperoleh perkiraan cadangan karbon tahun 1998 dan cadangan karbon tahun 1988. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.

Perkiraan cadangan karbon tahun 1988 adalah sebesar 58.462.483,236 ton, yang tersebar pada lahan hutan sebesar 52.632.255.942 ton, pada lahan semak sebesar 581.212,972 ton, pada lahan kebun sebesar 4.493.110,536 ton, dan pada lahan sawah sebesar 755.903.786 ton. Tahun 1998 perkiraan cadangan karbon berkurang menjadi 56.349.359,972 ton, yang tersebar pada lahan hutan sebesar 51.814.538,101 ton, pada lahan semak sebesar 317.921,944 ton, pada lahan kebun sebesar 3.683.584,872 ton, dan pada lahan sawah sebesar 533.314,055 ton. Kondisi cadangan karbon ini terus berkurang pada tahun 2008, akibat banyaknya lahan-lahan yang berpotensi sebagai penyumbang cadangan karbon di konversi menjadi lahan permukiman.

Dinamika cadangan karbon di Kota Padang mempunyai tipe linear negatif, dimana total cadangan karbon selalu menurun dari tahun 1988, tahun 1998, dan tahun 2008. Hal ini disebabkan oleh terjadinya pengurangan luas lahan hutan, semak, kebun, dan sawah secara konsisten akibat bertambahnya luas lahan yang digunakan untuk permukiman.

Dinamika cadangan karbon pada lahan hutan, semak, kebun, dan sawah di Kota Padang juga memiliki tipe linear negatif, dimana cadangan karbon pada masing-masing tutupan lahan tersebut cenderung menurun tahun 1998 dari cadangan karbon tahun 1988 dan juga cenderung menurun pada tahun 2008 dari cadangan karbon tahun 1998.

Cadangan karbon pada tutupan lahan hutan cenderung lebih besar kalau dibandingkan dengan tutupan lahan semak, kebun, dan sawah, baik pada tahun 1988, maupun pada tahun 1998 dan tahun 2008. Pada tahun 1988, cadangan karbon tahun 1988 pada lahan hutan adalah sebesar 52.632.255,942 ton, tahun 1998 berkurang menjadi 51.814.538,101 ton, dan tahun 2008 berkurang menjadi 51.514.394,624

Tabel 2. Luas Perubahan Tutupan Lahan (ha) menjadi Lahan Permukiman di Kota Padang Periode Tahun 1988-1998 dan Tahun 1998-2008

Perubahan Tutupan Lahan	Tahun		
	1988-1998	1998-2008	Total
Hutan menjadi Permukiman	625,8	229,7	855,5
Lhn Terbuka mjd Permukiman	0,0	35,7	35,7
Semak menjadi Permukiman	2.002	101,4	2.103,4
Kebun menjadi Permukiman	2.397,6	3.398,8	5.796,4
Sawah menjadi Permukiman	1.985,6	2.674,4	4.660

Sumber: Hasil Analisis Matrix Citra Landsat ETM 7+ tahun 1988 dan 1998 dengan ERDAS 8.6 (2011)

Tabel 3. Biomassa dan Cadangan Karbon pada setiap Tutupan Lahan di Kota Padang Tahun 2008

Tutupan Lahan	Jumlah Pohon/ha	Biomassa Pohon		Biomassa Serasah		Biomassa Total (ton/ha)	Karbon (ton/ha)
		(kg/m <sup>2</sup> )	(ton/ha)	(kg/m <sup>2</sup> )	(ton/ha)		
Hutan	315	267,35	2673,5	16,71	167,1	2.840,6	1.306,676
L. Terbuka	0	0	0	0	0	0	0
Semak	15	2,17	21,7	26,43	264,3	285,9	131,514
Kebun	240	65,62	656,2	7,78	77,8	734,0	337,64
Sawah	0	0,0	0,0	24,37	243,7	243,7	112,102

Sumber: Hasil Analisis Data Penelitian, 2011

Tabel 4. Total Cadangan Karbon Tahun 2008 di Kota Padang

Tutupan Lahan	Luas (ha)	Cadangan Karbon (ton/ha)	Total Cadangan Karbon (ton)
Hutan	39.424	1.306,676	51.514.394,624
Lahan Terbuka	1.174	0	0
Semak	2.316	131,514	2.447,514
Kebun	7.511	337,64	2.536.014,04
Sawah	2.083	112,102	233.508,466
<b>Total</b>	<b>44.997</b>	<b>1.887,932</b>	<b>54.286.364,644</b>

Sumber: Hasil Analisis Data Penelitian, 2011

ton. Sedangkan untuk cadangan karbon pada lahan semak tahun 1988 adalah sebesar 581.212,972 ton, tahun 1998 berkurang menjadi 317.921,944 ton, dan tahun 2008 berkurang menjadi 304.586,424 ton. Tahun 1988, cadangan karbon pada lahan semak adalah sebesar 4.494.110,536 ton, tahun 1998 berkurang menjadi 3.683.584,872 ton, dan tahun 2008 berkurang menjadi 2.536.014,04 ton. Demikian pula hal yang terjadi pada lahan sawah, dimana cadangan karbon pada lahan sawah tahun 1988 adalah sebesar 755.903,786 ton, tahun 1998 juga berkurang menjadi 533.314,055 ton, dan pada tahun 2008 berkurang menjadi 233.508,466 ton. Dinamika cadangan karbon di Kota Padang yang mempunyai tipe linear negatif, dimana cadangan karbon pada setiap tutupan lahan selalu cenderung menurun disebabkan oleh semakin berkembangnya lahan-lahan permukiman pada kawasan-kawasan hutan di Kota Padang, demikian pula dengan terjadinya konversi lahan pertanian (kebun dan sawah) serta lahan semak menjadi lahan permukiman di Kota Padang.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dinamika cadangan karbon di Kota Padang umumnya mempunyai tipe linear negatif dengan kecenderungan cadangan karbon menurun dari tahun 1988, 1998, dan tahun 2008, baik pada tutupan lahan hutan, semak, kebun, maupun pada tutupan lahan sawah. Menurunnya jumlah cadangan karbon disebabkan oleh berkurangnya luas lahan hutan, semak, kebun, dan lahan sawah serta bertambahnya luas lahan permukiman, baik pada periode tahun 1988-1998 maupun pada periode tahun 1998-2008. Perlu suatu kebijakan yang berbasis kelestarian cadangan karbon di Kota Padang melalui upaya-upaya pembatasan konversi lahan hutan, semak, kebun, dan sawah menjadi lahan permukiman. Hal ini agar cadangan karbon di Kota Padang tidak berkesinambungan menurun dari tahun ke tahun, dan sangat potensial habis, sehingga dapat menimbulkan bencana ekologis di Kota Padang.

Tabel 5. Total Cadangan Karbon Tahun 2008 dan Perkiraan Total Cadangan Karbon Tahun 1998 dan tahun 1988 pada setiap Tutupan Lahan di Kota Padang

Tutupan Lahan	Tahun 2008			Tahun 1998		Tahun 1988	
	Karbon (ton/ha)	Luas (ha)	Cadangan Karbon (ton)	Luas (ha)	Perkiraan Cadangan Karbon (ton)	Luas (ha)	Perkiraan Cadangan Karbon (ton)
Hutan	1.306,676	39.424	51.514.394,624	39.653,7	51.814.538,101	40.279,5	52.632.255,942
L.Terbuka	0	1.174	0	1.209,7	0	1.209,7	0
Semak	131,514	2.316	304.586,424	2.417,4	317.921,944	4.419,4	581.212,972
Kebun	337,64	7.511	2.536.014,04	10.909,8	3.683.584,872	13.307,4	4.493.110,536
Sawah	112,102	2.083	233.508,466	4.757,4	533.314,055	6.743	755.903,786
<b>Total</b>			<b>54.588.503,544</b>		<b>56.349.359,972</b>		<b>8.462.483,236</b>

Sumber: Hasil Analisis Data Penelitian, 2011



## DAFTAR PUSTAKA

- [BPS] Badan Pusat Statistik. 1981. *Padang dalam Angka*. BPS Kota Padang. Sumatera Barat
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 1995. *Padang dalam Angka*. BPS Kota Padang. Sumatera Barat
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2006. *Padang dalam Angka*. BPS Kota Padang. Sumatera Barat
- Dahroni. 2008. Analisis Keruangan Terhadap Perubahan dan Persebaran Permukiman Kumuh di Kecamatan Banjarsari Kota Surakarta Tahun 2001 – 2005. *Forum Geografi*, Vol. 22, No. 1, Juli 2008: 85 - 96
- Departemen Kehutanan dan IFCA. 2007. *REDDI, Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Indonesia, REDD Methodology and Strategies Summary for Policy Makers*. Dephut. Jakarta
- Hairiah, K dan Rahayu, S. 2007. *Pengukuran "Karbon Tersimpan" di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. Bogor*. World Agroforestry Centre – ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Unibraw, Indonesia.
- Harun, U.R. 1992. *Dinamika Penggunaan Sumberdaya Lahan di Jawa Barat 1970-1990*. *Jurnal PWK*. 3: 48-53
- Ketterings, Q.M., Coe R., Meine van Noordwijk., Ambagau Y., Palm C.A. 2001. *Reducing Uncertainty in the of Allometric Biomass Equation for Predicting Aboveground Tree Biomass in Mixed Secondary Forest*. *Forest Ecology and Management* 146: 199-209
- Kustiawan, I. 1997. *Permasalahan Konversi Lahan Pertanian dan Implikasinya terhadap Penataan Ruang Wilayah*. Studi Kasus: Wilayah Pantura Jawa Barat. *Jurnal PWK*. 8: 49-60
- Lusiana, Betha., Meine van Noordwijk., Surbekti Rahayu. 2005. *Cadangan Karbon di Kabupaten Nunukan Kalimantan Timur: Monitoring Secara Spasial dan Pemodelan*. ICRAF. Bogor
- Pribadi, D.O., D. Shiddiq, dan M. Ermyanila. 2006. *Model Perubahan Tutupan Lahan dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhinya*. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan. 7: 35-51
- Ritohardoyo, S. 2007. Perubahan Permukiman Perdesaan Pesisir Kabupaten Gunung kiDul Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 1996-2003. *Forum Geografi*, Vol. 21, No. 1, Juli 2007: 78 - 92
- WWF. 2008. *Deforestation, Forest Degradation, Biodiversity Loss and CO2 Emissions in Riau, Sumatra, Indonesia-One Indonesian Province's Forest and Peat Soil Carbon Loss over a Quarter Century and its Plan for the Future*. WWF Indonesia Technical Report. Jakarta.
- Zain, A.F.M. 2002. *Distribution, Structure dan Function of Urban Green Space in Southeast Asian Mega-Cities with Special Reference to Jakarta Metropolitan Region (JABOTABEK)*. Doctoral Degree Program. Department of Agricultural and Environmental Biology Graduate School of Agricultural and Life Sciences. The University of Tokyo. Japan

# KAJIAN MINERAL LEMPUNG PADA KEJADIAN BENCANA LONGSORLAHAN DI PEGUNUNGAN KULONPROGO DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA

## *A Study of Clay Mineral in The Occurrences of Landslide Disaster Area at Kulonprogo Mountains Yogyakarta Special Province*

**Kuswaji Dwi Priyono**

Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta

E-mail: kuswaji@yahoo.com

### **ABSTRACT**

*The aims of this study is know the characteristic of the clay mineral types in the landslides occurrence sites, and to examine the relation between the clay and intensity of landslides in Kulonprogo Mountains. Understanding of clay type character will be very important in the landslides disaster mitigation in the area landslides disturbed. This study use survey method, purposive sampling and qualitative analysis. At each landslides location soil sample was taken to determine the clay characteristic. The clay types was analysed by by X-Ray Diffraction. Spatial distribution of landslides based on the landforms unit supported by topographical map, geological map, and Digital Elevation Modell (DEM). The result of this study shows that clay mineral average in this landslides study location: caolin (70,64%), smectit/montmorillonit (15,12%), halite (4,33%), illite (2,99%), quartz (2,91%), cristabolite (2,28%), feldspar (1,34%), and goethite (0,39%). Clay mineral composition show that the interaction over land forming factors which make caolin forming in great quantities possible.*

**Keywords:** clay type character, landslide, landform

### **ABSTRAK**

*Penelitian ini bertujuan mengetahui tipe, jenis, jumlah dan agihan mineral lempung, dan mengkaji karakter tipe lempung terhadap intensitas kejadian longsorlahan di Pegunungan Kulonprogo. Pemahaman karakter tipe lempung sangat penting dalam mitigasi bencana longsorlahan di wilayah rawan longsorlahan.*

*Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei, perolehan data secara sampling dengan analisis gabungan kualitatif dan kuantitatif. Pada lokasi kejadian longsorlahan yang ada dikaji secara pedologis untuk mengetahui karakter tipe lempung. Cara pengambilan sampel dilakukan secara purposive (purposive sampling). Analisis tipe lempung dilakukan dengan X-Ray Diffraction. Pemetaan kejadian longsorlahan pada satuan bentuklahan yang dilakukan dengan bantuan peta rupa bumi, peta geologi, dan kontur digital dibantu analisis Digital Elevation Modelling (DEM).*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa rerata mineral lempung pada lokasi kejadian longsorlahan di daerah penelitian adalah: kaolin (70,64%), smektit/montmorillonit (15,12%), halite (4,33%), illite (2,99%), quartz (2,91%), cristabolite (2,28%), feldspar (1,34%), dan goethite (0,39%). Komposisi mineral lempung menunjukkan bahwa adanya interaksi antara berbagai faktor pembentuk tanah yang memungkinkan terbentuknya kaolin dalam jumlah banyak.*

**Kata kunci:** karakter tipe lempung, longsorlahan, perkembangan tanah

## PENDAHULUAN

Daerah Pegunungan Kulonprogo secara geomorfologis sangat menarik dikaji karena sejarah perkembangan bentuklahannya yang kompleks. Kompleksnya kondisi fisik daerah Pegunungan Kulonprogo adalah adanya proses endogenik dan eksogenik yang bekerja pada berbagai batuan hingga membentuk bentanglahan yang ada saat ini. Beberapa batuan ditemukan antara lain: batu pasir, napal pasiran, batu lempung, dan batu gamping berumur Eosen Tengah; batuan andesit, breksi andesit dan tuff yang merupakan hasil aktivitas Gunungapi Menoreh kala Oligosen; batu gamping dan koral yang terendapkan pada Miosen Bawah; dan material koluvium yang terendapkan pada Zaman Quarter (Raharjo, dkk., 1995). Perbedaan batuan dan waktu pembentukan batuan tersebut berpengaruh terhadap tingkat perkembangan tanah yang tercermin dari terbentuknya berbagai tipe lempung. Proses perkembangan bentuklahan berikutnya lebih dipengaruhi oleh proses-proses eksogenik yang menghasilkan lembah-lembah sungai dan redistribusi material hasil pelapukan batuan yang salah satunya adalah longsorlahan. Kajian longsorlahan sebagai salah satu proses geomorfologi dan bentuklahan tidak dapat lepas dari kajian karakter tipe lempung yang terbentuk.

Distribusi tipe lempung dipengaruhi oleh proses geomorfologi dan perkembangan tanahnya. Sementara itu, pola distribusi tanah di permukaan bumi mengikuti konsep geomorfologi (Daniels, 1971 dalam Jungerius, 1985). Secara garis besar, faktor pembentuk tanah hampir sama dengan faktor pembentuk bentuklahan (Jamulya, 1996). Menurut Jenny (1994), faktor pembentuk tanah meliputi bahan induk, relief/topografi, iklim, organisme, dan waktu. Adapun faktor pembentuk

bentuklahan meliputi batuan induk, relief/topografi, dan proses (yang dipengaruhi iklim, organisme, dan waktu). Dalam proses pembentukannya, faktor-faktor tersebut tidak bekerja sendiri-sendiri, melainkan saling bekerja sama sehingga menghasilkan tanah. Tubuh tanah secara umum dapat dipandang sebagai suatu media yang dinamik. Pada keadaan tertentu salah satu atau beberapa faktor pembentuk tanah dapat lebih dominan pengaruhnya dibanding faktor yang lain, sehingga sifat-sifat tanah yang terbentuk menjadi heterogen.

Mekanisme terjadinya longsorlahan di suatu lereng perbukitan/pegunungan dipengaruhi oleh komposisi tipe lempung yang terbentuk. Pada banjar topografi (*toposekuen*) merupakan tempat gejala teragihnya sekelompok tanah secara berturut-turut di sepanjang lereng sebagai hasil topografi (*topofunction*) dalam kondisi faktor-faktor pembentuk tanah lain yang sama (Milne, 1935 dalam Gerrard, 1981). Lereng atas dengan kemiringan nisbi curam mempunyai drainase bebas, aliran permukaan besar, infiltrasi air kecil; sedangkan lereng bawah mempunyai drainase terhambat, infiltrasi air besar; dan bagian lembah dengan bentuk datar atau cekungan berpengaturan jelek menimbulkan iklim mikro yang berbeda sehingga terjadi perubahan sifat-sifat tanah dari lereng atas sampai lereng bawah bahkan sampai lembah (Gerrard, 1981).

Tingkat perkembangan tanah merupakan ukuran kuantitatif jumlah perubahan yang terjadi di dalam tanah yang umumnya lebih ditunjukkan oleh sifat-sifat morfologi yang terlihat pada penampang profil tanah. Tingkat perkembangan tanah dapat dinilai berdasarkan warna tanah, kedalaman solum, kedalaman dan ketebalan horizon iluviasi, penyebaran lempung di dalam profil tanah, tekstur, struktur tanah, dan

karakter tipe lempungnya dimana sifat-sifat ini dapat diukur secara kuantitatif (Foth dan Turk, 1972 dalam Birkeland, 1984). Tanah yang lebih berkembang akan mempunyai horisonisasi yang lebih kompleks dan sifat fisik yang lebih mantap. Perbedaan tipe, jenis, jumlah, dan sebaran mineral lempung yang terbentuk pada berbagai kejadian longsorlahan terkait dengan keadaan lereng yang mempengaruhi proses transformasi ataupun pembentukan mineral lempung yang sejalan dengan tingkat perkembangan tanahnya.

Perubahan sifat fisika dan kimia tanah yang terjadi pada banjar topografi menunjukkan adanya perubahan intensitas pelapukan searah dengan kemiringan dari lereng bagian atas ke bagian bawah. Urutan pelapukan mineral lempung di daerah atas cenderung membentuk kaolin, sedangkan daerah bawah cenderung menghasilkan montmorillonit (Gunn, 1974). Mineral kaolin terbentuk ketika intensitas pelindian maksimal. Proses pelapukan tanah merupakan suatu proses perubahan mineral-mineral tanah baik secara fisik maupun kimia ke dalam suatu bentuk yang lebih stabil, disamping perubahan butiran-butiran tanah dari fraksi kasar ke bentuk yang lebih halus. Pelapukan batuan menghasilkan lapisan lapuk atau regolit, apabila telah mengalami deferensiasi horizon maka lapisan lapuk membentuk profil pelapukan selanjutnya batuan yang melapuk membentuk mineral sekunder yang bervariasi menurut tingkat perkembangannya dan lingkungannya (Summerfield, 1991).

Sejauh ini belum banyak penelitian yang mengkaji secara khusus tentang mineral lempung dalam mekanisme longsorlahan. Atas dasar pertimbangan tersebut, maka pemahaman tentang mineral lempung dan agihannya di daerah perbukitan/pegunungan dirasa penting dikaji untuk mendukung

mekanisme kejadian bencana longsorlahan. Sejalan dengan latar belakang di atas, maka penelitian ini memiliki dua tujuan penelitian sebagai berikut:

1. mengetahui tipe, jenis, jumlah dan agihan mineral lempung di daerah penelitian, dan
2. mengkaji karakter tipe lempung terhadap intensitas kejadian longsorlahan di daerah penelitian.

## METODE PENELITIAN

Penelitian karakter tipe lempung pada kejadian longsorlahan ini dilaksanakan di daerah Pegunungan Kulon Progo, sehingga ruang lingkup penelitian ini mencakup semua satuan bentuklahan yang terdapat kejadian longsorlahan (*landslide*) di daerah penelitian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei, perolehan data gabungan secara sensus dan sampling dengan analisis gabungan kualitatif dan kuantitatif. Perolehan data lokasi kejadian longsorlahan dilakukan secara sensus yang diawali data kejadian longsorlahan dari Register Bencana Kantor Kecamatan, dilanjutkan wawancara tak terstruktur (*indepth interview*) kepada tokoh masyarakat untuk memperoleh tambahan lokasi kejadian longsorlahan masa lalu.

Populasi penelitian ini adalah semua kejadian longsorlahan yang berlokasi pada semua satuan bentuklahan di Pegunungan Kulonprogo. Sampling dilakukan untuk perolehan data sampel tanah untuk keperluan analisis laboratorium. Cara pengambilan sampel dilakukan secara purposif (*purposive sampling*). Pertimbangan dalam pengambilan sampel secara purposif ini karena adanya perbedaan luas satuan bentuklahan dan jumlah kejadian longsorlahannya. Lokasi kejadian longsorlahan umumnya telah terusik

karena direhabilitasi kembali untuk aktivitas pertanian dan atau permukiman.

