



KAJIAN DEGRADASI EKOSISTEM MANGROVE TERHADAP POPULASI POLYMESODA EROSA DI SEGARA ANAKAN, CILACAP

Dyah Dwi Listyaningsih, Fredinan Yulianda, Erwin Riyanto Ardli

DAMPAK VARIABILITAS HUJAN DAN KONVERSI LAHAN TERHADAP SENSITIFITAS DEBIT ALIRAN SUNGAI CITARUM

Dyah Marganingrum, Arwin, Dwina Roosmini, dan Pradono

MODEL HIDRODINAMIKA PERAIRAN PESISIR KOTA MAKASSAR

Taslim Arifin, Yulius dan M. Furqon Azis Ismail

PENGARUH PENGGENANGAN PADA TEKNIK BUDIDAYA PADI TERHADAP INFILTRASI DAN NERACA AIR

Lilik Slamet S, Adi Basukriadi, M. Hasroel Thayeb, Tri Edi Budi Soesilo

"RISIKO LONGSOR LAHAN PADA LAHAN PERTANIAN DI KOMPLEKS GUNUNGAPI KUARTER ARJUNO JAWA TIMUR"

Nugroho Hari Purnomo, Sutikno, Sunarto, Luthfi Muta'ali

PEMODELAN TINGKAT DAYA PULIH MASYARAKAT DI KAWASAN RAWAN BENCANA BANJIR KOTA SURAKARTA

Rita Noviani, Pipit Wijayanti and Yasin Yusup

KAJIAN BANGKITAN PERGERAKAN TRANSPORTASI DI KOTA BANDUNG DENGAN MENGGUNAKAN CITRA QUICKBIRD DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

Lili Somantri, Totok Gunawan, Projo Danoedoro, Su Ritohardoyo

PEMETAAN KAPASITAS ADAPTIF WILAYAH PESISIR SEMARANG DALAM MENGHADAPI GENANGAN AKIBAT KENAIKAN MUKA AIR LAUT DAN PERUBAHAN IKLIM

Ifan Ridlo Suhelmi

PENGARUH KONDISI METEOROLOGIS TERHADAP KETERSEDIAAN AIR TELAGA DI SEBAGIAN KAWASAN KARST KABUPATEN GUNUNGKIDUL

Darmakusuma Darmanto, Ahmad Cahyadi

**KAJIAN DEGRADASI EKOSISTEM MANGROVE TERHADAP  
POPULASI POLYMESODA EROSA DI SEGARA ANAKAN, CILACAP**  
*(Assessment of Mangrove Ecosystem Degradation to the Population of  
Polymesoda erosa in Segara Anakan, Cilacap)*

**Dyah Dwi Listyaningsih, Fredinan Yulianda, Erwin Riyanto Ardli**  
Prodi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan  
Gedung Sekolah Pascasarjana Kampus IPB Baranangsiang Bogor 16144  
E-mail: dyah.dwi.listyaningsih@gmail.com

**ABSTRACT**

*Segara Anakan is an unique ecosystem with lagoons, mangrove and lowland. One of biota living in mangrove ecosystem is Polymesoda erosa. The species is valuable both economically and ecologically. In the other side, degradation occurred in mangrove Segara Anakan. This study aims to determine population of P. erosa and to analyze its relationship with mangrove degradation in Segara Anakan, Cilacap. Purposive Random Sampling was used to collect the clams data and plots sampling techniques were applied to obtain vegetation data. Average of P.erosa abundance ranged from  $9,83 \pm 4,68$  ind/m<sup>2</sup>. Age distribution was presented as histograms. Dominant sizes were from 4,6 – 5,8 cm. The distribution pattern determined by variance index shows a random (aggregate) distribution. Very weak correlation was found between P. erosa and mangrove that indicates not connected directly. Tree category was dominated by Nypa fructicans. Sapling category was dominated by Rhizophora apiculata and Acanthus ebracteatus, Acanthus ilicifolius for seedlings, shrubs and herbs. Based on GIS analysis, mangrove area in Segara Anakan was 8036.9 ha. P. erosa strongly correlates to environmental components namely temperature and salinity. People utilized P. erosa as source of food, income and land hoard.*

**Keywords:** Mangrove, degradation, P. erosa, Segara Anakan

**ABSTRAK**

*Segara Anakan merupakan ekosistem unik dengan laguna, bakau dan dataran rendah. Salah satu biota yang tinggal di ekosistem mangrove adalah Polymesoda erosa yang merupakan spesies berharga secara ekonomi dan ekologis. Namun demikian, degradasi mangrove nampak terjadi di Segara Anakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui populasi P. erosa dan menganalisis hubungannya dengan degradasi mangrove di Segara Anakan, Cilacap. Teknik Purposive Random Sampling digunakan untuk mengumpulkan data kerang dan plot teknik pengambilan sampel yang diterapkan untuk memperoleh data vegetasi. Rata-rata P. erosa kelimpahan berkisar antara  $9,83 + 4,68$  ind/m<sup>2</sup>. Distribusi pola disajikan sebagai histogram. Ukuran yang dominan berasal dari 4,6 - 5,8 cm. distribusi Pola ditentukan oleh indeks varians menunjukkan (agregat) distribusi acak. Korelasi sangat lemah ditemukan antara P. erosa dan mangrove yang mengindikasikan tidak berhubung secara langsung. Kategori pohon didominasi oleh Nypa fructicans. Kategori pancang didominasi oleh Rhizophora apiculata dan Acanthus ebracteatus, Acanthus ilicifolius untuk bibit, semak dan tumbuhan. Berdasarkan analisis GIS, kawasan mangrove di Segara Anakan adalah 8.036,9 ha. P. erosa sangat berkorelasi dengan lingkungan komponen-motivasional yaitu suhu dan salinitas. Orang dimanfaatkan P. erosa sebagai sumber makanan, pendapatan dan timbunan tanah.*

**Kata kunci:** Mangrove, degradasi, P. erosa, Segara Anakan

## PENDAHULUAN

Segara Anakan terletak di Pantai Selatan Pulau Jawa dan secara administratif masuk dalam wilayah kecamatan Kampung Laut Kabupaten Cilacap. Bila dipandang dari prespektif lingkungan hidup, Segara Anakan sangat unik karena terdiri dari laguna berair payau, hutan mangrove dan lahan dataran rendah yang dipengaruhi pasang surut. Kondisi ini menjadi potensial bagi berbagai biota untuk memijah dan mencari makan. Salah satu biota yang hidup dalam ekosistem mangrove adalah *Polymesoda erosa*.

Luasan mangrove Segara Anakan dari tahun ke tahun mengalami penurunan. Hal ini mengindikasikan adanya degradasi mangrove. Luasan mangrove Segara Anakan menurut Ardli dan Wolff (2008) pada tahun 1987 mencapai 15827,6 ha, tahun 1995 mencapai 10974,6 ha, tahun 2004 mencapai 9271,6 ha dan tahun 2006 mencapai 9237,8 ha.

Degradasi yang terjadi terus-menerus di ekosistem mangrove Segara Anakan dapat menyebabkan perubahan kondisi dari ekosistem tersebut. Tentunya hal ini berpengaruh juga terhadap *P. erosa* karena secara langsung karena kerang ini bergantung pada kondisi ekosistem mangrove sebagai habitat dan tempat mencari makanan. Penurunan populasi hingga ancaman kepunahan dapat terjadi bila degradasi berlangsung dalam kurun waktu tertentu. Hal ini diperparah dengan adanya eksploitasi berlebihan dari masyarakat sekitar. Masyarakat menangkap kerang *P. erosa* tanpa memperhatikan ukuran ataupun bobot dari kerang tersebut karena kerang ini memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi akibat kandungan gizi yang dimilikinya ataupun menjadi komoditi penting dan cangkangnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan kerajinan

(Kresnasari, 2010). Oleh karena itu penelitian mengenai kondisi populasi *P. erosa* dan keterkaitan dengan degradasi ekosistem mangrove perlu dilakukan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji status populasi *P. erosa* dan mengalisa keterkaitannya dengan degradasi ekosistem mangrove yang terjadi di Segara Anakan, Cilacap. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk pengelolaan dalam upaya memperbaiki kondisi lingkungan dan populasi *P. erosa* di ekosistem mangrove Segara Anakan, Cilacap.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini secara keseluruhan dilaksanakan selama empat bulan dari Oktober 2012 hingga Januari 2013 di kawasan ekosistem mangrove Segara Anakan, Cilacap, Jawa Tengah. Kegiatan identifikasi dan analisis sampel dilaksanakan di Laboratorium Biologi Akuatik Fakultas Biologi UNSOED. Pemilihan lokasi penelitian dilakukan dengan metode *purposive sampling* berupa penempatan lokasi penelitian berdasarkan berbagai pertimbangan. Pertimbangan yang digunakan pada penelitian ini antara lain kawasan mangrove yang berkriteria baik, sedang ataupun rusak sebagai akibat dari degradasi. Selain itu, penentuan stasiun diambil berdasarkan kondisi yang representatif berdasar karakter habitat *P. erosa*. Metode lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif. Dari dua belas stasiun pengambilan sampel terbagi menjadi empat kelompok stasiun berdasarkan tingkat kerusakan mangrove (Anwari *et al.*, 2013). Tingkat kerusakan terbagi menjadi rusak berat (A), rusak (B), kurang bagus (C) dan bagus (D).

Pengambilan sampel kerang dilakukan pada area sampling dan melihat kondisi

lingkungan khususnya kondisi mangrove yang terdapat disekitarnya. Pada setiap stasiun pengambilan sampel diambil tiga titik berbeda secara acak. Pengambilan sampel *P.erosa* menggunakan plot sampling (1x1 m). Setiap plot digunakan sebagai ulangan. Metode pengambilan data vegetasi mangrove mengikuti kesesuaian dengan sampel kerang. Pengamatan mangrove terbagi menjadi pengamatan pohon, anakan dan semai, semak dan herba. Selain itu data yang diambil terdiri dari jumlah dan jenis tegakan mangrove, diameter pohon serta keterangan lain yang mendukung kelengkapan data. Identifikasi mangrove dilakukan dengan berpedoman pada Tomlinson (1994).

Pengukuran parameter lingkungan dilakukan pada setiap titik pengambilan *P.erosa* dan pengamatan mangrove. Pengukuran parameter lingkungan terbagi menjadi dua tahap yaitu secara eksitu dan insitu. Selanjutnya, pemanfaatan *P.erosa* dapat diketahui dengan cara menyebarkan daftar pertanyaan (*quisitioner*) dan wawancara pada masyarakat sekitar.

Metode yang digunakan untuk menentukan jumlah responden yaitu metode Solvin (Siregar, 2011) yaitu :

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

Keterangan :

- n = Ukuran sampel atau jumlah responden
- e = Nilai kritis (batas ketelitian 5%)
- N = Ukuran populasi dalam waktu tertentu

Nilai kepadatan *P.erosa* dapat diartikan banyaknya *P.erosa* per satuan unit luas plot yang diamati. Hasil yang didapat dianalisis dengan rumus sebagai berikut (Heryanto et al., 2006):

$$D = \frac{\sum X_i}{n}$$

Keterangan :

- $\sum X_i$  = jumlah total individu jenis kerang I (ind)
- D = kepadatan (ind/m<sup>2</sup>)
- n = luasan plot (m<sup>2</sup>)

Penentuan kelompok umur pada penelitian ini menggunakan teknik pergeseran kelas modus dengan analisis frekuensi panjang (Morton, 1984). Sedangkan, pola distribusi dianalisis dengan menggunakan indeks variansi menurut Spellerberg (1998) :

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Keterangan :

- S = sampel
- $x_i$  = perbedaan nilai pada saat observasi
- n = jumlah sampel
- $\bar{x}$  = rata-rata sampel

Analisis data vegetasi menggunakan metode menurut Dombois dan Ellenberg (1974), yaitu dengan mengetahui nilai kerapatan, kerapatan relatif, frekuensi, frekuensi relatif, dominansi, dominansi relatif dan nilai penting masing-masing kategori mangrove. Selain itu untuk mengetahui degradasi mangrove digunakan peta landsat 2012. Peta ini dapat diolah dengan menggunakan metode delineasi pada software Arcgis 9. Analisis komponen lingkungan dilakukan dengan *Principal Component Analysis* (PCA). Keterkaitan antara kondisi mangrove dengan kondisi populasi *P.erosa* dianalisis dengan menggunakan analisis regresi kubik. Dengan klasifikasi 0 tidak ada korelasi, 0 – 0.199 korelasi sangat

lemah, 0.20 – 0.399 korelasi rendah, 0.40 – 0.599 korelasi cukup kuat, 0.60 – 0.70 korelasi kuat, 0.80 – 1 korelasi sangat kuat (Ridwan dan Sunarto, 2009).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

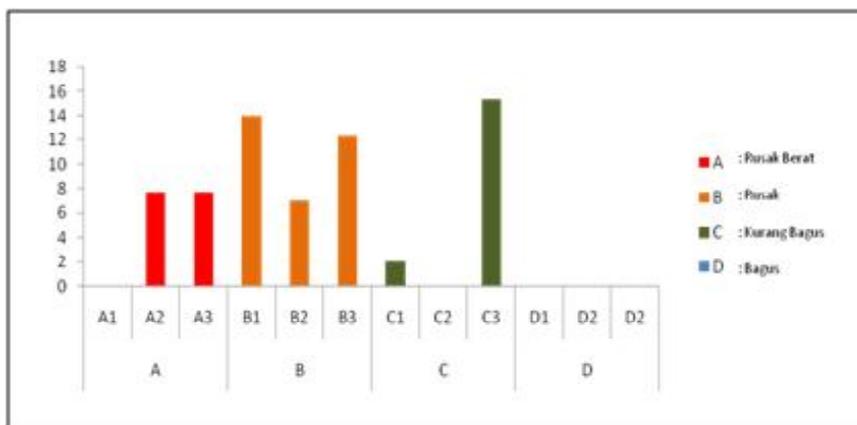
Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan nilai kepadatan pada masing-masing stasiun yang bervariasi. Secara keseluruhan, nilai kepadatan *P.erosa* mencapai  $9,83 \pm 4,68$  ind/m<sup>2</sup>.

Kepadatan yang berbeda diduga terkait dengan kondisi habitat dan lingkungan *P.erosa*. Selain itu jenis bivalvia termasuk *Perosa* tidak tersebar secara normal. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kresnasari (2010) bahwa berbagai faktor lingkungan dapat mempengaruhi turunnya produktivitas biota perairan. Selain itu Amin (2009) menyebutkan kepadatan *P.erosa* dipengaruhi oleh perbedaan karakteristik dari masing-masing stasiun pengambilan sampel. Hal ini sesuai dengan kondisi lingkungan yang terdapat di lapangan baik dari kondisi substrat, salinitas maupun suhu. Pada Gambar 1, terlihat bahwa kelimpahan *P.erosa* dominan pada

kelompok stasiun B dan tidak ada pada kelompok stasiun D yang memiliki mangrove kategori bagus.

Secara umum menunjukkan bahwa mangrove tidak berpengaruh secara langsung terhadap nilai kepadatan *P.erosa*. Tidak adanya individu *P.erosa* pada kelompok stasiun D dengan kategori mangrove bagus kemungkinan disebabkan kondisi substrat yang cenderung kering dan keras ataupun faktor lingkungan lain yang kurang mendukung sehingga tidak memungkinkan bagi *P.erosa* untuk hidup pada kondisi tersebut.

Peta persebaran *P.erosa* (Gambar 2) menunjukkan wilayah yang memiliki nilai kelimpahan dominan tinggi berada di bagian tengah dan barat mangrove Segara Anakan. Di lain sisi bagian tengah dan barat memiliki mangrove yang tergolong rusak hingga rusak berat. Bagian timur tergolong mangrove kategori bagus. Ini menunjukkan bahwa mangrove tidak mempengaruhi kondisi populasi *P.erosa*. Pada bagian timur Segara Anakan, substrat cenderung keras karena jarang terendam oleh pasang surut. Komposisi substrat yang tepat dapat mempermudah *P.erosa* menyaring makanan. Laju pertukaran air



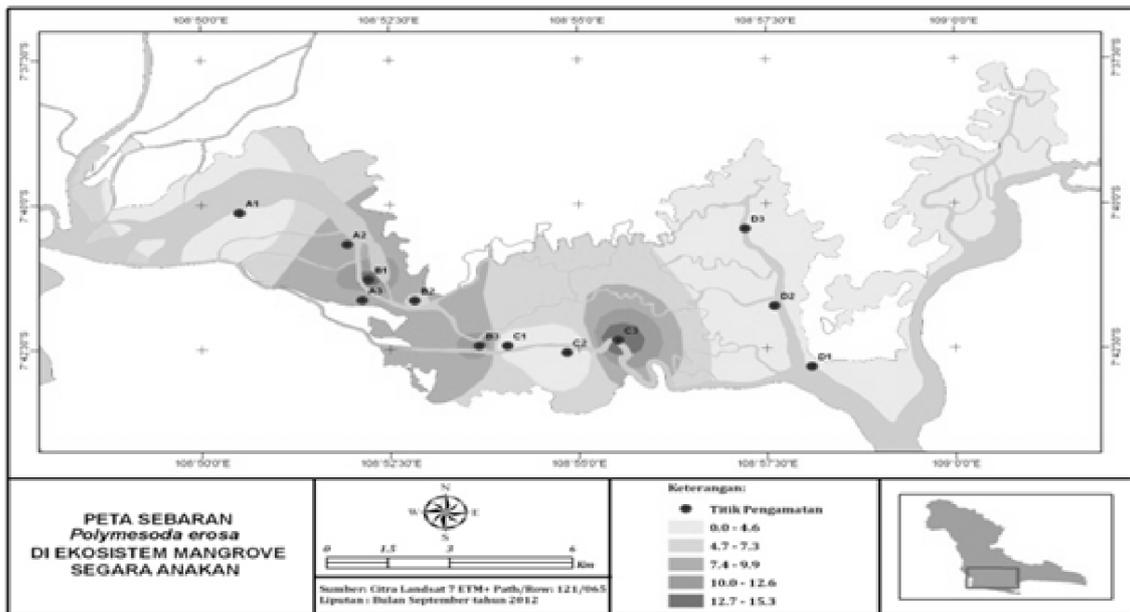
Gambar 1. Kepadatan *P.erosa* Berdasarkan Stasiun Pengamatan

berlangsung cepat sehingga kadar oksigen terlarut menjadi banyak tersedia. Selain berbagai faktor yang telah disebutkan, faktor pemangsa, penyebaran larva, pasang surut dan pengambilan *P.erosa* juga dapat mempengaruhi nilai kepadatan. Saat penyebaran, larva mencari habitat yang cocok. Berkembang menjadi bivalvia

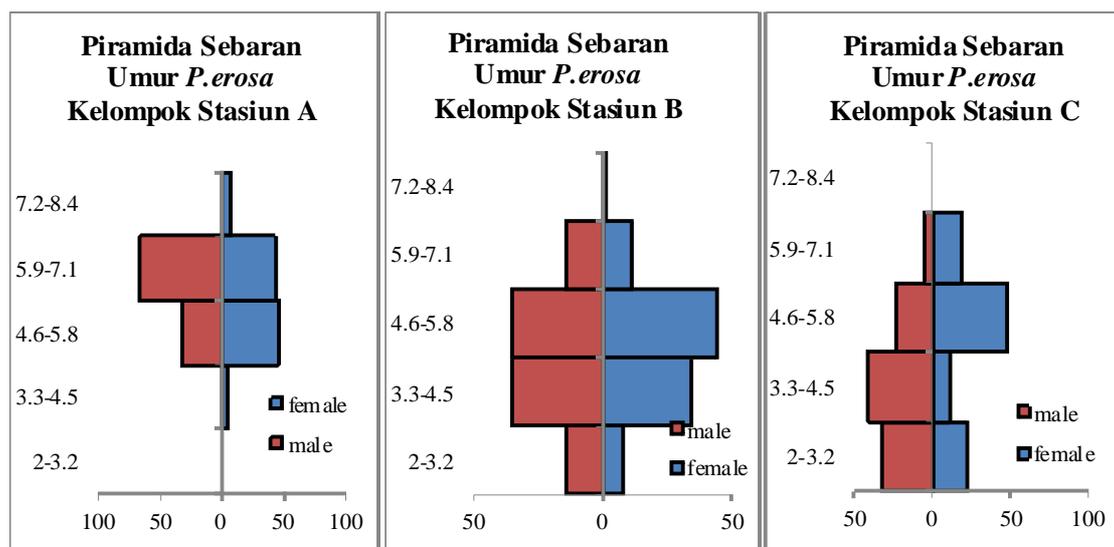
muda, menetap hingga dewasa dan matang gonad (Manzi dan Castagna, 1989).

Piramida sebaran umur yang terbentuk menggambarkan individu betina lebih mendominasi dibandingkan jantan.

Piramida (Gambar 3) juga menggambarkan rendahnya individu anakan dan individu



Gambar 2. Peta Persebaran *P. erosa* Berdasarkan Kelimpahan Setiap Stasiun Pengamatan



Sumber: hasil analisis

Gambar 3. Piramida Sebaran Umur *P. erosa* Berdasarkan Kelas Ukuran Panjang

tua. Jenis piramida ini biasa disebut dengan piramida sarang tawon kuno/*old fashioned beehive*. Frekuensi kehadiran *P.erosa* yang mendominasi terlihat pada ukuran 4,6 – 5,8 cm sebanyak 43 individu. Ukuran ini juga memiliki daya tahan hidup yang lebih tinggi dibanding dengan ukuran kurang dari 2 cm (Widowati et al., 2005). Kepadatan populasi dan faktor fisik, kimia maupun biologis habitat mempengaruhi pertumbuhan kerang khususnya pada cangkang dan jaringan.

Tabel 1 menunjukkan pola persebaran mengelompok. Ini merupakan bentuk penyebaran paling umum yang terjadi di alam. Pola mengelompok terjadi sebagai akibat dari adanya perbedaan respon terhadap perbedaan habitat secara lokal. Pola distribusi dari *P.erosa* terkait dengan tingkah laku strategi reproduksi, kesediaan pakan dan kondisi lingkungan (Kresnasari, 2010). Selain itu, pola sebaran dipengaruhi oleh faktor kompetisi. Kompetisi ini dapat berupa perebutan makanan dan ruang untuk hidup.

Mangrove kategori pohon hanya didominasi oleh *Nypa Fructicans*. Saat

pengamatan banyak ditemukan pohon yang ditebang dan hanya terdapat *Nypa fruticans* sebagai mangrove kategori pohon. Hal ini sesuai dengan pernyataan Tumisem dan Suwarno (2008) bahwa banyak mangrove kategori pohon terutama spesies *Rhizophora* sp. yang ditebang secara ilegal. Penebangan ini berlatar belakang penggunaan *Rhizophora* sp. sebagai kayu bakar industri gula kelapa di wilayah Cilacap. Spesies yang mendominasi pada kategori anakan adalah *Rhizophora apiculata*. Semai, semak dan herba didominasi oleh familia *Acanthaceae*. Kondisi tersebut mempengaruhi spesies lain. Semai, semak maupun herba spesies lain akan sulit berkembang karena kurang mendapat sinar matahari akibat tertutup oleh *Acanthus*.

Ardli dan Wolff (2008) menyatakan bahwa luas kawasan mangrove Segara Anakan pada tahun 1987 sebesar 15827,6 ha. Tahun 1995 luasan mangrove menjadi 10974,6 ha. Tahun 2004 luasan mangrove menurun kembali menjadi 9271,6 ha dan terus menerus mengalami penurunan hingga tahun 2006 mencapai 9237,8 ha. Bila dibandingkan dengan luasan mangrove yang didapat dari analisis landsat 2012

Tabel 1. Pola Distribusi *P. Erosa*

Kelompok Stasiun	Nilai $\bar{x}$	Nilai S-2	Perbandingan	Pola Distribusi
A	5.11	19.6	$\bar{x} < S-2$	Aggregate (mengelompok)
B	11.11	13.37	$\bar{x} < S-2$	Aggregate (mengelompok)
C	17.33	269.78	$\bar{x} < S-2$	Aggregate (mengelompok)
D	0	0	$\bar{x} < S-2$	Aggregate (mengelompok)
Keseluruhan	5.5	35.53	$\bar{x} < S-2$	Aggregate (mengelompok)

Sumber: hasil analisis

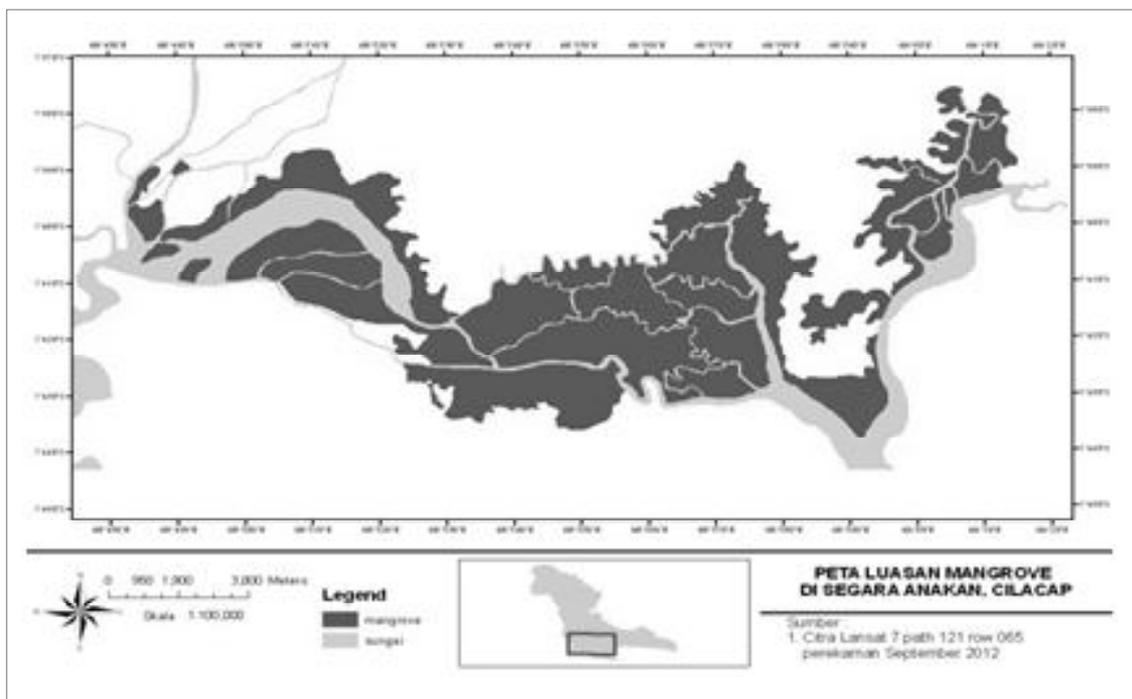
(Gambar 4), luas mangrove hanya mencapai 8036,9 ha. Dengan demikian kondisi mangrove Segara Anakan memang mengalami degradasi yang diindikasikan dengan penurunan luasan mangrove. Penurunan ini disebabkan oleh berbagai hal, antara lain konversi lahan dan penebangan mangrove.

Sebaran karakteristik komponen lingkungan dari keseluruhan stasiun tergambar pada hasil analisis PCA (Gambar 5). Hasil analisis menunjukkan bahwa kepadatan *P.erosa* berkorelasi erat dengan suhu dan salinitas. Semakin tinggi tingkat penguapan (suhu tinggi) di suatu wilayah maka salinitas semakin tinggi dan begitupun sebaliknya. Selain itu wilayah Segara Anakan memiliki kondisi salinitas yang beragam.

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara kepadatan mangrove seluruh kategori terhadap kepadatan *P.erosa*. Berdasarkan

analisis regresi kubik, didapatkan nilai  $R^2$  kategori pohon sebesar 0,055.  $R^2$  untuk kategori anakan sebesar 0,146.  $R^2$  untuk kategori semai, semak dan herba adalah 0,094. Secara keseluruhan mangrove tergolong memiliki hubungan yang sangat lemah terhadap kepadatan *P.erosa*. Kerapatan jenis mangrove tidak berpengaruh terhadap kepadatan *P.erosa*. Akan tetapi kerapatan mangrove diduga berpengaruh langsung terhadap kandungan bahan organik (Tis'in, 2008).

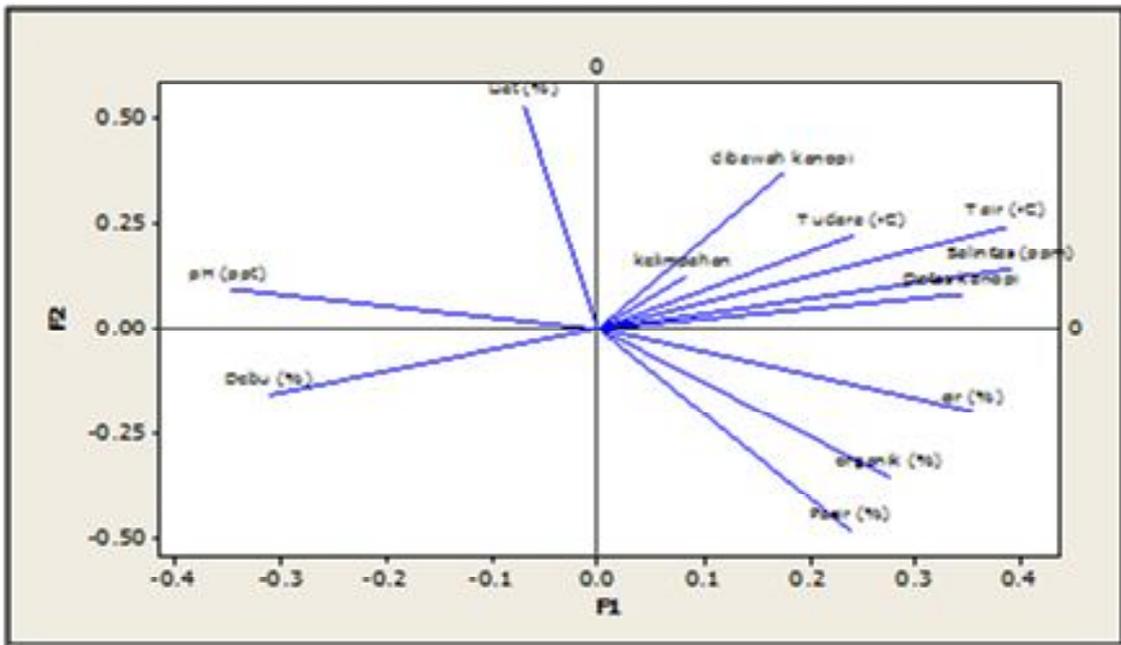
Umumnya pemanfaatan bagian daging *P.erosa* oleh masyarakat digunakan sebagai bahan makanan. *P.erosa* menjadi salah satu sumber protein andalan setelah ikan. Khasanah et al., (2010) menyebutkan bahwa *P.erosa* mengandung rata-rata nilai protein hewani 55,96% dan lemak 6,53%. Tingginya pemanfaatan *P.erosa* oleh masyarakat sekitar menyebabkan kerang ini menjadi salah satu biota yang paling dicari oleh para nelayan. Pendapatan nelayan dari



Gambar 4. Peta Luasan Mangrove Kawasan Segara Anakan, Cilacap

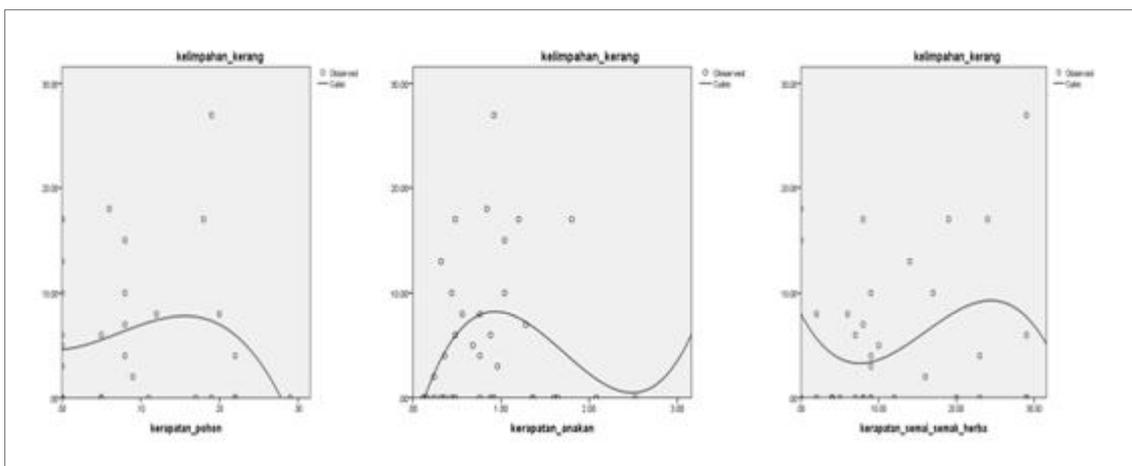
hasil pencarian *P.erosa* dapat dikatakan cukup tinggi. Harga jual daging *P.erosa* mencapai Rp. 15.000 per kg dan penjualan dengan cangkang mencapai Rp. 4.000 per ember. Masyarakat juga memanfaatkan cangkang kerang. Cangkang kerang

digunakan untuk mempertinggi lahan desa agar tidak terkena air pasang. Menurut masyarakat cangkang kerang digunakan untuk menimbun lahan karena lebih ekonomis dibandingkan menggunakan pasir.



Sumber: hasil analisis

Gambar 5. Analisis PCA Kualitas Lingkungan



Sumber: hasil analisis

Gambar 6. Grafik Regresi Hubungan Mangrove Kategori Pohon, Anakan dan Kategori

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Ekosistem mangrove Segara Anakan mengalami degradasi yang diindikasikan dengan penurunan luas dan saat ini mencapai 8036,9 ha.
2. Populasi *P.erosa* memiliki nilai kepadatan sebesar  $9,83 \pm 4,68$  ind/m<sup>2</sup>, ukuran panjang dominan 4,6 – 5,8 cm, mengelompok dan melimpah pada bagian barat maupun tengah Segara Anakan dengan kondisi mangrove relatif rusak.
3. Populasi *P.erosa* tidak memiliki keterkaitan secara langsung dengan kondisi mangrove dan faktor lingkungan yang berpengaruh adalah salinitas dan suhu.
4. Masyarakat memanfaatkan *P.erosa* sebagai sumber makanan, pendapatan dan menimbun lahan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amin R. 2009. Potensi Kerang Kepah (*Polymesoda erosa*) Perairan Pemangkat Sambas Kalimantan Barat [Tesis]. Semarang (ID) : Universitas Diponegoro. hlm 183-246.
- Anwari MS, Sunarto, Dulbahri, Suwarno, Hadi S. 2013. Struktur dan Komposisi Mangrove Berdasarkan Tingkat Kerusakan di Segara Anakan, Cilacap. Jurnal Waratropika. Sekolah Tinggi Ilmu Pertanian (sedang dicetak).
- Ardli ER, M Wolff. 2008. *Land use and land cover change affecting habitat distribution in the Segara Anakan lagoon, Java, Indonesia*. Regional Environmental Change. DOI:10.1007/ s10113-008-0072-6.
- Dombois M, H Ellenberg. 1974. *Aims and Methodes of Vegetation Ecology*. John Wiley. New York. hlm 547 .
- Heryanto, Marsetiowati R, Yulianda F. 2006. Metode Survei dan Pemantauan Populasi Satwa. Seri Kelima tentang Siput dan Kerang. Cibinong (ID) : Bidang Zoologi Pusat Penelitian Biologi-LIPI. hlm 56.
- Khasanah F, E Supriyantini, SY Wulandari. 2010. Kandungan Nutrisi Kerang Totok pada Variasi Ukuran Cangkang di Pulau Gombol, Cilacap. Majalah Ilmu Kelautan.
- Kresnasari D. 2010. Analisis Bioekologi : Sebaran Ukuran Kerang Totok (*Polymesoda erosa*) Di Segara Anakan Cilacap [Tesis]. Semarang (ID) : Universitas Diponegoro.
- Manzi JJ, Castagna M. 1989. *Hatchery Production of Nursery Stock Clams. In Clam Mariculture in North America*. Elsevier. New York. hlm 285-296.
- Morton B. 1984. *A Review of Polymesoda erosa (Geloina) Gray 1842 (Bivalvia: Corbiculidae) from Indo-Pasific Mangrove*. Journal Asian Marine Biology 1 : 77-86.

- Siregar S. 2011. Statistika Deskriptif untuk Penelitian. Jakarta (ID) :Rajawali Pers.
- Spellerberg FI. 1998. *Global Ecology and Biogeography Letters*. Blackwell publishing.hlm 317-333.
- Tis'in M. 2008. Tipologi Mangrove dan Keterkaitannya Dengan Populasi Gastropoda *Littorina neritoides* (LINNE,1758) di Kepulauan Tankeke, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan [Tesis]. Bogor (ID) : Institut Pertanian Bogor.
- Tomlinson PB. 1994. *The Botany of Mangrove*. Cambridge University Press. Cambridge.hlm 412.
- Tumisem, Suwarno. 2008. Degradasi Hutan Bakau Akibat Pengambilan Kayu Bakar oleh Industri Kecil Gula Kelapa di Cilacap. *Forum Geografi*. 22 (2) : 159-168.
- Widowati I, J Suprijanto, R Hartati, SAP Dwiono. 2005. Hubungan Dimensi Cangkang dengan Berat Kerang Totok *Polymesoda erosa* (Bivalvia : Corbiculidae) dari Segara Anakan Cilacap, Prosiding Seminar Nasional Biologi dan Akuakultur Berkelanjutan, Fakultas Biologi Program Sarjana Perikanan dan Kelautan Universitas Jendral Soedirman, Purwokerto. 48-50 hlm.

# DAMPAK VARIABILITAS HUJAN DAN KONVERSI LAHAN TERHADAP SENSITIFITAS DEBIT ALIRAN SUNGAI CITARUM

## *Rainfall Variability and Landuse Conversion Impacts To Sensitivity of Citarum River Flow*

Dyah Marganingrum<sup>1)\*</sup>, Arwin<sup>2)</sup>, Dwina Roosmini<sup>2)</sup>, dan Pradono<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Doktorat Teknik Lingkungan ITB

<sup>2)</sup>KK Teknologi Pengelolaan Lingkungan-Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB

<sup>3)</sup>KK Sistem Infrastruktur Wilayah dan Kota-SAPPK ITB

\*Puslit Geoteknologi-LIPI

E-mail: dmarganingrum@yahoo.com

### **ABSTRACT**

*The objective of this study is to determine the sensitivity of Citarum river flow to climate change and land conversion. It will provide information the flow resistance that required in the water resources sustainability. Saguling reservoir is one of the strategic reservoirs, which 75% water is coming from the inflow of Upper Citarum measured at Nanjung station. Climate variability was identified as rainfall variability. Sensitivity was calculated as the elasticity value of discharge using three-variate model of statistical approach. The landuse conversion was calculated used GIS at 1994 and 2004. The results showed that elasticity at the Nanjung station and Saguling station decreased from 1.59 and 1.02 to 0.68 and 0.62 respectively. The decreasing accured in the before the dam was built period (1950-1980) to the after reservoirs operated periode (1986-2008). This value indicates that: 1) Citarum river flow is more sensitive to rainfall variability that recorded at Nanjung station than Saguling station, 2) rainfall character is more difficult to predict. The landuse analysis shows that forest area decrease to  $\pm 27\%$  and built up area increased to  $\pm 26\%$ . Those implied a minimum rainfall reduction to  $\pm 8\%$  and flow minimum to  $\pm 46\%$ . Those were caused by land conversion and describing that the vegetation have function to maintain the baseflow for sustainable water resource infrastructure.*

**Keywords** : climate change, elasticity, statistik

### **ABSTRAK**

*Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan sensitivitas aliran sungai Citarum terhadap perubahan iklim dan konversi lahan. Dengan demikian diharapkan dapat memberikan informasi hambatan aliran yang diperlukan dalam keberlanjutan sumber daya air. Waduk Saguling merupakan salah satu waduk strategis, yang 75% air yang berasal dari masuknya Atas Citarum diukur pada stasiun Nanjung. Variabilitas iklim telah diidentifikasi sebagai variabilitas curah hujan. Sensitivity dihitung sebagai nilai elastisitas debit menggunakan model tiga-variate dari pendekatan statistik. Konversi penggunaan lahan dihitung menggunakan GIS pada tahun 1994 dan 2004. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada elastisitas stasiun Nanjung dan stasiun Saguling menurun dari 1,59 dan 1,02-0,68 dan 0,62 masing-masing. Penurunan terjadi pada perlakuan sebelum bendungan periode pembangunan (1950-1980) sampai periode operasional (1986-2008). Nilai ini menunjukkan bahwa: 1) aliran sungai Citarum lebih sensitif terhadap curah hujan variabilitas yang tercatat di stasiun Nanjung daripada stasiun Saguling, 2) karakter curah hujan lebih sulit untuk memprediksi. Analisis penggunaan lahan menunjukkan bahwa kawasan hutan penurunan  $\pm 27\%$  dan daerah terbangun meningkat  $\pm 26\%$ . Hal ini menunjukkan penurunan curah hujan minimum untuk  $\pm 8\%$  dan aliran minimum untuk  $\pm 46\%$ . Kondisi ini disebabkan oleh konversi lahan dan menjelaskan bahwa vegetasi memiliki fungsi untuk mempertahankan aliran dasar untuk infrastruktur sumber daya air yang berkelanjutan.*

**Kata kunci:** perubahan iklim, elastisitas, statistik

## PENDAHULUAN

Input utama sumber air di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah curah hujan. Curah hujan menjadi sumber air dalam bentuk air tanah, mata air, sungai, danau atau waduk, dipengaruhi oleh karakteristik DAS (*watershed properties*). Selain penggunaan lahan, variabel DAS lainnya relatif tetap (seperti sifat geologi atau tanah, topografi dan kemiringan lereng) [Suripin, 2004; Arwin, 2008]. Perubahan variabel penggunaan lahan akan menentukan kuantitas dan kualitas sumber air, khususnya air permukaan. Studi yang mengkaji pendayagunaan sumber air permukaan cukup beralasan sesuai dengan amanat yang tertulis pada pasal 26 (5) UU No.7/2004. Peraturan tersebut mengatakan bahwa pendayagunaan sumberdaya air didasarkan pada keterkaitan antara air hujan, air tanah, dan air permukaan dengan mengutamakan pendayagunaan air permukaan.

Mengetahui dampak variabilitas hujan dan konversi lahan terhadap debit aliran Sungai sangat penting untuk menjamin keberlanjutan sumber air. Curah hujan (P) adalah variabel acak. Hujan yang berkarakter acak akan menjadi debit aliran dengan sifat yang acak pula, (meskipun hujan relatif lebih *independent* daripada debit). Karena hujan dan debit merupakan variabel acak, maka instrumen statistik dapat digunakan untuk mengetahui perubahan perilakunya [Arwin dkk, 2002; Koutsoyiannis, 2008; Liu dan Cui, 2009]. Apabila curah hujan yang jatuh ke permukaan bumi dengan pola penggunaan lahan yang tetap (*fix variable*) maka debit aliran akan mengikuti pola curah hujan. Namun apabila guna lahannya berubah maka debit aliran (Q) akan semakin *independent*, baik secara kuantitas maupun kualitas (Arwin, 2009; anna, *et al*, 2011). Perubahan guna lahan dapat diketahui dari

analisis peta penggunaan lahan pada periode yang berbeda. Pada umumnya digunakan perbedaan periode minimum 10 tahun untuk menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam perubahan guna lahan.

Lokasi studi dilakukan di Cekungan Bandung. Kawasan ini menjadi salah satu kawasan strategis nasional (KSN) dengan fokus pengembangan ekonomi nasional [PP No. 26/2008]. Hulu DAS Citarum merupakan kawasan utama Cekungan Bandung dengan *catchment area* (daerah tangkapan)  $\pm 1717 \text{ km}^2$  dari  $2283 \text{ km}^2$  luas total Cekungan Bandung [NUDS, 1985]. Secara administratif, KSN Cekungan Bandung meliputi lima daerah otonomi, yaitu Kabupaten Bandung, Kabupaten Bandung Barat, Kota Bandung, Kota Cimahi, dan tiga kecamatan di Kabupaten Sumedang. Gambar 1 adalah batasan lokasi studi dengan distribusi pos hujan dan pos debit yang digunakan untuk analisis dalam studi ini.

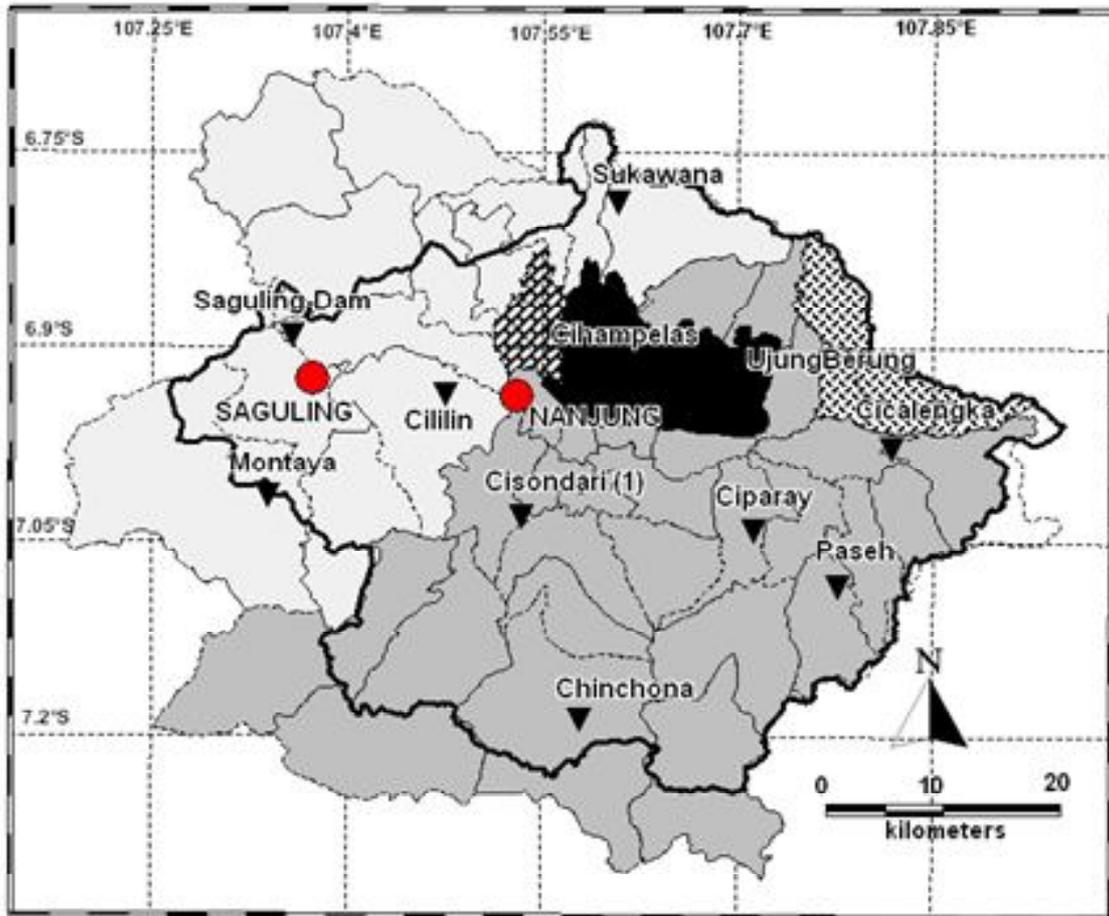
Pengembangan kawasan Cekungan Bandung sebagai Kawasan Strategis Nasional (KSN) yang bertumpu pada peningkatan ekonomi, menyebabkan kawasan ini mengalami eksploitasi lahan. Salah satu bentuk implikasinya adalah berkurangnya daerah resapan air (*recharge area/RA*). Sebagian daerah RA di kawasan Cekungan Bandung telah beralih fungsi menjadi permukiman dan kawasan industri akibat tekanan populasi dan aktivitas produksi di kawasan ini [Wangsaatmaja, 2004]. Eksploitasi lahan telah menyebabkan gangguan terhadap keseimbangan komponen utama hidrologi (hujan dan debit). Pengelolaan DAS yang kurang memperhatikan integrasi antara aspek lahan dan air menjadi salah satu akar permasalahan di kawasan ini (Pribadi dan Oktavia, 2007).

Dengan demikian ada dua faktor utama

yang perlu diperhatikan dalam pendayagunaan sumber air permukaan, yaitu variabilitas hujan dan konversi lahan. Analisis perubahan debit aliran menjadi penting dalam menjamin keandalan sumber air serta keberlanjutan infrastruktur sumberdaya air. Salah satu infrastruktur sumberdaya air yang berfungsi strategis di lokasi studi ini adalah Waduk Saguling. Waduk ini merupakan pemasok utama energi listrik pada jaringan listrik Jawa-Bali karena memiliki LFC (*Load Frequency Control*). Input utama Waduk Saguling berasal dari Hulu DAS Citarum. Input tersebut terukur di pos pencatatan debit Nanjung yang meliputi 75% dari total in-

flow Waduk Saguling (Hart and Djuangsih, 2002).

Waduk Saguling dibangun sebagai waduk fungsi tunggal (*single purpose*). Namun karena laju kebutuhan air baku di KSN Cekungan Bandung semakin meningkat, maka transformasi fungsi tunggal menjadi multisektor perlu dikaji lebih lanjut. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis dan evaluasi debit aliran sungai Citarum (khususnya yang terukur di Pos Nanjung dan pos Saguling) akibat pengaruh variabilitas hujan dan konversi lahan. Nilai positif dari hasil studi ini ditujukan untuk mempersiapkan langkah mitigasi dan



Sumber: hasil analisis

Gambar 1. Lokasi Studi Cekungan Bandung

adaptasi guna menjaga keandalan sumber air di KSN Cekungan Bandung, khususnya keberlanjutan infrastruktur Waduk Saguling.

## METODE PENELITIAN

Hujan dan debit merupakan variabel acak. Oleh karena itu kecenderungan atau trend data historikalnya dapat dianalisis dengan instrumen statistik. Untuk menggambarkan trend dari suatu time series data dapat dilakukan transformasi rata-rata waktu, seperti metode *Moving Average* (rata-rata bergerak) [Koutsoyiannis, 2008]. Trend dianalisis pada dua periode yang berbeda. Tahun 1950-1980 menggambarkan periode sebelum Waduk Saguling dibangun. Dan tahun 1986-2008 menggambarkan periode setelah Waduk Saguling dioperasikan.

Kecenderungan atau trend dari data hujan dan debit hanya menggambarkan kedua komponen hidrologi tersebut secara terpisah. Sedangkan untuk mengetahui hubungan antara kedua komponen P-Q tersebut dilakukan dengan analisis sensitivitas P-Q. Tinggi rendahnya sensitivitas debit terhadap variabilitas hujan ditentukan berdasarkan nilai elastisitas P-Q. Nilai elastisitas debit sungai terhadap variabilitas hujan didefinisikan sebagai perubahan debit sungai yang proporsional terhadap perubahan curah hujan yang dalam studi ini menggunakan variabel hujan wilayah rata-rata. Hujan wilayah rata-rata dalam studi ini dihitung menggunakan metode Poligon Thiessen.

Nilai elastisitas P-Q dirumuskan dalam persamaan berikut [Schaaque, 1990; Sankarasubramanian et al, 2001; Liu dan Cui, 2009]:

$$\varepsilon_p(P_3Q) = \frac{dQ/Q}{dP/P} = \frac{dQ}{dP} \frac{P}{Q} \text{ ----- (1)}$$

Sankarasubramanian et al (2001) menerapkan persamaan (1) pada nilai rata-rata curah hujan (variabel iklim) yang dapat dianggap sebagai ukuran untuk membandingkan respon debit aliran terhadap perubahan iklim. Sehingga persamaan (1) dapat ditulis kembali sebagai berikut:

$$\varepsilon_p(\mu_p, \mu_Q) = \frac{dQ}{dP} \left| \frac{\mu_p}{\mu_Q} \right. \text{ ----- (2)}$$

Persamaan (1) menggambarkan *intrinsic property of catchment* [Chiew, 2006]. Untuk mengestimasi nilai  $\varepsilon_p$  pada persamaan (1), dapat dilakukan dengan dua pendekatan (Sankarasubramanian et al, 2001):

1. Menggunakan pendekatan nonparameter alami (*the natural nonparametric approach*) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\varepsilon_p = \text{median} \left( \frac{Q_t - \bar{Q}}{P_t - \bar{P}} \frac{\bar{P}}{\bar{Q}} \right) \text{ ----- (3)}$$

2. Menggunakan model tiga variat (trivariate model) sebagai estimator kedua, dengan persamaan sebagai berikut :

$$\varepsilon_p = \rho_{Q,P} \left( \frac{C_Q}{C_P} \right) \text{ ----- (4)}$$

Dimana :  $\rho_{Q,P}$  adalah koefisien korelasi antara Q dan P, sedangkan  $C_Q$  dan  $C_P$  masing-masing adalah koefisien variasi Q dan P.

Nilai elastisitas (e) dan korelasi ( $\rho$ ) P-Q menjadi salah satu pertimbangan utama dalam pengelolaan sumberdaya air, berkaitan dengan perhitungan ketersediaan air yang berkelanjutan.

Nilai hujan dalam perhitungan diatas ditentukan berdasarkan nilai hujan rata-rata wilayah di Cekungan Bandung. Perhitungan

hujan rata-rata wilayah menggunakan metode pendekatan polygon Thiessen dari beberapa stasiun hujan yang terdistribusi merata di Cekungan Bandung. Periode tahun 1950-1980 menggunakan 18 pos hujan sementara pada periode tahun 1986-2008 menggunakan 8 pos hujan. Perbedaan jumlah pos hujan tersebut dipengaruhi oleh ketersediaan serial data historikal dari masing-masing pos hujan yang disesuaikan dengan ketersediaan seri historikal data debit, baik di pos Nanjung maupun pos Saguling. Pos debit Nanjung mewakili DAS Citarum Hulu, sementara pos debit Saguling mewakili Waduk Saguling yang merupakan muara aliran DAS Citarum Hulu.

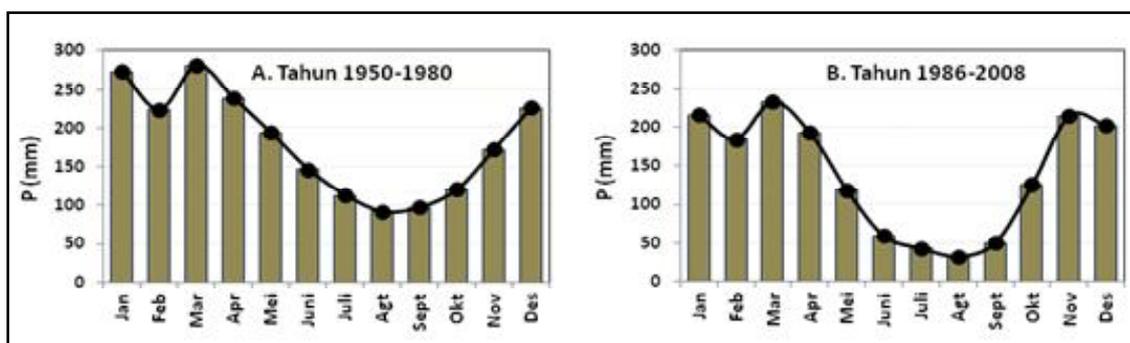
Sementara pengaruh konversi lahan dilakukan dengan analisis perubahan guna lahan periode 1994 dan 2004 (10 tahun) dikaitkan dengan perubahan data hujan dan debit harian minimum pada kedua tahun tersebut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Di Indonesia terdapat tiga pola hujan, yaitu tipe Moonsun, Equatorial, dan Lokal [Tjasyono, 2004]. Hasil analisis curah hujan

wilayah di Cekungan Bandung menunjukkan pola hujan tipe Moonsun dengan satu puncak hujan pada bulan Maret (Gambar 2). Rata-rata hujan bulanan mengalami penurunan setelah Waduk Saguling beroperasi. Rata-rata hujan bulanan pada periode 1950-1980 (sebelum Waduk Saguling beroperasi) sebesar 182 mm/bulan. Namun setelah Waduk Saguling beroperasi (periode 1986-2008), rata-rata hujan bulanan turun menjadi 139 mm/bulan. Perubahan nilai rata-rata adalah salah satu indikator adanya variabilitas atau ketidakpastian hujan [Arwin, 2009].

Variabilitas hujan yang jatuh pada sebuah DAS akan berpengaruh pada debit aliran. Meskipun sifat dependensinya lebih tinggi dari hujan, data debit juga merupakan variabel acak. Oleh karena itu, pendekatan statistik juga dapat digunakan untuk mengetahui trend atau sensibilitasnya [Arwin, 1993; Arwin dkk., 2002; Koutsoyiannis, 2008]. Sensibilitas (pola suksesif) debit sangat diperlukan dalam perencanaan infrastruktur sumberdaya air. Gambar 3 menunjukkan bahwa metode *moving average* dengan 10 periode yang menggambarkan ekstrimitas debit di pos Nanjung sebagai inflow utama Waduk Saguling.