Pada lokasi kejadian longsorlahan yang terdapat pada satuan bentuklahan dikaji secara geomorfik dan pedologis untuk mengetahui karakter bentuklahan rawan longsorlahan dan karakter tipe lempung pada lokasi kejadian longsorlahannya. Selanjutnya karakter tipe lempung digunakan sebagai dasar penyusunan upaya mitigasi bencana longsorlahan mendatang. Pengambilan sampel pada lokasi kejadian longsorlahan yang lokasi profil tanah longsorlahan sudah tidak teridentifikasi, dilakukan pada lokasi yang representatif sesuai kondisi bentuklahan dan perkembangan tanahnya.

Variabel yang diamati, diukur, dan dikaji dalam penelitian ini meliputi sifat morfologi, fisik, kimia tanah dan mineralogi lempung yang menjadi kriteria penciri mekanisme longsorlahan yang didukung data iklim (suhu dan curah hujan). Contoh tanah yang digunakan untuk analisis mineral lempung dengan Difraksi Sinar X adalah lempung berukuran kurang dari dua micron ( $< 2\mu$ ) yang dibebaskan dari bahan-bahan pengikatnya, seperti bahan organik, kapur, dan besi. Sampel lempung diperoleh saat analisis besar butir di Laboratorium Tanah Fakultas Geografi UGM dari beberapa kali pemipetan lempung untuk memperoleh berat sekitar 1 gram fraksi lempung.

Difraksi Sinar X yang digunakan adalah Model Phillips, memakai radiasi dari lampu Cu yang dihasilkan pada 40 KV dan 30 mA ( $\text{Cu } K_{\alpha} = \lambda = 1,5418 \text{ \AA}$ ), *Scan speed* 1°/menit dan dicatat pada kertas difraktogram dengan sudut  $2\alpha$  dengan chart speed 10 mm/menit. Scanning terhadap masing-masing contoh dilakukan pada sudut  $2\theta$  dari 5° sampai 30°. Dengan diketahuinya panjang gelombang Sinar X ( $\lambda$ ) yang

dipergunakan, maka ketebalan antar bidang-bidang atom (*basal spacing*) akan dapat dihitung dengan rumus Bragg berikut:

$$n\lambda = 2 d \sin\theta \text{ ----- } 1)$$

- n : bilangan bulat (=1)  
 $\lambda$  : panjang gelombang dari sinar yang dihasilkan oleh X-Ray (= 1,5418  $\text{\AA}$ )  
d : jarak antarlapisan  
 $\theta$  : sudut datang

Dengan rumus seperti di atas maka setiap puncak (*peak*) pada difraktogram dapat dihitung nilai d-nya, karena sudut dimana puncak tersebut muncul diketahui. Setiap mineral lempung akan memberikan pola kurva tertentu dengan ciri-ciri tertentu. Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material. Standar ini disebut *JCPDS* (Brindley, G.W. dan Brown, G., 1980). Selanjutnya dalam analisis X-Ray Diffraction diperoleh persentase 8 mineral lempung, yaitu: *kaolin*, *smectite*, *quartz*, *crystalobolite*, *olivin*, *feldspar*, *goethite*, dan *illite*.

Alat atau instrumen yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengumpulkan data meliputi alat lapangan dan alat laboratorium. Alat-alat tersebut dapat dirinci seperti berikut ini.

1. Alat lapangan: kompas-clinometer tipe Brunton, GPS (*Global Positioning Sys-*

tem) Garmin, Lacer Ace, seperangkat selidik tanah lapangan (*soil test kit*), *Munsell Soil Color Chart*, bor tanah, meteran gulung 30 m, yallon, kamera, alat-alat tulis, serta buku panduan lapangan, seperti *Geomorphological Field Manual* (Dackombe dan Gardiner, 1983).

2. Alat laboratorium: *X Ray Diffraction*, komputer Pentium 4 dengan RAM 256 MB dan Software SIG, Erlenmeyer, pipet, ayakan, gelas ukur, tabung reaksi, dan alat penimbang.

Cara analisis data hasil penelitian secara umum menggunakan analisis spasial, kualitatif, dan kuantitatif. Berdasarkan analisis spasial dapat dijelaskan agihan keruangan karakter tipe lempung pada kejadian longsorlahan dan tingkat kerawanan longsorlahan. Selanjutnya analisis ekologiikal dipergunakan untuk menjelaskan mengapa terjadi perbedaan dan persamaan tingkat kerawanan longsorlahan dengan mengkaitkan karakteristik bentuklahan (geomorfik) dengan karakteristik tipe lempung yang terbentuk (pedologis). Karakteristik bentuklahan merupakan hasil penelitian yang telah dipublikasikan peneliti sebelumnya. Selanjutnya publikasi ini merupakan kajian lanjut karakter tipe lempung yang akan memberi informasi tingkat perkembangan tanah yang dimungkinkan massa tanah rawan terlongsorakan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Identifikasi Mineral Lempung

Berdasarkan karakteristik pedologis pada 28 sampel yang tersebar pada 11 satuan bentuklahan, tingkat perkembangan tanah pada setiap bentuklahan yang didasarkan pada susunan horizon, rasio horizon A/B

untuk kandungan lempung, BV/ BJ, KPK, COLE, dan tipe lempung menunjukkan perbedaan tingkat perkembangan tanahnya dari awal, sedang, dan lanjut. Kenyataan lapangan menunjukkan bahwa tanah di daerah penelitian masih dalam tingkat perkembangan tanah, gangguan dalam proses perkembangan tanahnya sangat intensif oleh ubahan lahan yang dilakukan penduduk. Berdasarkan peta tanah dari hasil penelitian Bappeda DIY dan UGM Tahun 1997 dan hasil survei lapangan, tanah pada lokasi kejadian longsorlahan termasuk pada order Alfisol (*great group Hapludalfs*), Entisol (*great group Troporthents*), dan Inceptisol (*great group Eutropepts*).

Perkembangan tanah selanjutnya didasarkan analisis perkembangan profil tanah yang dicerminkan oleh susunan horizon dan solum tanahnya. Adapun variabel tanah yang lain digunakan untuk analisis mekanisme proses pedogeomorfik yang telah berlangsung di daerah penelitian. Hakekat perkembangan tanah merupakan perwujudan horisonisasi akibat perubahan mineral tanah dan butiran-butiran tanah baik secara fisik maupun secara kimia (Bergur, et al., 2008; Foth, 1994). Hasil penelitian morfologi profil tanah disesuaikan dengan pembagian tingkat perkembangan tanah menurut Birkeland (1999) yang mengemukakan bahwa tingkat perkembangan tanah dapat dibagi menjadi tingkat perkembangan awal, sedang, dan lanjut. Tanah dengan tingkat perkembangan awal hanya mempunyai horison A-C oks (horison C teroksidasi) atau C ca (horison C dengan jumlah Ca tinggi), atau horison A-B cambic-C oks/ca pada penampang profilnya. Tanah dengan tingkat perkembangan sedang mempunyai horison A atau A dan A, Bt, dan C oks/ca. Horison B dapat berupa argilik, natrik, spodik, atau oksik.

Pengenalan proses pokok yang terlibat dalam pemilahan katena ini berkaitan dengan interaksi antara tanah dengan bentuklahan. Interaksi tersebut dapat digunakan untuk menjelaskan saling tindak dan saling ketergantungan antara proses kejadian longsorlahan dengan proses pedogenesis dalam satu kesatuan. Hubungan bentuklahan, great group tanah, dan jumlah kejadian longsorlahan di daerah penelitian disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan karakteristik bentuklahan dan perkembangan tanah, tingkat kerawanan longsorlahan tinggi dicirikan oleh morfologi dan morfogenesis lereng atas perbukitan denudasional dengan perkembangan tanah Eutropept; tingkat kerawanan longsorlahan sedang dicirikan oleh morfologi perbukitan denudasional, dengan perkembangan tanah Eutropept; dan tingkat kerawanan longsorlahan rendah dicirikan oleh morfologi dan morfogenesis lereng kaki perbukitan denudasional dengan perkembangan tanah hapludalfs. Perbedaan tingkat kerawanan longsorlahan di daerah penelitian dipengaruhi oleh

morfologi lereng yang sangat mempengaruhi aktivitas dan pola pergerakan air, baik di atas permukaan (*surface flow*) maupun di bawah permukaan (*subsurface flow*). Perbedaan kelembapan yang ada dalam tanah akibat pengaruh morfologi akan menyebabkan bervariasinya sifat-sifat tanah.

Kerangka pemikiran teoritis penelitian ini adalah pada tingkat perkembangan tanah akan terjadi akumulasi lempung pada lapisan bawah dari suatu profil tanah, jenuhnya lapisan lempung yang terakumulasi pada lapisan bawah dapat berfungsi sebagai bidang gelincir massa tanah di atasnya sehingga terjadi fenomena longsorlahan. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan peningkatan fraksi lempung pada lapisan tengah dan bawah yang mencerminkan adanya peningkatan kandungan lempung pada horison eluviasi ke horison illuviasi. Akumulasi lempung pada horison bawah juga didukung oleh permeabilitas tanah permukaan yang relatif cepat dibandingkan horison di bawahnya sehingga akan mempercepat terjadinya proses pelindian

Tabel 1. Sebaran Longsorlahan pada Bentuklahan dan Great Group Tanah (1978-2009)

Bentuklahan	Hapludalf		Troporthents		Eutropepts		Jumlah Longsorlahan	
	Typic	Lithic	Andic	Typic	Lithic	Typic		Lithic
D1	4	9					13	
D2						20	14	34
D3	7	18						25
D4						36	13	49
D5	7	8						15
D6			5	3				8
D7						6	2	8
D8						2	4	6
S1				3				3
S2						2	2	4
S3							1	1

Sumber: hasil analisis

di horison eluviasi yang selanjutnya diendapkan di horison illuvial. Proses demikian itu oleh Buol, et al. (1980) dinyatakan sebagai proses *Lessivage* atau *Likuisiviasi*. Kondisi struktur tanah permukaan hingga lapisan dalam didominasi gumpal, sedangkan konsistensi tanahnya agak lekat hingga sangat lekat.

Kandungan lempung horison B pada 13 profil longsorlahan merupakan horison argilik, dengan kandungan lempung 21-78% lebih banyak dibandingkan kandungan lempung pada horison A. Foth (1994) mengemukakan bahwa pembentukan horison argilik memerlukan bahan induk yang mengandung lempung atau hasil pelapukan untuk membentuk lempung dan diperlukan periode pembasahan dan pengeringan yang berselang-seling. Periode pembasahan dan pengeringan untuk perkembangan horison argilik diperlukan ribuan tahun.

### **Agihan Mineral Lempung dan Tingkat Kerawanan Longsorlahan**

Mineral lempung yang terbentuk dipengaruhi oleh mekanisme proses transformasi ataupun pembentukan mineral lempung yang sejalan dengan tingkat perkembangan tanah. Grim (1968) mengemukakan bahwa mineral lempung yang terbentuk dalam tanah sangat tergantung pada kandungan Si, macam dan konsentrasi kation yang ada, pH tanah serta intensitas pelindian. Hasil analisis mineral lempung dengan Difraksi Sinar X pada setiap Profil menghasilkan sebaran mineral lempung (Tabel 2).

Jumlah mineral lempung yang terbentuk dalam proses pembentukan tanah umumnya tergantung pada jenis dan konsentrasi dari susunan kation, Si, pH tanah, dan kecepatan pelindian basa-basa dari hasil pelapukan (Grim, 1968).

Komposisi mineral dari 28 profil tanah menunjukkan rerata mineral lempung kaolinit (70,64%), smektit/ montmorillonit (15,12%), halite (4,33%), illite (2,99%), quartz (2,91%), cristabolite (2,28%), feldspar (1,34%), dan goethite (0,39%). Komposisi mineral lempung tersebut juga menunjukkan bahwa adanya interaksi antara berbagai faktor pembentuk tanah yang memungkinkan terbentuknya kaolin dalam jumlah banyak.

Di Pegunungan Kulonprogo, tipe mineral lempung ini terdistribusi hampir sama di setiap profil tanah pada satuan bentuklahannya. Tipe kaolin mendominasi sebaran mineral lempung di permukaan lahan, adanya retakan permukaan pada tanah dengan kandungan tipe lempung kaolin memudahkan air hujan masuk ke dalam lapisan tanah bagian bawah. Akumulasi fraksi lempung yang ada di bagian bawah menjadi bidang gelincir yang memicu kejadian longsorlahan. Tipe mineral lempung smektit di bagian bawahnya yang mempunyai kemampuan mengembang sebagai hasil dari sifat mineralnya dapat mengabsorpsi air yang besar, sehingga memicu terjadinya longsorlahan. Nurcholis (2005) telah mengemukakan bahwa keberadaan mineral smektit sangat penting dalam menentukan sifat fisik dan kimia dalam tanah atau dari sumberdaya alam lainnya. Air dan kation-kation yang masuk ke dalam interlayer atau lembaran struktur kristal tetrahedral-oktahedral-tetrahedral menyebabkan mekanisme mengembang yang menyebabkan semakin lebarnya retakan tanah di bagian atas.

Melihat komposisi mineral lempungnya, menunjukkan bahwa jenis mineral kaolin dan smektit/montmorillonit mendominasi fraksi lempung yang ada. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi yang terjadi di antara berbagai faktor pembentuk tanah



memungkinkan terbentuknya kaolinit dan smektit dalam jumlah banyak. Berdasarkan sebaran mineral lempung, dari 28 sampel tanah terdapat 4 profil tanah dengan kandungan lempung smektit yang lebih besar daripada kaolin, namun ada 22 profil dengan kandungan lempung kaolin yang lebih besar, dan 2 profil dengan kandungan lempung kaolin dan smektit yang berimbang.

Terbentuknya kaolin yang besar merupakan transformasi dari mineral lempung

smektit, mengingat daerah penelitian dulunya pernah berada di bawah permukaan air laut kemudian mengalami pengangkatan, selanjutnya proses pelapukan kimia berjalan intensif pada lapisan lempung yang banyak mengandung besi-besi. Besi-besi ini teroksidasi sehingga lingkungan berubah menjadi masam dan terlindi masa-basa dan silica, sehingga perbandingan  $SiO_2 / Al_2O_3$  menjadi kecil. Keadaan smektit menjadi tidak mantap dan dapat berubah menjadi kaolin.

Tabel 2. Hasil Analisis Mineral Lempung berdasarkan Difraksi Sinar-X

Profil	Mineral Lempung (%)							
	Kaolin	Smektit	Kuarsa	Kristabolit	Olivin	Felspar	Gothit	Illit
L1	21,50	58,50	10,50	0,00	9,50	0,00	0,00	0,00
L2	95,00	0,00	1,31	3,69	0,00	0,00	0,00	0,00
L3	90,00	0,00	2,00	3,00	5,00	0,00	0,00	0,00
L4	35,00	0,00	25,00	0,00	0,00	10,00	0,00	30,00
L5	47,42	44,84	2,58	0,00	2,58	2,58	0,00	0,00
L6	92,40	0,00	3,00	2,00	2,60	0,00	0,00	0,00
L7	70,00	25,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L8	40,00	20,00	0,00	0,00	30,00	10,00	0,00	0,00
L9	61,96	18,04	0,00	4,22	6,87	0,00	8,91	0,00
L10	78,00	10,00	0,00	7,00	3,00	1,20	0,00	0,80
L11	95,00	0,00	2,00	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00
L12	90,00	0,00	4,50	2,00	3,50	0,00	0,00	0,00
L13	95,00	0,00	2,00	2,00	1,00	0,00	0,00	0,00
L14	90,00	0,00	0,00	3,70	3,05	3,25	0,00	0,00
L15	70,00	25,00	3,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
L16	95,00	0,00	2,73	2,00	0,27	0,00	0,00	0,00
L17	70,81	11,94	2,21	3,35	3,25	0,00	0,00	8,44
L18	71,81	10,94	1,32	4,24	3,23	0,00	0,00	8,46
L19	72,81	10,94	1,21	3,35	3,15	0,00	0,00	8,54
L20	70,82	10,93	2,30	3,26	4,17	0,00	0,00	8,52
P1	25,00	55,00	0,00	0,00	20,00	0,00	0,00	0,00
P2	35,00	60,00	1,19	1,81	2,00	0,00	0,00	0,00
P3	45,00	35,00	0,00	0,00	10,00	10,00	0,00	0,00
P4	95,00	0,00	1,13	0,75	0,00	0,00	0,00	3,12
P5	92,00	0,00	1,80	1,20	0,00	0,00	2,00	3,00
P6	77,00	0,00	0,26	4,60	4,47	0,00	0,00	13,67
P7	70,00	20,00	5,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P8	86,56	7,37	1,24	2,71	1,69	0,43	0,00	0,00
Rerata	70,64	15,12	2,91	2,28	4,33	1,34	0,39	2,99

Sumber: analisis data laboratorium X-Ray Deffraction Fraksi Lempung

Hal ini diperjelas bahwa urutan pelapukan mineral lempung di daerah atas cenderung membentuk kaolin, sedangkan daerah bawah cenderung menghasilkan montmorillonit (Gunn, 1974). Mineral kaolin terbentuk ketika intensitas pelindian maksimal. Pada lingkungan alkalis adanya Ca dan Mg maka lempung smektit dapat terbentuk dan di bawah pengaruh ion hidrogen maka smektit dapat berubah menjadi kaolin.

Pada fraksi lempung yang mendominasi smektit/montmorillonit dimungkinkan karena adanya perlindian pada lereng-lereng yang lebih atas yang membawa basa-basa dan terkumpul pada bagian bawah. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya pelonggokan lempung dan silica sehingga perbandingan  $SiO_2 / Al_2O_3$  lebih dari 2 dan terbentuk mineral lempung tipe 2:1 khususnya smektit. Aliran air lateral dari lereng atas menuju lereng bawah juga berperan dalam penambahan lengas, sehingga menyebabkan terbentuknya cermin sesar di lapisan bawah akibat adanya pengembangan dan pengerutan tanah yang mengandung mineral lempung smektit.

Ada dua kemungkinan mengapa terbentuk mineral lempung kaolinit dan smektit dalam jumlah yang sama, kemungkinan pertama kaolin terbentuk sebagai hasil pelapukan lanjutan dari smektit atau sebaliknya, smektit terbentuk baru yang berasal dari kaolinit dengan penambahan silica bebas dan basa-basa terutama Ca dan Mg yang dibawa oleh aliran air tanah dari lereng-lereng atas serta dalam lingkungan agak alkalis. Kenyataan menunjukkan bahwa nilai  $COLE > 0,09$  maka dapat disimpulkan bahwa yang pertama lebih mungkin terjadi daripada yang kedua. Berdasarkan kandungan mineral dalam hubungannya dengan tingkat pelapukan tanah oleh Jackson dan Sherman (1953

dalam Buol et al., 1980), pada tingkat pelapukan 9 kandungan mineral smektit yang dominan dan pada tingkat pelapukan 10 kandungan kaolin yang lebih dominan.

Analisis agihan mineral lempung dalam penelitian ini menunjukkan bahwa 22 profil tanah (77%) pada lokasi kejadian longsorlahan didominasi kandungan mineral lempung kaolin, 4 profil (16%) didominasi kandungan mineral lempung smektit, dan 2 profil (8%) dengan kandungan mineral lempung kaolin dan smektit yang berimbang. Berdasarkan analisis tingkat kerawanan longsorlahan dan karakteristik bentuklahannya menunjukkan bahwa morfologi dan morfogenesis dapat dijadikan ciri karakter bentuklahan rawan longsorlahan. Pada bagian perbukitan denudasional dan struktural mempunyai ciri ketinggian tempat yang tinggi (601-800 m dpal), kemiringan lereng curam (60-80%), kedalaman zone lapuk (40-59 cm), posisi bidang kontak (20-30°), tingkat ubahan lahan (20-30%), dan penggunaan lahan tegalan. Pada lereng atas perbukitan denudasional dan struktural dicirikan oleh ketinggian (400-600 m dpal), kemiringan lereng (40-60%), kedalaman zone lapuk (60-90 cm), posisi bidang kontak (31-40°), dan penggunaan lahan sawah. Selanjutnya pada Lereng kaki perbukitan denudasional dan struktural dicirikan oleh ketinggian tempat (200-399 m dpal), kemiringan lereng (20-40%), kedalaman zone lapuk (20-39 cm), posisi bidang kontak (10-20°) dan penggunaan lahan sawah.

Selanjutnya dari analisis karakteristik perkembangan tanahnya, lokasi kejadian longsorlahan mempunyai karakteristik perkembangan tanah dalam kelompok tanah-tanah yang sedang dalam taraf perkembangan (Entisol, Alfisol, dan Inceptisol). Gabungan analisis karak-

teristik bentuklahan dan karakteristik perkembangan tanahnya menghasilkan 5 karakter, dalam penelitian ini sebagai tipologi pedogeomorfik kejadian longsor-lahan di daerah penelitian. Berdasarkan karakteristik bentuklahannya, tingkat kerawanan bencana longsorlahan tinggi di daerah penelitian umumnya terdapat pada lereng atas perbukitan eutropepts. Secara geomorfologis, pada lereng atas perbukitan terjadi akumulasi gerakan air menuju bawah permukaan di atas bidang gelincir yang maksimal sehingga material tanah dan bahan lapukan batuan di atas lapisan impermeabel bergerak ke bawah. Lapisan impermeabel yang berfungsi sebagai bidang gelincir dapat berupa batuan induk yang keras (andesit dan breksi Formasi Bemmelen) atau lapisan dengan akumulasi partikel lempung yang meningkat di lapisan bawah (kandungan lempung pada horizon B tinggi). Tingkat kerawanan tinggi tercermin juga pada *great group* tanah Eutropepts, tanah ini terdapat pada perbukitan denudasional dan lereng atas perbukitan karena intensitas pe-ngelolaan lahan pertanian dengan pem-buatan teras bangku yang menyebabkan air hujan mudah masuk ke dalam lapisan impermeabel yang memicu terjadinya longsorlahan.