Sumber: hasil analisis

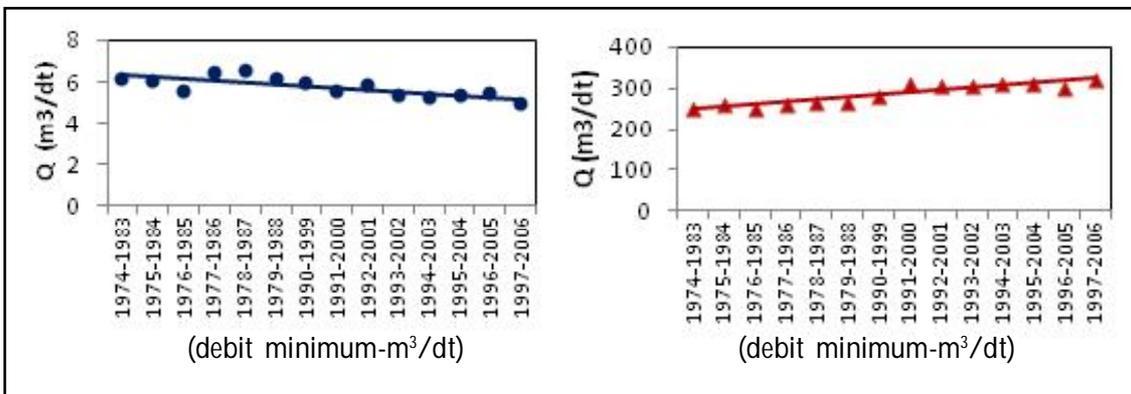
Gambar 2. Hujan Rata-Rata Wilayah Cekungan pada Dua Periode yang Berbeda [Periode Sebelum Waduk Saguling Dibangun (a) dan Periode Setelah Waduk Saguling Beroperasi (b)]

Ekstrimitas debit ditunjukkan dari adanya perbedaan yang makin ekstrim antara debit minimum dan debit maksimum. Debit harian minimum di pos Nanjung semakin turun sebaliknya debit harian maksimumnya semakin tinggi. Analisis debit rencana minimum-maksimum (kering-basah) sangat penting dalam perencanaan dan evaluasi infrastruktur sumberdaya air.

Hujan (P) dan debit (Q) merupakan dua komponen utama dalam siklus hidrologi yang menjadi variabel penentu sekaligus pembatas dalam pembangunan. Isu

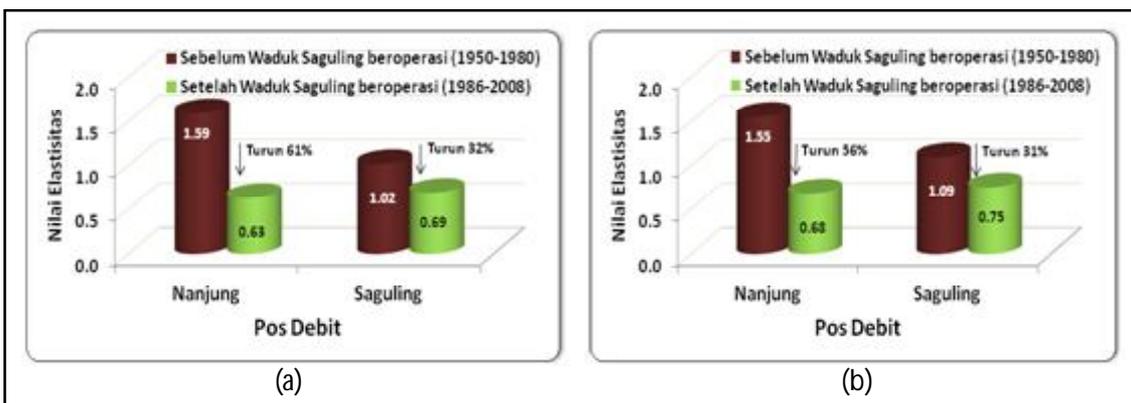
perubahan iklim akhir-akhir ini tentu akan memberikan pengaruh terhadap pola hujan dan debit di lokasi studi. Untuk mengetahui hubungan antara P dan Q dilakukan analisis sensitivitas P-Q.

Gambar 4 memperlihatkan hasil perhitungan sensitivitas debit aliran Sungai Citarum menggunakan model tiga variat [Lui dan Cui, 2009]. Tingkat sensitivitas dihitung sebagai nilai elastisitas debit terhadap rata-rata curah hujan wilayah Cekungan Bandung. Perbandingan dilakukan pada debit terukur di pos Nanjung dan



Sumber: hasil analisis

Gambar 3. Debit Suksesif di Pos Nanjung Periode 1974-2006 dengan Moving Average 10 Tahun



Sumber: hasil analisis

Gambar 4. Nilai Elastisitas Debit Terukur di Pos Nanjung dan Pos Saguling terhadap Variabilitas Curah Hujan di Cekungan Bandung: (a) LagTime = Nol Bulan dan (b) LagTime = Satu Bulan

Pos Saguling, masing-masing sebagai pos primer dan pos sekunder. Sebagai inflow utama, debit terukur di Pos Nanjung memberikan pengaruh besar terhadap fluktuasi debit di Waduk Saguling.

Perhitungan statistik dilakukan dengan dua versi. Versi pertama (Gambar 4a) menggunakan *lagtime* nol bulan. Artinya korelasi dilakukan antara data debit dan data hujan pada bulan dan tahun yang sama. Versi kedua (Gambar 4b) menggunakan *lagtime* satu bulan, artinya korelasi dilakukan antara data curah hujan pada t bulan dengan data debit pada t+1 (satu bulan berikutnya). Dua skenario tersebut dilakukan atas dasar bahwa hujan yang jatuh menjadi limpasan terbagi atas *direct runoff* dan *baseflow*. Skenario 1 diterapkan pada DAS yang kecil dimana *baseflow* dapat diabaikan. Sedangkan skenario 2 diterapkan untuk DAS yang lebih besar dimana peranan *baseflow* sangat signifikan [Arwin 2002].

Korelasi dilakukan setelah menyamakan satuan debit dan hujan dalam bentuk vol-

ume ( $m^3/tahun$ ). Variabel hujan dikalikan dengan luasan DAS ( $2283 \text{ Km}^2$ ). Hasil perhitungan nilai elastisitas debit-hujan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2, masing-masing menggunakan *lagtime* nol bulan dan satu bulan.

Hasil perhitungan dengan dua versi menunjukkan fenomena bahwa pembangunan infrastruktur Waduk Saguling dapat menurunkan sensitivitas debit terhadap perubahan iklim. Fenomena tersebut terlihat pada penurunan nilai elastisitas debit terhadap perubahan iklim, baik di pos Nanjung maupun pos Saguling yang cukup signifikan (masing-masing  $\pm 60\%$  dan  $\pm 30\%$ ). Sehingga dapat dikatakan bahwa pembangunan Waduk Saguling dapat meredam pengaruh variabilitas atau perubahan iklim yang terjadi di kawasan Cekungan Bandung.

Dari Gambar 4 terlihat bahwa sebelum Waduk Saguling dibangun (1950-1980), nilai elastisitas debit lebih dari 1 ( $e > 1$ ), baik yang terukur di pos Nanjung maupun Saguling. Nilai tersebut menunjukkan

Tabel 1. Perhitungan Elastisitas Debit-Hujan (Lagtime Nol Bulan)

<b>1950-1980 :</b>			
<b>Sebelum Waduk Saguling dibangun</b>	<b>Q-N</b>	<b>Q-S</b>	<b>P-Wil</b>
Rata-rata	1819	2659	4977
Standard deviasi	823	836	1005
Koefisien Variansi	0.45	0.31	0.20
Nilai korelasi, r	0.71	0.65	
Elastisitas	1.59	1.02	
<b>1986-2008:</b>			
<b>Setelah Waduk Saguling dioperasikan</b>	<b>Q-N</b>	<b>Q-S</b>	<b>P-Wil</b>
Rata-rata	2236	2840	3818
Stdandard deviasi	458	613	693
Koefisien Variansi	0.20	0.22	0.18
Nilai korelasi, r	0.56	0.58	
Elastisitas	0.63	0.69	

Sumber: hasil analisis

bahwa perubahan iklim di Cekungan Bandung sangat mempengaruhi kondisi aliran di Cekungan Bandung pada periode tersebut. Hal ini tentunya akan memberikan ancaman bagi keberlanjutan infrastruktur sumberdaya air di kawasan ini. Perubahan debit aliran tersebut menginisiasi perlunya melakukan evaluasi terhadap debit rencana pada infrastruktur sumberdaya air, termasuk waduk. Hal ini tertuang dalam PP No. 37 Tahun 2010 tentang Bendungan.

Setelah Waduk Saguling dioperasikan, nilai elastisitas debit terhadap perubahan iklim turun hingga kurang dari 1. Nilai tersebut menunjukkan kondisi bahwa debit di pos Nanjung maupun di pos Saguling tidak terlalu sensitif terhadap perubahan iklim yang terjadi di Cekungan Bandung. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa fungsi waduk selain sebagai penyimpanan air, juga mampu meredam pengaruh perubahan iklim. Hal ini tentu dapat menjadi salah satu alasan yang menangkal bahwa pembangunan waduk selalu membawa

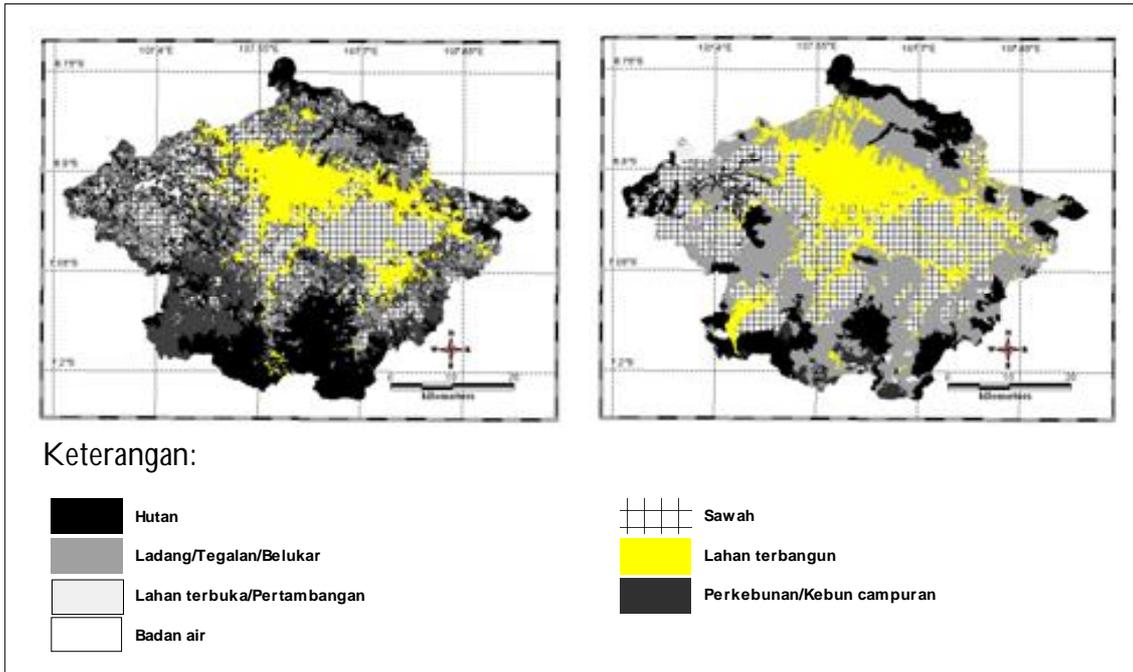
permasalahan. Permasalahan sosial akan terjadi manakala komunikasi antara pengelola (dalam hal ini Pemerintah dan swasta) dan masyarakat sekitar tidak berlangsung dengan baik. Di kawasan perkotaan, seperti KSN Cekungan Bandung dengan pertumbuhan penduduk yang tinggi, ketergantungan terhadap waduk sebagai sumber air baku sangatlah krusial.

Salah satu dampak dari laju pertumbuhan penduduk adalah eksploitasi lahan. Konversi lahan secara suksesif menjadi pemicu terjadinya ekstrimitas debit dan hujan di lokasi studi. Perubahan tutupan lahan, dari hutan berturut-turut menjadi budidaya, permukiman pedesaan dan urban berdampak semakin besarnya debit limpasan. Tutupan lahan bervegetasi di DAS Citarum Hulu turun sebesar  $\pm 10\%$  selama kurun waktu 10 tahun yaitu tahun 1994-2004 (Gambar 5 dan Gambar 6). Selain sebagai indikator penurunan kualitas DAS, perubahan tutupan lahan tentu saja mempengaruhi perubahan iklim dalam skala mikro maupun meso.

Tabel 2. Perhitungan Elastisitas Debit-Hujan (Lagtime Satu Bulan)

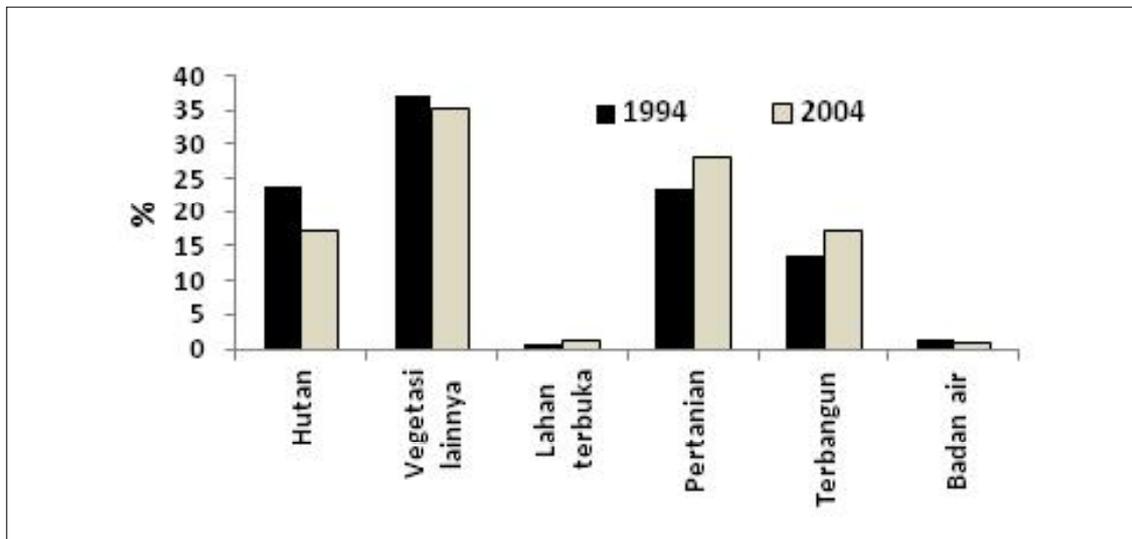
<b>1950-1980 :</b>			
<b>Sebelum Waduk Saguling Dibangun</b>	<b>Q-N</b>	<b>Q-S</b>	<b>P-Wil</b>
Rata-rata	1801	2675	4977
Stdandard deviasi	752	878	1005
Koefisien Variansi	0.42	0.33	0.20
Nilai korelasi, r	0.75	0.67	
Elastisitas	1.55	1.09	
<b>1986-2008:</b>			
<b>Setelah Waduk Saguling Dioperasikan</b>	<b>Q-N</b>	<b>Q-S</b>	<b>P-Wil</b>
Rata-rata	2232	2833	3818
Stdandard deviasi	510	677	693
Koefisien Variansi	0.23	0.24	0.18
Nilai korelasi, r	0.54	0.57	
Elastisitas	<b>0.68</b>	<b>0.75</b>	

Sumber: hasil analisis



Sumber: hasil analisis

Gambar 5. Perubahan Guna Lahan di Das Citarum Hulu (1994-2004)



Sumber: hasil analisis

Gambar 6. Persentase perubahan guna lahan di DAS Citarum Hulu (1994-2004)

Peranan vegetasi di suatu lokasi adalah meningkatkan indeks konservasi karena rekahan atau pori-pori tanah akan meningkatkan porositas, dan meningkatkan infiltrasi karena ruang tanah melebar sehingga dapat menampung banyak air dan mengurangi limpasan. Tabel 3 menunjukkan perubahan lahan (lahan bervegetasi dan lahan terbangun), perubahan hujan wilayah rata-rata tahunan, serta perubahan debit terukur di pos Nanjung (yang mewakili sebagian besar debit runoff dari Cekungan Bandung). Hasil perhitungan tersebut (Tabel 3) terlihat bahwa penurunan persentase lahan bervegetasi dan peningkatan lahan terbangun (dari tahun 1994-2004) seiring dengan penurunan hujan (baik rata-rata maupun tahunan), demikian halnya dengan data debit. Namun apabila melihat perubahan debit minimum terhadap hujan minimum, menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan. Artinya

perubahan hujan minimum hanya 8,33% memberikan perubahan debit minimum sebesar 46%. Dengan demikian fungsi atau peranan vegetasi dalam hal meningkatkan indeks konservasi semakin menurun dengan adanya perubahan atau konversi lahan dari lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun.

Oleh karena itu untuk menjaga agar ketersediaan air tetap kontinu, diperlukan upaya mengendalikan kerusakan sumber air. Salah satu bentuk pengendalian kerusakan sumber air adalah mengendalikan konversi lahan dengan menetapkan batasan ruang hidrologis secara tegas antara kawasan konservasi dan kawasan budidaya/kerja. Dengan demikian pengendalian konversi lahan sama pentingnya dengan upaya adaptasi terhadap perubahan iklim yang ada dalam kerangka mencapai keberlanjutan (infrastruktur) sumber daya air.

Tabel 3. Perubahan Variabel Penggunaan Lahan, Hujan dan Debit Kurun Waktu 1994-2004

Variabel	Tahun		Persen Perubahan	
	1994	2004		
Penggunaan Lahan	Hutan (ha)	553.18	400.45	-27.61
	Vegetasi lainnya (ha)	865.41	824.26	-4.76
	Terbangun (ha)	315.76	396.78	25.66
Hujan (P)	$P_{\min}$ (mm/bln)	12	11	-8.33
	$P_{\text{rata-rata}}$ (mm/bln)	136.60	103.75	-24.05
	$P_{\text{tahunan}}$ (mm/th)	1639.21	1245.03	-24.05
Debit (Q)	$Q_{\min}$ ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )	6.51	3.49	-46.39
	$Q_{\text{rata-rata}}$ ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )	73.52	59.23	-19.44
	$Q_{\text{tahunan}}$ ( $12 \times \text{m}^3/\text{dt}$ )	882.25	710.70	-19.44

Sumber: hasil analisis

## KESIMPULAN DAN SARAN

1. Nilai elastisitas debit tercatat di pos Nanjung dan pos Saguling menurun dari sebelum waduk dibangun dan setelah waduk dioperasikan.
2. Debit tercatat di Pos Nanjung lebih sensitif terhadap variabilitas curah hujan daripada debit tercatat di Pos Saguling.
3. Pembangunan waduk memberikan efek positif dalam meredam pengaruh variabilitas iklim (hujan) terhadap debit aliran. Kestabilan debit aliran sangat diperlukan dalam mempertahankan keberlanjutan sumber air (infrastruktur sumberdaya air).
4. Dampak konversi lahan dalam proses input-output DAS (hujan menjadi debit) di lokasi studi terlihat signifikan yang artinya bahwa fungsi vegetasi sangat diperlukan dalam rangka mempertahankan debit aliran dasar yang diperlukan untuk keberlanjutan infrastruktur sumberdaya air.
5. Elastisitas debit sungai terhadap perubahan iklim di lokasi studi (DAS Citarum Hulu) berkaitan erat dengan perubahan penggunaan lahan. Perubahan penggunaan lahan memberikan pengaruh terhadap perubahan iklim. Konversi lahan dari lahan bervegetasi menjadi lahan terbangun, selain memberikan pengaruh terhadap perubahan iklim baik secara mikro maupun meso, juga memberikan dampak terhadap perubahan debit aliran sungai secara langsung.
6. Untuk mengurangi tingkat elastisitas debit terhadap perubahan iklim, diperlukan pengendalian konversi lahan, baik secara tidak langsung (*indirect*) dengan peraturan perundangan, atau secara langsung (*direct*) dengan insentif-disinsentif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anna, Alif Noor, Suharjo, Munawar Cholil (2011). Analisis Fluktuasi Hujan dan Morfologi Sungai Terhadap Konsentrasi Banjir Daerah Surakarta. *Forum Geografi*. Vol. 25, No. 1, Juli 2011: 41 – 52.
- Arwin, Sirtadian, A.D., Juwana, I. (2002): Studi Statistika Komponen Utama Hidrologi di Daerah Aliran Sungai dalam Rangka Ketersediaan Sumber Air Bersih. *Jurnal ITENAS*, No.3, Vol. 6, Sept-Nov 2002, 86-97.
- Arwin. (1993): Rainfall-runoff Watershed Model by Multiple Regression Method for Optimizing Hydroelectric Power of Saguling with Uncertain Future. *Conference Paper 4<sup>th</sup> IAWQ (International Association on Water Quality) Vol. 1 on Water Conservation and Pollution Control*, Jakarta 5-9 October 1993, Indonesia.
- Arwin. (2009): Perubahan Iklim, Konversi Lahan, dan Ancaman Banjir dan Kekeringan di Kawasan Terbangun. *Pidato Ilmiah Guru Besar ITB-Majelis Guru Besar ITB*. CV Senatama Wikarya-Bandung.

- Chiew, F.H.S. (2006): Estimation of Rainfall Elasticity of Streamflow in Australia. *Hydrological Science Journal*, 51, 613-625
- Hart, B.T., Dok, Wendy van, and Djuangsih, N. (2002): Nutrient budget for Saguling Reservoir, West Java, Indonesia. *Water Research*, 36, 2152-2160.
- Koutsoyiannis, D. (2008): On Detectability of Nonstationary from Data Using Statistical Tool. *European Geoscience Union General assembly, Vienna-Austria 13-18 April 2008*.
- Liu, Qiang dan Cui, Baashan. (2009): Impact of Climate Change/Vulnerability on the Stream Flow in The Yellow River Basin, China. *Ecological Modeling* xxx (2009), xxx-xxx, Elsevier Publisher-(article in press)
- NUDS (*National Urban Development and Strategy*). (1985): *Penyusunan Kerangka Struktur Ruang Metropolitan Bandung*. Ditjen Ciptakarya-Departemen PU.
- Pribadi, K. N dan Oktavia, P. (2007) : Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu Melalui Pengembangan Kebijakan Pembangunan Berkelanjutan di Cekungan Bandung. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, Vol. 18 No. 2, 1-32.
- Sankarasubramanian, A. and Vogel, R.M., Limbrunner, J.F. (2001): Climate elasticity of streamflow in the United States. *Water Resources Research*, 37, 1771-1781.
- Tjasyono, Bayong. (2004): *Klimatologi*. ITB Press, Bandung.

# MODEL HIDRODINAMIKA PERAIRAN PESISIR KOTA MAKASSAR

## *Hydrodynamics Model of Coastal Areas of Makassar City*

Taslim Arifin<sup>1)</sup>, Yulius<sup>1)</sup> dan M. Furqon Azis Ismail<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir, Balitbang KP

<sup>2)</sup> Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI

E-mail: taslim@kkp.go.id

### **ABSTRACT**

*Hydrodynamics Model In Makassar Waters. Numerical hydrodynamics model MOHID based on Boussinesq approaches methods and General Ocean Turbulence Model formula is used to study the tidal current in Makassar waters. The data used in this model are water elevation from the field measurements and bathymetry from the Hydro-Oceanographic chart. The numerical simulation was conducted for 30 days. Model simulation results show that the tidal current velocity ranges from 0,001 m/s – 0,012 m/s where the velocity during neap tide is smaller than the velocity during spring tide. The pattern of tidal current in Makassar waters is dominantly flows towards westward and then turned heading northward direction. The simulation result of tide-induced residual current in verification point shows that the flows is ebb-dominant at a rate of 0,005 m/s heading westward direction.*

**Key words:** numerical model, tidal current, Makassar waters

### **ABSTRAK**

*Model arus numerik MOHID berdasarkan metode pendekatan Boussinesq dan rumus Model Turbulensi Samudra Umum digunakan untuk mempelajari pasang surut saat ini di perairan Makassar. Data yang digunakan dalam model ini adalah elevasi air dari pengukuran lapangan dan batimetri dari grafik Hydro-Oseanografi. Simulasi numerik dilakukan selama 30 hari. Hasil simulasi model menunjukkan bahwa pasang surut berkisar kecepatan arus dari 0,001 m / s - 0,012 m /s mana kecepatan selama air perbani lebih kecil dari kecepatan selama musim semi pasang. Pola pasang surut saat ini di perairan Makassar dominan mengalir ke arah barat dan kemudian berbalik menuju ke utara arah. Hasil simulasi pasang-arus induksi sisa dalam jalur verifikasi menunjukkan bahwa arus surut dominan pada tingkat 0,005 m / s menuju arah barat.*

**Kata kunci:** model numerik, arus pasang surut, perairan Makassar

### **PENDAHULUAN**

Makassar sebagai kota pesisir merupakan pusat kegiatan ekonomi dan politik di provinsi Sulawesi Selatan yang mengalami pertumbuhan yang sangat pesat baik dari segi pembangunan fisik dan kepadatan penduduknya. Pesisir merupakan area yang menarik berlangsungnya aktifitas manusia (Triyono, 2009), sehingga upaya reklamasi pesisir saat ini mulai banyak bermunculan untuk memenuhi kebutuhan lahan-lahan baru di pesisir Kota Makassar. Reklamasi

dapat memberikan keuntungan dan membantu kota dalam rangka penyediaan lahan untuk berbagai keperluan (pemekaran kota), penataan daerah pesisir, pengembangan wisata bahari, dan lain-lain. Namun perlu diingat bahwa kegiatan reklamasi adalah bentuk campur tangan manusia terhadap keseimbangan lingkungan alamiah pesisir yang selalu dalam keadaan dinamis sehingga dikhawatirkan akan melahirkan perubahan ekosistem seperti perubahan pola arus, erosi dan sedimentasi pesisir yang

berpotensi mengganggu lingkungan pesisir (Mann dan Lazier, 2006: 118).

Pasang surut dan arus yang dibangkitkan pasang surut sangat dominan dalam proses sirkulasi massa air di perairan pesisir (Duxbury *et al.* 2002: 203). Pengetahuan mengenai pasang surut dan pola sirkulasi arus pasang surut di perairan pesisir dapat memberikan indikasi tentang pergerakan massa air serta kaitannya sebagai faktor yang dapat mempengaruhi distribusi suatu material di dalam kolom air (Mann dan Lazier, 2006: 254). Reklamasi daerah pesisir yang terus berkembang dan bervariasi dari segi teknologi, metode pelaksanaan dan kebutuhan menuntut efektifitas dalam perencanaan dan pelaksanaannya. Untuk mendapatkan data pasang surut dan arus pasang surut di perairan Pesisir Makassar, diperlukan waktu yang lama dan dana yang besar. Pemodelan numerik dengan pelaksanaannya yang cepat dan relatif murah dapat dipilih untuk mengatasi kurangnya dana dan waktu yang tersedia (Ramming dan Kowalik, 1980: 162). Dalam tulisan ini dibahas pola sirkulasi arus pasang surut di perairan pesisir Makassar, hasil dari simulasi numerik menggunakan model hidrodinamika MOHID yang merupakan program terbuka (*open source*) dan gratis yang selanjutnya dapat digunakan sebagai studi pendahuluan dalam perencanaan reklamasi di perairan pesisir Makassar.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2010 di perairan pesisir Kota Makassar (Gambar 1). Pengambilan data dilakukan selama 15 hari pengamatan dengan menggunakan alat *automatic tide gauge*. Simulasi arus pasang surut dalam studi ini menggunakan program terbuka (*open source*) yang gratis dengan nama MOHID (Modelo Hidrodinámico). Model MOHID merupakan sebuah program numerik terintegrasi

berorientasi objek (*Integrated Object Oriented Model*) yang dikembangkan oleh Miranda *et al.* (2000: 395). MOHID menggunakan metode pendekatan Boussinesq (*Boussinesq approaches*) dan formula dari GOTM (*General Ocean Turbulence Model*) (Alexandre *et al.* 2009: 32). MOHID memiliki kemampuan proses awal dan akhir (*pre-processor and post-processor*) untuk pemodelan hidrodinamika. Proses awal pemodelan numerik adalah pembangunan grid pada daerah yang akan dimodelkan serta penentuan parameter masukan. Proses akhir pemodelan adalah kegiatan menyajikan data hasil pemodelan yang dilakukan. MOHID menyediakan perangkat GIS dan GUI sebagai perangkat proses awal untuk mengatur, mengedit, dan memvisualisasikan data geometri dalam sebuah grid yang akan digunakan dalam pemodelan numerik. Perangkat proses akhir dari MOHID adalah perangkat Post-Processor yang dapat menyajikan hasil model secara grafik dan visualisasi data hasil pemodelan pada setiap grid dalam domain model.