Pada perbukitan denudasional troportents dan perbukitan struktural troportent mempunyai tingkat kerawanan longsor-lahan yang sedang. Secara geomorfik pada perbukitan denudasional dan perbukitan struktural mempunyai kemiringan lereng yang curam (60-80%) sehingga kesempatan air hujan masuk ke dalam lapisan bawah relatif sedikit/kurang dibandingkan pada lereng atas perbukitan denudasional. Pada lereng kaki perbukitan denudasional umumnya mempunyai tingkat kerawanan longsor-lahan yang rendah karena merupakan akumulasi hasil proses erosi

dan atau longsorlahan dari lereng atasnya. Kandungan tipe lempung kaolinit yang tinggi pada bagian perbukitan yang mempunyai sifat mudah retak-retak dimungkinkan memberi kesempatan air hujan masuk ke dalam lapisan bawah yang lebih besar. Tipe lempung smektit yang mempunyai sifat mudah mengembang dan mengkerut pada lapisan bawah pada bagian lereng atas memicu Bergeraknya lapisan tanah di atas permukaan lereng yang miring sehingga tingkat kejadian longsor-lahannya tinggi.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Di daerah penelitian mempunyai agihan mineral lempung yang menunjukkan bahwa 22 profil tanah (77%) pada lokasi kejadian longsorlahan didominasi kandungan mineral lempung kaolin, 4 profil (16%) didominasi kandungan mineral lempung smektit, dan 2 profil (8%) dengan kandungan mineral lempung kaolin dan smektit yang berimbang.

Kandungan tipe lempung kaolin yang tinggi pada bagian perbukitan yang mempunyai sifat mudah retak-retak dimungkinkan memberi kesempatan air hujan masuk ke dalam lapisan bawah yang lebih besar. Tipe lempung smektit yang mempunyai sifat mudah mengembang dan mengkerut pada lapisan bawah pada bagian lereng atas memicu Bergeraknya lapisan tanah di atas permukaan lereng yang miring sehingga tingkat kejadian longsor-lahannya tinggi.

Penelitian ini masih bersifat lokal dalam kasus di Pegunungan Kulonprogo sehingga disarankan adanya penelitian lanjut yang dilakukan untuk verifikasi di wilayah pegunungan/perbukitan yang lain. Kelemahan yang terdapat dalam penelitian ini adalah terbatasnya lokasi longsorlahan

yang masih dapat diidentifikasi perkembangan tanahnya karena telah mengalami kerusakan akibat rehabilitasi lahan pasca terjadinya longsorlahan. Disarankan adanya data aktual profil tanah sesaat setelah terjadinya bencana longsorlahan.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang

sebesar-besarnya kepada Prof. Dr. Bambang Setiaji selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah member ijin untuk melanjutkan kuliah S-3 dan Prof. Dr. Harun Joko Prayitno selaku Ketua LPPM Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah membantu dalam pembiayaan penelitian ini. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada segenap mahasiswa yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen, R.W. Van, 1949, *The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*. The Hague: Government Printing Office.
- Bergur Sigfusson, Gislason, S., dan Paton, G.I., 2008, Pedogenesis and Weathering Rates of a Histic Andosol in Iceland: Field and Experimental Soil Solution Study, *Geoderma* 144:572-592, [www.elsevier.com/locate/geoderma](http://www.elsevier.com/locate/geoderma).
- Birkeland, Peter.,W., 1999, *Soils and Geomorphology*, New York: Oxford University Press.
- Brindley, G.W. dan Brown, G. (ed), 1980, *Crystal Structures of Clay Mineral and Their X-Ray Identification*. London: Mineralogical Society.
- Buol, S.W., Hole, F.D., and McCracken, R.J., 1980, *Soil Genesis and Classification*, New York: The Iowa State University Press.
- Foth, Henry, D., 1994, *Dasar-dasar Ilmu Tanah, Alih Bahasa Adisoemarto, S.*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Gerrard, A.J., 1981, *Soil and Landforms, An Introduction of Geomorphology and Pedology*, London: Department of Geography, University of Birmingham.
- Grim, R.E., 1968, *Clay Mineralogy*, New York: Mc Graw Hill Book Company.
- Gunn, R.H., 1974, A Soil Catena on Weathered Basalt in Queensland. *Aus.J.Soil Res*, 12: 1-4.
- Jamulya, 1996, Kajian Tingkat Pelapukan Batuan Menurut Toposekuen di DAS Tangsi Kabupaten Magelang, *Laporan Penelitian*, Yogyakarta: Lembaga Penelitian UGM.
- Jenny, H., 1994, *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*, New York: Dover Publ. Inc.

- Jungerius, P.D. (ed), 1985, *Soil and Geomorphology*, Cremlingen:catena Verlag.
- Priyono, K.D., Sunarto, Sartohadi, dan Sudibyakto, 2011, Tipologi Pedogeomorfik Kejadian Longsorlahan di Pegunungan Kulonprogo Daerah Istimewa Yogyakarta Indonesia, *Forum Geografi*, Vol 25. No. 1, Juli 2011.
- Nurcholis, M., 2005, Some Properties and Problems of Smectite Minerals on Java Soil, *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan* Vol 5(2) 2005: 63-70.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, dan Rosidi, H.M.D., 1995, *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*, edisi kedua, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Summerfield, M.A., 1991, *Global Geomorphology, An Introduction to The Study of Landform*, Singapore: Longman Singapore Pub.

**PENILAIAN KERENTANAN PANTAI MENGGUNAKAN METODE  
INTEGRASI CVI-MCA STUDI KASUS PANTAI INDRAMAYU**  
*Coastal Vulnerability Assessment Using Integrated-Method of CVI-MCA  
A Case Study on the Coastline of Indramayu*

**Faizal Kasim <sup>1)</sup> dan Vincentius P. Siregar <sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup> Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Pertanian UNG

<sup>2)</sup> Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB

Email: kasim.faizal@gmail.com

**ABSTRACT**

*The increasing of sea level due to climate change has been focused many research activities in order to know the coastal response to the change, and determine the important variables which have contribution to the coastal change. This paper presents a method for integrating Coastal Vulnerability Index (CVI), Multi Criteria Analysis (MCA) method and Geographic Information-System (GIS) technology to map the coastal vulnerability. The index is calculated based-on six variabls: coastal erosion, geomorphology, slope, significant wave height, sea level change and tidal range. Emphasize has been made to the methodological aspect, essentially which is linked to: (i) the use of GIS tehcnique for constructing, interpolation, filtering and resampling the data for shoreline grid, (ii) the standardization each rank of variables ( 0 – 1 ) and the use of several percentile (20%, 40%, 60%, and 80%) for each rank score, and (iii) the use of variable's rank to map the relative (local) and standart (global) vulnerability of the coastline. The result show that for local, the index consist of four categories: very high (19.61%), high (68.63%), moderate (1,96%), and low (9.80%). Meanwhile, for global level, the index is constantly in low category.*

**Keywords:** Coastal vulnerability, integrated approach, CVI-MCA, index relative, global

**ABSTRAK**

*Peningkatan paras laut akibat perubahan iklim telah menjadi fokus banyak kegiatan penelitian dalam rangka mengetahui respon pantai terhadap perubahan, serta menentukan variabel-variabel penting penyumbang perubahan pantai tersebut. Tulisan ini menyajikan gabungan metode Coastal vulnerability Index (CVI), metode Multi Criteria Analysis (MCA), dan teknologi Sistim Informasi Geografi (SIG) untuk memetakan kerentanan pantai. Indeks dihitung berdasarkan atas enam variabel: erosi pantai, geomorfologi, kemiringan pantai, tinggi gelombang signifikan, perubahan paras laut dan kisaran pasang surut. Penekanan dibuat terhadap aspek metodologi, terutama berkaitan dengan: (i) penggunaan teknik SIG untuk membangun, interpolasi, penapisan, dan me-resample data pada grid garis pantai, (ii) penstandarisasian tiap ranking variabel (0 – 1) dan penggunaan beberapa persentil (20%, 40%, 60% dan 80%) bagi tiap skor ranking, serta (iii) penggunaan ranking variabel untuk memetakan kerentanan pantai yang relatif (lokal) dan baku (global). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa indek kerentanan lokal terdiri atas empat kategori: sangat tinggi (19,61%), tinggi (68,63%), moderat (1,96%), dan rendah (9,80%). Sementara pada tingkat global, indeks kerentanan ini berkategori rendah secara konstan.*

**Kata kunci:** kerentanan pantai, pendekatan gabungan, CVI-MCA, relatif indeks, global

## PENDAHULUAN

Proyeksi kenaikan paras laut yang diakibatkan oleh perubahan iklim telah mendorong banyak penelitian untuk mengetahui perubahan akibat kenaikan paras laut tersebut serta mengidentifikasi variabel penting yang berkontribusi terhadap perubahan pantai tersebut (Pendleton *et al.*, 2010). Pendekatan yang telah dikembangkan untuk penilaian kerentanan suatu pantai terhadap perubahan iklim, mencakup antara lain: *Synthesis and Upscaling of Sea-level Rise Vulnerability Assessment Studies (SURVAS)*, *wetland loss modelling*, *DINAS-Coast and DIVA*, *Simulator of Climate Change Risks and Adaptation Initiatives (SimCLIM)*, *Community Vulnerability Assessment Tool (CVAT)* serta beberapa metode indeks kerentanan pantai lainnya seperti *Coastal Vulnerability Index (CVI)*, *CSoVi* and *PVI* (Abuodha and Woodroffe, 2006 ; Ramieri *et al.*, 2011).

CVI adalah metode ranking relatif berbasis skala indeks dari parameter fisik seperti: geomorfologi, *slope* pantai, kenaikan paras laut, perubahan garis pantai (akresi/erosi), rerata tinggi gelombang, dan rerata pasang surut (Gornitz *et al.*, 1997 ; Pendleton *et al.*, 2010). Pendekatan CVI memberi keuntungan bagi para pembuat kebijakan dan pengambil keputusan dalam menetapkan program pengelolaan yang tepat di suatu wilayah pantai yang mempunyai tingkat kerentanan tertinggi terhadap dampak kenaikan paras laut. Dengan keunggulan tersebut, metode CVI relatif lebih populer dibandingkan dengan metode lain yang digunakan dalam penilaian kerentanan garis pantai di berbagai negara, seperti; Kanada (Shaw *et al.*, 1998), Australia (Abuodha and Woodroffe, 2006), Spanyol (Ojeda-Zújar *et al.*, 2008), Yunani (Alexandrakis *et al.*, 2009), Turki (Özyurt and Ergin, 2010), dan India (Kumar *et al.*, 2010), termasuk di Indonesia (Disaptono, 2008). Di samping

keunggulan, metode CVI ini memiliki kekurangan yaitu data numerik yang dihasilkan (ranking dan skor indeks) tidak serta-merta dapat disetarakan dengan dampak fisik tertentu. Selain itu, pendekatan ini semata-mata hanya berdasarkan penilaian pada parameter fisik, tetapi tidak mempertimbangkan dampak dari aktifitas manusia terhadap perubahan lingkungan pantai dalam proses-proses fisik yang dinilai, dan juga terbatasnya jumlah parameter yang digunakan sebagai input dalam penilaian kerentanan (Abuodha and Woodroffe, 2006).

Aplikasi teknologi SIG telah demikian berkembang dan bermanfaat dalam banyak analisis, seperti: analisis perubahan pantai dan dampaknya terhadap kehidupan masyarakat (Muryani, 2010), juga dalam analisis kerentanan, risiko dan zonasi rawan bahaya (Hizbaron *et al.*, 2010). Tujuan penelitian ini adalah memetakan kerentanan pantai yang dapat digunakan dalam memperbandingkan status kerentanan suatu kawasan atau pun untuk penilaian pada skala berjenjang (skala lokal/relatif dan global/standar). Penelitian ini diharapkan dapat mem-perkaya alternatif pendekatan atau metode yang ada untuk pengkajian perubahan pantai dan penyusunan peta indeks kerentanan pantai.

## METODE PENELITIAN

Lokasi yang dikaji adalah pantai indramayu sepanjang 101,04 km yang membentang dari Legon Wetan (pantai Timur Kabupaten Subang) hingga Pasekan (pantai Utara Kabupaten Indramayu) yang mencakup garis pantai dari 22 desa dalam kabupaten Indramayu dan Subang, Provinsi Jawa Barat. Areal penelitian (Area of Interest) secara geografis terletak pada posisi 107° 48' 0,572" – 108° 15' 0,576" BT dan 6° 7' 29,766" – 6° 22' 29,766" LS.

Variabel yang digunakan mencakup enam variabel: (1) laju erosi pantai, (2) geomorfologi, (3) kemiringan pantai, (4) tinggi gelombang signifikan, (5) perubahan tinggi paras laut relatif dan (6) kisaran pasang surut. Variabel laju erosi pantai diekstrak dari Landsat TM (1991) dan ETM+ (2003) menggunakan teknik *end point rate (EPR)* dan *line transect* pada kedua *dataset* Landsat. Pemrosesan citra dilakukan menggunakan pendekatan: *single band threshold*, *band ratio* serta *false color composite* (RGB 543). Batasan garis pantai yang digunakan yaitu murni batas nilai piksel "darat-air" di atas *waterline* yang menjadi batas langsung antara daratan dan laut dengan perlakuan koreksi pasang surut. Keragaan batimetri dari profil topografi dasar perairan dapat dibangun dari metode interpolasi (Siregar dan Selamat, 2009). Oleh karena itu, ekstraksi garis pantai dengan perlakuan koreksi pasang surut dibangun menggunakan keragaan bati-topografi hasil interpolasi.

Dua data variabel yakni: geomorfologi dan kemiringan (*slope*) pantai, keduanya diekstrak bersumber dari peta RBI skala 1:25.000. Agar data variabel geomorfologi sebagai satu-satunya variabel non-numerik (kualitatif) menjadi variabel numerik, maka hasil ekstraksi leyer (data) luas tiap bentuk lahan/penutupan lahan dirubah menggunakan matriks transformasi untuk memperoleh data numerik variabel geomorfologi berupa ranking yang mewakili resistensi masing-masing bentuk lahan geomorfologi terhadap erosi. Data variabel *slope* pantai diektrak dari keragaan *raster terrain* yang dibangun dari titik elevasi topografi (sumber peta RBI 1:25.000) dan kontur kedalaman (sumber peta LPI 1:50.000). Data *slope* pantai diekstrak masing-masing pada arah laut dan darat dari garis pantai dalam wilayah tiap grid garis pantai (*shoreline grid*).

Dua variabel menggunakan data bersumber dari pengamatan satelit altimetri yakni

variabel laju perubahan paras laut dan rerata kisaran pasang surut. Data variabel laju perubahan paras laut diekstrak dari data satelit altimeter TOPEX/POSEIDON selama 17 tahun (Oktober 1992 hingga Juli 2009). Oleh karena ketiadaan data sebaran spasial daerah *uplift* dan *subsidence*, maka data variabel perubahan paras laut hanya bersumber dari data satelit tersebut. Jenis data variabel rerata kisaran pasang surut yang digunakan adalah data *time series tidal prediction of height grid point* berukuran spasial 0,25° tahun 2007 (1 Januari 2007 – 1 Desember 2008) dengan interval pengamatan tiap 1 jam dan beresolusi spasial 0.5° yang merupakan data asimilasi hasil pengamatan satelit altimetri TOPEX/POSEIDON. Data rerata kisaran pasang surut tahunan (*annual mean tidal range*) dilakukan melalui tahapan penapisan di lingkungan SIG terhadap data rerata tinggi air maksimum (*mean higher high water*) dengan data rerata tinggi air minimum (*mean lower low water*).

Terakhir, data variabel rerata tinggi gelombang yang digunakan adalah data *mean significant wave height* yang bersumber dari data *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Interval data yang digunakan adalah data pengamatan tiap 6 jam dari perairan Laut Jawa dan sekitarnya dari tahun 2002 hingga 2003. Data *annual mean wave significant height* diperoleh melalui tahapan penapisan data *seasonal mean wave height* menggunakan *overlay statistic* di lingkungan SIG.

Hasil ekstraksi tiap data variabel yang beragam koordinat dan skala dilakukan penyeragaman, mencakup tahapan registrasi yakni pada sistim koordinat SUTM zona 49 dan datum vertikal WGS\_84. Juga *resample* pada tiap *dataset* keenam variabel sehingga semuanya memiliki resolusi spasial yang sama yakni 30 meter. Analisis dikerjakan dengan



membangun basis data berupa *shoreline grid* berukuran 1 menit. Diperoleh 51 buah *shoreline grid* sepanjang garis pantai dalam *AOI* yang masing-masing berisi *entity* nilai hasil ekstraksi tiap variabel sebagai atribut dari daerah arah laut dan darat.

Standarisasi skor nilai tiap variabel sehingga menjadi nilai skor dengan *range* standar 0-1 menggunakan matriks MCA berdasarkan persamaan sebagai berikut, (Susilo, 2006);

$$X_{in} = \frac{(x_{in} - \min x_{in})}{(\max x_i - \min x_i)} \dots\dots\dots (1)$$

dimana  $X_{in}$  = nilai standar dari variabel ke-*i* pada grid ke-*n*,  $x_{in}$  = nilai asli dari variabel ke-*i* pada grid ke-*n*,  $\max x_i$  = nilai tertinggi variabel, serta  $\min x_i$  = nilai terendah variabel. Sumber acuan batas terendah dan tertinggi tiap variabel yang masing-masing mewakili potensi terbaik dan terjelek dari kerentanan tiap variabel dikumpulkan dari berbagai lokasi penelitian yang diperoleh dari hasil ekstraksi data serta dari lokasi lain yang diperoleh berdasarkan kajian literatur.

Preferensi *ranking* yang digunakan adalah jarak jangkauan persentil (20%, 40%, 60%, dan 80%). Preferensi ini diterapkan terhadap nilai (skor) tiap variabel hasil standarisasi yang telah memiliki julat antara 0 hingga 1. Skor terendah yang mewakili potensi kerentanan terbaik ditandai oleh jarak 0 – 0,2, sebaliknya skor tertinggi yang mewakili potensi kerentanan terburuk ditandai oleh jarak 0,80 - 1. Dengan demikian julat bagi kelima *ranking* tiap variabel, adalah: kategori sangat rendah ditandai oleh nilai *ranking* 1 (skor <0,2), kategori rendah ditandai oleh nilai *ranking* 2 (skor: 0,2 – 0,4), kategori moderat ditandai oleh nilai *ranking* 3 (skor: 0,4-0,6), kategori tinggi ditandai oleh nilai *ranking* 4

(skor: 0,6 – 0,8) dan kategori sangat tinggi ditandai oleh nilai *ranking* 5 (skor >0,8). Masing-masing skor *ranking* ini ditambahkan sebagai atribut tiap variabel dalam masing-masing *shoreline grid*.

Penghitungan nilai skor indeks kerentanan dilakukan berdasarkan orisinalitas konsep perhitungan nilai indeks kerentanan dalam metode CVI (hasil perhitungan *ranking*), yakni merupakan akar dari perkalian tiap nilai *ranking* variabel dibagi jumlah variabel sebagai berikut (Pendleton *et al.*, 2010):

$$CVI = \sqrt{\frac{(a \times b \times c \times d \times e \times f)}{6}} \dots\dots\dots (2)$$

dimana *CVI* = nilai (skor) Indeks Kerentanan Pantai, *a,b,c,d,e* dan *f* adalah *ranking* variabel yang berturut-turut: geomorfologi, perubahan garis pantai, *slope* pantai, rerata tinggi gelombang, rerata kisaran pasang surut, dan laju perubahan paras laut.

Normalisasi skor dikembangkan berdasarkan konsep bahwa di lokasi manapun dan berapapun jumlah *shoreline grid* digunakan dalam penilaian kerentanan yang dilakukan berdasarkan pendekatan metode CVI maka skor indeks yang dihasilkan senantiasa akan menyebar di antara nilai skor antara 0,41 hingga 51,03. Hal ini diperoleh dengan mensimulasikan bahwa seluruh *shoreline grid* secara konstan masing-masing berisi *ranking* terendah (nilai *ranking* 1) dan *ranking* tertinggi (nilai *ranking* 5) maka dari Persamaan 2 akan dihasilkan *range* standart skor CVI yakni sebesar 0,41 (dihasilkan oleh nilai *ranking* 1 pada seluruh *shoreline grid*) dan 51,03 (dihasilkan oleh nilai *ranking* 5 pada seluruh *shoreline grid*).