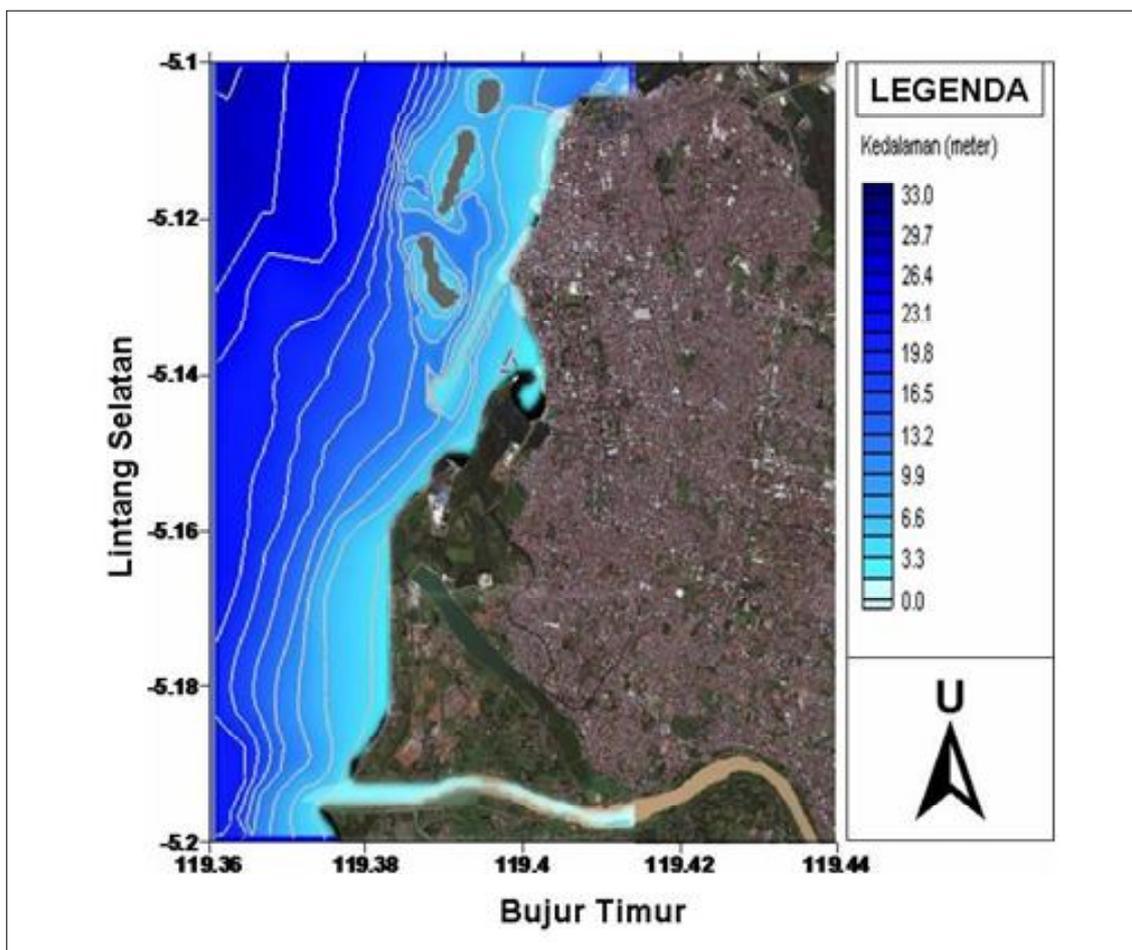
Daerah model pada studi ini adalah perairan Pesisir Makassar seperti yang terlihat pada Gambar 1. Daerah model dibuat dengan ukuran grid  $\Delta x = \Delta y = 50$  meter, sehingga terbentuk menjadi 200 sel baris dan 125 sel kolom. Total sel daerah model sebesar 25000 sel yang meliputi seluruh area studi. Faktor pembangkit arus dalam simulasi numeris ini berupa elevasi pasang surut hasil pengukuran selama 15 hari yang diinterpolasi dengan langkah waktu  $\Delta t = 3600$  detik. Simulasi model hidrodinamika dijalankan selama 30 hari atau 720 jam. Pada simulasi numerik ini menggunakan data input batimetri yang diperoleh dari data Dishidros TNI-AL no. 176. Kedalaman maksimum daerah model mencapai 30 meter dengan batas daerah model  $119^{\circ} 21' BT - 119^{\circ} 25' BT$  dan  $5^{\circ} 6' LS - 5^{\circ} 11' LS$ . Untuk verifikasi, hasil simulasi akan dibandingkan dengan data hasil pengukuran tinggi muka air laut pada posisi  $119^{\circ} 24,17' BT$  dan  $5^{\circ} 8,59' LS$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi model hidrodinamika yang berupa elevasi (tinggi muka) air laut pada posisi  $119^{\circ} 24,17'$  BT dan  $5^{\circ} 8,59'$  LS dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan hasil visualisasi gambar tersebut, tipe pasang surut perairan Pantai Makassar adalah tipe campuran yang cenderung diurnal (harian tunggal) dengan amplitudo sebesar 0,88 – 2,18 meter dari muka laut rata-rata (MSL). Tipe pasang surut dan elevasi air laut hasil simulasi tersebut sesuai dengan hasil yang didapatkan oleh Nurfaida (2009: 118). Adanya fluktuasi muka air laut hasil simulasi tersebut akan diikuti oleh gerakan

massa air yang periodik (Hatayama et al. 1996: 12368) seperti yang terlihat pada Gambar 3 - 10. Verifikasi tinggi muka air (elevasi) hasil simulasi dilakukan dengan membandingkannya dengan hasil pengukuran dari data lapangan. Secara umum, hasil simulasi model dapat merepresentasikan dengan cukup baik pola elevasi muka air di perairan Pantai Makassar (Gambar 2). Hal ini terlihat dengan adanya kesesuaian elevasi muka air dan amplitudo elevasi hasil simulasi dengan selisih sebesar 7 %.

Secara umum pola arus pasang surut rata-rata hasil simulasi model hidrodinamika di titik verifikasi sekitar Pesisir Makassar



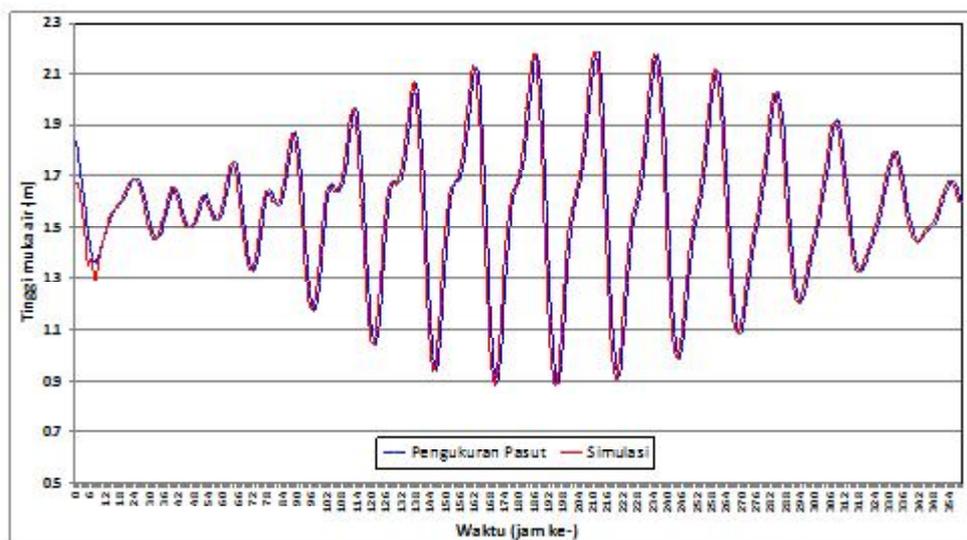
Sumber: hasil analisis

Gambar 1. Lokasi Simulasi Model Arus Pasang Surut Di Perairan Pesisir Makassar. Segitiga Warna Merah Merupakan Lokasi Dari Titik Verifikasi Model.

pada kondisi pasang surut menuju surut perbani menunjukkan bahwa arus pasang surut bergerak ke arah barat menjauhi perairan Pesisir Makassar yang kemudian berbelok secara dominan ke arah utara dengan kecepatan maksimum yang mencapai 0,002 m/det (Gambar 3). Ketika elevasi air mencapai air terendah pada kondisi surut perbani, pola arus pasang surut hampir sama dengan pola aliran arus pada saat menuju surut perbani yang didominasi oleh aliran ke arah barat dan berbelok menuju ke arah utara dengan kecepatan maksimum mencapai 0,005 m/det (Gambar 4). Pola arus pada kondisi pasang surut menuju pasang perbani relatif tidak terlalu berbeda dengan pola arus pada saat menuju surut perbani serta pada saat surut perbani dimana pola arusnya masih didominasi oleh aliran yang bergerak ke arah barat dan utara dengan kecepatan arus maksimumnya mencapai 0,001 m/det (Gambar 5). Pola arus pada saat elevasi air mencapai air tertinggi pada pasang perbani masih menunjukkan pergerakan arus yang didominasi oleh aliran ke arah utara yang

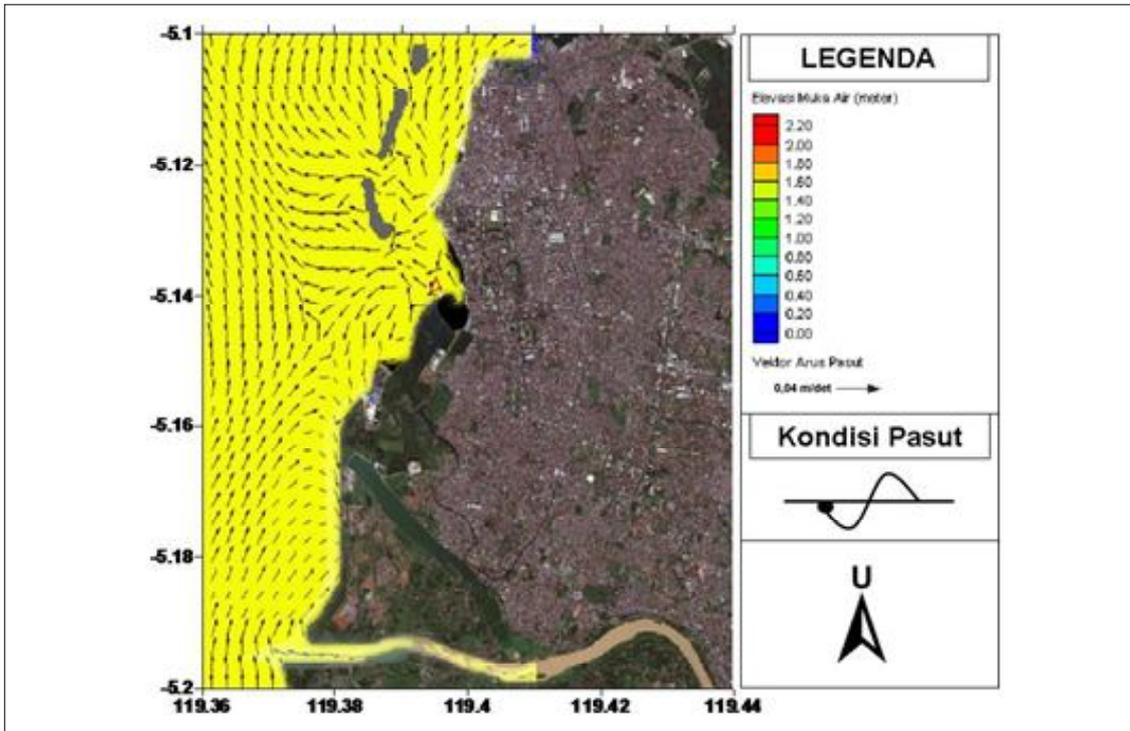
kemudian berbelok menuju perairan Pesisir Makassar dengan kecepatan maksimum mencapai 0,008 m/det (Gambar 6).

Pola arus pasang surut pada kondisi pasang surut menuju surut purnama menunjukkan aliran yang didominasi oleh pergerakan ke arah barat menjauhi perairan Pesisir Makassar dengan kecepatan maksimum mencapai 0,003 m/det (Gambar 7). Pola arus ketika elevasi air mencapai air terendah pada surut purnama masih didominasi oleh arus yang menuju ke arah barat menjauhi perairan Pesisir Makassar dengan kecepatan maksimumnya mencapai 0,012 m/det (Gambar 8). Pola aliran massa air pada kondisi pasang surut menuju pasang purnama didominasi oleh aliran yang bergerak ke arah timur kemudian aliran-nya berbelok menyusuri Pesisir Makassar dengan kecepatan aliran maksimum mencapai 0,002 m/det (Gambar 9). Pola arus pada saat elevasi air mencapai air tertinggi pada pasang purnama pola arusnya masih didominasi oleh aliran yang bergerak ke arah timur mendekati Pesisir



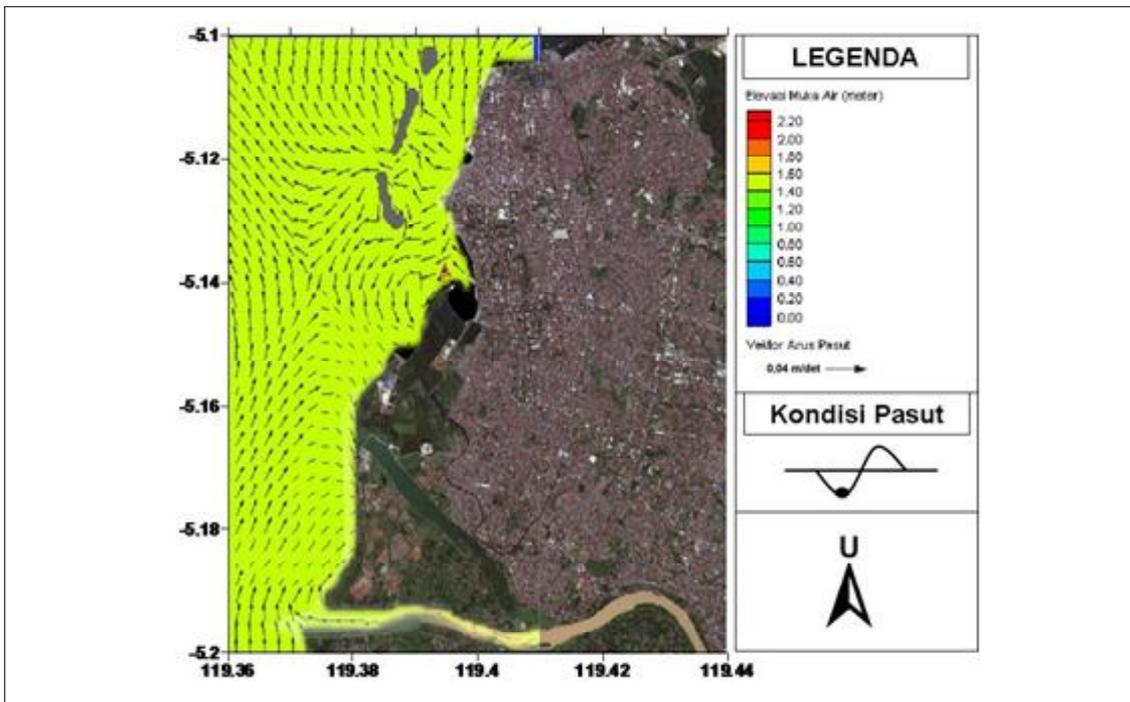
Sumber: hasil analisis

Gambar 2. Perbandingan Tinggi Muka Air Hasil Simulasi Selama 15 Hari dengan Pengukuran di Perairan Pantai Makassar pada Posisi 119° 21' 49,50'' BT dan 5° 11' 56,35'' LS



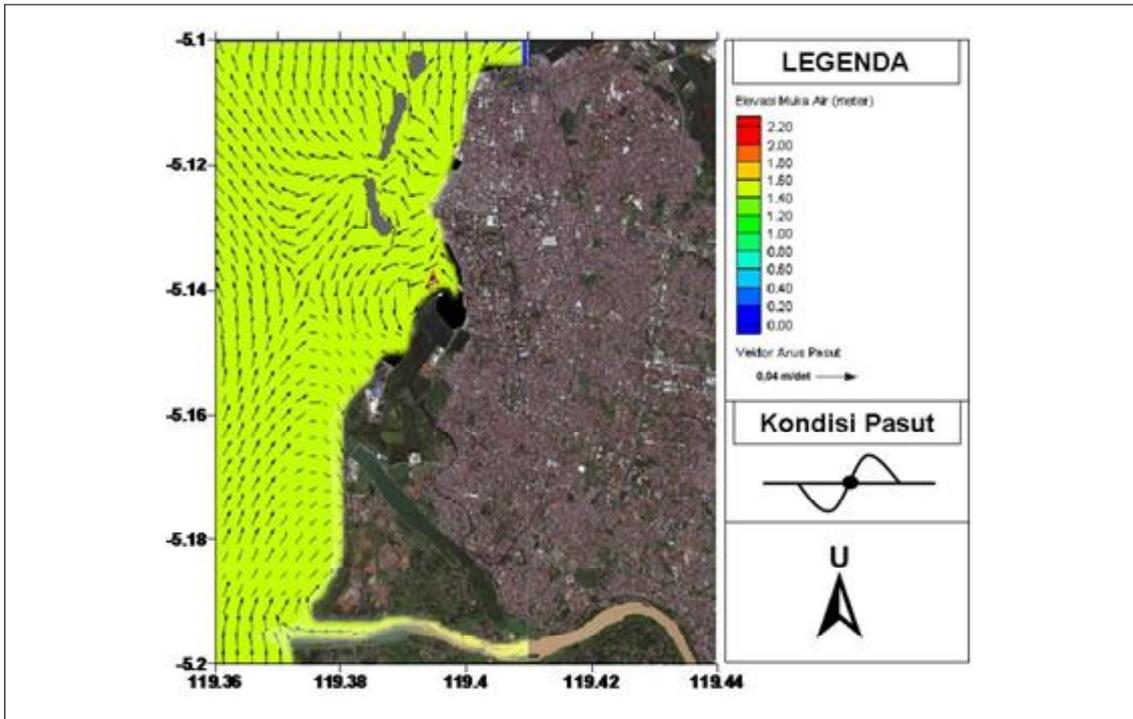
Sumber: hasil analisis

Gambar 3. Pola Arus Pasang Surut Rata-Rata pada Saat Kondisi Pasut Menuju Surut Perbani di Perairan Pesisir Makassar



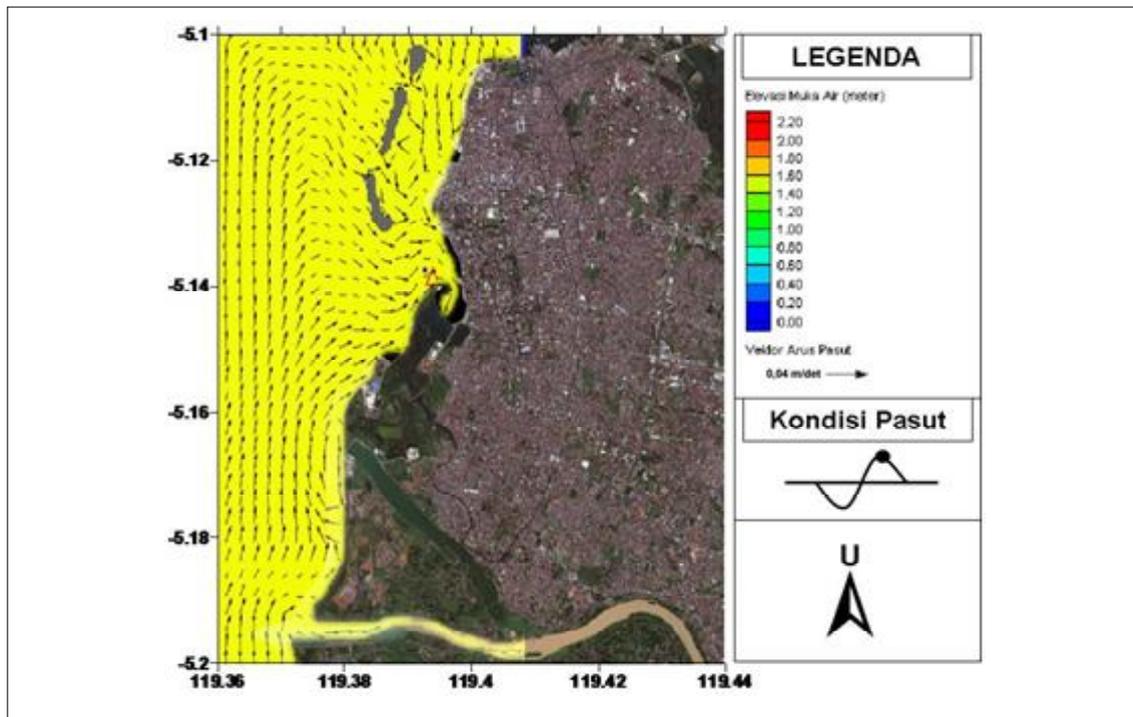
Sumber: hasil analisis

Gambar 4. Pola Arus Pasang Surut Rata-Rata pada Saat Surut Perbani di Perairan Pesisir Makassar



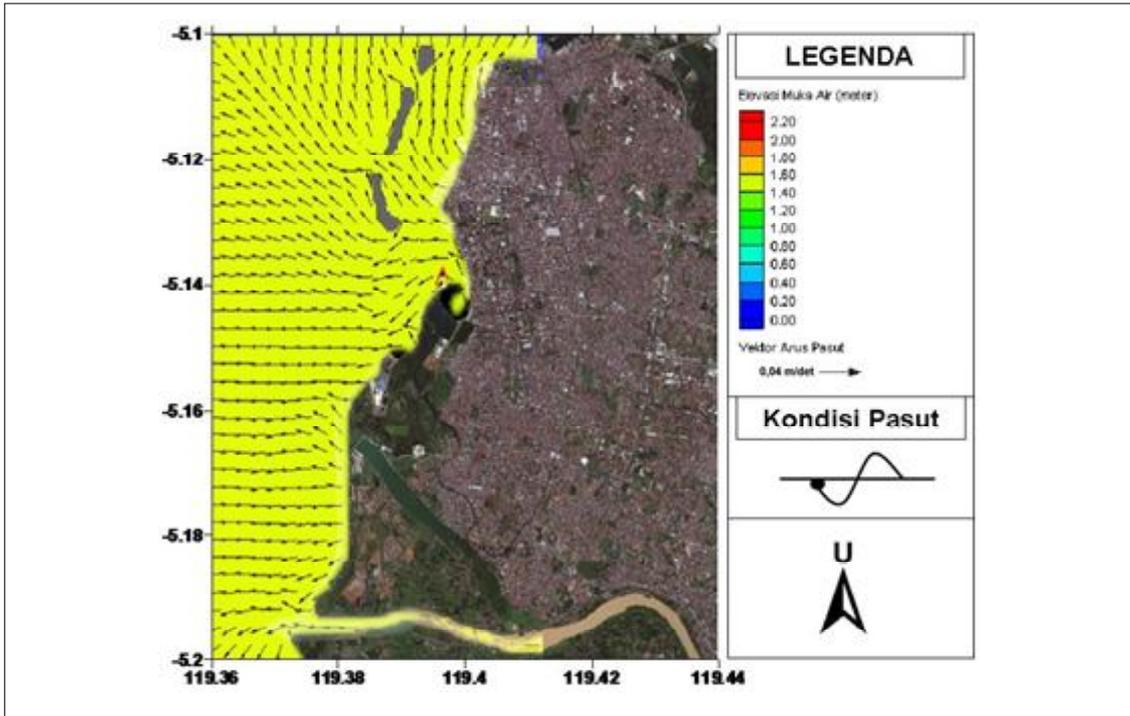
Sumber: hasil analisis

Gambar 5. Pola Arus Pasang Surut Rata-Rata pada Saat Kondisi Pasut Menuju Pasang Perbani di Perairan Pesisir Makassar



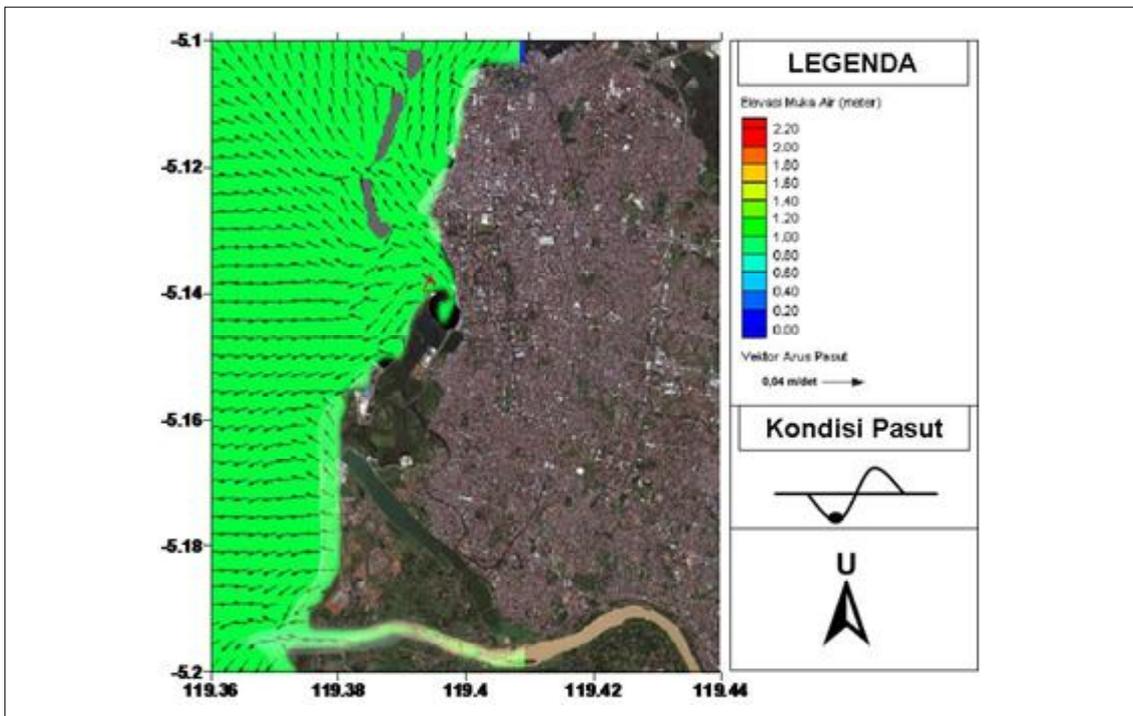
Sumber: hasil analisis

Gambar 6. Pola Arus Pasang Surut Rata-Rata pada Saat Pasang Perbani di Perairan Pesisir Makassar



Sumber: hasil analisis

Gambar 7. Pola Arus Pasang Surut Rata-Rata pada Saat Kondisi Pasut Menuju Surut Purnama di Perairan Pesisir Makassar



Sumber: hasil analisis

Gambar 8. Pola Arus Pasang Surut Rata-Rata pada Saat Surut Purnama di Perairan Pesisir Makassar

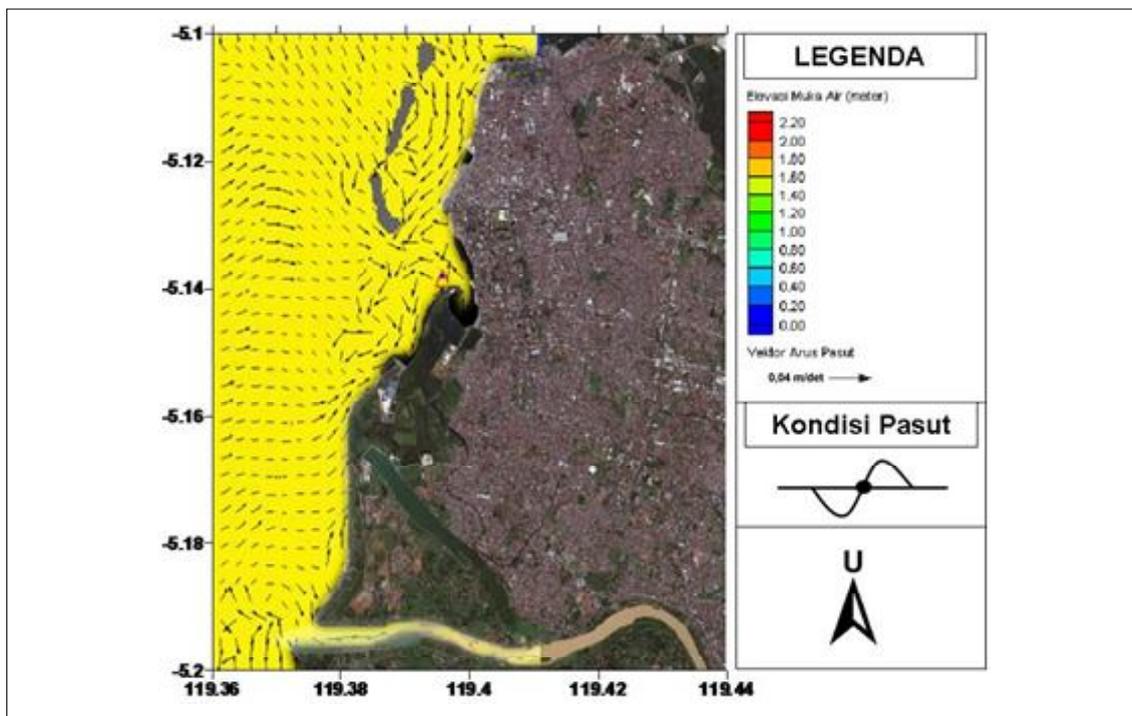
Makassar dengan kecepatan maksimum mencapai 0,009 m/det (Gambar 10). Pola arus pasang surut hasil simulasi numerik pada studi ini yang didominasi oleh aliran yang menuju ke barat dan utara memiliki kesesuaian dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh Nurfaida (2009:44) di perairan Pesisir Makassar.

Aliran residual dari pasang surut (*tide-induced residual flow*) yang didefinisikan sebagai aliran rata-rata massa air dalam satu siklus pasang surut, memiliki peranan yang sangat penting dalam proses dinamika estuari dan pesisir (Van Manh dan yanagi, 2000: 59). Salah satu contohnya adalah besar dan arah dari aliran residual akan menentukan proses penyebaran dan pengendapan dari berbagai komposisi sedimen dan polutan di pesisir. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa aliran residual di titik verifikasi didominasi oleh aliran

surut (*ebb-dominant*) dengan laju sebesar 0,005 m/det menuju ke arah barat atau menuju ke Laut Makassar (Gambar 11).

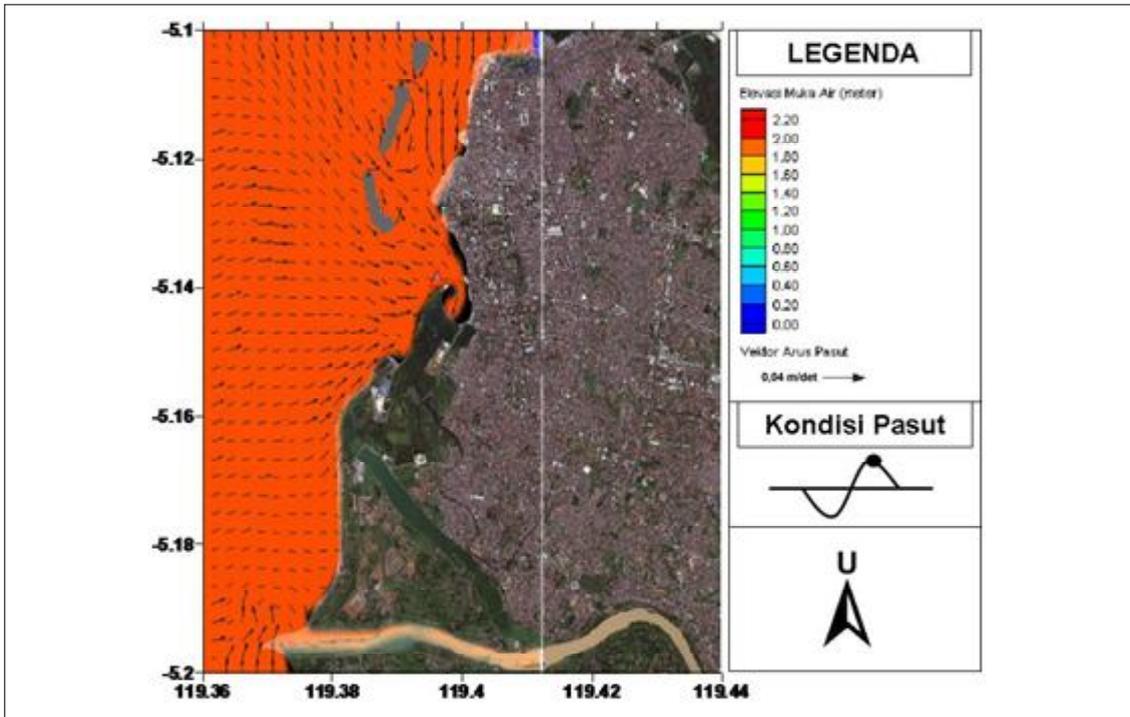
## KESIMPULAN DAN SARAN

**Kesimpulan:** (1) Tipe pasang surut di perairan pesisir Makassar adalah tipe campuran yang cenderung diurnal (harian tunggal) dengan amplitudo sebesar 0,88 – 2,18 meter dari MSL; (2) Hasil verifikasi elevasi muka air hasil simulasi model hidrodinamika terhadap data lapangan memiliki kesesuaian yang cukup baik dengan selisih sebesar 7 %; (3) Kecepatan arus pasang surut rata-rata di titik verifikasi sekitar perairan Pesisir Makassar pada kondisi pasang surut perbani berada dalam kisaran 0,001 m/det – 0,008 m/det, sedangkan untuk kondisi pasang surut purnama berada dalam kisaran 0,002 m/



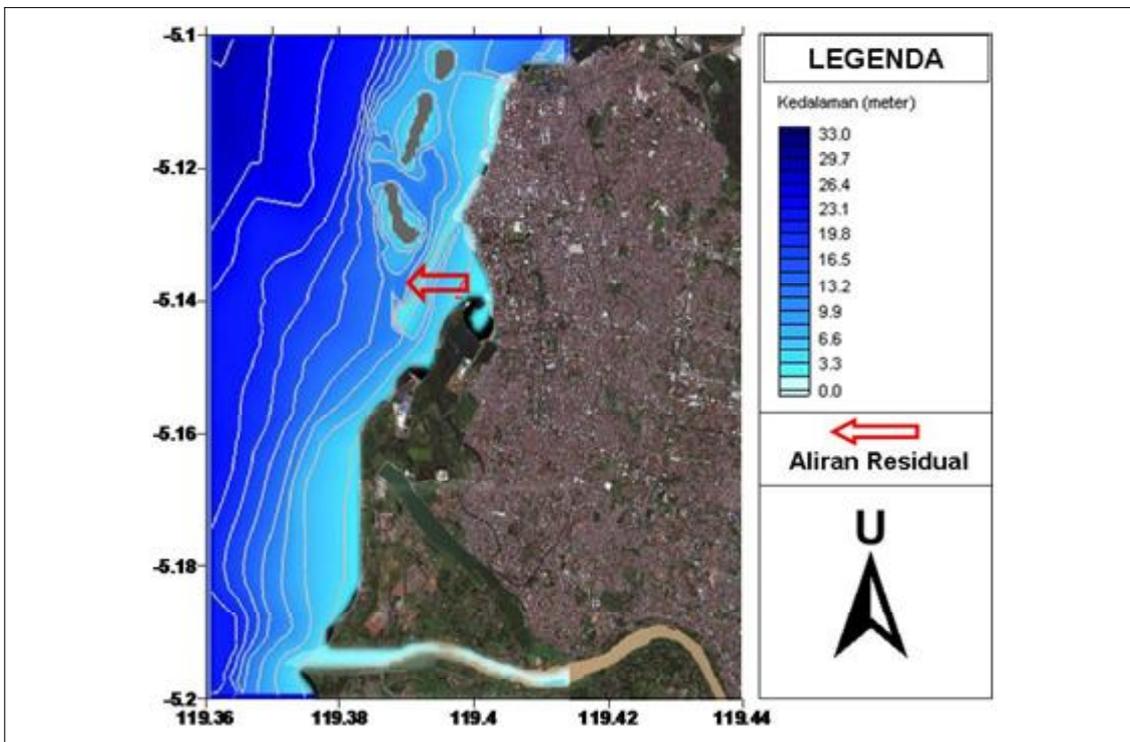
Sumber: hasil analisis

Gambar 9. Pola Arus Pasang Surut Rata-Rata pada Saat Kondisi Pasut Menuju Pasang Purnama di Perairan Pesisir Makassar



Sumber: hasil analisis

Gambar 10. Pola Arus Pasang Surut Rata-Rata pada Saat Pasang Purnama di Perairan Pesisir Makassar



Sumber: hasil analisis

Gambar 11. Arah Aliran Residual dari Satu Siklus Pasang Surut pada Titik Verifikasi di Perairan Pesisir Makassar

det – 0,012 m/det; (4) Aliran arus pasang surut di titik verifikasi sekitar perairan Pesisir Makassar pada kondisi pasang surut perbani dan pasang surut purnama didominasi oleh aliran yang bergerak menuju ke arah barat dan utara; (5) Aliran residual pada titik verifikasi didominasi oleh aliran surut (*ebb-dominant*) dengan laju sebesar 0,005 m/det menuju ke arah barat.

Penelitian yang dilakukan dengan menggunakan model hidrodinamika MOHID memerlukan data pasang surut dan arus pasang surut secara *time series* akan tetapi nilai parameter tersebut sangat sulit diperoleh di lokasi penelitian. Penelitian tentang nilai parameter tersebut perlu dilakukan secara insitu untuk mendapatkan gambaran karakteristik yang sesuai,

sehingga dapat digunakan pada penelitian selanjutnya, baik secara insitu atau dengan pemodelan.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Tulisan ini merupakan kontribusi dari riset "Analisis karakteristik sumberdaya pesisir Kota Makassar" Tahun Anggaran 2010 pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir, Badan Litbang Kelautan dan Perikanan. Ucapan terima kasih diperuntukkan bagi Misbah Program Studi Geofisika, Fakultas MIPA UNHAS atas bantuan dalam pengambilan data dan Dr. Syafri Burhanuddin, DEA selaku nara sumber pada kegiatan riset di Makassar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alexandre, N., Miguel, D., dan Chambel, P. 2009. Three-dimensional Modelling of a Tidal Channel: The Espinheiro Channel (Portugal). *Continental Shelf Research* 29: 29-41.
- Duxbury, A.B., Duxbury, A.C., dan Sverdrup, K.A. 2002. *Fundamentals of Oceanography*. McGraw Hill Companies, New York.
- Hatayama, T., Awaji, T., dan Akitomo, K. 1996. Tidal Currents in the Indonesian Seas and Their Effect on Transport and Mixing, *Journal of Geophysical Research* 101 - C5, 12353-12373.
- Mann, K.H., dan Lazier, J.R.N. 2006. *Dynamics of Marine Ecosystems: Biological-Physical Interactions in the Ocean*. Bedford Institute of Oceanography, Canada.
- Miranda, R., Braunsweig, F., Leitao, P., Neves, R., Martins, F., dan Santos, A. 2000. MOHID 2000 A Coastal Integrated Object Oriented Model. *Hydraulic Engineering Software VIII*: 391-401.
- Nurfaida. 2009. Pengembangan dan Rencana Pengelolaan Lanskap Pesisir Kota Makassar Sebagai Waterfront City. Tesis Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Ramming, H.G., dan Kowalik, Z. 1980. Numerical Modeling of Marine Hydrodynamics. *Elsevier Scientific Publishing Company*, 112 – 164 pp.
- Triyono (2009) Tinjauan Geografis "Litoralisasi" di Kawasan Pesisir Selatan Yogyakarta. *Forum Geografi*. Vol. 23, No. 1, Juli 2009: 1 - 10.
- Van Manh, D., Yanagi, T. 2000. A Study on Residual Flow in the Gulf of Tongking. *Journal of Oceanography* 56: 59 – 68 pp.

# PENGARUH PENGGENANGAN PADA TEKNIK BUDIDAYA PADI TERHADAP INFILTRASI DAN NERACA AIR

## *The Flooding Effect From Rice Cultivation Technique On Infiltration And Water Balance*

Lilik Slamet S, Adi Basukriadi, M. Hasroel Thayeb, Tri Edi Budi Soesilo  
Universitas Indonesia  
E-mail: lilik\_japan@yahoo.com

### **ABSTRACT**

*Flood events are often inundated rice fields and can cause flooding to surrounding areas (the lower reaches of the river) should not be underestimated (just blame the rainfall factor alone), but should be seen also internal factors of the techniques of rice cultivation in paddy fields. The purpose of research/study was to analyze the effect of flooding on the cultivation of paddy rice to infiltration and provide alternative solutions cultivation techniques to reduce flooding. The research method in this study is a survey method with the quantitative approach. Techniques flooding in paddy rice cultivation, especially irrigated cropping pattern rice 3 times a year have resulted in the formation of plow layer tread that is waterproof (hardpen). Waterproof coating that forms on the floor of paddy (rice surface) can not infiltrate rainwater so that if there is a high-intensity rainfall in the rainy season, rice can not hold the rain water will overflow and cause flooding to the area around the rice fields. Techniques inundation in lowland rice cultivation resulted in flooded paddy rice growth period in a rather long time (over 2 months), so that the aggregate soil is loose and prone to erosion and landslide potential. Anticipation of floods caused by wetland can be done by making the high rice fields higher than the height of the floodwaters that ever happened to the rice field and lowering the height of standing water in the paddy fields.*

**Keywords:** flooding, cultivation, rice, infiltration, water balance

### **ABSTRAK**

*Kejadian banjir yang seringkali menggenangi lahan sawah dan dapat menjadi penyebab banjir ke daerah sekitarnya (bagian hilir sungai) tidak boleh dipandang sebelah mata (hanya menyalahkan faktor curah hujan saja), tetapi harus dilihat pula faktor internal dari teknik budidaya padi di sawah. Tujuan penelitian/kajian ini adalah menganalisis pengaruh dari penggenangan sawah pada budidaya padi terhadap infiltrasi dan memberikan alternatif solusi teknik budidaya yang dapat mengurangi banjir. Metode penelitian dalam kajian ini adalah metode survey dengan pendekatan secara kuantitatif. Teknik penggenangan budidaya tanaman padi di sawah, terutama sawah irigasi dengan pola tanam 3 kali padi dalam setahun telah mengakibatkan terbentuknya lapisan tapak bajak yang bersifat kedap air (hardpen). Lapisan kedap air yang terbentuk pada lantai sawah (permukaan sawah) tidak dapat menginfiltrasi air hujan sehingga jika ada curah hujan dengan intensitas tinggi pada musim penghujan, maka sawah tidak dapat menampung air hujan dan akan melimpah menjadi penyebab banjir untuk daerah sekitar persawahan. Teknik penggenangan pada budidaya padi lahan sawah mengakibatkan sawah tergenang pada periode pertumbuhan tanaman padi dalam waktu yang agak lama (lebih dari 2 bulan), sehingga agregat tanah bersifat lepas dan mudah tererosi dan berpotensi longsor. Antisipasi terhadap bahaya banjir yang disebabkan oleh lahan sawah dapat dilakukan dengan membuat tinggi pematang sawah yang lebih tinggi daripada ketinggian genangan banjir yang pernah terjadi pada areal persawahan dan menurunkan ketinggian genangan air pada lahan sawah.*

**Kata kunci:** penggenangan, budidaya, padi, infiltrasi, neraca air

## PENDAHULUAN

Kejadian banjir di Indonesia bukan lagi merupakan fenomena baru. Setiap musim penghujan kejadian dan bencana banjir selalu menghiasi berita baik pada media cetak maupun elektronik. Banjir yang terjadi bukan hanya melanda permukiman penduduk di perkotaan, tetapi juga banyak menggenangi area persawahan di perdesaan. Banjir yang menggenangi lahan sawah dapat merusak tanaman hingga berakibat terjadinya gagal panen (sawah puso).

Menurut Febrianti, *et al*, (2013) pada tahun 2012 terdapat sekitar 460 hektar areal sawah di Kabupaten Jember, Jawa Timur dan lebih dari 800 hektar sawah di Kabupaten Kudus, Jawa Tengah tergenang banjir. Ditambahkan oleh Febrianti, *et al*, (2013) bahwa kejadian banjir tidak saja terjadi sekali dalam setahun, tetapi terdapat areal sawah yang terkena banjir lebih dari dua kali dalam setahun yaitu pada bulan-bulan Desember, Januari, dan Februari (DJF).

Pada tahun 2007, di bulan-bulan DJF banjir hanya satu kali melanda areal persawahan di Jawa. Pada tahun 2008 pada bulan yang sama banjir telah melanda sawah dengan frekuensi yang meningkat sampai dua kali di Jawa Tengah. Tahun 2009 banjir yang melanda sawah dengan frekuensi dua kali telah meluas ke bagian Selatan Jawa Timur. Tahun 2010 banjir yang melanda lahan sawah dengan frekuensi dua kali hampir merata di seluruh Provinsi di pulau Jawa. Frekuensi banjir yang melanda sawah pada tahun 2012 telah mencapai tiga kali, artinya setiap bulan pada bulan DJF terdapat satu kali kejadian banjir (Febrianti, *et al*, 2013).

Selama ini banyak pendapat positif tentang keberadaan sawah yang ditanami padi. Sawah yang ditanami padi disamping sebagai mata pencaharian dan sumber pangan pokok sebagian besar masyarakat

Indonesia, fungsi sawah yang lain adalah juga sebagai reservoir dan pengendali banjir.

Odum (1995) menyatakan bahwa sawah adalah bentuk analogi dari sebuah rawa. Sebagai sebuah rawa, maka sawah adalah sebuah tempat parkir air sementara. Ketika air hujan yang jatuh melebihi ketinggian pematang sawah, maka sawah tidak dapat lagi sebagai reservoir penyimpan air.

Pernyataan lain dari Suroso, *et al* (2006) dari hasil penelitiannya menyatakan bahwa tata guna lahan yang berpengaruh terhadap debit banjir adalah lahan sawah dengan koefisien korelasi ( $r$ ) sebesar -0,682. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar luas sawah maka semakin kecil debit banjir. Sebagian air hujan yang jatuh pada sawah akan ditampung sementara, sehingga debit aliran permukaan (limpasan) akan menurun. Kelebihan air yang tidak dapat ditampung oleh sawah akan menjadi sumber air dan penyebab banjir untuk lingkungan sekitarnya, terutama daerah hilir sungai.

Pada areal sawah dengan teknik *terasering* di dataran tinggi dengan topografi miring dan terjal, malahan air hujan tidak tertampung dan tidak disimpan dahulu pada sawah, tetapi akan jatuh langsung ke sawah di bawahnya, begitu seterusnya sehingga akan berakibat banjir pada daerah bagian hilir sungai. Diduga banjir yang sering melanda Jakarta (menjadi agenda dan langganan setiap tahun) disebabkan oleh tata guna lahan sawah di bagian hulu sungai Ciliwung yang ditanami padi. Kondisi ini dapat dibuktikan dari warna air pada saat banjir berwarna coklat tanah yang bersumber dari erosi tanah oleh air hujan di hulu sungai Ciliwung.

Banyak pendapat yang menyatakan bahwa banjir pada sebuah lahan sawah hanya dipengaruhi oleh faktor dari luar sawah (*eksternal*) yaitu kondisi curah hujan, bukan dari pengaruh faktor dalam sawah sendiri yaitu dari teknik penggenangan sawah

dalam budidaya tanaman padi. Curah hujan yang dapat menyebabkan banjir pada sebuah lahan sawah adalah yang melebihi kebutuhan air tanaman padi sebesar 150 mm/bulan (Panuju *et al*, 2009).

Oleh karena itu melalui makalah ini akan dikaji pengaruh penggenangan lahan sawah dalam budidaya tanaman padi pada infiltrasi air hujan, neraca air lahan sawah, pemicu banjir, dan potensi longsor. Perumusan masalah pada penelitian ini adalah belum diketahuinya pengaruh penggenangan lahan sawah yang ditanami padi pada kejadian banjir.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji pengaruh dari penggenangan sawah pada budidaya padi terhadap infiltrasi, neraca air lahan sawah, potensi banjir dan tanah longsor dan memberikan solusi alternatif teknik budidaya padi agar ramah lingkungan. Manfaat dari penelitian ini secara teoritis adalah mengubah wawasan dan pengetahuan yang sebenarnya tentang pengaruh penggenangan sawah pada budidaya pertanian padi sawah terhadap degradasi lingkungan (banjir dan tanah longsor).

## METODE PENELITIAN

Pendekatan yang digunakan pada penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif dengan metode penelitian adalah survey. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder. Analisis koefisien korelasi digunakan untuk menilai hubungan antara luas sawah irigasi dengan luas daerah yang terkena banjir. Analisis deskriptif digunakan untuk menjelaskan proses yang berlangsung karena pengaruh penggenangan pada infiltrasi, banjir, dan longsor.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Padi bukanlah tanaman *hydrofit* (tanaman

air). Tanaman padi termasuk ke dalam familia rumput-rumputan (*Graminaceae*) adalah tanaman darat. Teknik budidaya tanaman padi di sawah dengan cara digenangi memiliki tujuan untuk mengurangi pertumbuhan gulma (pesaing tanaman pokok). Padi adalah salah satu jenis tanaman budidaya yang dapat tumbuh dalam kondisi tergenang karena kemampuannya mengoksidasi lingkungan perakarannya sendiri. Oksigen didifusikan dari daun melalui turiang (anakan padi) dan batang ke akar melalui *lacuna* (rongga antar sel) atau saluran dalam jaringan korteks. Tabel 1 menyajikan jumlah naftilamina yang dapat dioksidasi (daya oksidasi nisbi akar) oleh berbagai jenis tanaman.

Pada Tabel 1 memperlihatkan bahwa tanaman padi memiliki daya oksidasi yang paling besar diantara jenis tanaman lain walaupun dalam kondisi tergenang. Hal ini membuktikan bahwa tanaman padi dapat hidup di lingkungan berair dan tergenang.

Penggenangan pada lahan sawah yang ditanami padi mengakibatkan serangkaian perubahan sifat fisika, kimia, dan biologi dari tanah yang dapat menghasilkan suatu tata hubungan tanah-tanaman yang berbeda sama sekali dengan media yang ditanami oleh tanaman selain padi. Sanchez (1993) menyatakan tanah kering yang tiba-tiba digenangi akan menyebabkan terpecahnya agregat (gumpalan) tanah yang besar menjadi agregat tanah yang lebih kecil. Pada aspek kimia, penggenangan lahan sawah mengakibatkan oksidasi yang dilakukan oleh mikroba dalam lahan sawah bersifat anaerob (tanpa oksigen) yang menghasilkan emisi  $CH_4$  (metana) ke atmosfer. Pada respirasi aerob, mikroba menggunakan oksigen dan menghasilkan  $CO_2$  (karbondioksida), tetapi pada kondisi tergenang (anaerob), respirasi mikroba menghasilkan  $CH_4$ .

### Pengaruh Penggenangan pada Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses terserapnya air masuk ke dalam pori tanah. Perubahan tataguna lahan menjadi lahan sawah mengakibatkan pemadatan tanah sehingga menurunkan laju infiltrasi air dan meningkatkan air larian. Penanaman padi secara terus-menerus (tiga kali tanam dalam setahun) mengakibatkan infiltrasi tanah semakin menurun, seperti disajikan pada Gambar 1.

Pada Gambar 1 dapat diketahui bahwa laju infiltrasi pada tanah sawah yang ditanami padi tiga kali tanam dalam setahun (pola tanam 1) akan menghasilkan laju infiltrasi yang paling kecil dengan semakin lama digenangi. Penanaman padi yang terus-menerus sepanjang tahun mengakibatkan lapisan kedap air yang tidak dapat menginfiltrasi air hujan ke dalam lapisan tanah (lahan) lebih dalam. Pola tanam padi dengan frekuensi tiga kali tanam dalam setahun dapat berlangsung dengan bantuan air irigasi.

Hasil analisis koefisien korelasi antara luas sawah irigasi dan luas sawah yang terkena banjir menghasilkan  $r = 0,37$  (Gambar 2). Hal ini membuktikan bahwa pola tanam yang kontinyu selama setahun dengan

bantuan irigasi berbanding lurus dengan area terkena banjir. Kondisi ini disebabkan oleh timbulnya lapisan kedap air pada lahan sawah.

Sedangkan pada tanah sawah dengan pola tanam padi-palawija (pola tanam 2), laju infiltrasi akan semakin besar daripada pola tanam 1. Pada lahan sawah yang ditanami padi sekali (pola tanam 3), lalu diberakan (tidak ditanami) laju infiltrasinya adalah yang paling besar diantara ke tiga pola tanam (Gambar 1).

Lapisan kedap air pada bagian bawah tanah sawah menguntungkan dari sisi penanaman padi karena air akan mengalir melambat (infiltrasi kecil). Lapisan padat terbjajak (*hardpen*) dijumpai pada tanah yang ditanami padi selama beberapa tahun. (Sanchez, 1993). Lapisan kedap air ini terbentuk dari mengendapnya senyawa besi (*feri*) dan mangan sebagai lapisan oksida di sekeliling zarah tanah lempung.

Laju infiltrasi yang kecil mengakibatkan laju aliran permukaan (limpasan) pada tanah sawah adalah besar, terlebih lagi jika air hujan yang jatuh sudah tidak dapat lagi tertampung oleh pematang sawah. Semakin besar *run off* (aliran permukaan/limpasan), maka kemungkinan terjadinya banjir

Tabel 1. Naftilamina yang Dioksidasi Tanaman

Jenis Tanaman	Naftilamina teroksidasi dalam 48 hari (mg/g akar kering)
Padi	15-30
Kedelai	7,1
Gandum	4,9
Sorgum	4
Avena sp	2,9
Jagung	1,4

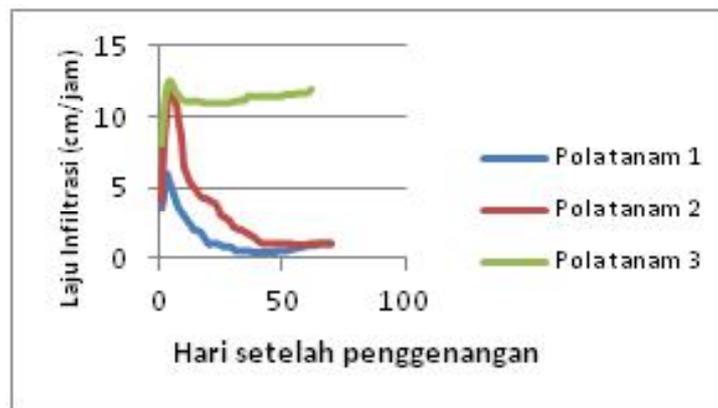
Sumber: Sanchez (1993)

adalah berpeluang besar. Kondisi ini terjadi di sawah, dengan laju infiltrasi yang kecil, maka laju *run off* akan menjadi besar. Semakin besar air yang diinfiltrasi, maka semakin kecil air hujan yang menjadi bagian *run off*. Aliran permukaan adalah fungsi dari infiltrasi (Rohmat, 2009).

Laju *run off* semakin besar juga disebabkan oleh intersepsi oleh tajuk tanaman padi yang kecil. Pada umumnya besarnya intersepsi oleh vegetasi adalah sekitar 10-

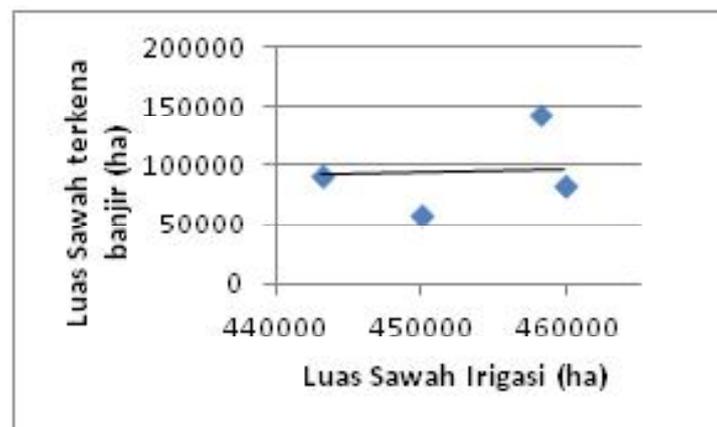
20% dari total hujan pada musim pertumbuhan. Sedangkan besarnya intersepsi hujan berkisar antara 10-35% dari curah hujan total (Asdak, 2002).