Dengan kondisi demikian dapat dilihat bahwa skor CVI yang diperoleh dari lokasi manapun sebenarnya bersifat baku. Berdasarkan sifat baku *range* skor CVI tersebut maka pada hakikatnya tiap *range*

nilai skor CVI dapat pula dinormalisasi pada *range* baku 0 – 1 seperti halnya *range* nilai ranking tiap variabelnya. Untuk menormalisasi skor nilai CVI dilakukan berdasarkan formula sebagai berikut (Teknomo, 2006);

$$NS = \frac{nub - nib}{oub - olb} (OS - olb) + nlb \quad \text{----- (3)}$$

dimana *NS* = skor nilai indeks baru, *OS* = skor nilai indeks asli, *nub* = batas tertinggi skor nilai indeks baru, *nlb* = batas terendah skor nilai indeks baru, *oub* = batas tertinggi skor nilai indeks asli (51,03), dan *olb* = batas terendah skor nilai indeks asli (0,41).

Dari konsep seperti di atas maka tiap nilai skor CVI yang dihasilkan dari penilaian kerentanan di tiap lokasi selanjutnya akan menyebar di antara *range* baku (0-1) hasil normalisasi nilai skornya masing-masing. Algoritma standarisasi ranking variabel dan normalisasi skor indeks kerentanan pantai ditampilkan pada Gambar 1.

Hubungan skor nilai CVI yang dihasilkan dari tiap lokasi seperti pada Gambar 1 adalah ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$0 \leq \min \leq \text{Skor Indeks} \leq \max \leq 1 \quad (4)$$

$$0 \leq \text{Skor Indeks} \leq 1 \quad (5)$$

Persamaan 4 menunjukkan batas *range* nilai skor CVI dari tiap lokasi (minimum-maksimum) terhadap *range* baku (0 – 1) hasil normalisasi terhadap potensi kerentanan terendah dan kerentanan tertinggi secara global (Persamaan 5). Berdasarkan Persamaan 4 dan 5, masing-masing kategori indeks kerentanan yang terdiri atas empat kategori: rendah, moderat, tinggi, dan sangat tinggi dapat dianalisis pada *range* yang berbeda menggunakan preferensi jarak jangkauan kuartil, persentil ataupun jarak interval. Penilaian kerentanan lokal dianalisis dengan Persamaan 4 terhadap

*range* nilai minimum-maksimum, sedangkan status kerentanan kawasan tersebut pada skala global atau perbandingan status kawasan tersebut dengan kawasan lain dapat dianalisis menggunakan Persamaan 5 berdasarkan masing-masing nilai skor tiap kawasan yang menyebar di antara *range* baku 0 – 1.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

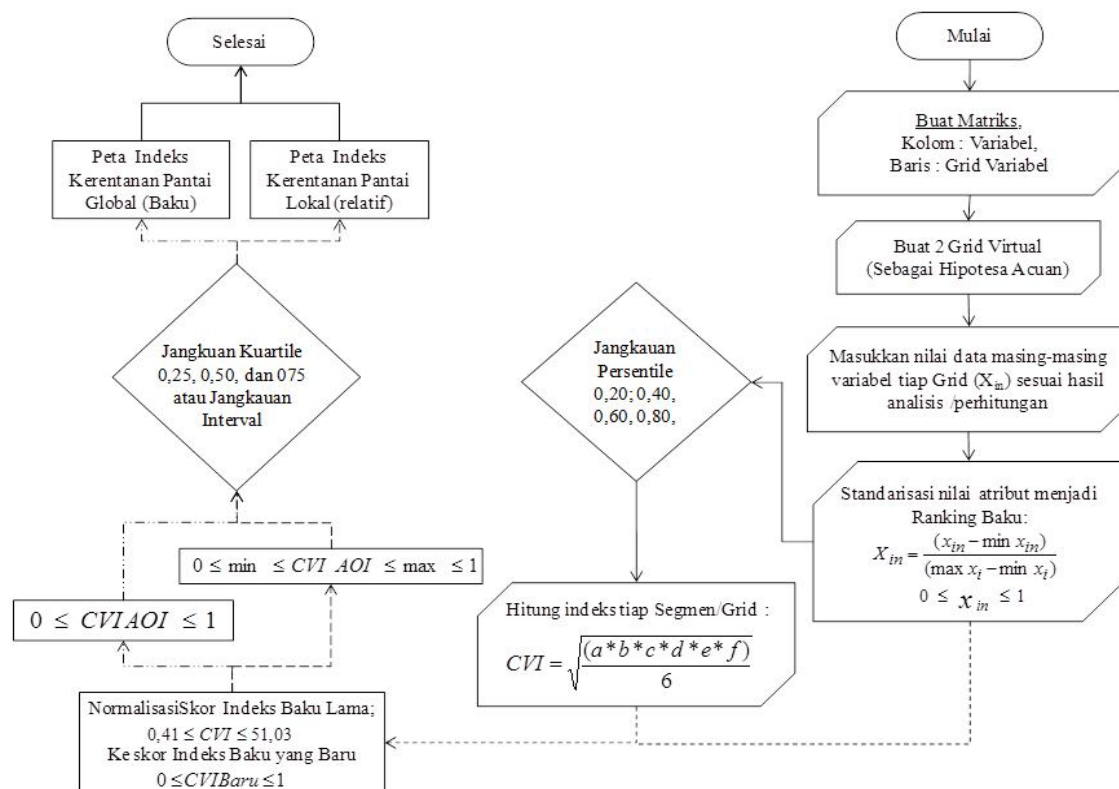
Hasil ekstraksi nilai laju perubahan garis pantai kawasan pantai Indramayu selama 12 tahun masing-masing adalah 1,80 – 12,78 m/tahun (erosi) dan 0,23 – 44,88 m/tahun (akresi). Hasil ekstraksi aspek geomorfologi dan kemiringan pantai diperoleh bahwa secara umum, kawasan pesisir Indramayu terdiri atas jenis pantai berpasir, tambak dan mangrove di sebelah Barat dan Timur, dan merupakan daerah kipas *alluvial* dengan kemiringan pantai yang sangat rendah. Demikian pula diketahui bahwa proses laju evolusi yang mendominasi adalah akresi dibandingkan erosi dengan persentasi masing-masing sebesar 49,02 % (erosi) dan 50,98 % (akresi). Ringkasan julat nilai minimum-maksimum data hasil ekstraksi tiap variabel beserta luaran masing-masing nilai skor bakunya dalam seluruh grid garis pantai, termasuk acuan potensi kerentanan terburuk dan terbaik masing-masing variabel ditampilkan pada Tabel 1.

Acuan potensi terburuk dan terbaik pada Tabel 1 adalah bersumber dari hasil ekstraksi data tiap variabel di daerah lokasi penelitian dan lokasi lain di dunia berdasarkan kajian literatur. Pada Tabel 1 diketahui bahwa satu-satunya jenis variabel yang berasal dari daerah pantai lokasi penelitian yang menjadi acuan potensi kerentanan adalah besar laju akresi yang berlangsung di kawasan Barat AOI,

tepatnya di kawasan delta Cipunagara (Kabupaten Subang), yakni sebesar 44,88 m/tahun. Besar nilai akresi tersebut menjadi referensi nilai terendah (potensi terbaik) dalam standarisasi skor ranking variabel laju perubahan garis pantai.

Dengan memperhatikan urutan nilai rerata masing-masing variabel dan kelompok variabel pada Tabel 1 diketahui bahwa variabel kontributor yang sangat berpengaruh terhadap kerentanan perubahan fisik pantai Indramayu adalah: kemiringan pantai (0,978) dan pengaruh terkecil dikontribusi oleh variabel rerata kisaran pasang surut (0,029). Dari sisi

kelompok, sumbangan terbesar adalah berasal dari faktor geologi dibandingkan faktor fisik. Kontribusi oleh faktor geologi ini hampir sebesar 6 kali kontribusi proses fisik. Tingginya sumbangan kerentanan pantai akibat kelompok faktor geologi ini secara berturut-turut disumbangkan oleh variabel kemiringan pantai (*slope*) yang sebagian besar terdiri atas jenis dataran sangat landai (0,978); jenis geomorfologi pesisir yang bersifat erodibilitas tinggi (0,711) karena disusun oleh jenis bentuk lahan seperti pantai berpasir dan *mangrove*, serta penggunaan lahan seperti sawah dan tambak; serta laju erosi yang cukup signifikan (0,295). Dari hasil ini dapat



Sumber: hasil analisis

Gambar 1. Algoritma standarisasi skor variabel dan normalisasi nilai skor indeks kerentanan pantai (skor CVI) serta penentuan ranking variabel dan kelompok variabel serta kategori indeks lokal (relatif) dan global (baku) berdasarkan pendekatan metode integrasi CVI-MCA

disimpulkan pula bahwa variabel laju perubahan garis pantai (evolusi) yang banyak dilaporkan berlangsung di pantai sebelah Utara Jawa tidak cukup menyumbangkan kerentanan dibandingkan variabel kemiringan pantai dan geomorfologi di sepanjang pesisir kawasan ini. Proporsi tiap *ranking* variabel sepanjang pantai Indramayu berdasarkan preferensi jangkauan persentil menunjukkan bahwa jenis *ranking* variabel geomorfologi relatif lebih beragam dibandingkan lima jenis variabel lainnya.

Proporsi tiap *ranking* variabel maupun kategori indeks kerentanan dapat menjadi petunjuk karakteristik spasial jenis variabel atau pun cakupan tingkat (kategori indeks) kerentanan pada suatu kawasan. Proporsi *ranking* jenis variabel yang bervariasi menunjukkan bahwa keragaman karakteristik spasial variabel tersebut bersifat lokal (relatif) pada skala lokasi penilaian. Sebaliknya jenis *ranking* variabel yang hampir konstan atau konstan sepanjang garis pantai yang dinilai menunjukkan bahwa jenis variabel tersebut berkarakter regional hingga global. Hal yang sama pun ditunjukkan oleh tingkat kerentanan (Pendleton

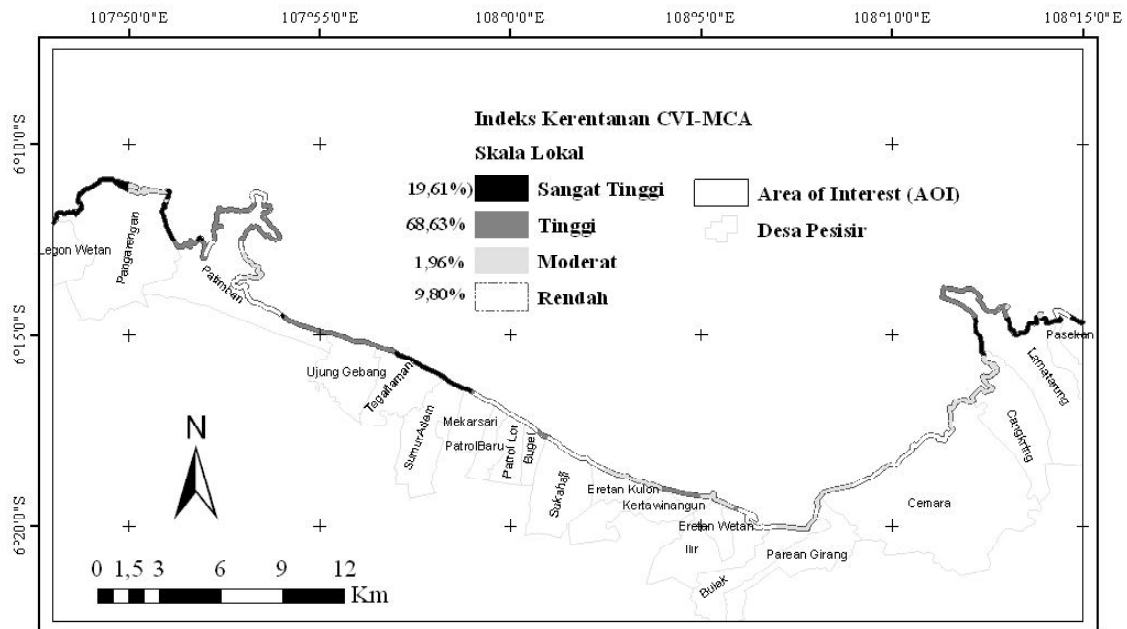
*et al.*, 2010). Hasil analisis kerentanan berupa peta indeks kerentanan yang lokal (relatif) dan global (standar) berturut-turut disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa tingkat indeks kerentanan lokal dari pantai memiliki keragaman spasial menurut ukuran AOI. Kerentanan dengan 'kategori tinggi' mendominasi di sepanjang pantai Kabupaten Subang (dari Pangarengan hingga Patimban), serta pantai Barat ke Timur Kabupaten Indramayu (dari Ujung Gebang hingga Lamatarung). Kerentanan 'kategori sangat tinggi' terdapat secara sporadis di Kabupaten Subang meliputi daerah Lagon Wetan, Pangarangan, dan Patimban. Kerentanan pantai dalam wilayah Kabupaten Indramayu dengan 'kategori sangat tinggi' terdapat di Eretan Kulon (sebelah Timur dan Barat), Eretan Wetan (seluruh pantai), Cemara (di bagian tengah dan Timur), Lamatarung (bagian tengah dan Timur), serta Karang anyar dan Pasekan (seluruh pantai kedua daerah); sedangkan kerentanan dengan 'kategori rendah' terdapat di Patimban (Kabupaten Subang); sisanya kerentanan dengan

Tabel 1. Julat Nilai Acuan Potensi Kerentanan Keenam Variabel, Julat Nilai Hasil Ekstraksi Dan Hasil Standarisasi Masing-Masing Variabel Dalam Seluruh Grid Garis Pantai, Serta Rerata Nilai Tiap Variabel Dan Kelompok Variabel

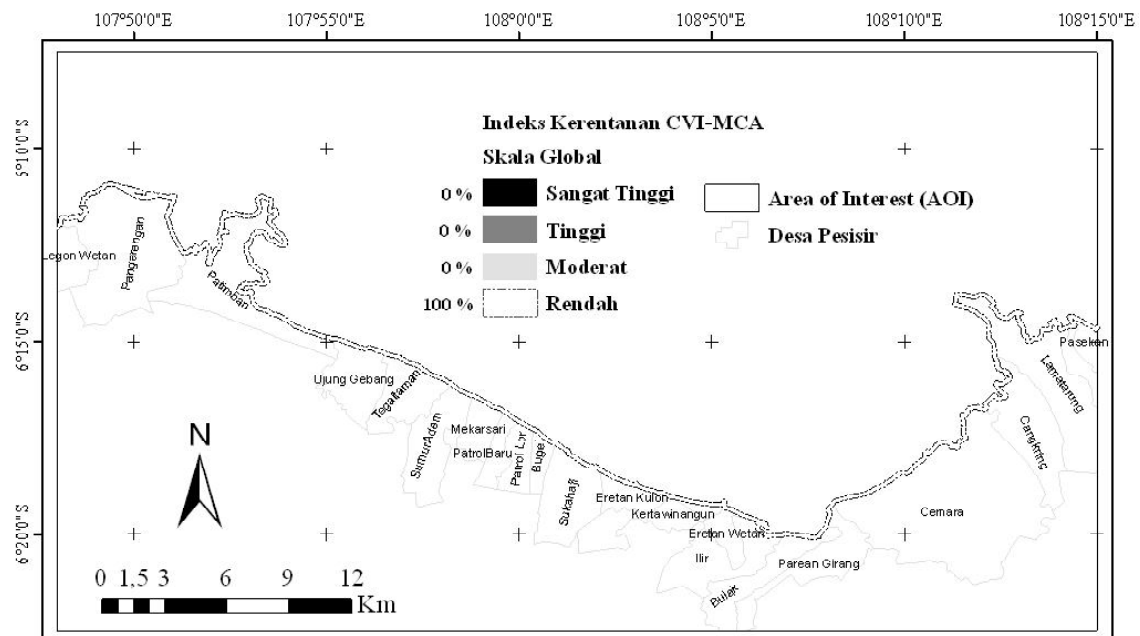
Kelp. Variabel	Variabel	Julat Data							
		Data Hasil Ekstraksi		Acuan Potensi Kerentanan		Skor Standar Variabel		Rerata (Hasil Standarisasi)	
		Min	Maks	Terburuk	Terbaik	Min	Maks	Variabel	Kelp. Variabel
A. Faktor Geologis	1. Laju per garis pantai (m/th)	-12,780	44,88	-100	44,88	0,000	0,398	0,295	0,661
	2. Geomorfologi (ranking 1-5)	3	5	5	1	0,5	1	0,711	
	3. Slope (%)	0,059	0,789	0,022	14,7	0,948	0,997	0,978	
B. Faktor Proses Fisik	4. Laju per muka laut (mm/th)	3,538	3,988	24,6	-0,68	0,167	0,185	0,176	0,116
	5. Rerata tinggi gelombang (m)	0,518	0,699	4	0,05	0,118	0,164	0,143	
	6. Rerata kisaran pasut (m)	0,413	0,814	17	0,14	0,016	0,040	0,029	

Sumber: hasil analisis



Sumber: hasil analisis

Gambar 2. Peta Indeks Kerentanan Pantai Lokal (Relatif) Kawasan Pantai Indramayu Berdasarkan Pendekatan Berbasis CVI-MCA



Sumber: hasil analisis

Gambar 3. Peta Indeks Kerentanan Pantai Global (Baku) Kawasan Pantai Indramayu Berdasarkan Pendekatan Berbasis CVI-MCA

'kategori moderat' terdapat di Patimban (Kabupaten Subang) dan Parean Giran (Kabupaten Indramayu). Secara keseluruhan, proporsi kategori kerentanan sepanjang pantai Indramayu sebagai berikut: kategori tinggi (68,63%), kategori sangat tinggi (19,61%), kategori rendah (9,80%), dan kategori moderat (1,96%). Hal menarik dapat dilihat pada kerentanan pantai Indramayu untuk tingkat global (Gambar 4), dimana meskipun kerentanan pantai bervariasi secara lokal, namun kerentanan tersebut pada tingkat global hanya terdiri atas 'kategori rendah' dalam seluruh area AOI.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Pemetaan status kerentanan kawasan pantai Indramayu dengan metode integrasi CVI-MCA menghasilkan luaran yang cukup komprehensif, baik status kerentanan pantai Indramayu pada tingkat lokal maupun pada tingkat regional dan atau global. Luaran analisis juga bisa digunakan dalam mengetahui baik variabel maupun kelompok variabel kontributor kerentanan terhadap kawasan pesisir Indramayu. Di mana secara umum kawasan pantai Indramayu memiliki kerentanan tinggi (68,63%) di tingkat lokal, namun di tingkat global keseluruhan kawasan pantai ini (100%)

memiliki kerentanan pantai yang rendah. Penelitian ini sekaligus membuktikan dampak variatif pada tingkat lokal dari fenomena global kenaikan paras laut. Berdasarkan kemampuannya menghasilkan luaran yang komprehensif dan informatif, disarankan untuk menggunakan pendekatan integrasi CVI-MCA sebagai *tool* analisis. Misalnya, bagi rencana penilaian kerentanan kawasan lain terhadap kenaikan paras laut baik pada skala lokal, nasional, regional maupun global dalam rangka keputusan pengelolaan yang obyektif bagi dampak fenomena ini.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor (SPs IPB) yang telah memberikan kesempatan kepada penulis mengikuti program magister pada program studi teknologi kelautan FPIK-IPB. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada pihak Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi - Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI (Dikti-Kemdikbud RI) yang telah memberi bantuan program Beasiswa Pendidikan Pascasarjana (BPPS) sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dan penulisan paper ini dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abuodha, P.A. and Woodroffe, C.D. (2006) Assessing Vulnerability of Coasts to Climate Change: A Review of Approaches and Their Application to the Australian Coast 2006. <http://ro.uow.edu.au/> (24 Februari 2011)
- Alexandrakis, G., Karditsa, A., Poulos, S., Ghionis, G., and Kampanis, N.A. (2009) Vulnerability Assessment for to Erosion of the Coastal Zone to A Potential Sea Level

- Rise: The Case Of The Aegean Hellenic Coast. Sydow, A. (Edt) *Environmental Systems. Eolss Pub. Oxford ,UK*
- Disaptono, S. (2008) *Teknologi Adaptasi Kenaikan Paras Muka Air Laut di Wilayah Pesisir Dan Pulau-Pulau Kecil. [Slide].* Workshop Adaptasi Dan Mitigasi Kenaikan Paras Muka Air Laut Akibat Perubahan Iklim Diwilayah Pesisir Dan Pulau-Pulau Kecil. *Millenium Hotel-Jakarta, 28 November 2008*
- Gornitz, V.M., Beaty, T.W., and Daniels, R.C. (1997) A Coastal Hazards Data Base for the US West Coast. *Oak Ridge Nat Lab, Tennessee, US*
- Hizbaron, D.R., Hadmoko, D.S., Samodra, G., Dalimunthe, S.A. dan Sartohadi, J. (2010) *Tinjauan Kerentanan, Risiko dan Zonasi Rawan Bahaya Rockfall di Kulonprogo, Yogyakarta.* Forum Geografi. *Vol. 24, No. 2, Desember, pp. 119 - 136*
- Kumar, T.S., Mahendra, R.S., Nayak, S., Radhakrishnan, K., and Sahu, K.C. (2010) Coastal Vulnerability Assessment for Orissa State, East Coast of India. *J Coast Res, 26(3): 523–534*
- Muryani C. (2010) *Analisis Perubahan Garis Pantai Menggunakan SIG serta Dampaknya terhadap Kehidupan Masyarakat di Sekitar Muara Sungai Rejoso Kabupaten Pasuruan.* Forum Geografi. *Vol. 24, No. 2, Desember, pp. 173 – 182*
- Ojeda-Zújar, J., Álvarez-Francosi, J.I., Martín-Cajaraville, D., Fraile-Jurado, P. (2009) El uso de las TIG para el cálculo del índice de Vulnerabilidad costera (CVI) ante una potencial subida del nivel del mar en la costa andaluza (España). *GeoFocus, 9:83-100*
- Özyurt, G. and Ergin, A. (2010) Improving Coastal Vulnerability Assessments to Sea-Level Rise: A New Indicator-Based Methodology for Decision Makers. *J Coast Res, 26(2): 265 – 273*
- Pendleton, E.A., Thieler, E.R., and Williams, S.J. (2010) Importance of Coastal Change Variables in Determining Vulnerability to Sea- and Lake-Level Change. *J Coast Res, 26(1): 176 – 183*
- Ramieri, E., Hartley, A., Barbanti, A., Santos, F.D., Laihonen, P., Marinova, N. and Santini, M. (2011) Methods for Assessing Coastal Vulnerability to Climate Change. *ETC CCA Background Paper. European Environment Agency, Copenhagen (DK) 8-9 June 2011.*
- Shaw, J., Taylor, R.B., Forbes, D.L., Ruz, M.H. and Solomon, S. (1998) Sensitivity of the Canadian Coast to Sea-Level Rise. *Geol Surv Can Bull 505:114*
- Siregar, V.P. dan Selamat, M.B. (2009) *Interpolasi dalam Pembuatan Kontur Peta Batimetri.* E-Jur Ilm Tekno Kel Tropis, *1(1):39-47*
- Susilo, S.B. (2006) *Indeks Keberlanjutan Pembangunan Pulau-Pulau Kecil (BPK) dengan Sidik Kriteria Ganda (SKG).* Jur Pesisir dan Lautan, *Vol. 7, No. 2, pp.52-70*
- Teknomo, K. (2006) Evaluation Based on Ranks: Analytic Hierarchy Process (AHP) Tutorial. <http://people.revoledu.com/kardi/tutorial/ahp> (24 Mei 2011).

# HASIL AMAN PENURAPAN AIRTANAH UNTUK KEBUTUHAN NON PERTANIAN DI KABUPATEN BANTUL

## *Safe Yield Geoundwater Exploitation for Non Agricultural Usage at Bantul Regency*

Setyawan Purnama

Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

Email: SetyaPurna@geo.ugm.ac.id

### **ABSTRACT**

*There are three objectives of this research. First, to calculate the potency of groundwater in Bantul District, second, to calculate the utilization for non agricultural usage and third, to analyze the safe yield of groundwater exploitation for non agricultural usage. To achieve these objectives, groundwater potency is calculated by static method, i.e. by multiplying area width, aquifer thickness and specific yield. Non Agricultural usage is determined by calculating the water utilization for domestic, industry, hotel and livestock. Safe yield is calculated base on area width, groundwater fluctuation and its specific yield. The groundwater resources potency of research area that has area width 506,85 km<sup>2</sup>, amounted 10.059.393.198 m<sup>3</sup>/year, whereas the safe yield is 260.365.868 m<sup>3</sup>/year. Water utilization for domestic, industry, hotel and livestock is 21.658.541 m<sup>3</sup>/year. Reviewed number of potency and utilization, the potency of groundwater in the research area is still able to meet its water needs for non agricultural because the usage have not exceeded its safe yield. Although the groundwater potency is high, the agricultural sector in Bantul District does not use groundwater resources significantly.*

**Keywords:** safe yield, groundwater, Bantul District

### **ABSTRAK**

*Penelitian ini mempunyai tiga tujuan yaitu (1) menghitung dan menganalisis ketersediaan airtanah di daerah penelitian, (2) menghitung dan menganalisis kebutuhan air untuk penggunaan non pertanian dan (3) mengevaluasi hasil aman penurapan airtanah. Untuk mencapai tiga tujuan tersebut dilakukan perhitungan ketersediaan airtanah, hasil aman dan pemanfaatannya secara aktual pada saat ini. Ketersediaan airtanah dihitung berdasarkan perkalian antara luas wilayah, tebal akuifer dan spesifik yield. Kebutuhan air untuk sektor non pertanian ditentukan berdasarkan kebutuhan air untuk keperluan domestik, industri, perhotelan dan peternakan, sedangkan hasil amannya dihitung berdasarkan perkalian antara luas wilayah, fluktuasi muka airtanah tahunan dan spesifik yield. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketersediaan airtanah di Kabupaten Bantul yang luas wilayahnya 506,85 km<sup>2</sup> mencapai 10.059.393.198 m<sup>3</sup>/tahun, sedangkan hasil aman penurapannya adalah 260.365.868 m<sup>3</sup>/tahun. Kebutuhan air untuk keperluan domestik, industri, hotel dan peternakan di Kabupaten Bantul sebesar 21.658.541 m<sup>3</sup>/tahun. Berdasarkan hasil perhitungan ini dapat diketahui bahwa ketersediaan airtanah di Kabupaten Bantul masih mencukupi untuk mendukung keperluan air untuk sektor domestik, industri, hotel dan peternakan. Kebutuhan air keempat sektor tersebut masih belum melampaui hasil amannya. Meskipun ketersediaan airtanah di Kabupaten Bantul cukup tinggi, namun hal ini tidak membuat sektor pertanian (pertanian dan perikanan) di daerah ini menggunakannya secara signifikan.*

**Kata kunci:** hasil aman, airtanah, Kabupaten Bantul



## PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan peradaban, kebutuhan manusia di berbagai aspek semakin meningkat tidak terkecuali kebutuhan akan sumber air. Saat ini semakin banyak permasalahan yang berkaitan dengan kebutuhan dan penyediaan sumberdaya air. Hal yang diinginkan adalah adanya sumberdaya air yang jumlahnya mencukupi, kualitasnya baik dan terdistribusi merata secara ruang maupun waktu.

Di masa lalu, sebelum dimanfaatkan untuk berbagai keperluan dan jumlah yang besar, permasalahan yang berkaitan dengan sumberdaya air belum dihadapi manusia karena masih mencukupi kebutuhan masyarakat (Murtiono, 2009). Saat ini, dirasakan bahwa jenis dan banyaknya kebutuhan air begitu meningkat, sehingga harus diatur sedemikian rupa agar dapat memenuhi kebutuhan semua sektor secara baik, teratur dan lestari.

Salah satu sumber air yang sangat penting dalam mendukung kehidupan manusia sehari-hari adalah airtanah. Hingga saat ini airtanah masih merupakan sumber air utama di berbagai wilayah, khususnya untuk kegiatan non pertanian seperti untuk keperluan domestik, industri dan peternakan.

Penurunan airtanah yang tidak terkendali dapat mengakibatkan berbagai akibat pada lingkungan, seperti misalnya penurunan muka airtanah, intrusi air laut dan bahkan penurunan muka tanah (*land subsidence*) (Fetter, 1988 ; Emmanuel and Chukwu, 2010 ; Obikoya and Bennel, 2010 ; Marandi and Vallner, 2010 ; Todd and Mays, 2005). Penurunan airtanah tidak boleh melebihi hasil amannya (*safe yield*), yaitu suatu ukuran yang menunjukkan sejumlah airtanah yang dapat diturap dari suatu Cekungan Airtanah (CAT) tanpa mengganggu kondisi akuifernya (Todd, 1959). Menurut Seyhan (1977), adalah

tidak benar untuk menganggap hasil aman adalah setara dengan besarnya imbuhan airtanah karena hasil aman hanya merupakan sebagian dari imbuhan airtanah. Sebagian air lainnya akan hilang dari akuifer dengan berbagai cara.

Kabupaten Bantul adalah salah satu kabupaten di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta yang mempunyai wilayah pesisir. Secara geomorfologis, wilayahnya terletak pada satuan lahan dataran fluvial Gunungapi Merapi. Ditinjau dari material batuanannya, wilayah ini mempunyai kandungan airtanah yang cukup besar. Bahkan karena termasuk Sistem Akuifer Merapi (SAM) yang berlapis banyak, lapisan akuifer dapat dijumpai pada beberapa lapisan kedalaman (MacDonald and Partners, 1984).

Meskipun demikian, karena perkembangan jumlah penduduk dan perkembangan sektor ekonomi, kebutuhan akan air khususnya airtanah juga semakin meningkat. Untuk itu perlu dilakukan perhitungan dan evaluasi keberadaan sumberdaya air ini, agar pemanfaatannya tidak melebihi hasil amannya, yang selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan pembangunan secara menyeluruh.

Berdasarkan pada latar belakang ini, maka penelitian ini mempunyai tujuan untuk (1) menghitung dan menganalisis ketersediaan airtanah di daerah penelitian, (2) menghitung dan menganalisis kebutuhan air untuk penggunaan non pertanian di daerah penelitian dan (3) mengevaluasi hasil aman penurunan airtanah di di daerah penelitian.

## METODOE PENELITIAN

### Perhitungan Ketersediaan Air

Ketersediaan airtanah yang dimaksud dalam penelitian ini adalah jumlah airtanah

yang tersedia per kapita dalam angka rata-rata tahunan. Ketersediaan airtanah diperhitungkan dengan pendekatan statis menggunakan rumus (MacDonald and Partners. 1984) :

$$Vat = Sy \times Vak$$

dengan *Vat* adalah volume airtanah yang dapat lepas dari akuifer, *Sy* adalah *specific yield* atau persentase air yang dapat lepas dari akuifer (ditentukan menggunakan tabel *Sy* berdasarkan jenis material batuan penyusun akuifer dari data sumur bor) dan *Vak* adalah volume akuifer (luas penampang akuifer dikalikan dengan tebal akuifer).

### Perhitungan Hasil Aman

Pada akuifer bebas, hasil aman airtanah dapat ditunjukkan oleh fluktuasi airtanah, luas akuifer dan spesifik yield, dan dihitung dengan persamaan (Todd, 1959):

$$\text{Hasil Aman} = F \cdot A \cdot Sy$$

dengan *F* adalah fluktuasi muka airtanah yang diperoleh melalui wawancara dengan penduduk, dan *A* adalah luas akuifer yang diperoleh dari data luas wilayah administrasi.

### Penentuan Kebutuhan Air

Dalam penelitian ini, kebutuhan air yang diperhitungkan adalah kebutuhan air untuk keperluan non pertanian yaitu domestik, industri, hotel dan peternakan. Kebutuhan air untuk keperluan domestik ditentukan menurut besarnya jumlah penduduk dan jumlah kebutuhan air per kapita per hari. Menurut Mangku Sitepoe (1997 dalam Priyana dan Safriningsih, 2005), kebutuhan air di kota besar pada umumnya adalah >150 liter/kapita/hari, di kota sedang 80-150 liter/kapita/hari, kota kecamatan 60-80 liter/kapita/hari dan desa berkisar antara 30-60 liter/kapita/hari. Berdasarkan kriteria ini, karena ibukota Kabupaten Bantul termasuk kota sedang dengan

sebagian besar wilayahnya merupakan daerah perdesaan, maka ditentukan kebutuhan airnya antara 60-120 liter/orang/hari.

Kebutuhan air untuk industri dihitung berdasarkan jumlah karyawan industri dan konsumsi pemakaian air per karyawan per hari serta kebutuhan air untuk proses industri itu sendiri (Nippon Koei, Co., Ltd. 1993). Standar kebutuhan air untuk industri sedang adalah 20.000 l/unit/hari. Kebutuhan air untuk hotel ditentukan oleh jumlah kamar dan tingkat hunian hotel. Standard kebutuhan air untuk hotel adalah 150 liter/hari/orang.

Kebutuhan air untuk peternakan dihitung berdasarkan jumlah ternak dan konsumsi air per ekor per hari, dimana jenis ternak yang diperhitungkan kebutuhan airnya adalah sapi-kerbau-kuda, kambing-domba, babi dan unggas. Standar kebutuhan air untuk sapi atau kerbau sebesar 40 liter/ekor/hari, domba atau kambing sebesar 5 liter/ekor/hari, babi sebesar 6 liter/ekor/hari, dan unggas sebesar 0.6 liter/ekor/hari (Departemen Pekerjaan Umum, 1997).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sebaran Curah Hujan

Sumber utama airtanah adalah dari curah hujan. Berdasarkan Peta Isohyet (Gambar 1), diketahui bahwa potensi curah hujan di daerah penelitian cukup tinggi dengan sebaran curah hujan yang bervariasi. Sebagian besar daerah penelitian (54,12%) mempunyai curah hujan pada kisaran 1.800-2.100 mm/tahun, 20,31% wilayah mempunyai curah hujan antara 1.500-1.800 mm/tahun dan 17,98% wilayah mempunyai curah hujan antara 2.100-2.400 mm/tahun. Daerah yang memiliki curah hujan kurang dari 1.500 mm/tahun hanya meliputi 3,24%, sedangkan daerah yang

memiliki curah hujan lebih dari 2.400 mm/tahun meliputi 4,36% wilayah.

### Satuan Akuifer di Daerah Penelitian

#### a. Satuan Akuifer Dataran Kaki, Dataran Fluvio Vulkanik Merapi dan Dataran Fluvio Marin

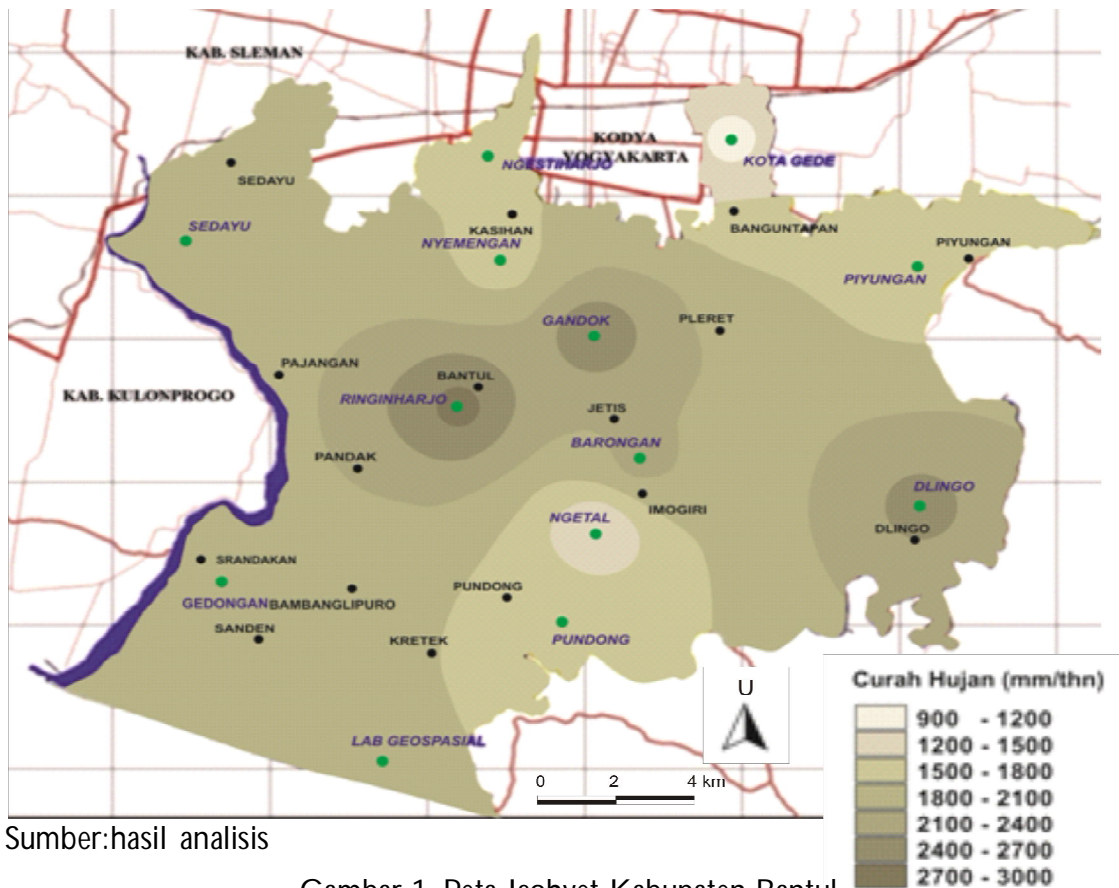
Satuan akuifer ini sering pula disebut Satuan Akuifer Merapi III, yang dijumpai mulai dari Kalasan dan Yogyakarta ke arah selatan hingga mendekati gumuk pasir. Sebagian besar material penyusunnya berupa pasir dengan lempung sebagai sisipan-sisipan. Batuan dasar yang mengalasi sistem akuifer ini adalah batugamping dan napal dari Formasi Sentolo.

Menurut MacDonald and Partners (1984), satuan Akuifer Dataran Kaki, Dataran Fluvio Vulkanik Merapi dan Dataran Fluvio Marin merupakan akuifer mayor, yaitu akuifer berkemampuan tinggi yang

mampu menyediakan air untuk keperluan domestik dan industri secara memadai. Ditinjau dari karakteristik akuifernya, permeabilitas akuifer ini tergolong dalam kriteria cepat mencapai 59,9 m/hari, sedangkan transmisibilitas akuifer dan debit jenis mencapai 921,9 m<sup>2</sup>/hari dan 4,00 m<sup>3</sup>/det/m.

#### b. Satuan Akuifer Lereng Kaki dan Perbukitan Baturagung

Berdasarkan kondisi batuanannya, MacDonald and Partners (1984) menyatakan bahwa Perbukitan Baturagung bukan merupakan akuifer, namun merupakan daerah airtanah langka. Nilai permeabilitas dan transmisibilitas akuifer di sistem akuifer ini tidak bisa ditentukan. Namun demikian, di bagian lereng kaki bagian barat dan lembah antara perbukitan berupa endapan koluvium yang mampu menyimpan air dengan cukup baik. Permeabilitas akuifer



Gambar 1. Peta Isohyet Kabupaten Bantul

rata-rata di daerah ini termasuk dalam kategori sedang yaitu sebesar 1,72 m/hari, sedangkan transmisibilitas rata-ratanya sebesar 12,55 m<sup>2</sup>/hari.

### c. Satuan Akuifer Perbukitan Sentolo

Satuan akuifer ini terdapat di sebagian wilayah Kecamatan Pajangan dan Pandak dengan relief bergelombang. Akuifer ini merupakan bagian dari Perbukitan Sentolo yang ada di sebelah baratnya dan dipisahkan oleh endapan aluvium. Material penyusun satuan akuifer ini berupa batu gamping dan napal yang padu dengan material lepas hasil pelapukan terdapat sangat tipis di permukaan. MacDonald and Partners (1984) mengklasifikasikan akuifer ini sebagai akuifer minor yaitu akuifer yang potensi airnya terbatas dan hanya cukup untuk menyediakan air domestik yang terbatas.

### d. Satuan Akuifer Gumuk Pasir

Satuan akuifer ini terdapat di sepanjang pantai selatan daerah penelitian mulai dari muara Sungai Opak di bagian barat hingga Pegunungan Baturagung di bagian timur (MacDonald and Partners, 1984). Lebar akuifer ini berkisar antara 3 hingga 4 km, dengan material penyusun berupa pasir lepas yang berasal dari Gunungapi Merapi. Material tersebut dibawa ke laut oleh Sungai Opak dan dihempaskan kembali ke daratan oleh ombak dan angin.

Akuifer ini mempunyai ketebalan antara 20 – 45 meter. Semakin ke utara ketebalannya semakin berkurang membentuk struktur baji, dengan dasar akuifer berupa lempung dari endapan marin. Di atas permukaan, sistem akuifer ini dicirikan oleh perselingan antara beting gisik dan *swale*. Material di *swale* relatif lebih halus dibandingkan dengan beting gisik.

## Ketersediaan Airtanah di Daerah Penelitian

Ketersediaan airtanah di daerah penelitian diperoleh berdasarkan analisis satuan akuifer. Berdasarkan analisis ini, ditentukan ketersediaan airtanah pada masing-masing kecamatan, yaitu perkalian antara tebal akuifer, spesifik yield (Sy), dan luas wilayah masing-masing kecamatan. Hasil aman airtanah untuk diturap merupakan hasil perkalian antara luas wilayah, spesifik yield dan fluktuasi airtanah. Hasil perhitungan kedua parameter ini ditunjukkan pada Tabel 1.

## Pemanfaatan Sumberdaya Airtanah

Memperhatikan Tabel 2, jumlah kebutuhan air untuk keperluan domestik di daerah penelitian adalah sebesar 19.295.414 m<sup>3</sup>/tahun. Ditinjau per kecamatan, Kecamatan Kasihan mempunyai kebutuhan air domestik terbesar yaitu 2.029.626 m<sup>3</sup>/tahun, sedangkan Kecamatan Srandakan mempunyai kebutuhan air domestik terkecil yaitu 690.332 m<sup>3</sup>/tahun.