Asdak (2002) menyatakan bahwa intersepsi dipengaruhi oleh faktor curah hujan, jenis komunitas tumbuhan, dan fase pertumbuhan tanaman. Pada curah hujan dengan intensitas tinggi, maka bagian air hujan yang diintersepsi akan lebih kecil daripada curah hujan dengan intensitas



Sumber: Sanchez (1993)

Gambar 1. Perbedaan Laju Infiltrasi Tanah Sawah Pada Tiga Pola Tanam Berbeda



Sumber: hasil analisis

Gambar 2. Hubungan Antara Luas Sawah Irigasi dengan Luas Banjir Sawah

lebih rendah. Hal ini disebabkan pada curah hujan dengan intensitas rendah jumlah air hujan yang mengalir akan lebih lambat menyusuri batang tumbuhan.

Bentuk komunitas tegakan pohon (hutan), semak belukar, padang rumput, dan komunitas tanaman pertanian (termasuk lahan sawah) akan memiliki porsi intersepsi yang berbeda. Semakin rapat tajuk tanaman, maka semakin besar intersepsi yang terjadi. Besarnya intersepsi pada tanaman pertanian bervariasi dipengaruhi oleh jenis tanaman pangan, jarak tanam, dan fase pertumbuhan.

Terdapat perbedaan intersepsi antara komunitas tumbuhan berbentuk hutan dan komunitas tanaman pertanian (tanaman semusim seperti padi dan palawija). Perbedaan itu pada proses mengalirnya air hujan yang jatuh pada tajuk sampai ke permukaan tanah. Pada komunitas hutan, air hujan yang sampai ke permukaan akan melalui aliran batang sehingga kecepatan air hujan menurun. Air hujan yang hanya lolos saja, tanpa melalui aliran batang dapat mengakibatkan kecepatan jatuh air menjadi besar dan memiliki daya rusak terhadap butir tanah yang lebih besar sehingga dapat berpotensi erosi. Setelah sampai di permukaan, adanya serasah pada lantai hutan juga akan memperkecil daya rusak butir hujan pada tanah. Serasah hutan mampu menyerap air dan dengan perlahan air akan berinfiltrasi ke lapisan tanah yang lebih dalam.

Pada tanaman pertanian, tidak adanya aliran batang dan tidak adanya serasah pada permukaan akan mengakibatkan air hujan langsung jatuh dengan kecepatan dan daya rusak pada butir tanah yang lebih besar dan berpotensi mengerosi tanah.

Pengaruh vegetasi dan cara bercocok tanam terhadap air aliran permukaan bahwa vegetasi dapat memperlambat jalannya aliran permukaan dan memperbesar jumlah air yang tertahan di atas permukaan tanah.

Semakin besar bagian curah hujan yang menjadi aliran permukaan, maka ancaman terjadinya erosi dan banjir akan menjadi lebih besar.

### **Perubahan pada Persamaan Neraca Air**

Pada kondisi ideal tutupan lahan berupa vegetasi selain sawah, maka air hujan akan terdistribusi seperti disajikan pada Gambar 3.

Adanya lapisan kedap air yang terbentuk pada lapisan bawah sawah mengubah skema distribusi air sebelumnya (Gambar 3) menjadi distribusi air seperti tersaji pada Gambar 4.

Pada Gambar 4 dapat diketahui bahwa dengan adanya lapisan kedap air pada lahan sawah, maka distribusi air hujan akan menjadi lebih singkat. Tanaman padi hanya memiliki daya intersepsi tajuk yang kecil atau dapat dikatakan intersepsi oleh tajuk tanaman padi adalah tidak ada sehingga akan memperbesar debit aliran permukaan.

Adanya lapisan kedap air pada lahan sawah mengakibatkan perubahan pada persamaan neraca air pada sebuah petak sawah irigasi. Kesetimbangan air pada sebuah petak sawah irigasi sebelumnya (Arsyad, 1989) adalah :

$$I_s + R_e + I_g = S + U + G_v + G_h + O_s$$

dengan :

$I_s$  = air irigasi

$R_e$  = curah hujan

$I_g$  = air rembesan samping

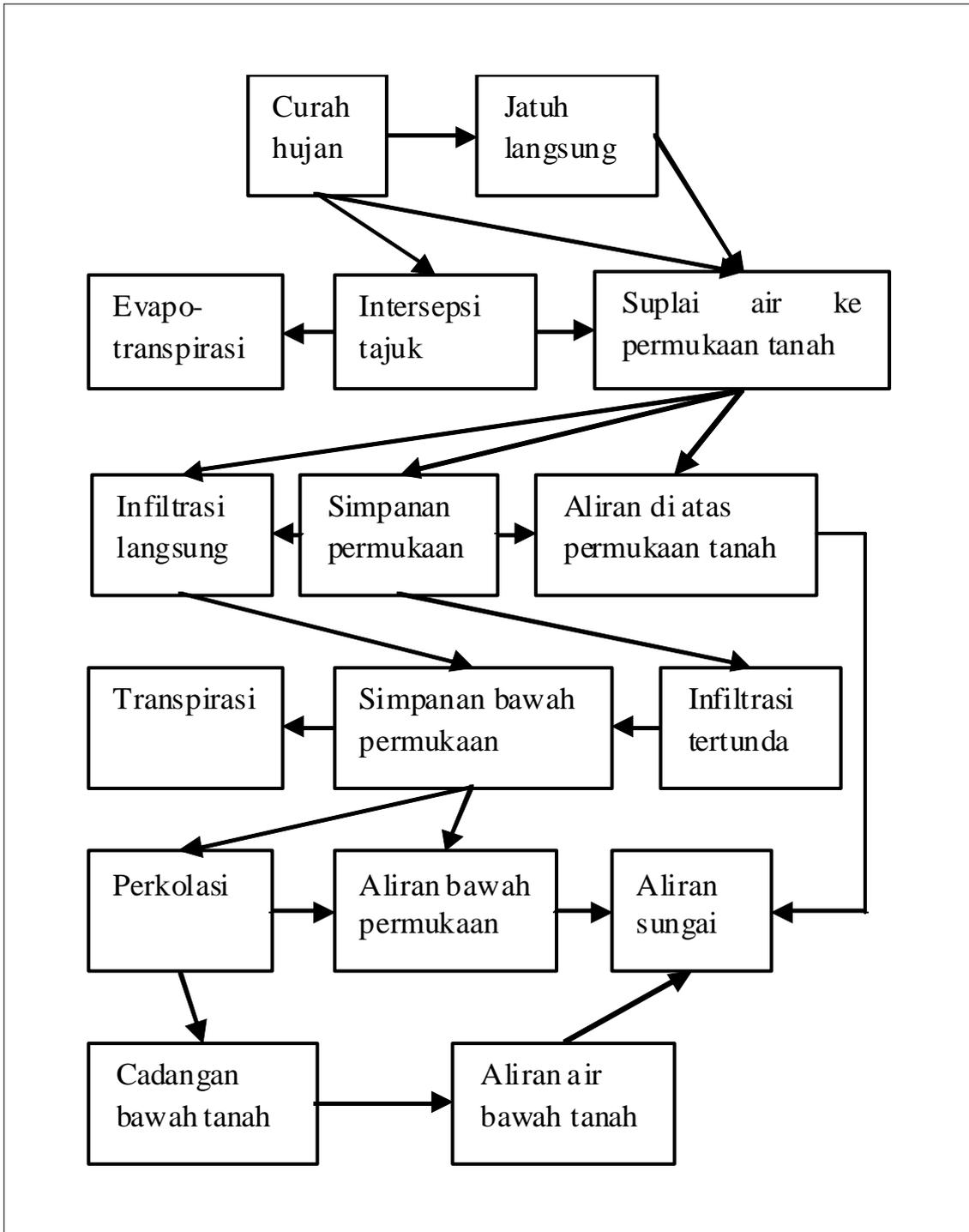
$S$  = genangan air dalam sawah

$U$  = evapotranspirasi

$G_v$  = perkolasi ke bawah

$G_h$  = perkolasi ke samping

$O_s$  = air keluar dari petak sawah



Sumber: Arsyad, 1989

Gambar 3. Distribusi Air Hujan di Permukaan Tanah

Menurut Susilowati (2004) dalam Purnama (2009) dinyatakan bahwa kebutuhan air irigasi (I) adalah :

$$I = \frac{\text{Etc} + \text{IR} + \text{RW} + \text{P} - \text{ER}}{\text{IE}} \times A$$

dengan :

Etc = kebutuhan air konsumtif tanaman

IR = kebutuhan air untuk penyiapan lahan

RW = kebutuhan air untuk penggantian lapisan air

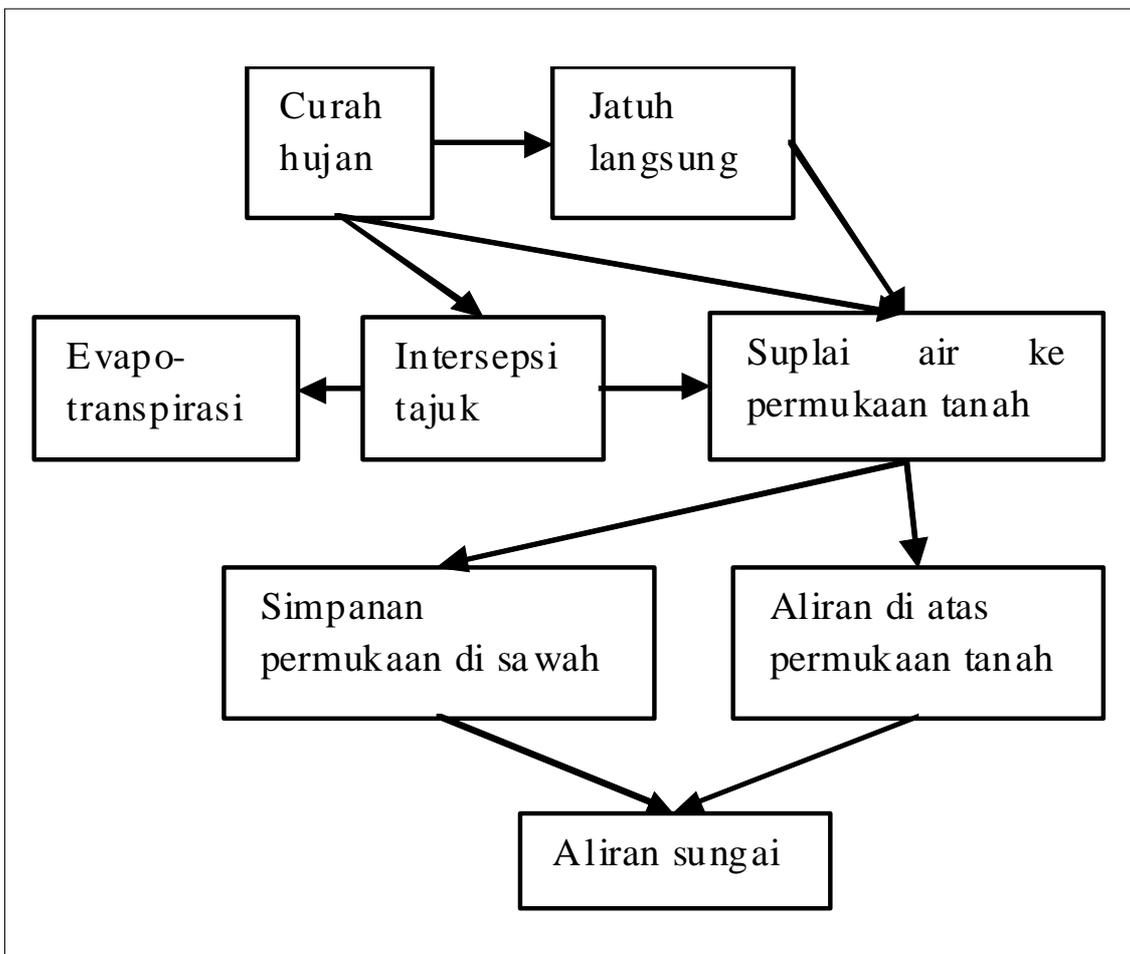
P = perkolasi

ER = hujan efektif

IE = efisiensi irigasi

A = luas areal sawah yang teririgasi

Kehilangan air karena perkolasi (ke bawah) pada sawah berkurang dengan terbentuknya lapisan tapak bajak (*plow sole*) yang agak kedap air. Perkolasi adalah peristiwa Bergeraknya air ke bawah dalam profil tanah. Infiltrasi menyediakan air untuk perkolasi. Dengan adanya lapisan kedap air pada permukaan bawah sawah, maka perkolasi ke bawah atau Gv sama dengan nol, sehingga persamaan kesetimbangan air pada petak sawah irigasi menjadi :



Sumber: Arsyad, 1989

Gambar 4. Distribusi Air pada Lahan Sawah

$$I_s + R_e + I_g = S + U + G_h + O_s$$

Maka perhitungan kebutuhan air irigasi dari Susilowati (2004) dengan tidak memperhitungkan adanya perkolasi (karena terbentuknya lapisan kedap air pada lahan sawah), akan menjadi :

$$I = \frac{Etc + IR + RW - ER}{IE} \times A$$

### Lahan Sawah Pemicu Longsor dan Banjir

Penggenangan pada lahan sawah dalam waktu yang lama akan menurunkan kemantapan agregat tanah. Hal ini dikarenakan adanya bahan organik dan reduksi lapisan oksida besi dan oksida mangan menjadi bentuk yang dapat larut.

Pada satu sisi lahan sawah dapat menjadi penampung air hujan, tetapi pada sisi lain lahan sawah yang menjadi penampung air hujan tersebut akan mempermudah terjadinya longsor. Hal ini dikarenakan agregat tanah yang selalu terkena air dan menggenangi sawah akan memisahkan agregat tanah menjadi butir-butiran tanah yang lepas dan mudah tererosikan.

Sawah pada dataran rendah (sawah datar) memiliki tingkat kerawanan longsor sangat rendah. Sawah berlereng memiliki kerentanan tinggi terhadap longsor. Pada wilayah berlereng, tanah longsor mulai terjadi pada sawah dengan kemiringan lereng lebih besar dari 3%.

Penelitian lain dari Wahyunto, *et al* (2003) yang menyebutkan bahwa jangkauan akar tanaman semusim seperti tanaman padi yang dangkal akan mempermudah longsor jika dibandingkan dengan tanaman tahunan (tanaman keras). Tanaman padi memiliki perakaran dangkal (tidak lebih dari 20 cm). Lebih lanjut Wahyunto, *et al* (2003) dari hasil penelitiannya menyatakan bahwa

tanah longsor lebih mudah terjadi pada wilayah lahan sawah. Hal ini dikarenakan tanah di wilayah lahan sawah lebih sering atau selalu dalam keadaan jenuh air/tergenang dalam waktu yang cukup lama (lebih dari 2 bulan) sehingga dapat memacu terjadinya longsor.

Terbentuknya lapisan kedap air pada lantai sawah menyebabkan air hujan tidak dapat berinfiltrasi dan menggenangi sawah. Tinggi genangan yang lebih besar daripada tinggi pematang akan mengakibatkan banjir sawah yang dapat meluap ke areal sekitar sawah.

### Solusi Alternatif untuk Antisipasi Banjir

Penggenangan memiliki dua aspek yang berlawanan, positif dan negatif. Aspek positif bahwa tanaman padi yang ditanam dalam kondisi tergenang pertama keterbatasan air bukan faktor pembatas (kebutuhan air terjamin). Ke dua adalah pengendalian gulma menjadi lebih mudah. Ke tiga adalah tersedianya unsur hara tertentu yaitu posfor. Pada tanah yang banyak mengandung kapur (kalsium), penggenangan akan meningkatkan ketersediaan unsur besi yang selanjutnya dapat meningkatkan hasil panen secara mencolok (Sanchez, 1993).

Aspek negatif dari budidaya padi dengan penggenangan selain terbentuknya lapisan kedap air, pada tanah bergaram (mengandung unsur natrium tinggi), penggenangan akan menurunkan daya hantar listrik dan memacu pencucian garam sehingga akan berakibat pada pencemaran tanah dan badan air. Pada tanah dengan kandungan pasir dan bahan organik tinggi, tetapi kandungan besi rendah, penggenangan akan menghasilkan asam organik dan H<sub>2</sub>S yang tinggi yang bersifat racun pada tanaman.

Solusi dari lahan sawah yang berpotensi banjir dan longsor adalah dengan meng-

ubah ketinggian penggenangan lahan sawah menjadi tinggi genangan yang lebih pendek. Catabay, *et al*, (1959) dalam *Rice Production Manual* (1967) menyatakan bahwa penggenangan sedalam 5 cm, 10 cm, 15 cm, dan 20 cm tidak menunjukkan perbedaan produksi yang nyata. Menurut Chang (1965) dalam *Rice Production Manual* (1967), bahwa tinggi penggenangan 2,5 cm dari permukaan lahan sawah dapat menghasilkan produksi 5% lebih tinggi daripada penggenangan dengan ketinggian 10 cm. Arsyad (1989) menyatakan bahwa penggenangan lebih dari 10 cm dapat mempertinggi sterilitas beberapa varietas tanaman padi.

Nasi dari beras atau tanaman padi adalah makanan pokok sebagian besar masyarakat Indonesia, sehingga untuk mengurangi dampak degradasi lingkungan dari pertanian padi sawah dan agar sawah tetap berproduksi dan menjadi mata pencaharian penduduk, maka strategi yang dapat dilakukan salah satunya adalah dengan mengubah (memodifikasi) tinggi penggenangan lahan sawah yang ditanami padi.

Penggenangan yang dangkal adalah suatu strategi untuk memfungsikan sawah sebagai pengendali banjir. Artinya dengan penggenangan lahan sawah yang dangkal, maka jika terjadi hujan dengan intensitas tinggi, daya tampung volume lahan sawah untuk air hujan akan menjadi lebih besar sehingga banjir ke daerah sekitar persawahan dapat dicegah, tetapi menurunkan produksi padi. Volume daya tampung sawah (V) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$V = ((T_p - T_g) + I) \times L$$

dengan :

$T_p$  = tinggi pematang

$T_g$  = tinggi rata-rata genangan sawah

I = intersepsi

L = luas area persawahan

Tidak adanya intersepsi oleh tajuk tanaman padi, maka intersepsi oleh tanaman padi sama dengan nol. Pembuatan tinggi pematang sawah pun saat ini harus dengan perencanaan yang tepat yang memperhitungkan curah hujan maksimum yang pernah terjadi pada daerah tersebut. Formulasi untuk merencanakan tinggi pematang sawah adalah sebagai berikut:

$$T_p > \frac{V}{L} + T_g$$

dengan :

V = volume curah hujan maksimum ( $m^3$ )

Satuan dari curah hujan (tinggi hujan) adalah mm. Konversi dari curah hujan ke volume curah hujan adalah :

1 mm curah hujan = 1 liter volume curah hujan.

Contoh penggunaan persamaan untuk merencanakan tinggi pematang sawah adalah sebagai berikut : Kawasan persawahan dengan luas areal 5 ha memiliki rata-rata curah hujan pada bulan-bulan Desember, Januari, dan Februari dalam 10 tahun terakhir adalah 1000 mm. Jika diketahui tinggi genangan air dalam areal persawahan adalah 2,5 cm. Berapakah tinggi pematang minimal yang harus dibuat agar air hujan masih dapat tertampung dalam sawah?

Diketahui :

Tinggi genangan = 2,5 cm = 0,025 m

tinggi hujan = 1000 mm

volume curah hujan = 1000 liter = 1  $m^3$

Luas sawah = 5 ha = 50000  $m^2$

$$T_p > 0,025 + \frac{1}{50000}$$

$T_p > 2,5$  cm

Maka tinggi pematang harus dibuat lebih dari 2,5 cm.

Tinggi pematang sawah yang lebih tinggi dari sebelumnya akan mengakibatkan ketinggian permukaan air pada lahan sawah saat musim penghujan tidak akan melebihi tinggi pematang sehingga banjir dapat dicegah. Keuntungan lain dari penggenangan sawah yang tidak tinggi (rendah) adalah bagian tanah samping yang mengalami genangan akan lebih sempit dan mengurangi potensi longsor.

Keuntungan lain penggenangan lahan sawah yang dangkal adalah dapat memperluas areal sawah irigasi yang dapat ditanami khususnya pada musim kemarau. Sawah yang selalu kering akan terjadi denitrifikasi yang mengakibatkan kehilangan nitrogen pada saat sawah diairi kembali.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Banjir pada lahan sawah tidak disebabkan oleh faktor eksternal berupa curah hujan saja, tetapi faktor internal dari teknik

budidaya tanaman padi lahan sawah dengan cara penggenangan. Penggenangan pada lahan sawah terutama sawah irigasi dengan pola tanam tiga kali padi dalam setahun telah menimbulkan lapisan kedap air yang tidak dapat menginfiltrasi air. Akibat air tidak terinfiltrasi dan curah hujan yang jatuh melebihi tinggi penampang sawah, maka lahan sawah akan banjir dan menjadi penyebab banjir untuk daerah sekitarnya. Penggenangan dalam waktu cukup lama akan melepaskan agregat tanah yang dapat berpotensi longsor. Untuk antisipasi banjir, erosi, dan longsor, maka pertanian tanaman semusim jangan diusahakan pada daerah hulu sungai.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Dr. Adi Basukriadi, MSc selaku Promotor dan Bapak Dr. Ir. M. Hasroel Thayeb, APU dan Bapak Dr. dr. Tri Edi Budi Soesilo, MSi selaku ko-promotor I dan II yang telah banyak membimbing penulis sehingga tulisan ini dapat diselesaikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. (1989). *Konservasi Tanah Dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Asdak, C. (2002). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Febrianti, N. D. Dirgahayu D. (2013). Analisis Frekuensi Banjir Sawah Pada Musim Hujan Menggunakan Data Penginderaan Jauh. *Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer dan Antariksa*, Serpong, 27 November 2012. Jakarta: LAPAN.
- Odum, E, P, 1995, *Dasar-Dasar Ekologi*, edisi ke tiga, UGM Press, Yogyakarta.
- Panuju, F. Heidina, B.H. Trisasongko, B. Tjahjonol, A. Kasno, dan A.H.A. Syafril. (2009). Variasi Nilai Indeks Vegetasi Modis Pada Siklus Pertumbuhan Padi, *Jurnal Ilmiah Geomatika*. Vol.15, No.2, Desember 2009.

- Purnama, S. (2009). Neraca Air di Pulau Bali. *Forum Geografi*. vol. 23, no. 1, Juli.
- R.I.C.E. 1967. *Rice Production Manual*.
- Rohmat, D. (2009). Tipikal Kuantitas Infiltrasi Menurut Karakteristik Lahan (Kajian Empirik di DAS Cimanuk Bagian Hulu). *Forum Geografi*. vol. 23, no. 1, Juli.
- Sanchez, P. A. (1993). *Sifat Dan Pengelolaan Tanah Tropika*, Bandung: ITB.
- Suroso, H. A. Susanto, 2006, Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir DAS Banjaran, *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 3, No. 2, Juli 2006.
- Wahyunto, Sastramihardja, W. Supriatna, W. Wahdini, Sunaryo. (2003). Kerawanan Longsor Lahan Pertanian Di Daerah Aliran Sungai Citarum, Jawa Barat. *Prosiding Seminar Nasional Multifungsi dan Konversi Lahan Pertanian*.

# RISIKO LONGSORLAHAN PADA LAHAN PERTANIAN DI KOMPLEKS GUNUNGAPI KUARTER ARJUNO JAWA TIMUR

## *Landslide Risk on the Farmland at the Arjuno Volcano Complex of East Java*

Nugroho Hari Purnomo <sup>1)</sup>, Sutikno <sup>2)</sup>, Sunarto <sup>2)</sup>, Luthfi Muta'ali <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Pendidikan Geografi Universitas Negeri Surabaya, Surabaya

<sup>2)</sup>Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

E-mail: nugrix@gmail.com

### **ABSTRACT**

*The purposes of the study are (1) studying the characteristics of the landslide hazard level, vulnerability, and capacity dealing with the seasonal plant farmland, and (2) developing the conceptual model disaster risk of landslide for the seasonal plant farmland at the stato volcano area. Sampling of the land factor was carried out in a purposive way and the sampling of the people was carried out accidentally. The analysis was conducted descriptively, parametric and non-parametric statistics, and spatial analysis of eological map, land shape, slope, soil and land use. The findings showed that the extremely high landslide risk occurred at the cone shape of the incised volcano and the slope of the incised volcano. The economic vulnerability of one-seasonal crop farmland was about Rp. 8,879,310,-/ha/year – Rp. 44,036,061 ha/year. While, the socio-economic factor of the farmers was generally characterized by a transition into a periurban area. The conceptual model tated that theresources of seasonal plant farmland with the high risk of landslide can be cultivated with the acceptable risk if the vulnerability of agricultural commodity is low in economic value and the capacity of farmers cultivating it is high.*

**Keywords:** risk, landslide, farmland

### **ABSTRAK**

*Penelitian ini dirancang untuk tujuan (1) mempelajari karakteristik tingkat bahaya, kerentanan , dan kapasitas terkait longsor lshsn pada tanaman semusim, dan (2) mengembangkan konseptual model risiko bencana longsor untuk lahan pertanian tanaman semusim di daerah gunung berapi stato. Sampling dari faktor tanah dilakukan dengan cara purposive dan rakyat dilakukan dengan accidental sampling. Analisis dilakukan secara deskriptif, parametrik dan statistik non-parametrik, dan analisis spasial terhadap geologi, bentuk lahan, kemiringan, tanah dan penggunaan lahan tumpangsari . Temuan menunjukkan bahwa risiko longsor sangat tinggi terjadi pada bentuk kerucut gunung berapi tertoreh dan lereng gunung berapi tertoreh. Kerentanan ekonomi lahan pertanian tanaman satu musim adalah sekitar Rp. 8.879.310, -/year - Rp. 44.036.061 ha / tahun. Sementara, faktor sosio-ekonomi petani pada umumnya ditandai dengan transisi ke area periurban. Model konseptual yang dihasilkan menyatakan bahwa sumber daya lahan pertanian tanaman semusim dengan risiko longsor tinggi dapat dibudidayakan dengan risiko yang dapat diterima jika kerentanan komoditas pertanian rendah nilai ekonomi dan kapasitas petani mengolahnya tinggi.*

**Kata kunci:** risiko, tanah longsor, lahan pertanian

## PENDAHULUAN

Perkembangan paradigma penanganan bencana bergeser dari manajemen bencana ke manajemen risiko bencana (Twigg, 2004; ISDR, 2005; Bastian 2006). Risiko mengindikasikan adanya kehilangan atau kerusakan yang mungkin terjadi pada kehidupan atau prasarana fisik pada waktu tertentu. Menurut Bastian (2006), pengurangan risiko menekankan pada ketersediaan informasi mengenai potensi kejadian bencana dan konsekuensi yang ditimbulkan, sehingga risiko bencana dapat diperhitungkan secara akurat meskipun waktu kejadian masih merupakan ketidakpastian.

Hampir sebagian besar kajian mengenai longsorlahan menyatakan bahwa penggunaan lahan memiliki peran dalam kejadian longsorlahan (Goenadi *et al.*, 2003; Naryanto *et al.*, 2004; Lee and Pradhan, 2006) di samping adanya komposisi tipe lempung yang terbentuk (Priyono, 2012). Sementara mayoritas petani kecil perdesaan mengandalkan bentuk penggunaan lahan pertanian tanaman semusim untuk hajat kehidupan subsisten mereka. Gangguan sistem pertanian pada bentuk penggunaan lahan tersebut akan berpengaruh nyata terhadap kehidupannya. Karena itu pemahaman terhadap risiko longsorlahan pada lahan pertanian tanaman semusim sebagai aset vital perekonomian petani kecil perdesaan akan, memberikan manfaat bagi pengelolaan sumberdaya pertanian.

Jalur tengah Pulau Jawa yang terbentuk oleh sistem gunungapi Kuartir merupakan wilayah yang subur sehingga laju pertumbuhan penduduknya cepat serta tuntutan kebutuhan hidupnya yang semakin kompleks. Salah satu wilayah tersebut adalah Kecamatan Pujon yang terletak pada DAS Konto bagian hulu, serta Kecamatan Bumiaji dan Kota Batu yang

terletak pada DAS Brantas bagian hulu di wilayah Malang Jawa Timur. Wilayah yang secara fisiografi dikenal sebagai kompleks Gunungapi Kuartir Arjuno, merupakan jalur perekonomian terdekat penghubung antara Malang dengan Kediri dan Jombang dengan pertumbuhan penduduk untuk ke tiga kecamatan tersebut mencapai sekitar 1,8 % per tahun (Badan Pusat Statistik, 2008A; Badan Pusat Statistik, 2008B). Dalam konsep tataruang wilayah ini termasuk sebagai daerah fungsi lindung, akan tetapi arah pengembangan perekonomian ditetapkan sebagai kawasan pertanian dan pariwisata (Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Malang, 1994). Perkembangan wilayah yang cukup pesat pada topografi berbukit hingga bergunung akan meningkatkan potensi risiko longsorlahan. Kejadian longsorlahan yang diinventarisasi pemerintah daerah dari 2002 - awal 2009 menimbulkan kerugian infrastruktur sekitar Rp. 3,5 milyar.