Menurut data dalam Bantul dalam Angka Tahun 2010, Kabupaten Bantul mempunyai 143 industri dengan berbagai jenis usaha. Jumlah industri terbanyak terdapat di Kecamatan Sewon yaitu 45 industri, sedangkan Kecamatan Kretek sama sekali tidak mempunyai industri. Karena jumlahnya terbanyak, kebutuhan air untuk industri di Kecamatan Sewon-pun juga terbesar yaitu sebesar 328.500 m<sup>3</sup>/tahun, sedangkan total kebutuhan air untuk industri di Kabupaten Bantul adalah sebesar 1.051.200 m<sup>3</sup>/tahun.

Dari 18 Kecamatan yang ada di daerah penelitian, hanya 4 kecamatan yang mempunyai fasilitas perhotelan, yaitu Kecamatan Kretek, Sewon, Banguntapan dan Piyungan. Kecamatan Kretek mempunyai 26 hotel dengan 286 kamar. Kecamatan Piyungan mempunyai 2 hotel dengan 23 kamar. Kecamatan Banguntapan

Tabel 1. Ketersediaan Airtanah di Daerah Penelitian Berdasarkan Satuan Akuifer dan Kecamatan

No.	Kecamatan	Satuan Akuifer	Tebal Akuifer (m)	Fluktuasi (m)	Sy (%)	Luas (m <sup>2</sup> )	Jumlah Simpanan (m <sup>3</sup> )	Hasil Aman (m <sup>3</sup> )	Total Simpanan (m <sup>3</sup> )	Total Hasil Aman (m <sup>3</sup> )	
1	Banwanglipuro	Dataran Fluvio Vulkanik Merapi	100,00	2,50	0,25	21.226.253	530.656.316	13.266.408	530.656.316	13.266.408	
		Perbukitan Struktural Sentolo	-	-	0,05	514.277	-	-	-	-	-
2	Banguntapan	Dataran Fluvio Vulkanik Merapi	100,00	2,50	0,25	79.663	1.991.565	49.789	1.331.114.750	31.948.780	
		Dataran Kaki Gunungapi Merapi	125,00	3,00	0,35	30.379.955	1.329.123.021	31.898.952	-	-	-
3	Pantul	Lembah Antar Perbukitan Baturagung	15,00	3,50	0,12	91	165	38	-	-	-
		Dataran Fluvio Vulkanik Merapi	100,00	2,50	0,25	19.597.908	489.947.702	12.248.693	527.072.583	13.139.690	
4	Dlingo	Dataran Kaki Gunungapi Merapi	125,00	3,00	0,35	848.569	37.124.881	890.997	-	-	-
		Lembah Antar Perbukitan Baturagung	15,00	3,50	0,12	7.764.598	13.976.277	3.261.131	13.976.277	3.261.131	
5	Imogiri	Perbukitan Struktural Baturagung	-	-	0,03	51.805.323	-	-	-	-	-
		Dataran Fluvio Vulkanik Merapi	100,00	2,50	0,25	6.295.566	157.389.141	3.934.729	178.610.927	8.886.479	
6	Jetis	Lembah Antar Perbukitan Baturagung	15,00	3,50	0,12	11.789.881	21.221.787	4.951.750	-	-	-
		Perbukitan Struktural Baturagung	-	-	0,03	36.150.361	-	-	-	-	-
7	Kasilhan	Dataran Fluvio Vulkanik Merapi	100,00	2,50	0,25	23.059.081	576.477.033	14.411.926	576.477.033	14.411.926	
		Perbukitan Struktural Baturagung	-	-	0,03	4.018	-	-	-	-	-
8	Kretek	Dataran Fluvio Vulkanik Merapi	100,00	2,50	0,25	189.930	4.748.245	118.706	1.270.756.326	30.502.900	
		Dataran Kaki Gunungapi Merapi	125,00	3,00	0,35	28.937.328	1.266.008.081	30.384.194	-	-	-
9	Kretek	Perbukitan Struktural Sentolo	-	-	0,05	4.668.709	-	-	-	-	-
		Dataran Fluvio Vulkanik Merapi	100,00	2,50	0,25	15.888.993	397.224.831	9.930.621	489.215.338	13.736.848	
10	Kretek	Dataran Fluvio Marin	100,00	2,50	0,15	3.454.542	51.818.123	1.295.453	-	-	-
		Gumuk Pasir dan Beting Gisik Pantai Perbukitan Struktural Baturagung	40,00	2,50	0,38	2.642.920	40.172.384	2.510.774	-	-	-
			-	-	0,03	3.548.939	-	-	-	-	



9	Pajangan	Dataran Fluvio Volkanik Merapi	100,00	2,50	0,25	11.462.719	286.567.981	7.164.200	291.637.945	7.285.879
		Dataran Kaki Gunungapi Merapi	125,00	3,00	0,35	11.5.885	5.069.965	121.679		
		Perbukitan Struktural Sentolo	-	-	0,05	20.197.529	-	-	-	-
10	Pandak	Dataran Fluvio Volkanik Merapi	100,00	2,50	0,25	20.634.439	515.860.971	12.896.524	515.860.971	12.896.524
		Perbukitan Struktural Sentolo	-	-	0,05	3.162.446	-	-	-	-
11	Piyungan	Dataran Kaki Gunungapi Merapi	125,00	3,00	0,35	13.718.236	600.172.821	14.404.148	608.445.057	16.334.336
		Lembah Antar Perbukitan Baturagung	15,00	3,50	0,12	4.595.687	8.272.236	1.930.189		
		Perbukitan Struktural Baturagung	-	-	0,03	16.497.206	-	-	-	-
12	Pleret	Dataran Fluvio Volkanik Merapi	100,00	2,50	0,25	4.868.704	121.717.589	3.042.940	389.044.180	10.822.298
		Dataran Kaki Gunungapi Merapi	125,00	3,00	0,35	5.961.439	260.812.961	6.259.511		
		Lembah Antar Perbukitan Baturagung	15,00	3,50	0,12	3.618.684	6.513.630	1.519.847		
		Perbukitan Struktural Baturagung	-	-	0,03	9.858.727	-	-	-	-
13	Pundong	Dataran Fluvio Volkanik Merapi	100,00	2,50	0,25	15.250.515	381.262.873	9.531.572	381.307.313	9.541.941
		Lembah Antar Perbukitan Baturagung	15,00	3,50	0,12	24.689	44.440	10.369		
		Perbukitan Struktural Baturagung	-	-	0,03	8.176.702	-	-	-	-
14	Sanden	Dataran Fluvio Volkanik Merapi	100,00	2,50	0,25	17.109.782	427.744.550	10.693.614	517.027.305	13.893.303
		Dataran Fluvio Marin	100,00	2,50	0,15	4.231.969	63.479.539	1.586.988		
		Gumuk Pasir dan Beting Gisik Pantai	40,00	2,50	0,38	1.697.580	25.803.216	1.612.701		
15	Sedayu	Dataran Fluvio Volkanik Merapi	100,00	2,50	0,25	6.791.686	169.792.147	4.244.804	903.654.686	21.857.505
		Dataran Kaki Gunungapi Merapi	125,00	3,00	0,35	16.774.001	733.862.539	17.612.701		
		Perbukitan Struktural Sentolo	-	-	0,05	6.860.223	-	-	-	-
16	Sewon	Dataran Fluvio Volkanik Merapi	100,00	2,50	0,25	5.156.151	128.903.775	3.222.594	1.096.908.183	26.454.700
		Dataran Kaki Gunungapi Merapi	125,00	3,00	0,35	22.125.815	968.004.408	23.232.106		
17	Strandakan	Dataran Fluvio Volkanik Merapi	100,00	2,50	0,25	15.052.806	376.320.153	9.408.004	437.628.008	12.124.220
		Dataran Fluvio Marin	100,00	2,50	0,15	1.983.156	29.747.335	743.683		
		Gumuk Pasir dan Beting Gisik Pantai	40,00	2,50	0,38	2.076.350	31.560.520	1.972.533		
									10.059.393.198	260.365.868

Sumber: Bidang Pertambangan dan Energi Disperindagkop Provinsi DIY dan perhitungan

mempunyai 7 hotel dengan 82 kamar dan Kecamatan Sewon mempunyai 4 hotel dengan 46 kamar. Dengan total 39 hotel dan 437 kamar tersebut, kebutuhan air untuk sektor perhotelan di Kabupaten Bantul adalah sebesar 24.027 m<sup>3</sup>/tahun.

Di daerah penelitian terdapat banyak usaha peternakan, baik ternak besar maupun ternak kecil. Jenis-jenis ternak besar yang dibudidayakan oleh penduduk antara lain, sapi, kerbau, kuda, kambing, domba dan babi, sedangkan jenis-jenis ternak kecil yang dibudidayakan adalah beberapa jenis unggas seperti ayam ras, ayam pedaging dan itik. Untuk ternak besar, kebutuhan air untuk sapi adalah 768.602 m<sup>3</sup>/tahun, kerbau 9.884 m<sup>3</sup>/tahun, kuda 11.826 m<sup>3</sup>/

tahun, kambing 74.832 m<sup>3</sup>/tahun, domba 42.079 m<sup>3</sup>/tahun dan babi 13.417 m<sup>3</sup>/tahun (Tabel 3). Untuk ternak kecil, kebutuhan air untuk ayam ras petelur 97.448 m<sup>3</sup>/tahun, ayam ras pedaging 129.272 m<sup>3</sup>/tahun, ayam buras 116.518 m<sup>3</sup>/tahun dan itik 24.022 m<sup>3</sup>/tahun (Tabel 4).

### Evaluasi Ketersediaan Airtanah dan Hasil Aman

Airtanah adalah salah satu bagian sumberdaya air yang banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Di daerah penelitian, airtanah juga banyak dimanfaatkan oleh penduduk untuk mencukupi keperluan hidup sehari-hari. Berdasarkan hasil pengamatan, airtanah di daerah penelitian banyak digunakan untuk kebutuhan non

Tabel 2. Kebutuhan Air Domestik, Industri dan Hotel per Kecamatan di Daerah Penelitian Tahun 2010

No	Kecamatan	Domestik		Industri		Hotel	
		Jumlah Penduduk (Jiwa)	Kebutuhan Air (m <sup>3</sup> /tahun)	Jumlah Industri	Kebutuhan Air (m <sup>3</sup> /tahun)	Jumlah Hotel/Kamar	Kebutuhan Air (m <sup>3</sup> /tahun)
1.	Srandakan	31,522	690.332	4	29.200	-	-
2.	Sanden	36,510	799.569	1	7.300	-	-
3.	Kretek	32,414	709.867	0	0	26/286	15.659
4.	Pundong	33,069	724.211	2	14.600	-	-
5.	Bambanglipuro	44,993	985.347	1	7.300	-	-
6.	Pandak	51,765	1.133.654	2	14.600	-	-
7.	Bantul	62,415	1.366.889	10	73.000	-	-
8.	Jetis	52,515	1.150.079	4	29.200	-	-
9.	Imogiri	62,118	1.360.384	1	7.300	-	-
10.	Dlingo	42,430	929.217	1	7.300	-	-
11.	Pleret	42,403	928.626	4	29.200	-	-
12.	Piyungan	42,163	923.370	6	43.800	2/23	1.259
13.	Banguntapan	91,355	2.000.675	17	124.100	7/82	4.490
14.	Sewon	82,064	1.797.202	45	328.500	4/46	2.519
15.	Kasih	92,677	2.029.626	30	219.000	-	-
16.	Pajangan	33,436	732.248	7	51.100	-	-
17.	Sedayu	47,220	1.034.118	9	65.700	-	-
Jumlah		881.069	19.295.414	143	1.051.200	39/437	24.027

Sumber: Bantul dalam Angka 2010 dan perhitungan

Tabel 3. Kebutuhan Air untuk Ternak Besar per Kecamatan di Daerah Penelitian Tahun 2010

No.	Kecamatan	Jumlah Populasi Ternak Besar dan Kebutuhan Air											
		Sapi		Kerbau		Kuda		Kambing		Domba		Babi	
		Jumlah Populasi	Kebutuhan Air	Jumlah Populasi	Kebutuhan Air	Jumlah Populasi	Kebutuhan Air	Jumlah Populasi	Kebutuhan Air	Jumlah Populasi	Kebutuhan Air	Jumlah Populasi	Kebutuhan Air
1	Srandakan	3.661	53.451	38	555	0	0	3.157	5.762	651	1.188	430	1.570
2	Sanden	2.702	39.449	54	788	0	0	2.683	4.896	1.444	2.635	134	489
3	Kretek	2.607	38.062	15	219	87	1.202	1.212	2.212	777	1.418	22	80
4	Pundong	2.946	43.012	25	365	0	0	1.488	2.716	1.156	2.110	27	99
5	Bambanglipuro	4.664	68.094	0	0	0	0	1.632	2.978	1.053	1.922	105	383
6	Pandak	3.439	50.209	0	0	0	0	2.232	4.073	1.785	3.258	155	566
7	Bantul	2.452	35.799	60	876	23	318	2.121	3.871	2.915	5.320	15	55
8	Jetis	2.101	30.675	103	1.504	14	193	2.107	3.845	2.031	3.707	0	0
9	Imogiri	2.196	32.062	93	1.358	0	0	6.863	12.525	3.080	5.621	0	0
10	Dlingo	6.319	92.257	0	0	0	0	7.955	14.518	374	683	0	0
11	Pleret	3.153	46.034	16	234	226	3.122	408	745	2.377	4.338	0	0
12	Piyungan	3.956	57.758	7	102	48	663	2.944	5.373	927	1.692	0	0
13	Banguntapan	1.512	22.075	126	1.840	331	4.573	478	872	777	1.418	0	0
14	Sewon	1.994	29.112	77	1.124	94	1.299	843	1.538	974	1.778	0	0
15	Kasihan	2.750	40.150	3	44	21	290	1.107	2.020	1.609	2.936	2.730	9.965
16	Pajangan	4.149	60.575	0	0	0	0	2.786	5.084	857	1.564	0	0
17	Sedayu	2.043	29.828	60	876	12	166	988	1.803	270	493	58	212
	Jumlah	52.644	768.602	677	9.884	856	11.826	41.004	74.832	23.057	42.079	3.676	13.417

Sumber: Bantul Dalam Angka 2010 dan perhitungan



pertanian seperti untuk keperluan domestik, rumah sakit, peribadatan, pendidikan, industri, hotel dan peternakan.

Ditinjau dari satuan akuifernya, daerah penelitian masuk dalam cakupan tujuh satuan akuifer yaitu Dataran Kaki Gunungapi Merapi, Dataran Fluvio Volkanik Merapi, Dataran Fluvio Marin, Gumuk Pasir, Lereng Kaki/Lembah Antar Perbukitan Baturagung, Perbukitan Struktural Baturagung dan Perbukitan Struktural Sentolo. Mendasarkan pada ketujuh satuan akuifer tersebut, dapat dihitung ketersediaan airtanah di daerah penelitian sebesar 10.059.393.198 m<sup>3</sup>/tahun, sedangkan hasil aman penurapannya adalah sebesar 260.365.868 m<sup>3</sup>/tahun.

Secara keruangan, ketujuh satuan akuifer tersebut ternyata lebih menentukan sebaran

total simpanan airtanah di daerah penelitian daripada sebaran curah hujannya. Sebagai contoh Kecamatan Kasihan yang mempunyai curah hujan tahunan rendah yaitu hanya 1.500-1.800 mm/tahun, ketersediaan airtanahnya justru tinggi, yaitu mencapai 1.270.756.326 m<sup>3</sup>/tahun. Di lain pihak, Kecamatan Dlingo dengan curah hujan yang mencapai 2.100-2.400 mm/tahun, justru total simpanan airtanahnya hanya 13.976.266 m<sup>3</sup>/tahun.

Ditinjau dari penggunaannya, hasil perhitungan menunjukkan bahwa kebutuhan air di daerah penelitian adalah sebesar 21.658.541 m<sup>3</sup>/tahun dengan rincian untuk keperluan domestik sebesar 19.295.414 m<sup>3</sup>/tahun, industri 1.051.200 m<sup>3</sup>/tahun, hotel 24.027 m<sup>3</sup>/tahun dan peternakan 1.287.900 m<sup>3</sup>/tahun.

Tabel 4. Kebutuhan Air untuk Ternak Kecil per Kecamatan di Daerah Penelitian Tahun 2010

No	Kecamatan	Jumlah Populasi Ternak Kecil dan Kebutuhan Air							
		Ayam Ras Petelur		Ayam Ras Pedaging		Ayam Buras		Itik	
		Jumlah Populasi	Kebutuhan Air	Jumlah Populasi	Kebutuhan Air (m <sup>3</sup> /tahun)	Jumlah Populasi	Kebutuhan Air (m <sup>3</sup> /tahun)	Jumlah Populasi	Kebutuhan Air (m <sup>3</sup> /tahun)
1	Srandakan	31.639	6.929	4.705	1.030	35.613	7.799	2.471	541
2	Sanden	90.188	19.751	111.993	24.526	31.858	6.977	3.419	749
3	Kretek	0	0	17.453	3.822	23.897	5.233	11.187	2.450
4	Pundong	5.634	1.234	55.568	12.169	43.980	9.632	3.418	749
5	Bambanglipuro	8.350	1.829	3.258	714	50.192	10.992	4.470	979
6	Pandak	11.000	2.409	18.469	4.045	18.930	4.146	2.732	598
7	Bantul	23.757	5.203	32.914	7.208	38.706	8.477	13.050	2.858
8	Jetis	504	110	11.505	2.520	17.570	3.848	18.037	3.950
9	Imogiri	1.879	412	1.750	383	13.478	2.952	3.261	714
10	Dlingo	38	8	49.920	10.932	40.637	8.900	1.476	323
11	Pleret	538	118	24.771	5.425	30.676	6.718	2.218	486
12	Piyungan	13.616	2.982	56.335	12.337	23.250	5.092	6.456	1.414
13	Banguntapan	0	0	20.827	4.561	34.093	7.466	6.997	1.532
14	Sewon	0	0	13.124	2.874	19.099	4.183	6.000	1.314
15	Kasihan	5.308	1.162	15.201	3.329	44.497	9.745	5.213	1.142
16	Pajangan	234.133	51.275	147.229	32.243	34.797	7.621	18.234	3.993
17	Sedayu	18.382	4.026	5.259	1.152	30.774	6.740	1.050	230
<b>Jumlah</b>		<b>444.966</b>	<b>97.448</b>	<b>590.281</b>	<b>129.272</b>	<b>532.047</b>	<b>116.518</b>	<b>109.689</b>	<b>24.022</b>

Sumber: Bantul dalam Angka 2010 dan perhitungan

Berdasarkan perhitungan ini dapat diketahui bahwa ketersediaan airtanah di daerah penelitian masih mampu mencukupi kebutuhannya.

Sebagai catatan, dalam penelitian ini aspek waktu tidak ikut dipertimbangkan. Artinya ketersediaan airtanah dihitung secara total selama satu tahun, dengan tidak membedakan ketersediaannya di musim penghujan dan kemarau.

### KESIMPULAN DAN SARAN

- 1) Ketersediaan airtanah di Kabupaten Bantul adalah sebesar 10.059.393.198 m<sup>3</sup>/tahun, sedangkan hasil aman penurapannya adalah 260.365.868 m<sup>3</sup>/tahun
- 2) Kebutuhan air untuk keperluan domestik, industri, hotel dan pe-

ternakan di Kabupaten Bantul adalah sebesar 21.658.541 m<sup>3</sup>/tahun.

- 3) Ketersediaan airtanah di Kabupaten Bantul masih mencukupi untuk mendukung keperluan air untuk sektor domestik, industri, hotel dan peternakan. Kebutuhan air keempat sektor tersebut masih belum melampaui hasil amannya.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan bagian dan pengembangan dari penelitian yang berjudul "Studi Neraca Air Kabupaten Bantul" yang didanai oleh Dinas Sumberdaya Air Kabupaten Bantul. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Jazis Santosa, SSi, Wiriadi, SSi dan Sutarno, SSi atas bantuannya dalam pengumpulan dan perhitungan data.

### DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum. (1997). *Studi Keseimbangan Air di Pulau Jawa*. Proyek Pembinaan Pengelolaan Sumberdaya Air, Direktorat Pendayagunaan Sumberdaya Air, Direktorat Jenderal Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Emmanuel B.E and L.O. Chukwu. (2010). Spatial Distribution on Saline Water and Possible Sources of Intrusion into Tropical Freshwater Lagoon and Transitional Effects on the Lacustrine Ichthyofaunal Diversity. *African Journal of Environmental Science and Technology* 4 (7) : 480-491.
- Fetter, C.W. (1988). *Applied Hydrogeology*. Macmillan Publishing Company, New York
- MacDonald and Partners. (1984). *Greater Yogyakarta Groundwater Resources Study. Vol. 3 : Groundwater*. Directorate General of Water Resources Development, Groundwater Development Project (P2AT), Yogyakarta.
- Marandi A and L. Vallner. (2010). Upconing of Saline Water from The Crystalline Basement into The Cambrian-Vendian Aquifer System on The Kopli Peninsula, Northern Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences* 59 (4) : 277-287.