Penilaian dan manajemen risiko longsorlahan penuh dengan ketidakpastian menyangkut besaran, kecepatan, waktu longsorlahan, kerentanan kehidupan manusia, dan prasarana fisik (Dai *et al.*, 2002). Dalam paradigma pengurangan risiko, bencana dapat dikurangi dampaknya apabila masyarakat memahami karakteristik wilayah rawan bencana, memahami objek yang rentan bahaya, dan memahami kapasitas individu serta masyarakat dalam menghadapi bencana sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Risiko} = \frac{(\text{bahaya} \times \text{kerentanan lahan pertanian tanaman semusim})}{\text{kapasitas masyarakat petani}} \quad (1)$$

Permasalahannya adalah bagaimana terapan konsep penilaian risiko bencana

longsorlahan tersebut pada lahan pertanian tanaman semusim yang berkembang di wilayah gunungapi.

Tujuan penelitian adalah (1) mengkaji karakteristik tingkat bahaya longsorlahan di lahan pertanian tanaman semusim, tingkat kerentanan lahan pertanian tanaman semusim, dan kapasitas masyarakat petani terhadap longsorlahan, serta (2) menyusun model konseptual risiko bencana longsorlahan pada lahan pertanian tanaman semusim di wilayah gunungapi.

## METODE PENELITIAN

Metode utama penelitian ini adalah survei. Sebanyak 33 buah satuan lahan dijadikan sebagai kerangka penentuan lokasi pengambilan sampel sekaligus kerangka analisis. Satuan lahan berasal dari tumpang susun Peta Bentuklahan, Geologi, Lereng, Tanah, dan Penggunaan lahan dengan skala sama 1:75.000. Pengambilan sampel pada lahan dilakukan secara purposif. Data yang dikumpulkan adalah data karakteristik lahan.

Sampel petani sebanyak 196 responden dengan *sampling error* 7 % dari jumlah populasi yang tidak diketahui. Pengambilan sampel secara aksidental, yaitu siapa saja penduduk dengan pekerjaan utama sebagai petani yang mengerjakan lahan pertanian tanaman semusim. Sebaran lokasi responden ditentukan secara proporsional berdasarkan luasan 22 satuan lahan yang ada aktivitas budidaya pertaniannya. Data yang dikumpulkan adalah data sosial ekonomi petani.

Analisis pengaruh faktor lahan terhadap longsorlahan dan pengaruh faktor sosial ekonomi terhadap persepsi longsorlahan masing-masing dilakukan secara regresi multivariat metode *stepwise* dan metode *en-*

*ter* bila memenuhi syarat uji normalitas, uji heteroskedastisitas, dan uji multikolinieritas. Apabila salah satu asumsi tidak terpenuhi maka digunakan analisis korelasi tiap variabel bebas terhadap variabel terikat dengan syarat data normal. Bila data tidak normal maka digunakan metode statistik nonparametrik berupa korelasi *Spearman (r)* untuk data non katagori dan *Kruskal Walls* untuk data katagori. Analisis tingkat bahaya longsorlahan adalah analisis faktor untuk mengelompokkan data variabel lahan yang mencerminkan tingkat bahaya longsorlahan dan dilanjutkan analisis keruangan. Analisis tingkat kerentanan lahan pertanian tanaman semusim menggunakan analisis kluster metode hirarki untuk mengelompokkan tingkat kerentanan ekonomi lahan pertanian tanaman semusim dan dilanjutkan analisis keruangan. Analisis tingkat kapasitas sosial ekonomi masyarakat petani menggunakan analisis rata-rata tertimbang metode pengharkatan untuk mengelompokkan secara keruangan. Untuk analisis tingkat risiko longsorlahan digunakan analisis keruangan berdasarkan tabel silang tingkat bahaya, tingkat kerentanan, dan tingkat kapasitas. Untuk menyusun model konseptual risiko longsorlahan digunakan analisis deskriptif.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Bahaya, Kerentanan, dan Kapasitas

Analisis regresi multivariat memenuhi syarat untuk digunakan dan menunjukkan bahwa variabel curah hujan, ketebalan lapukan batuan, konsistensi batas lekat, dan kemiringan lereng berpengaruh secara signifikan pada taraf 0,05% terhadap luas longsorlahan. Analisis menunjukkan bahwa nilai korelasi ( $R^2$ ) = 0,676, sehingga dapat dinyatakan bahwa perubahan luas

longsorlahan dipengaruhi oleh ke-4 variabel tersebut sebesar 67,6%, sedangkan 32,4% berasal dari variabel lainnya. Analisis faktor dan keruangan menunjuk-kan bahwa karakteristik lahan pada tingkat bahaya sangat tinggi adalah bentuklahan kerucut gunungapi tertoreh dan lereng gunungapi tertoreh berbatuan formasi Anjasmoro tua dan muda dengan batuan berupa breksi gunungapi, lava, tuf, lahar, retas; dengan kemiringan lereng 21-55%; dan macam tanah kompleks Andosol coklat, Andosol coklat kekuningan, dan Litosol, serta Asosiasi Andosol coklat dan Glei humus.

Analisis klaster dan keruangan menunjukkan tingkat kerentanan ekonomi lahan pertanian tanaman semusim berkisar antara Rp. 8.879.310,-/ha/th - Rp. 44.036.061,-/ha/th. Sementara analisis regresi multivariat tidak memenuhi syarat untuk digunakan mengetahui pengaruh faktor sosial ekonomi terhadap persepsi longsorlahan karena syarat heteroskedastisitas tidak terenuhi. Uji normalitas data juga menunjukkan bahwa semua variabel tidak normal kecuali variabel usia dan luas lahan. Oleh karena itu digunakan statistik nonparametrik berupa korelasi

*Spearman* untuk data non katagori dan *Kruskal Wallis* untuk data katagori. Hasilnya menunjukkan bahwa individu berpendidikan formal dan berpengetahuan penyebab dan konservasi terkait longsorlahan tinggi pada usia muda sampai dewasa, akan memiliki persepsi yang lebih baik tentang bencana longsorlahan. Sementara analisis pengharkatan dan keruangan untuk mengetahui tingkat kapasitas sosial ekonomi petani terhadap longsorlahan menunjukkan bahwa wilayah dengan kapasitas tinggi ini terletak di sekitar Kota Kecamatan Kota Batu dan Bumiaji sehingga dapat mencerminkan sebagai masyarakat urbanisasi perdesaan.

### Risiko Longsorlahan

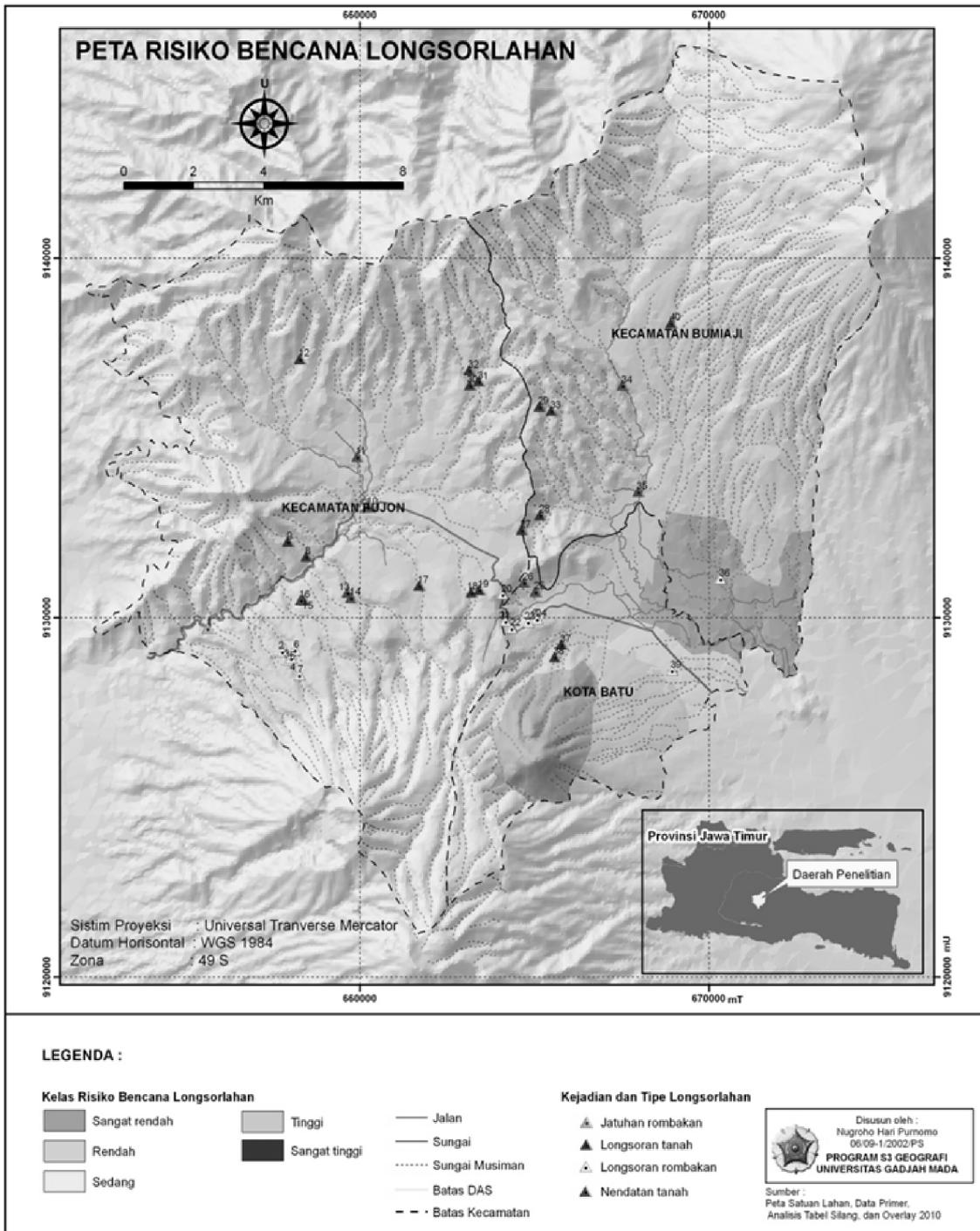
Tumpangsusun Peta Tingkat Bahaya Longsorlahan, Peta Tingkat Kerentanan Ekonomi Lahan Pertanian, dan Peta Tingkat Kapasitas Sosial Ekonomi Masyarakat Petani menghasilkan empat tingkat risiko longsorlahan. Hasil menunjukkan bahwa bahaya atau kerentanan atau kapasitas tinggi belum tentu menghasilkan risiko tinggi. Tingkat risiko longsorlahan dan sebarannya disajikan Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. Tingkat Risiko Longsorlahan

No.	Simbol Satuan Lahan	Tingkat Bahaya	Tingkat Kerentanan	Tingkat Kapasitas	Tingkat Risiko
1.	F1-Aw-I-AG-S (1)	rendah	sangat tinggi	sangat tinggi	sangat rendah
2.	F1-Aw-II-LCRK-T (2)	sangat rendah	rendah	tinggi	sangat rendah
3.	V1-Aw-IV-RK-H (3)	tinggi	-	-	-
4.	V1-Kb-III-ACL-H (4)	sedang	-	-	-
5.	V1-Kb-IV-ACL-H (5)	sangat rendah	-	-	-
6.	V1-Kb-IV-ACL-T (6)	tinggi	-	-	-

7.	V1-Pt-IV-RC-T (7)	sedang	sangat rendah	tinggi	sangat rendah
8.	V2-At-I-AG-S (8)	rendah	tinggi	tinggi	rendah
9.	V2-At-IV-ACL-T (9)	sedang	sangat rendah	sedang	rendah
10.	V2-Aw-III-ACRC-T (10)	sedang	sangat rendah	rendah	sedang
11.	V2-Aw-IV-ACRC-H (11)	tinggi	-	-	-
12.	V2-Aw-IV-RK-H (12)	sedang	-	-	-
13.	V2-Kb-IV-ACL-T (13)	sedang	sangat rendah	sedang	rendah
14.	V2-Pt-II-RC-T (14)	rendah	rendah	sedang	rendah
15.	V2-Pt-III-RC-T (15)	rendah	sangat rendah	sangat rendah	sedang
16.	V3-Am-II-ACRC-T (16)	sedang	sangat rendah	rendah	sedang
17.	V3-At-I-AG-S (17)	sedang	tinggi	sedang	tinggi
18.	V3-Aw-II-ACRC-T (18)	sedang	sangat rendah	rendah	sedang
19.	V3-Aw-II-LCRK-T (19)	sangat rendah	sangat rendah	sedang	rendah
20.	V3-Aw-II-RC-P (20)	sangat rendah	-	-	-
21.	V3-Aw-III-ACRC-H (21)	sedang	-	-	-
22.	V3-Aw-III-ACRC-T (22)	rendah	rendah	rendah	sedang
23.	VD1-Am-IV-ACL-H (23)	sangat tinggi	-	-	-
24.	VD2-Am-IV-ACL-H (24)	tinggi	-	-	-
25.	VD2-Am-IV-ACL-T (25)	sangat tinggi	rendah	sedang	tinggi
26.	VD2-Am-IV-AG-H (26)	sangat tinggi	sangat rendah	rendah	tinggi
27.	VD2-Am-IV-AG-T (27)	tinggi	sangat rendah	tinggi	rendah
28.	VD2-At-IV-ACL-H (28)	sedang	-	-	-
29.	VD2-At-IV-ACL-S (29)	sangat tinggi	tinggi	sedang	tinggi
30.	VD2-At-IV-ACL-T (30)	sangat tinggi	sangat rendah	sedang	sedang
31.	VD2-At-IV-AG-T (31)	tinggi	rendah	tinggi	rendah
32.	VD3-At-I-AG-S (32)	tinggi	tinggi	sedang	tinggi
33.	VD3-At-IV-ACL-T (33)	tinggi	sedang	sedang	tinggi

Sumber: analisis keruangan, 2010



Gambar 1. Peta Risiko Longsorlahan

Model konseptual risiko pada penelitian ini didasarkan pada konsep kepekaan manusia terhadap bencana yang dimodifikasi untuk model konseptual risiko longsorlahan sesuai hubungan sumberdaya dan bahaya pada konsep geomorfologi lingkungan. Berdasarkan data faktor fungsi risiko yang signifikan, maka diketahui model visual pita

toleransi risiko bencana longsorlahan yang dapat diterima pada tingkat risiko tinggi, sedang, rendah, dan sangat rendah (Gambar 2). Mengacu pada hasil penelitian yaitu empat tingkat risiko yang dimodel visualkan, maka masing-masing tingkat risiko longsorlahan dapat dimodel analogkan bersama dengan masing-masing faktornya dalam rumus berikut:

$$\text{Risiko bencana longsorlahan tinggi} = \frac{\text{bahaya tinggi} \times \text{kerentanantinggi}}{\text{kapasitasrendah}} \quad \text{----- (2)}$$

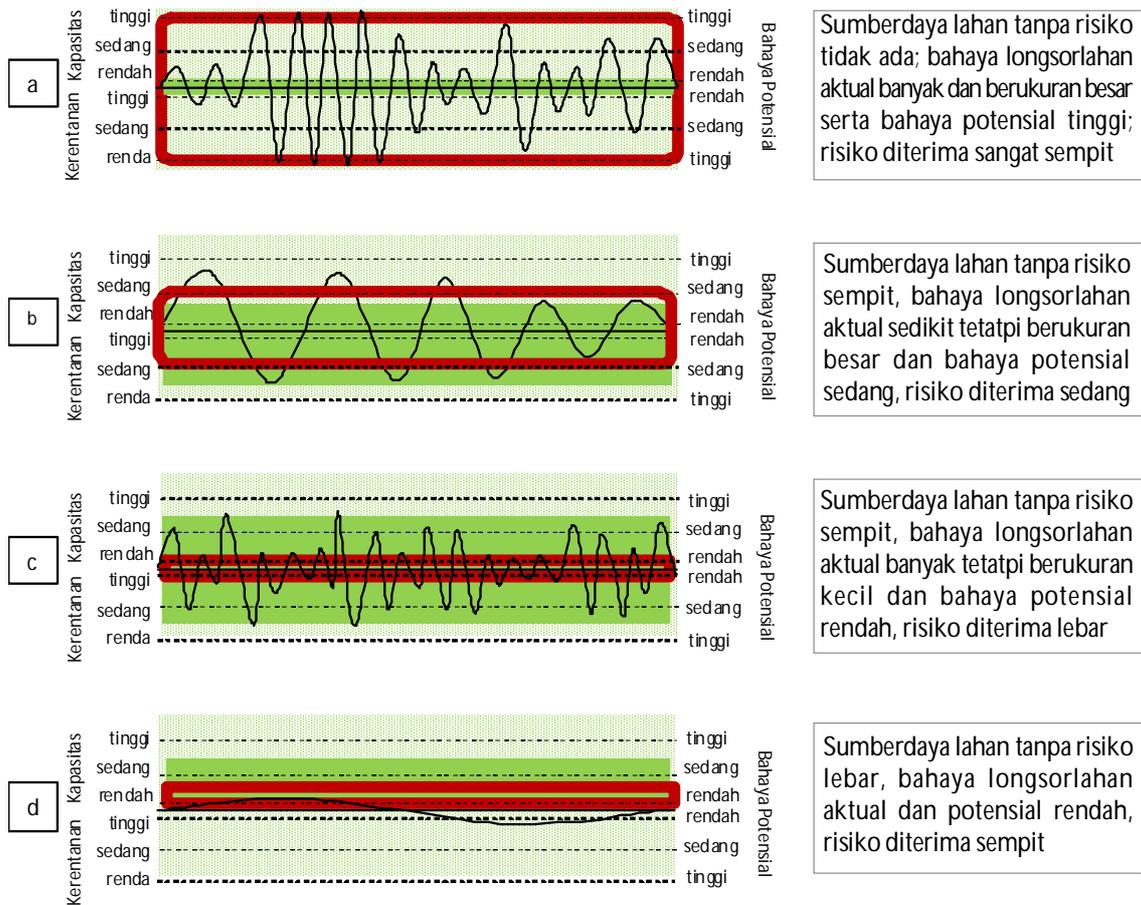
$$\text{Risiko bencana longsorlahan sedang} = \frac{\text{bahaya sedang} \times \text{kerentanarendah}}{\text{kapasitasrendah}} \quad \text{----- (3)}$$

$$\text{Risiko bencana longsorlahan rendah} = \frac{\text{bahaya rendah} \times \text{kerentanantinggi}}{\text{kapasitassedang}} \quad \text{----- (4)}$$

$$\text{Risiko bencana longsorlahan sangat rendah} = \frac{\text{bahaya rendah} \times \text{kerentanantinggi}}{\text{kapasitassedang}} \quad \text{---- (5)}$$

Keterangan:

- Bahaya tinggi = longsorlahan aktual banyak dengan ukuran besar sampai kecil; potensial tinggi
- Kerentanantinggi = lahan pertanian tanaman semusim dengan nilai ekonomi lahan pertanian tinggi
- Kapasitasrendah = tingkat pendidikan rendah, pengetahuan rendah, usia penduduk tua
- Bahaya sedang = longsorlahan aktual sedikit tetapi ukurannya besar; potensial sedang
- Kerentanarendah = lahan pertanian tanaman semusim dengan nilai ekonomi lahan pertanian rendah
- Bahaya rendah = longsorlahan aktual 1 dengan ukuran kecil; potensial rendah
- Kapasitas sedang = tingkat pendidikan sedang, pengetahuan sedang, usia penduduk muda dan dewasa



**Keterangan:**

-  : Garis bahaya longsorlahan aktual;
-  : Garis tingkat kapasitas, kerentanan, bahaya potensial;
-  : Area bahaya longsorlahan potensial;
-  : Area sumberdaya lahan pertanian dengan risiko diterima / ditoleransi;
-  : Area sumberdaya lahan pertanian dengan risiko diabaikan

Sumber : hasil analisis deskriptif, 2011; modifikasi dari Hewit dan Burton, 1971 dalam Smith, 1996

Gambar 2. Model Konseptual Risiko Longsorlahan; (a) Risiko Tinggi, (b) Risiko Sedang, (c) Risiko Rendah, (d) Risiko Sangat Rendah

Pada aspek bahaya, penyebab longsor-lahan adalah ketebalan material lapukan batuan berkonsistensi batas lekat rendah yang menumpang pada lereng dengan kemiringan tinggi, ketika menerima respon hujan yang tinggi akan berpotensi terjadi longsor-lahan. Ketebalan lapukan batuan yang menunjukkan volume material besar berperan dalam meningkatkan gaya berat (Notohadiprawiro dan Suparnowo, 1978; Moon dan Simpson, 2002; Bronto, 2004; Frattini *et al.*, 2004; Karnawati, 2005; Akgun *et al.*, 2011). Saat konsistensi rendah tanah dalam keadaan mengalir atau kental. Kelekatan tanah saat jenuh air akan menjadi berkurang karena terjadinya perengangan antar butiran partikel tanah (Sutedjo dan Kartasapoetra, 1987; Poerwowidodo, 1992). Bila kondisi tersebut terjadi pada lereng yang miring sampai curam maka akan terjadi ketidakstabilan lereng. Ketidakstabilan lereng dikendalikan oleh hubungan antara momen gaya yang melongsorkan massa material bergerak ke bawah dengan momen gaya yang menahan massa material tetap berada pada tempatnya. Gaya yang melongsorkan massa material berupa berat massa material, beban pada lereng, tekanan air dalam pori tanah, dan gangguan pada tanah. Untuk gaya yang menahan adalah kuat geser material yang bekerja sepanjang bidang gelincir pada lereng (Pangluar dan Suroso, 1985; Cooke dan Dornkamp, 1990; Huda, 2001; Karnawati, 2005; Akkrawintawong *et al.*, 2008). Kondisi tersebut bila menerima respon hujan dengan intensitas dan waktu yang lama maka potensi kejadian longsor-lahan meningkat (Ayala, 2003; Polimeo, 1998; Beek, 2002; Karnawati, 2005).

Pada aspek kerentanan dan kapasitas menunjukkan bahwa elemen berisiko berupa komoditas tanaman semusim pada penggunaan lahan pertanian sawah

memiliki nilai ekonomi lahan dengan kerentanan tinggi. Penelitian terdahulu juga menyatakan bahwa lahan pertanian yang sesuai untuk beberapa variasi jenis komoditas bernilai ekonomi tinggi dan kebutuhan bahan pangan pokok memiliki kerentanan tinggi karena sawah memiliki peran ekonomi dan ekologi yang tinggi dibandingkan dengan bentuk penggunaan lahan pertanian lainnya (Kumalawati, 2005; Remondo *et al.*, 2006; Baiquni, 2006). Sementara dari sisi kapasitas menunjukkan bahwa individu berpendidikan formal dan berpengetahuan tinggi pada usia muda sampai dewasa memiliki persepsi yang baik tentang bencana longsor-lahan. Hal ini memperkuat pendapat bahwa sebagian besar persepsi dan perilaku manusia merupakan perilaku yang dibentuk, diperoleh, dan dipelajari melalui proses penyerapan pengetahuan melalui belajar formal maupun sumber informasi dari berbagai pihak terlebih lagi bagi mereka yang berusia muda (Walgito, 1999; Solana *et al.*, 2003; Donie, 2006; Kuncoro, 2003).

Aspek kerentanan dan kapasitas juga mengungkap bahwa karakteristik masyarakat di daerah penelitian bercirikan masyarakat transisi wilayah urbanisasi perdesaan. Hal ini dapat dilihat dari kondisi visual perkotaan pada Kota Batu dengan pertumbuhan dan perdesaan di Kecamatan Bumiaji dan Pujon. Selain itu menunjukkan bahwa 89% responden memiliki pekerjaan sampingan. Menurut Yunus (2008) kondisi tersebut sudah dapat mencirikan adanya dinamika masyarakat wilayah perkotaan.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

Kesimpulan dari penelitian ini adalah

risiko longsorlahan tinggi ditentukan oleh bentuk penggunaan lahan sawah pada lahan dengan material lapukan batuan yang tebal, tanahnya berkonsistensi batas lekat rendah, terletak pada lereng dengan kemiringan tinggi, wilayahnya dengan curah hujan tinggi, yang diusahakan oleh petani dengan pendidikan rendah, pengetahuan penyebab dan pengetahuan konservasi lahan terkait longsorlahan rendah, serta berusia cenderung tua. Penelitian ini juga menghasilkan model konseptual risiko longsorlahan yang merepresentasikan hubungan sumberdaya dan bencana pada konsep geomorfologi lingkungan. Model konseptual risiko longsorlahan tersebut dinyatakan bahwa sumberdaya lahan pertanian tanaman semusim dengan tingkat bahaya longsorlahan tinggi, dapat diusahakan dengan risiko yang diterima apabila kerentanan komoditas pertaniannya bernilai ekonomi rendah dan kapasitas petani yang mengusahakannya tinggi. Kesimpulan tersebut berlaku pada lahan

pertanian tanaman semusim yang diusahakan oleh masyarakat wilayah urbanisasi perdesaaan di lahan gunungapi. Disarankan untuk pengurangan risiko dapat dilakukan melalui pendidikan formal dan pendidikan non formal. Pendidikan formal yang dimaksud adalah memasukkan tema pengurangan risiko bencana ke dalam kurikulum lokal. Pendidikan nonformal yang dimaksud adalah melalui pelatihan-pelatihan tanggap longsorlahan bagi masyarakat luas.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Tulisan ini merupakan garis besar penelitian disertasi yang disusun oleh penulis pertama dibawah bimbingan penulis kedua, ketiga, dan keempat. Ucapan terimakasih sebesar-besarnya disampaikan kepada para pembimbing yang dengan kesabarannya, ketulusan, dan keiklasannya telah mendorong penulis pertama untuk menyelesaikan disertasi.

### DAFTAR PUSTAKA

- Akgun, A., Kýncal, C., and Pradhan, B., 2011. *Application of Remote Sensing Data and GIS for Landslide Risk Assessment as an Environmental Threat to Izmircity (West Turkey)*. [http://www. Springer Science + Business Media B.V.](http://www.springer-science.com) h.5463-5469.
- Akkrawintawong, K.; Chotikasathien, W.; Daorerk, V.; and Charusiri, P., 2008. GIS Application for Landslide Hazard Mapping in Phang Nga Region, Southern Thailand. *Proceedings of the International Symposia on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes (GREAT 2008)*, Bangkok.
- Ayala, I. Alcantara., 2003. *Hazard assessment of rainfall-induced landsliding in Mexico*. [www.elsevier.com/locate/geomorph](http://www.elsevier.com/locate/geomorph). p.1-22.
- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Malang, 1994. *Tata Ruang Kabupaten Malang Tahun 1994-2004*. Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Malang, Malang.
- Badan Pusat Statistik, 2008A. *Kota Batu Dalam Angka Tahun 2008*. Badan Pusat Statistik Kota Batu, Batu.