- Murtiono. U.H. (2009). Kajian Ketersediaan Air Permukaan pada Beberapa Daerah Aliran Sungai. *Forum Geografi*. Vol. 23 (1) : 11-24.
- Nippon Koei, Co., Ltd. (1993). *The Study for Formulation of Irrigation Development Programme of Indonesia (FIDP)*. Departemen PU dan BAPPENAS, Jakarta.
- Obikoya, I. B and J. D. Bennel. (2010). Geophysical Investigation of The Fresh-Saline Water Interface in The Coastal Area of Aberwyngregyn. *MSc Thesis*. School of Ocean Sciences, University of Wales, Bangor.
- Priyana Y dan D. Safriningsih. (2005). Sistem Penyediaan Air Bersih Penduduk di Kecamatan Musuk dalam Menghadapi Musim Kemarau. *Forum Geografi*. Vol. 19 (1) : 81-87.
- Seyhan, E. (1977). *Fundamentals of Hydrology*. Geografisch Instituut der Rijks-Universiteit te Utrecht, Utrecht.
- Todd, D.K. (1959). *Groundwater Hydrology*. John Wiley and Sons Toppan Company Ltd, Tokyo.
- Todd, D.K. and L.W. Mays. (2005). *Groundwater Hydrology*. John Wiley & Sons, New York.

# **APLIKASI SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS UNTUK ZONASI KAWASAN HUTAN BERDASARKAN KEMENTERIAN KEHUTANAN DAN KEMAMPUAN LAHAN DI KABUPATEN BANDUNG**

## ***Geographical Information System Application for Forest Zoning Based on Ministry of Forestry and Land Capability in Bandung Regency***

**Iskandar Muda Purwaamijaya**

Universitas Pendidikan Indonesia Bandung

Email: ais\_imp@yahoo.com

### **ABSTRACT**

*The main objectives in the geographic information system applications for zoning of forest areas based on the ministries of forestry and land capability is to determine the broad allocation of forest land in Bandung Regency based on Ministerial Decree 79/2001 on the basis of analysis with analytical capabilities of BPDAS land so as to provide a common perception in spatial planning and resource management natural resources in Bandung Regency. Research is done by quantitative method using Geographic Information System. Area difference of forest zone based on Ministerial Decree 79/2001 to BPDAS land capability is 69,709.009 ha or 26.042 kms and 26.042 kms. The result of research providing recommendations to decision makers in Bandung Regency associated with the analytical model and the Ministerial Decree 79/2001 SK model BPDAS analysis of land capability so that spatial planning and management of natural resources can be more synergistic to achieve sustainable development that takes into account the principles sustainable principles, optimal, harmonious and balanced.*

**Keywords:** spatial planning, natural resources, geographic information systems, forest zoning, land capability analysis

### **ABSTRAK**

*Sasaran utama dari aplikasi sistem informasi geografis untuk zonasi kawasan hutan berdasarkan Kementerian Kehutanan dan kemampuan lahan adalah untuk memperoleh penyebaran alokasi lahan hutan di Kabupaten Bandung berdasarkan Surat Keputusan Menteri 79/2001 terhadap analisis kemampuan lahan BPDAS sehingga diperoleh persepsi umum tentang perencanaan ruang dan pengelolaan sumberdaya alam serta lingkungan di Kabupaten Bandung. Penelitian dilakukan dengan metode kuantitatif menggunakan Sistem Informasi Geografis. Selisih luas kawasan hutan berdasarkan kepmenhut SK-79/2001 terhadap BPDAS adalah seluas 69.709,009 ha atau sekitar 26,042 km x 26,042 km. Hasil penelitian memberikan rekomendasi kepada para pengambil keputusan di Kabupaten Bandung terkait dengan model analitis Surat Keputusan Menteri 79/2001 dengan model analisis kemampuan lahan BPDAS sehingga perencanaan ruang dan pengelolaan sumberdaya alam dapat lebih sinergis untuk mewujudkan pembangunan berkelanjutan yang mempertimbangkan prinsip-prinsip berkelanjutan, optimal, selaras dan seimbang.*

**Kata kunci:** perencanaan ruang, sumberdaya alam, sistem informasi geografis, zonasi hutan, analisis kemampuan lahan

## PENDAHULUAN

Kajian zonasi kawasan hutan berdasarkan Kementerian Kehutanan dan kemampuan lahan dalam makalah ini merupakan kajian pemodelan spasial yaitu penyederhanaan fenomena variasi alami dalam ruang yang ditinjau dari konsep sektor kehutanan dan kemampuan lahan. Masukan data tematik dari lapangan yang disajikan dalam ruang diproses menggunakan analisis spasial berbasis komputer, yang dikenal dengan istilah Sistem Informasi Geografis, sehingga diperoleh keluaran zonasi kawasan hutan dari pendekatan kementerian kehutanan dan kemampuan lahan. Keluaran zonasi dari kedua pendekatan kemudian dibandingkan, dianalisis dan disimpulkan untuk disempurnakan dan dimanfaatkan bagi penataan ruang dan pengelolaan sumberdaya alam dan lingkungan yang sinergis.

Model analisis spasial yang digunakan oleh Peta Hutan dan Perairan Berdasarkan Keputusan Menteri Kehutanan SK-79 tahun 2001 berbeda dengan model analisis kemampuan lahan yang digunakan oleh BPDAS menimbulkan perbedaan luas kawasan hutan dan non-hutan. Penataan ruang dan pengelolaan sumber daya alam secara normative merupakan serangkaian kegiatan paralel di dunia nyata yang saling terkait dan sinergis untuk mencapai pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) dengan memperhatikan prinsip-prinsip lestari, optimal, selaras dan seimbang. Jika dalam proses perencanaan ruang sudah terdapat perbedaan konsep dan penggunaan model antara sektor kehutanan dengan sektor-sektor pengguna ruang maka proses pemanfaatan ruang dan pengendalian pemanfaatan ruang memiliki potensi menimbulkan berbagai macam konflik di lapangan. Oleh sebab itu, kajian tentang model analisis spasial perencanaan ruang menjadi hal penting untuk diteliti sehingga mendukung usulan tentang

perlunya suatu persamaan visi dan persepsi penggunaan model analisis spasial perencanaan ruang. Fakta di lapangan yang menunjukkan gejala perencanaan ruang dengan penggunaan model spasial berbeda banyak menimbulkan berbagai macam masalah dalam pemanfaatan ruang dan pengendalian pemanfaatan ruang. Oleh sebab itu, studi tentang perbandingan hasil analisis model spasial Kepmenhut SK 79/2001 dengan model spasial kemampuan lahan menjadi sesuatu yang menarik dan penting untuk dikaji sebagai bahan masukan bagi para pengambil keputusan dalam penataan ruang untuk sektor kehutanan maupun sektor-sektor yang memanfaatkan ruang.

Kajian tentang zonasi hutan kota di Kabupaten Bandung berdasarkan sebaran polutan udara (CO, HC, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> dan PM10), data transportasi dan penutupan lahan telah dilakukan pada tahun 2009 dan menghasilkan rekomendasi tentang pentingnya hasil penelitian digunakan sebagai dasar perencanaan pembangunan hutan kota (Rushayati, Dahlan dan Hermawan, 2009).

Keberadaan teknologi SIG telah memberikan kemudahan bagi banyak kalangan dalam mengelola dan memanfaatkan data spasial (*geographic referenced data*) (Jumadi dan Widiadi, 2009). Aplikasi Sistem Informasi Geografis dalam analisis keruangan telah banyak dilakukan baik untuk kebutuhan masyarakat banyak (*public needs*) atau kebutuhan perusahaan memperoleh keuntungan (*private needs*). Aplikasi Sistem Informasi Geografis untuk memperoleh lahan-lahan yang sesuai untuk perumahan dan permukiman telah dilakukan di beberapa Kabupaten di Jawa Barat (Kabupaten Garut (Fikri, 2009), Sumedang (Melani, 2004), Bandung (Yulianti, 2009)). Aplikasi sistem informasi geografis untuk kepentingan keuangan telah digunakan oleh PT Telkom (divisi jaringan kabel),

Departemen Keuangan (pajak bumi dan bangunan) serta perusahaan-perusahaan makanan cepat saji untuk memperoleh lokasi-lokasi strategis bagi peningkatan keuntungan perusahaan. Banyaknya manfaat aplikasi Sistem Informasi Geografis yang telah dimanfaatkan menimbulkan gagasan dari penulis untuk mengimplementasikannya pada sektor kehutanan.

Tujuan utama dari penelitian adalah untuk mengetahui luas, sebaran dan faktor-faktor penghambat zona alokasi kawasan hutan di Kabupaten Bandung berdasarkan analisis Kepmenhut SK 79/2001 dengan analisis kemampuan lahan BPDAS. Penelitian diharapkan dapat memberikan kesamaan persepsi dalam penataan ruang serta pengelolaan sumber daya alam di Kabupaten Bandung. Hasil penelitian dapat pula memberikan rekomendasi kepada para pengambil keputusan di Kabupaten Bandung terkait dengan model analisis Kepmenhut SK 79/2001 dan model analisis kemampuan lahan BPDAS sehingga penataan ruang dan pengelolaan sumber daya alam dapat lebih sinergis untuk mencapai pembangunan berkelanjutan yang memperhatikan prinsip-prinsip lestari, optimal, selaras dan seimbang.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode kuantitatif, yaitu penelitian yang dilakukan untuk mengetahui kondisi di lapangan dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian dilakukan dengan studi dokumentasi hasil survey dan pemetaan yang dilakukan oleh lembaga-lembaga BAKOSURTANAL, BAPPEDA dan BPN. Teknik pengambilan contoh adalah purposive dan sampel total. Data yang dikumpulkan adalah data sekunder yang diperoleh dari hasil dokumentasi peta-peta analog dan digital BAPPEDA Kabupaten Bandung dan data

statistik BPS Kabupaten Bandung tahun 2004/2006. Peta analog dikonversikan menjadi data grafis digital format vektor. Data atribut yang diperoleh dari dokumentasi statistik disimpan pada luasan area, garis dan titik serta mewakili detail grafis tersebut. Operasi *overlay* atau *superimposed* untuk memperoleh luasan hasil analisis keruangan yang merupakan analisis terintegrasi data grafis dan atribut dilakukan dengan operasi aritmatika (+, -, x, /, >, <, =, U,??? or, and, if, then, else). Unit analisis untuk manipulasi atribut pada zonasi kawasan hutan adalah batas area grafis (sub-kelas lahan) yang diwakili atribut tersebut. Populasi penelitian adalah seluruh wilayah di Kabupaten Bandung. Data peta dan statistik kemudian dianalisis secara spasial (analisis tumpang tindih dan statistika deskriptif) menggunakan perangkat lunak sistem informasi geografis untuk menghasilkan luas alokasi kawasan hutan berikut alokasi-alokasi tepatnya di Kabupaten Bandung.

Subjek penelitian adalah staf peneliti Jurusan Pendidikan Teknik Sipil Fakultas Pendidikan Teknologi Kejuruan Universitas Pendidikan Indonesia. Objek penelitian adalah komponen-komponen fisik-spasial lingkungan yang disajikan dalam data spasial yang mencakup 3 variabel masukan untuk analisis kawasan hutan dan 7 variabel masukan analisis kemampuan lahan. Penelitian dilaksanakan di wilayah Kabupaten Bandung dari bulan Juli 2011 sampai dengan Oktober 2011. Instrumen penelitian terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras untuk analisis spasial kawasan hutan dan analisis kemampuan lahan di Kabupaten Bandung. Perangkat lunak yang digunakan terdiri dari AutoCAD 2006 dan Arcview 3.3. Perangkat keras yang digunakan adalah digitizer, keyboard, CPU, printer dan plotter. Media lain adalah peta-peta analog tematik Kabupaten

Bandung yang terkait dengan analisis kawasan hutan dan analisis kemampuan lahan. Analisis data yang utama adalah analisis spasial (keruangan) menggunakan perangkat lunak SIG (Sistem Informasi Geografis) dan perangkat keras komputer. Analisis spasial yang dilakukan meliputi pembangunan topologis tematik analisis kawasan hutan dan analisis kemampuan lahan, *overlay* atau *superimposed* (tumpang tindih) tema-tema masukan untuk memperoleh zonasi kawasan hutan sebanyak 3 zona dan zona kemampuan lahan sebanyak 8 zona, operasi irisan (*boundary intersection*) dan operasi gabungan (*union*) tema-tema yang saling tumpang tindih dan penyusunan (*sorting*) data atribut berdasarkan batas administrasi kecamatan dan kelurahan.

Basis data grafis dan atribut untuk analisis keruangan zonasi kawasan hutan terdiri dari 7 kelas data curah hujan, 6 kelas data kelerengan, 4 kelas data erosi tanah, 5 kelas data drainase tanah, 4 kelas data kedalaman efektif tanah, 4 kelas data kerikil dan batuan kecil, 2 kelas data ancaman banjir, dan 3 kelas data tekstur tanah. Manipulasi keluaran untuk memperoleh zonasi kawasan hutan Kepmenhut SK 79/2001 adalah melakukan *overlay* 7 kelas data curah hujan, 6 kelas data kelerengan dan 4 kelas data erosi tanah. Hasil keluaran analisis keruangan untuk zonasi kawasan hutan Kepmenhut SK 79/2001 adalah 3 zona, yaitu: zona hutan lindung (nilai perjumlahan nilai interval adalah terkecil), hutan produksi terbatas (nilai perjumlahan nilai interval adalah nilai tengah) dan hutan produksi (nilai perjumlahan nilai interval adalah terbesar).

Analisis kemampuan lahan diarahkan untuk mengetahui potensi lahan bagi penggunaan berbagai sistem pertanian secara luas dan lestari berdasarkan cara penggunaan dan perlakuan yang paling sesuai sehingga dapat dijamin pemanfaatan lahan dalam

waktu yang tidak terbatas. Klasifikasi faktor-faktor pembatas kemampuan lahan yang terdiri dari kemiringan lereng, tekstur tanah, kedalaman efektif tanah, drainase tanah, erosi tanah, ancaman banjir, kerikil dan batuan kecil dijadikan sebagai masukan untuk memperoleh keluaran peta kelas kemampuan lahan dari hasil proses analisis spasial digital menggunakan sistem informasi geografis. Sistem penilaian untuk faktor-faktor pembatas kemampuan lahan disajikan pada tabel 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7. Nilai dari setiap kelas tema tertentu adalah diskrit sebagai nilai masukan dalam proses analisis keruangan *overlay* atau *superimposed* untuk identitas numeris kelas tema tertentu. Proses analisis keruangan terintegrasi data grafis dan atribut yang diwakili oleh batas area kelas tema tertentu dengan operasi irisan (*boundary intersection*) dan nilai kuantitatif atribut yang dilakukan dengan operasi aritmatika perjumlahan terhadap nilai kuantitatif kelas tema berbeda. Satuan analisis untuk data grafis adalah batas area tema tertentu, segmen garis dan titik sedangkan satuan analisis untuk data atribut adalah batas area data grafis, segmen garis dan titik yang diwakilinya.

Unit lokasi dalam analisis keruangan untuk zonasi kawasan hutan di Kabupaten Bandung adalah koordinat UTM (Universal Transverse Mercator) zona 48. Unit geometrik (jarak, keliling dan luas) yaitu meter dan meter persegi. Unit nilai atribut adalah tanpa satuan.

Analisis kemampuan lahan secara kuantitatif dilakukan dengan menghitung indeks variabel-variabel masukan kemiringan lahan, tekstur tanah, kedalaman efektif tanah, drainase, erosi tanah, ancaman banjir dan kerikil serta batuan kecil menggunakan persamaan :

$$Tr + Sr + Dr + Wr + Er + Fr + Rr = LCI$$

Tabel 1. Sistem Penilaian Kemiringan Lereng untuk Evaluasi Kemampuan Lahan

Kelas	Kemiringan (%)	Deskripsi	Nilai
0	0 – 3	Datar	70
1	3 – 8	Landai sampai berombak	60
2	8 – 15	Agak miring atau bergelombang	50
3	15- 30	Miring atau berbukit	40
4	30 – 45	Agak curam	30
5	45 – 65	Curam	20
6	>65	Sangat curam	10

Sumber: hasil analisis

Tabel 2. Sistem Penilaian Tekstur Tanah untuk Evaluasi Kemampuan Lahan

Kelas	Tekstur Tanah	Deskripsi	Nilai
1	Halus	Liat dan berdebu	50
2	Agak halus	Liat berpasir, lempung, liat berdebu, lempung berliat, lempung, liat berpasir	40
3	Sedang	Debu, lempung berdebu dan lempung	30
4	Agak kasar	Lempung berpasir	20
5	Kasar	Pasir berlempung dan pasir	10

Sumber: hasil analisis

Tabel 3. Sistem Penilaian Kedalaman Efektif Tanah untuk Evaluasi Kemampuan Lahan

Kelas	Kedalaman (cm)	Deskripsi	Nilai
0	> 90	Dalam	40
1	50 – 90	Sedang	30
2	25 – 50	Dangkal	20
3	< 25	Sangat dangkal	10

Sumber: hasil analisis



Tabel 4. Sistem Penilaian Drainase Tanah untuk Evaluasi Kemampuan Lahan

Kelas	Drainase Tanah	Deskripsi	Nilai
0	Baik	Tanah mempunyai peredaran udara yang baik, seluruh profil tanah dari lapisan atas sampai bawah berwarna terang seragam, tidak terdapat bercak-bercak	50
1	Agak baik	Tanah mempunyai peredaran udara baik, tidak terdapat bercak-bercak berwarna kuning, coklat atau kelabu pada lapisan atas dan bagian atas lapisan bawah	40
2	Agak Buruk	Lapisan tanah atas mempunyai peredaran udara baik, jadi pada lapisan ini tidak terdapat bercak-bercak berwarna kuning, kelabu atau coklat	30
3	Buruk	Pada tanah atas bagian bawah dan seluruh lapisan tanah bawah terdapat bercak-bercak warna kuning, kelabu atau coklat	20
4	Sangat buruk	Seluruh lapisan permukaan tanah berwarna kelabu dan tanah bawah berwarna kelabu atau terdapat bercak-bercak kelabu, coklat atau kekuningan	10

Sumber: hasil analisis

Tabel 5. Sistem Penilaian Erosi Tanah untuk Evaluasi Kemampuan Lahan

Kelas	Erosi Tanah	Deskripsi	Nilai
0		Tidak ada erosi	50
1	Ringan	Jika < 25 % lapisan tanah atas hilang	40
2	Sedang	Jika 25% - 75% lapisan tanah atas hilang	30
3	Berat	Jika > 75 % lapisan tanah atas dan < 25 % lapisan tanah bawah hilang	20
4	Sangat Berat	Jika > 25 % lapisan tanah bawah hilang	10

Sumber: hasil analisis

Tabel 6. Sistem Penilaian Ancaman Banjir untuk Evaluasi Kemampuan Lahan

Kelas	Ancaman Banjir	Deskripsi	Nilai
0		Dalam periode satu tahun tidak pernah tertutup banjir untuk lebih dari 24 jam	50
1		Banjir yang menutupi tanah lebih dari 24 jam, terjadinya tidak teratur dalam periode kurang dari 1 tahun	40
2		Selama 1 bulan atau lebih tanah selalu tertutup banjir untuk jangka waktu lebih dari 24 jam	30
3		Selama 2 sampai dengan 5 bulan dalam setahun, tanah secara teratur selalu tertutup banjir untuk jangka waktu lebih dari 24 jam	20
4		Selama 6 bulan atau lebih, tanah selalu tertutup banjir untuk jangka waktu lebih dari 24 jam	10

Sumber: hasil analisis

Tabel 7. Sistem Penilaian Kerikil dan Batuan Kecil untuk Evaluasi Kemampuan Lahan

Kelas	Kerikil dan Batuan Kecil	Deskripsi	Nilai
0	Tidak ada atau sedikit	0 – 15 % volume tanah	40
1	Sedang	15 – 50% volume tanah, pengolahan tanah mulai sulit dan pertumbuhan tanaman agak terganggu	30
2	Banyak	50 – 90% volume tanah, pengolahan tanah sulit dan pertumbuhan tanaman terganggu	20
3	Sangat banyak	Lebih dari 90 % volume tanah, pengolahan tanah tidak mungkin lagi dilakukan	10

Sumber: hasil analisis

- r = *rating* (nilai interval)  
 T = *topography, slope of land surface* (kemiringan tanah)  
 S = *soil texture* (tekstur tanah)  
 D = *effective depth of soil* (kedalaman efektif tanah)  
 W = *water drainage* (drainase aliran)  
 E = *soil erosion* (erosi tanah)  
 F = *flood* (ancaman banjir)  
 R = *rock* (kerikil dan batuan kecil)  
 LCI = *land capability index* (indeks kemampuan lahan)

Penentuan lebar interval kelas untuk setiap kelas kemampuan lahan disajikan pada tabel 8.

Hasil perhitungan lebar interval kelas dari persamaan dijadikan masukan untuk menghitung batas atas dan batas bawah setiap kelas kemampuan lahan dan disajikan pada tabel 9.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian perbandingan alokasi hutan hasil analisis spasial Kepmenhut SK 79/2001 dengan kemampuan lahan BPDAS di Kabupaten Bandung terdiri dari:

1. Peta tematik digital di perangkat lunak Arcview 3.3 hasil analisis spasial Kepmenhut SK 79/2001 dan kemampuan lahan BPDAS sebanyak 2 buah.
2. Luas kawasan hutan berdasarkan analisis spasial Kepmenhut SK 79/2001 dan kemampuan lahan BPDAS serta selisih luas hutan hasil kedua analisis tersebut.

Ketelitian data tematik masukan yang terdiri dari tema curah hujan, kelerengan, erosi tanah, drainase tanah, kedalaman efektif tanah, kerikil dan batuan kecil, ancaman banjir dan tekstur tanah di Kabupaten

Bandung memiliki ketelitian sama karena peta dasar dan tematik analog yang digunakan memiliki skala peta yang sama, yaitu 1 : 50.000 yang bersumber dari Peta Topografi Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal). Validitas model diuji dengan Uji Statistik Transformasi Affine saat proses digitasi peta dengan batas RMS (*root mean square*)  $\leq 0,001$  meter untuk absis (X) dan ordinat (Y).

Kualitas data spasial dapat disajikan pada *hardcopy* berukuran A0 dengan skala peta 1 : 50.000. Tingkat ketelitian dengan salah absolut, yaitu  $\frac{1}{2}$  dari unit terkecil adalah  $\frac{1}{2}$  cm atau 1 cm = 500 meter maka tingkat ketelitian adalah 250 meter. Kemutakhiran data keruangan dari peta dasar yang digunakan adalah tahun 2004. Standar data yang digunakan mengacu kepada instansi-instansi yang berkompeten dalam tema atau sektor masing-masing.

Peta tematik curah hujan di kabupaten Bandung diklasifikasikan berdasarkan 7 kelompok curah hujan, yaitu: curah hujan (i) < 1.500 mm/tahun, (ii) 1500–2000 mm/tahun, (iii) 2000–2500 mm/tahun, (iv) 2500–3000 mm/tahun, (v) 3000–3500 mm/tahun, (vi) 2500–4000 mm/tahun dan (vii) > 4000 mm/tahun.

Peta tematik kelerengan di Kabupaten Bandung diklasifikasikan berdasarkan 6 kelompok kelerengan, yaitu: (i) 0–3%, (ii) 3–8%, (iii) 8–15%, (iv) 15–25%, (v) 25–40% dan (vii) > 40 %.

Peta tematik erosi di Kabupaten Bandung diklasifikasikan berdasarkan 4 kelompok erosi tanah, yaitu: (i) tidak peka erosi, (ii) agak peka erosi, (iii) peka erosi dan (iv) sangat peka erosi.

Peta tematik drainase tanah di Kabupaten Bandung diklasifikasikan berdasarkan 5 kelompok drainase tanah, yaitu: (i) sangat buruk, (ii) buruk, (iii) agak buruk, (iv) agak baik dan (v) baik.

Tabel 8. Penentuan Lebar Interval Kelas untuk Analisis Kemampuan Lahan

No	Tema Masukan	Nilai Atas	Nilai Bawah
1	Kemiringan lahan	70	10
2	Tekstur tanah	50	10
3	Kedalaman efektif tanah	40	10
4	Drainase	50	10
5	Erosi tanah	50	10
6	Ancaman banjir	50	10
7	Kerikil dan batuan kecil	40	10
Jumlah		350	70

Sumber: hasil analisis

Keterangan:

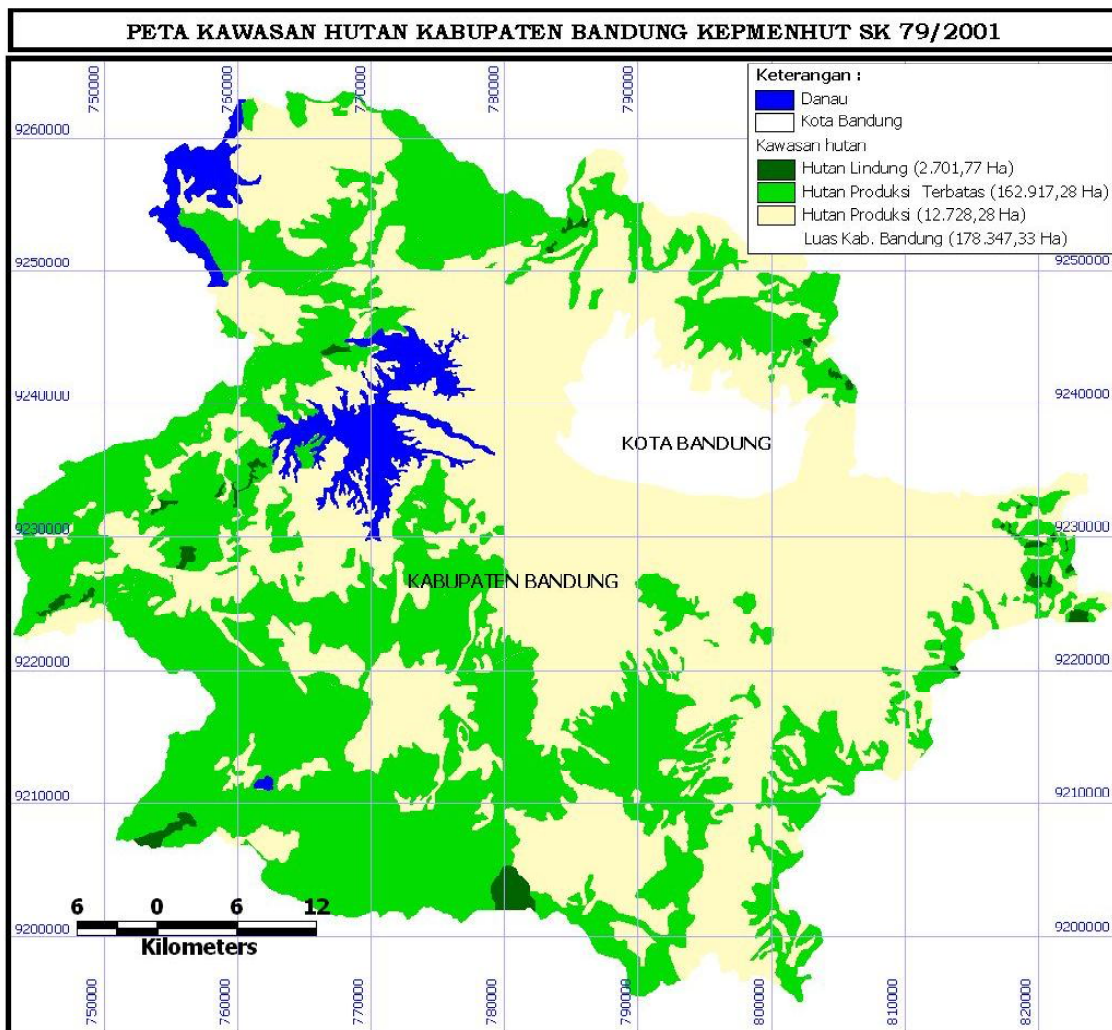
Range = nilai atas – nilai bawah  
 = 350 – 70 = 280

Lebar interval kelas = range/jumlah kelas  
 = 280/8 = 35

Tabel 9. Nilai Interval Kelas untuk Analisis Kemampuan Lahan

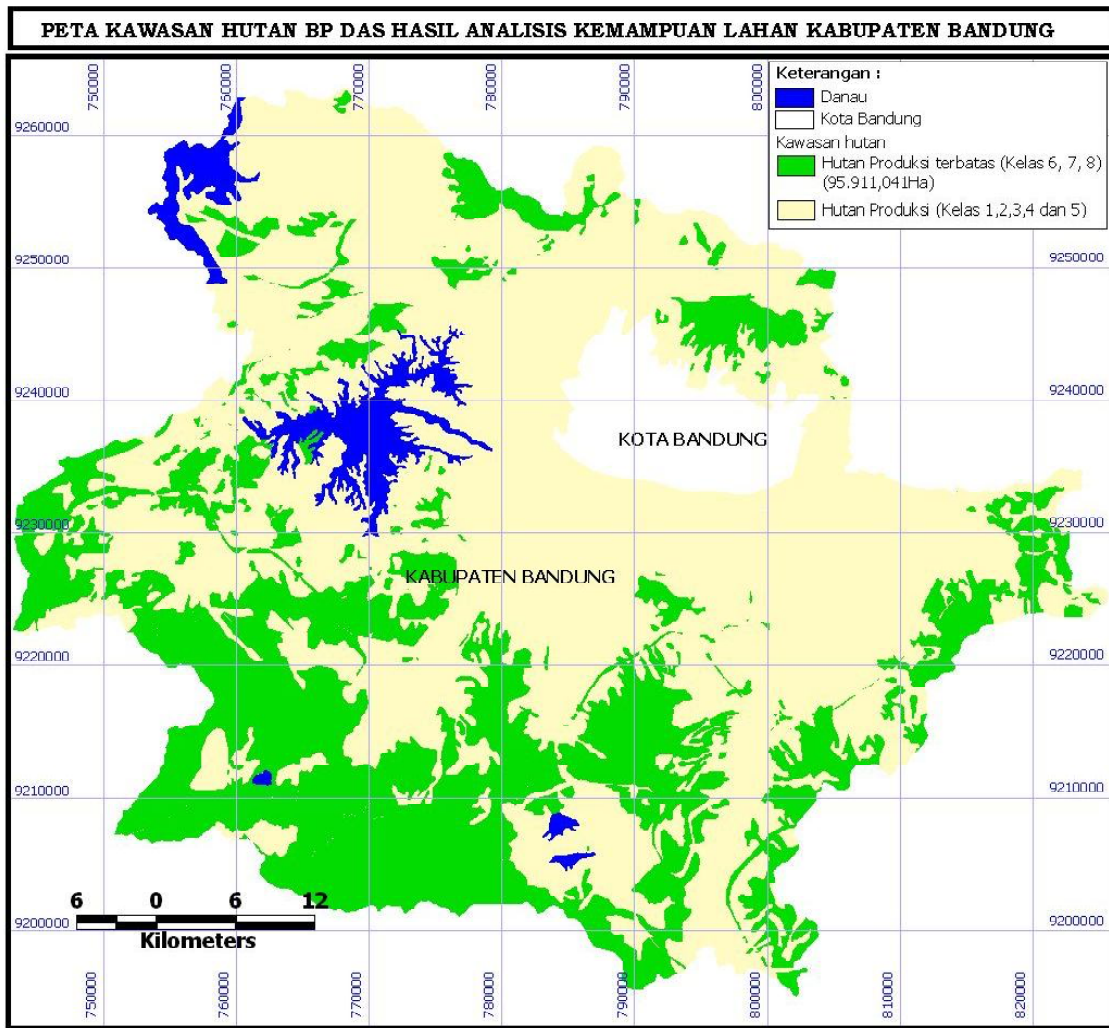
No	Kelas Kemampuan Lahan	Interval Kelas
1	I	315,00 – 350,00
2	II	280,00 – 314,90
3	III	245,00 – 279,90
4	IV	210,00 – 244,90
5	V	175,00 – 209,90
6	VI	140,00 – 174,90
7	VII	105,00 – 139,90
8	VIII	70,00 – 104,90

Sumber: hasil analisis



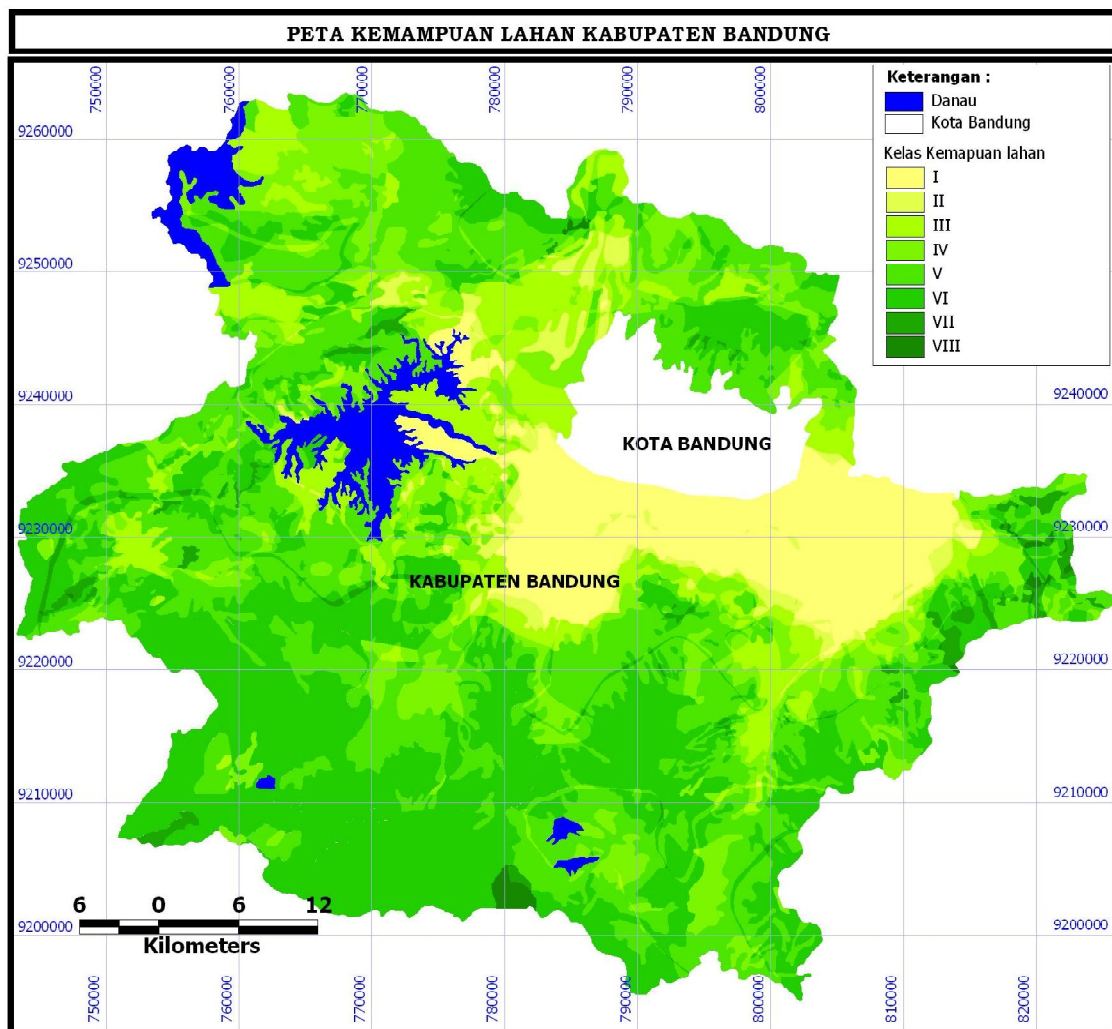
Sumber: hasil analisis

Gambar 1. Peta Hasil Analisis Spasial Kawasan Hutan Kepmenhut SK 79/2001 di Kabupaten Bandung dalam Format Perangkat Lunak Arcview



Sumber: hasil analisis

Gambar 2. Peta Hasil Analisis Spasial Kawasan Hutan Berdasarkan Kemampuan Lahan BPDAS di Kabupaten Bandung dalam Format Perangkat Lunak Acrview



Sumber: hasil analisis

Gambar 3. Peta Kemampuan Lahan di Kabupaten Bandung Hasil Analisis Spasial Menggunakan Perangkat Lunak Arcview

Peta tematik kedalaman efektif tanah di Kabupaten Bandung diklasifikasikan berdasarkan 4 kelompok kedalaman efektif tanah, yaitu: (i) < 30 cm, (ii) 30–60 cm, (iii) 60–90 cm dan (iv) > 90 cm.

Peta tematik kerikil dan batuan kecil di Kabupaten Bandung diklasifikasikan berdasarkan 4 kelompok kerikil dan batuan kecil, yaitu : kerikil dan batuan kecil (i) tidak ada/sedikit, (ii) sedang, (iii) banyak dan (iv) sangat banyak.

Peta tematik ancaman banjir di Kabupaten Bandung di klasifikasikan berdasarkan 2 kelompok ancaman banjir, yaitu : (i) banjir pada musim hujan dan (ii) tidak banjir.

Peta tematik tekstur tanah di Kabupaten Bandung diklasifikasikan berdasarkan 3 kelompok, yaitu : tekstur tanah (i) halus, (ii) sedang dan (iii) kasar.

Luas kawasan hutan (hutan lindung dan hutan produksi terbatas) berdasarkan analisis spasial kepmenhut SK-79/2001 adalah 165.619,05 ha. Luas Kabupaten Bandung (wilayah perairan dan daratan) adalah 285.209 ha. Luas kawasan hutan (kelas kemampuan lahan VI, VII dan VIII) berdasarkan analisis kemampuan lahan BPDAS adalah 95.911,041 ha.

Luas kawasan hutan di Kabupaten Bandung berdasarkan analisis spasial kepmenhut SK-79/2001 adalah 58,069% di dibandingkan luas Kabupaten Bandung. Luas kawasan hutan di Kabupaten Bandung berdasarkan analisis spasial kemampuan lahan BPDAS adalah 33,628% dibandingkan luas Kabupaten Bandung. Selisih luas kawasan hutan berdasarkan kepmenhut SK-79/2001 terhadap BPDAS adalah seluas 69.709,009 ha atau sekitar 26,042 km x 26,042 km.

Perbandingan luas dengan pendekatan berbeda dari SK Menteri Kehutanan 79/2001 dan kemampuan lahan BPDAS

(Badan Pengelola Daerah Aliran Sungai) telah melalui koreksi geometrik terhadap komponen translasi (Tx, Ty), komponen skala (Sx, Sy) dan komponen rotasi (Rx, Ry) saat proses konversi dari data analog menjadi digital yang diuji dengan RMS (*Root Mean Square*) Transformasi Affine  $\leq$  0,001 meter yang ada dalam perangkat lunak yang digunakan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Pola alokasi kawasan hutan di Kabupaten Bandung berdasarkan analisis spasial Kepmenhut SK 79/2001 adalah seluas 165.619,05 ha atau 58,069 % dari luas wilayah Kabupaten Bandung.
2. Pola alokasi kawasan hutan di Kabupaten Bandung berdasarkan spasial kemampuan lahan BPDAS adalah seluas 95.911,041 ha atau 33,628 % dari luas wilayah Kabupaten Bandung.
3. Selisih alokasi kawasan hutan di Kabupaten Bandung berdasarkan analisis spasial Kepmenhut SK 79/2001 dengan kemampuan lahan BPDAS adalah seluas 69.709,009 ha atau sekitar 26,042 km x 26,042 km.

Adapun saran yang dapat kami sampaikan adalah:

1. Kebijakan alokasi kawasan hutan di Kabupaten Bandung berdasarkan analisis spasial Kepmenhut SK 79/2001 perlu ditinjau kembali untuk sinergi PSDA (Pengelolaan Sumber Daya Alam) dengan penataan ruang.
2. Kebijakan alokasi kawasan hutan di Kabupaten Bandung berdasarkan analisis kemampuan lahan BPDAS (Badan Pengelola Daerah Aliran Sungai)



- harus diimplementasikan dengan benar pada penataan ruang (perencanaan ruang, pemanfaatan ruang dan pengendalian pemanfaatan ruang)
- 3 Pengembangan manajemen konflik untuk perencanaan pembangunan wilayah di Kabupaten Bandung mutlak dilakukan karena adanya potensi selisih tentang perbedaan kawasan hutan seluas 69.709,00 ha atau 26,042 km x 26, 042 km antara yang dilakukan oleh sektor kehutanan dengan sektor-sektor lain.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini bisa tersaji karena jasa dari Direktorat Penelitian dan Pengabdian

kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (DP2M DIKTI) yang telah memfasilitasi penulis dalam bentuk pendanaan yang memadai, memfasilitasi diskusi secara mendalam dengan instansi dan dinas terkait. Rektor Universitas Pendidikan Indonesia yang menjadi mitra penyusun dan menjadi penghubung antara mitra dengan DP2M DIKTI, Dekan Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan UPI dan ketua jurusan Pendidikan-an Teknik Sipil FPTK UPI. Penyusun mengucapkan terima kasih atas bantuan yang telah diberikan baik secara langsung maupun secara tidak langsung semoga bantuan yang diberikan mendapatkan balasan yang lebih baik dari Allah SWT serta dicatat sebagai amal soleh. Amin.

### DAFTAR PUSTAKA

- Fikri, T. 2009. *Analisis Kesesuaian Lahan untuk Perumahan Menggunakan Sistem Informasi Geografis di Kabupaten Garut*. Jurusan Pendidikan Teknik Sipil. Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Jumadi dan S. Widiadi. 2009. Pengembangan Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) Berbasis WEB untuk Manajemen Pemanfaatan Air Tanah Menggunakan PHP, Java dan MYSQL Spatial (Studi Kasus di Kabupaten Banyumas). *Forum Geografi*. Vol. 23 No. 2 Desember 2009. ISSN 0852-2682.
- Melani, D. 2004. *Zonasi Lokasi Perumahan Menggunakan Teknologi Sistem Informasi Geografis di Kabupaten Sumedang*. Jurusan Pendidikan Teknik Bangunan. Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Rushayati, S.B., E.N. Dahlan dan R. Hermawan. 2009. Ameliorasi Iklim Melalui Zona Hutan Kota Berdasarkan Peta Sebaran Polutan Udara. *Forum Geografi*. Vol. 24 No. Juli 2010. ISSN 0852-2682.
- Yulianti, V. 2009. *Pengembangan Evaluasi Lahan Menggunakan Autodesk Map untuk Meningkatkan Pemahaman Mahasiswa JPTS FPTK UPI pada Teknik Penyehatan*. Jurusan Pendidikan Teknik Sipil. Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.