- Badan Pusat Statistik, 2008B. *Kabupaten Malang Dalam Angka Tahun 2008*. Badan Pusat Statistik Kabupaten Malang, Malang
- Baiquni, M., 2006. Pengelolaan Sumberdaya Perdesaan dan Strategi Penghidupan Rumahtangga Perdesaan di Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta pada Masa Kritis (1998-2003). *Disertasi (tidak dipublikasikan)*. Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Bastian, I., 2006. Valuasi Risiko Bencana. *Makalah Seminar Nasional Pelacakan Valuasi Risiko Bencana*. Pusat Studi Bencana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Beek, R.V., 2002. *Assessment of The Influence of Changes in Land Use and Climate on Landslide Activity in a Mediterranean Environment*. Universiteit Utrecht, Utrecht
- Bronto, S., 2004. Longsor di Gunungapi. Dalam *Permasalahan, Kebijakan, dan Penanggulangan Bencana tanah Longsor di Indonesia*. Pengelolaan Sumberdaya dan kawasan, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta
- Cooke, R.U. and J.C. Dornkamp., 1994. *Geomorphology in Environmental Management. A New Introduction, edisi kedua*. Claredon Press, Oxford
- Donie, S., 2006 Masyarakat yang Tinggal di Daerah Rawan Longsor. Interpretasi, Penyebab, dan Strategi Adaptasi (Kasus Desa Purwoharjo Kecamatan Samigaluh Kulon Progo). *Tesis (tidak dipublikasikan)*. Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Goenadi, S., Sartohadi, J., Hardiyatmo, H.C., Hadmoko, D.S., dan Giyarsih, S.R., 2003. Konservasi Lahan Terpadu Daerah Rawan Bencana Longsor di Kabupaten Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta. *Laporan Penelitian*. Lembaga Penelitian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Huda, M., 2001. Mekanisme Gerakan Longsor Tanah Lempung Akibat Input Curah Hujan di Pegunungan Kendeng Kabupaten Grobogan Jawa Tengah. *Tesis (tidak dipublikasikan)*. Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Karnawati, D. 2005. *Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya*. Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Kumalawati, R., 2005. Valuasi ekonomi Risiko Bencana Alam Gerakan Massa dan Erosi Terhadap Lahan Pertanian di DAS Tinalah Kulon Progo. *Tesis (tidak dipublikasikan)*. Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Kuncoro, V, 2003. Perumahan di Kawasan Rawan Bencana Tanah Longsorlahan (Studi Kasus Kota Semarang). *Tesis (tidak dipublikasikan)*. Program Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Lee, S., and Pradhan, B., 2006. Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia. *Earth System Science* 115, No. 6, December 2006, Printed in India, p. 661–672

- Naryanto, H. S., Marwanta, B., Prawiradisastra, S., Kurniawan, L., dan Wisyanto, 2004. Fenomena dan Faktor-Faktor yang Berpengaruh Terhadap Kajadian Bencana Alam Tanah Longsor di Cililin, Kabupaten Bandung, Jawa Barat Tanggal 21 April 2004. Dalam *Permasalahan, Kebijakan, dan Penanggulangan Bencana tanah Longsor di Indonesia*. Pengelolaan Sumberdaya dan kawasan, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta.
- Notohadiprawiro, T., Suparnowo, S.H., 1978. Asas-Asas Pedologi. Departemen Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Pangular D. dan Suroso., 1985. *Petunjuk Penyelidikan dan Penanggulangan Gerakantahan*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Bandung.
- Poerwowidodo, 1992. *Metode Selidik Tanah*. Usaha Nasional, Surabaya.
- Polemio, M., and Sdao, M., 1998. *The Role of Rainfall in The Landslide Hazard: The Case of The Avigliano Urban Area (Southern Apennines, Italy)*. [www.elsevier.com/locate/](http://www.elsevier.com/locate/EngineeringGeology) Engineering Geology 53 p. 297–309.
- Priyono, Kuswaji Dwi. 2012. Kajian Mineral Lempung pada Kejadian Bencana Longsorlahan di Pegunungan Kulonprogo Daerah Istimewa Yogyakarta. *Forum Geografi*. Vol. 26, No. 1, Juli 2012: 53 - 64.
- Remondo, J., Bonachea, J, and Cendrero, A., 2006. Quantitative Landslide Risk Assessment and Mapping on the Basis of Recent Occurrences. *Geomorphology*. [www.elsevier.com/locate/geomorph](http://www.elsevier.com/locate/geomorph). p.1-12.
- Slamet, Y., 2006. *Metode Penelitian Sosial*. Universitas Sebelas Maret Press, Surakarta.
- Solana, M.C. and Kilburn, C.R.J., 2003. Public Awareness of Landslide Hazards: the Barranco de Tirajana, Gran Canaria, Spain. *Geomorphology* 54. <http://www.elsevier.com/locate/geomorph>. h.39-48.
- Twigg, J., 2004. *Good Practice Review Disaster Risk Reduction Mitigation and Preparedness in Development and Emergency Programming*. Overseas Development Institute, London, United Kingdom.
- Walgito, B., 2003. Psikologi Sosial (Suatu Pengantar). Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Yunus, H.S., 2008. *Dinamika Wilayah Peri-Urban, Determinan Masa Depan Kota*. Pustaka Pelajar, Yogyakarta.

# PEMODELAN TINGKAT DAYA PULIH MASYARAKAT DI KAWASAN RAWAN BENCANA BANJIR KOTA SURAKARTA

## *Modelling of community recovery level of flood-prone area in Surakarta*

Rita Noviani, Pipit Wijayanti dan Yasin Yusup <sup>1)</sup>

Dosen P. Geografi FKIP UNS and Staff of Center for Disaster Study UNS

Email: rita.noviani@gmail.com

### **ABSTRACT**

*This study aimed to develop community resilience velocity model after the disaster. The study is a descriptive analysis using household survey of the flood victims. Total sample of 100 households in ten villages on the banks of the Bengawan Solo River, and is an area prone to flooding. Processing for data is using descriptive statistical analysis, correlation and regression, analysis of variance and factor analysis. There is a close relationship between the power recovered by a factor of assets, knowledge and long flood events. The two main factors affecting the dominant public resilience is a characteristic of a society of social assets, knowledge and natural assets. The second factor is the economic and financial factors, and long floods. The Resulted model level resilience from the research is  $Y = 0.012 X_1 + 0.118 X_2 + 0.394 X_3 + 0.079 X_4 + 0.040 X_5 - 0.002 X_6$ . which; Y is Power Restored (speed), Ownership Financial Assets ( $X_1$ ), Ownership of Assets Economics ( $X_2$ ), Natural Asset Ownership ( $X_3$ ), Social Asset Ownership ( $X_4$ ), Lama flooding (days) ( $X_5$ ), and Knowledge ( $X_6$ ). Further optimization of the acceleration of flood resilience of households to do with strengthening the ownership of assets, improving the capacity of communities and reduce the threat of flooding and duration of.*

**Keywords:** modeling, power restored, flood-prone areas

### **ABSTRAK**

*Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model kecepatan daya pulih masyarakat pasca bencana. Penelitian bersifat deskriptif analitis dengan menggunakan metode survei terhadap rumah tangga yang menjadi korban bencana banjir. Jumlah sampel sebanyak 100 rumah tangga yang berada di sepuluh desa di bantaran sungai Bengawan Solo dan merupakan kawasan rawan banjir. Pengolahan data dengan menggunakan analisis statistik deskriptif, korelasi dan regresi, analisis varian dan analisis faktor. Terdapat hubungan yang erat antara daya pulih dengan faktor aset, pengetahuan dan lama kejadian banjir. Dua faktor utama yang dominan mempengaruhi daya pulih adalah karakteristik sosial masyarakat yang terdiri dari aset sosial, pengetahuan dan aset natural. Faktor kedua adalah faktor ekonomi dan finansial serta lama kejadian banjir. Model tingkat daya pulih yang dihasilkan penelitian ini adalah  $Y = 0,012 X_1 + 0,118 X_2 + 0,394 X_3 + 0,079 X_4 + 0,040 X_5 - 0,002 X_6$ , dimana, Y adalah Daya Pulih (kecepatan), Kepemilikan Aset Finansial ( $X_1$ ), Kepemilikan Aset Ekonomi ( $X_2$ ), Kepemilikan Aset Natural ( $X_3$ ), Kepemilikan Aset Sosial ( $X_4$ ), Lama terjadinya banjir (hari) ( $X_5$ ), dan Pengetahuan ( $X_6$ ). Selanjutnya optimasi percepatan daya pulih rumahtangga korban banjir dapat dilakukan dengan memperkuat kepemilikan aset, perbaiki kapasitas masyarakat dan mengurangi ancaman dan lama banjir.*

**Kata kunci:** pemodelan, daya pulih, kawasan rawan banjir

## PENDAHULUAN

Bantaran sungai Bengawan Solo merupakan kawasan rawan bencana yang berpotensi terlanda banjir setiap tahunnya, khususnya di musim penghujan. Salah satu daerah yang menjadi 'langganan' banjir Bengawan Solo adalah Kota Surakarta. Setiap tahun banjir rutin melanda daerah ini dan menyebabkan kerusakan dan kerugian yang cukup besar. Berdasarkan aspek sektoral, nilai kerusakan paling besar dialami oleh sektor permukiman dan infrastruktur. Secara kewilayahan, area terdekat dengan aliran Bengawan solo merupakan daerah yang paling potensial terkena dampak bencana dimana diperkirakan sekitar 65% dari kerusakan dan kerugian dialami kawasan ini. Risiko ini terus mengalami peningkatan seiring dengan proses pembangunan yang cepat (Anna et. al, 2010).

Berdasarkan karakteristik wilayah dan sosial ekonomi masyarakat, tingkat kerusakan dan kerugian yang dialami masing-masing rumah tangga akan memiliki tingkat daya pulih yang sangat bervariasi. Keberlangsungan hidup pasca bencana dapat berkelanjutan apabila bisa pulih dari tekanan atau shock seperti bencana alam dll dengan menggunakan asset dan kemampuan yang dimiliki sekarang tanpa menggantungkan hanya pada Sumber Daya Alam (Chambers, R. and G.Conway (1992).

Keberlangsungan hidup terdiri dari pendapatan baik secara tunai atau dalam bentuk lain seperti relasi sosial atau orang-orang yang dikenal yang dapat memudahkan kehidupan seseorang atau sebuah keluarga, dan akses kepada pelayanan umum dan pelayanan sosial yang memberikan sumbangan atau kontribusi terhadap kesejahteraan seseorang atau keluarga. (Ellis,1998). Keberlangsungan hidup juga dapat terdiri dari Asset (natural, physical, human, financial dan social), aktifitas, dan

akses terhadap asset yang ada melalui perantara orang-orang yang telah dikenalnya dan relasi-relasi social) yang kemudian bersama-sama menentukan peningkatan kehidupan baik secara individual maupun dalam tingkat rumah tangga. (Ellis,2000)

Dari definisi dari keberlangsungan hidup dapat diambil 3 komponen terpenting dalam keberlangsungan hidup manusia yaitu: Asset, Akses dan Aktifitas. Asset dapat berarti anugrah atau sokongan dari Sumber daya seperti Sumber daya Alam (Natural Capital) yang ada untuk dapat hidup. Asset juga dapat berupa asset material(Physical Capital), kemampuan finansial (Financial Capital), kemampuan dari tiap anggota keluarga/pengalaman (Human capital), dan relasi atau hubungan dengan komunitas yang ada disekitarnya (Social Capital).(Fine,1999).

Hubungan kelima asset ini dapat digambarkan dari sebuah pentagram untuk dapat mempermudah dalam menganalisis keberlangsungan hidup baik dalam tingkat rumah tangga maupun dalam tingkatan wilayah (Gambar 1).

Akses terhadap pasar merupakan salah satu komponen penting dalam keberlangsungan hidup manusia. Akses dalam setiap wilayah berbeda satu sama lain dan mungkin ada wilayah yang tidak mempunyai akses terhadap pasar (akses terhadap lahan, kredit dll) atau mungkin beberapa orang yang mempunyai status sosial, finansial dan human capital rendah tidak mempunyai akses terhadap pasar. Akses terhadap pasar sangat ditentukan oleh beberapa faktor yaitu jarak terhadap pasar, akses kepada infrastruktur fisik, telekomunikasi, akses terhadap informasi, akses terhadap pelayanan, dll. (Junior Davis and Dirk Bezemer, 2003)

Aktivitas dapat berarti cara yang ditempuh semua anggota keluarga dalam memanfaatkan waktu sibuk mereka untuk mendukung

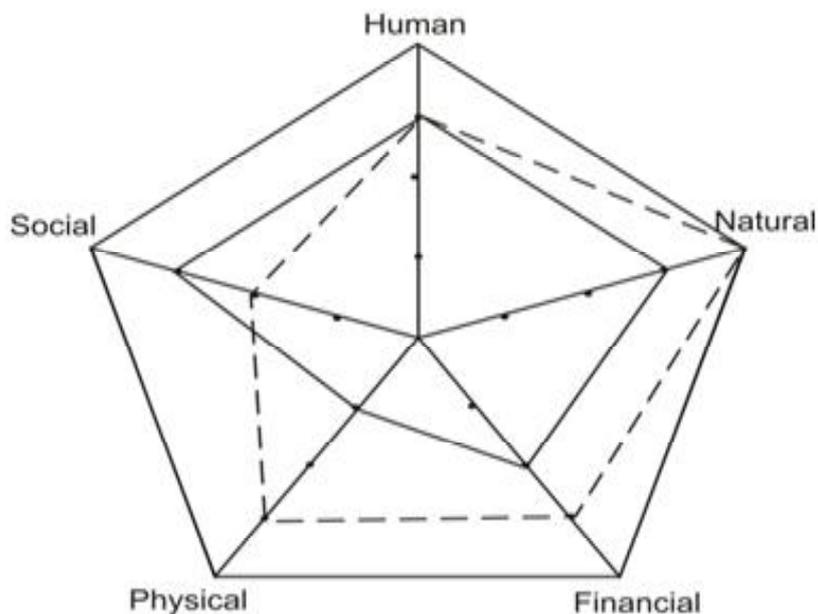
keberlangsungan hidup mereka. Aktifitas disini dapat berarti bekerja, produksi pertanian, perdagangan dan berbagai aktifitas lain.(Barrett *et al.*,2001b). Beberapa dari aktifitas dalam struktur masyarakat pertanian diantaranya income atau pendapatan dapat berasal dari *on farm income off farm income dan unlearned income*. Davis and Pearce(2001). Dari Income tersebut dapat di klasifikasikan kembali kedalam beberapa jenis pekerjaan makro seperti pekerjaan berbasis pertanian, pekerjaan berbasis non pertanian dll. Dukungan atau sokongan asset yang dimiliki oleh tiap rumah tangga dan aktivitas yang dilakukan secara bersama-sama akan mendukung kehidupan yang lebih baik (*well being*). (Barrett *et al.*,2001b). hal ini dapat dicerminkan dari Gambar 2.

Dalam konteks manajemen bencana, khususnya tahap pemulihan kondisi, kerangka kerja *livelihood* (keberlangsungan hidup) dapat digunakan oleh pembuat

kebijakan untuk meningkatkan kondisi kehidupan dari masyarakat dan wilayah yang terkena dampak langsung maupun tidak langsung dari suatu bencana. *Livelihood* atau keberlangsungan hidup menyediakan kerangka kerja yang mempunyai fokus pada masyarakat yang kehilangan aset kehidupan yang dimilikinya yang jika penanganannya tidak tepat akan menyebabkan kemiskinan. Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model kecepatan daya pulih masyarakat pasca bencana.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini bersifat deskriptif analitik dengan metode survei untuk menguraikan mengenai gejala yang dikaji berdasarkan indikator yang telah ditetapkan. Indikator yang dimaksud adalah karakteristik rumah tangga, banjir, pengetahuan, dampak banjir, strategi adaptasi dan daya pulih rumah tangga akibat banjir.



Sumber:hasil analisis

Gambar 1. Pentagon Lima Aset dalam Pemulihan Pasca Bencana

Penelitian ini dilakukan di sepanjang bantaran sungai Bengawan Solo di kota Surakarta. Daerah ini telah ditetapkan oleh PEMKOT sebagai kawasan rawan bencana yang disebabkan karena banjir rutin sungai Bengawan Solo,

Populasi dalam penelitian ini adalah rumah tangga yang menjadi korban bencana banjir dan berada dalam wilayah kawasan rawan banjir. Jumlah sampel penelitian sebanyak 100 rumah tangga korban bencana banjir yang diambil secara random (*simple random sampling*).

Data dan variabel yang digunakan dalam penelitian ini dapat dikelompokkan menjadi sebagai berikut (Tabel 1).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

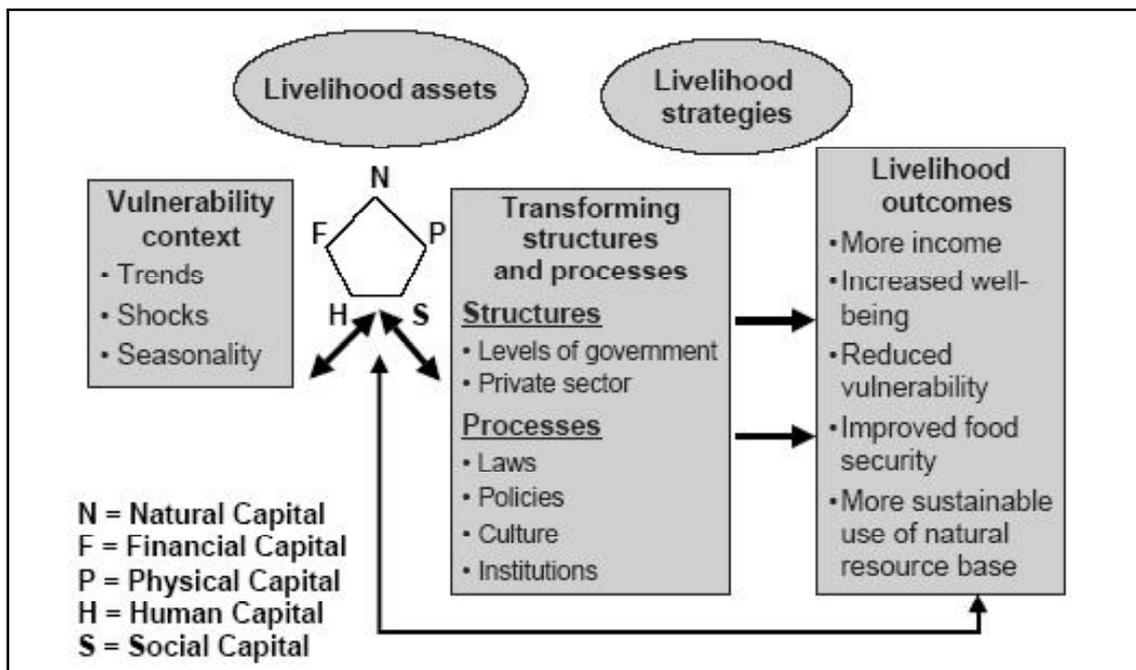
Teknis analisis statistik yang digunakan

dalam penelitian ini yaitu analisis regresi multivariat, yaitu dengan menetapkan kecepatan daya pulih sebagai variable terpengaruh (Y), dan faktor lain seperti kepemilikan asset, karakteristik banjir dan pengetahuan sebagai faktor yang mempengaruhi (Xi). Mendasarkan teori yang ada dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_6$$

Keterangan:

- Y = Daya Pulih (kecepatan)
- X<sub>1</sub> = Kepemilikan Aset Finansial
- X<sub>2</sub> = Kepemilikan Aset Ekonomi
- X<sub>3</sub> = Kepemilikan Aset Natural
- X<sub>4</sub> = Kepemilikan Aset Sosial
- X<sub>5</sub> = Lama terjadinya banjir (hari)
- X<sub>6</sub> = Pengetahuan



Sumber: hasil analisis

Gambar 2. Sustainable Livelihood Framework (Development of International Development "DFID), 1999

Tabel 1. Faktor-Faktor yang Menjadi Indikator dan Variabel Penelitian

No.	Indikator	Sumber Data	Variabel-variabel Penelitian
1.	Karakteristik Banjir Bengawan Solo	Data Sekunder (Instansional) dan Observasi lapangan	
2.	Karakteristik Wilayah Rawan Bencana Banjir	Data Sekunder (Instansional), Kuesioner, dan Observasi lapangan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sejarah Banjir</li> <li>2. Frekwensi</li> <li>3. Lama Banjir</li> <li>4. Pemetaan rawan banjir</li> <li>5. Ketinggian banjir</li> <li>6. Langkah-langkah menangani banjir</li> </ol>
3.	Karakteristik Rumah Tangga	Data Primer dengan wawancara terstruktur	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Umur</li> <li>2. Jenis kelamin</li> <li>3. Pendidikan</li> <li>4. Pekerjaan</li> <li>5. Lama Tinggal</li> <li>6. Penghasilan</li> <li>7. Pengeluaran</li> <li>8. Jumlah Anggota keluarga</li> <li>9. Karakteristik Anggota Keluarga</li> </ol>
4.	Kepemilikan Aset	Data Primer dengan wawancara terstruktur	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Modal Finansial</li> <li>2. Modal Ekonomi</li> <li>3. Modal Natural</li> <li>4. Modal Sosial</li> </ol>
5.	Pengetahuan tentang Banjir	Data Primer dengan wawancara terstruktur	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kawasan rawan banjir</li> <li>2. Penyebab banjir</li> <li>3. Akibat banjir</li> <li>4. Penanggulangan banjir</li> <li>5. Manajemen banjir</li> </ol>
6.	Dampak Bencana	Data Primer dengan wawancara terstruktur	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rumah</li> <li>2. Diri pribadi</li> <li>3. Bahan pokok</li> <li>4. Harta benda</li> <li>5. Lingkungan</li> </ol>
7.	Strategi Adaptasi	Data Primer dengan wawancara terstruktur	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tetap tinggal di lokasi</li> <li>2. Punya rencana pindah</li> <li>3. Pindah</li> <li>4. Relokasi</li> <li>5. Transmigrasi</li> </ol>
8.	Daya Pulih	Data Primer dengan wawancara terstruktur	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fisik rumah/bangunan dan lingkungan</li> <li>2. Psikologis keluarga (dari stress)</li> <li>3. Natural (pangan dan sandang)</li> <li>4. Kesehatan (jika sakit)</li> <li>5. Sosial (hubungan kemasyarakatan)</li> </ol>

Sumber: hasil analisis

Tingkat daya pulih suatu rumah tangga sangat tergantung pada besarnya tingkat kerusakan yang dialami, sumberdaya rumah tangga (aset) yang dimiliki dan pengaruh faktor eksternal. Indikator aset tersebut, dapat menentukan tingkat daya pulih suatu wilayah, sebagai dasar untuk menyusun strategi pembangunan secara menyeluruh terhadap daerah bencana.

Beberapa konsep dasar tentang daya pulih rumah tangga akibat bencana menyakini bahwa determinan aset, pengetahuan dan karakter bencana sangat mempengaruhi kecepatan daya pulih rumah tangga. Oleh karena itu perlu ditelusuri faktor-faktor apa yang berpengaruh dan besarnya pengaruh tersebut, sehingga dapat diketahui bagaimana cara mempercepat tingkat daya pulih masyarakat dalam menghadapi bencana banjir. Untuk mengetahui dan memahami faktor-faktor determinan yang berpengaruh terhadap variasi tingkat daya pulih, atas dasar data yang telah diperoleh pada penelitian ini, dianalisis menggunakan teknik analisis korelasi regresi ganda. Dengan teknik tersebut, disamping dapat mengetahui kekuatan hubungan antara berbagai peubah atau variabel, juga mampu me-

nunjukkan besarnya pengaruh secara kuantitatif (jika peubah-peubah lain dianggap konstan), sekaligus persamaan regresi yang dapat digunakan untuk memperkirakan perubahan daya pulih yang terjadi. Selanjutnya setiap faktor dapat dikelompokkan menjadi peubah bebas (*independent variable*) Xi dan Y sebagai peubah tidak bebas (*dependent variable*). Masing-masing peubah tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. Pada tahap awal dilakukan proses analisis korelasi sebagaimana yang disajikan dalam matrik koefisien korelasi antar peubah berikut (Tabel 2).

Matriks koefisien korelasi antar peubah penelitian, seperti telah dikemukakan sebagai salah satu hasil analisis, dapat ditunjukkan pada Tabel 2. Pada tabel tersebut menunjukkan bahwa antara peubah tingkat daya pulih rumahtangga (Y) dengan setiap peubah bebas (Xi), memiliki koefisien korelasi '(r) yang bervariasi. Dari enam variabel yang diteliti lima diantaranya berpengaruh signifikan, yaitu X1, X2, X3, X4, dan X5 dan hanya X6 yang kurang berpengaruh, lima diantara variabel tersebut hubungannya bersifat positif dan satu variable bersifat negatif.

Tabel 2. Matrik Koefisien Korelasi Antara Peubah Daya Pulih(Y) dan Enam Peubah Pengaruh = Xi

	Kepemilikan Aset Finansial	Kepemilikan Aset Ekonomi	Kepemilikan Aset Natural	Kepemilikan Aset Sosial	Total Skor Pengetahuan	Lama Terjadinya Banjir (Hari)
	X1	X2	X3	X4	X5	X6
Y (Daya Pulih)	,646 99	,073 99	,000 99		,000 99	,028 99
Rata-rata	0.010*	0.107*	.427*	.245*	.295*	-3.11
Waktu Daya Pulih	,092 99	,029 99	,000 99	,015 99	,003 99	,052 99

Sumber: analisis data primer, 2012

Berdasarkan matrik korelasi tersebut, maka semakin tinggi kepemilikan aset financial (X1), kepemilikan aset ekonomi (X2), ke-pemilikan aset natural (X3), kepemilikan aset sosial (X4), dan tingkat pengetahuan (X5), maka daya pulih masyarakat semakin cepat. Sebaliknya makin lama genangan banjir, makin rendah atau lama tingkat daya pulihnya.

### Model Regresi Tingkat Daya Pulih

Koefisien korelasi yang telah dikemukakan pada bahasan sebelumnya, merupakan hasil analisis korelasi sederhana antara dua peubah, tanpa mempertimbangkan pengaruh peubah bebas yang lain. Oleh karena itu masih perlu ditelusuri lebih lanjut melalui analisis korelasi regresi ganda. Disamping mampu menunjukkan besarnya pengaruh dari peubah bebas (secara bersama-sama), analisis korelasi regresi ganda juga memberikan persamaan linier matematik yang sangat berguna bagi prediksi kecepatan daya pulih rumah tangga akibat faktor-faktor penyebabnya, seperti asset, pengetahuan, dan karakter bencana tersebut.

Hasil analisis menunjukkan bahwa besarnya koefisien korelasi regresi berganda sebesar 0,655, dan nilai F regresi berganda sebesar 3,995, pada taraf signifikan F yang sangat terpercaya yaitu kurang dari 0,001 (signif F = 0,0000). Secara rinci hasil analisis ini dapat disajikan pada Tabel 3.

Hasil analisis tersebut menunjukkan, bahwa terdapat korelasi yang sangat kuat antara peubah terpengaruh Y (kecepatan daya pulih) dengan enam peubah tingkat daya pulih (X) secara berganda. Dalam hal ini ditunjukkan oleh adanya derajat kepercayaan yang sangat tinggi (lebih dari 99,995 persen) atau taraf signifikansi F kurang dari 0,001. Oleh karena itu, dapat dinyatakan bahwa ke enam peubah

pengaruh tersebut secara bersama-sama memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap kecepatan daya pulih rumah tangga korban bencana banjir.

Besarnya sumbangan (*share*) dari keenam peubah pengaruh X terhadap variabel terpengaruh Y (daya pulih), ditunjukkan oleh besarnya angka *R square* yakni 0,607. Hal ini berarti, bahwa sumbangan yang diberikan ke enam peubah pengaruh X terhadap variasi peubah terpengaruh Y sebesar 60,7 persen, sedangkan sisanya 39,3 persen disebabkan oleh faktor lain di luar faktor yang diamati pada penelitian ini.

Ditinjau dari hasil analisis regresi, menunjukkan bahwa besarnya koefisien regresi atau koefisien arah persamaan, juga merupakan besarnya pengaruh setiap peubah pengaruh (X) terhadap peubah terpengaruh (Y), jika peubah pengaruh naik atau turun sebesar satu unit. Besarnya nilai koefisien persamaan regresi langsung ditunjukkan pada Tabel 4.

Dari Tabel 4, persamaan regresi untuk prediksi tingkat daya pulih rumahtangga korban bencana banjir dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Y = 0,012 X_1 + 0,118 X_2 + 0,394 X_3 + 0,079 X_4 + 0,040 X_5 - 0,002 X_6$$

Pada persamaan garis regresi linier berganda tersebut, dapat diartikan bahwa setiap peubah X mempunyai nilai pengaruh bervariasi. Besarnya variasi nilai pengaruh setiap peubah (X) adalah sebagai berikut :

- Kepemilikan aset finansial (X<sub>1</sub>) mempunyai koefisien sebesar 0,012, artinya, jika nilai peubah pengaruh lain (X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub>, X<sub>5</sub>, X<sub>6</sub>) konstan, maka setiap peningkatan 1 unit kepemilikan aset finansial yang terbakukan, berakibat peningkatan kecepatan daya pulih masyarakat sebesar 0,012.
- Kepemilikan aset ekonomi (X<sub>2</sub>) mem-

punya koefisien sebesar 0,118, artinya, jika nilai peubah pengaruh lain ( $X_1, X_3, X_4, X_5, X_6$ ) konstan, maka setiap peningkatan 1 unit kepemilikan aset ekonomi yang terbakar, berakibat peningkatan kecepatan daya pulih masyarakat sebesar 0,0118.

- Kepemilikan aset sosial ( $X_4$ ) mempunyai koefisien sebesar 0,394, artinya,

jika nilai peubah pengaruh lain ( $X_1, X_2, X_4, X_5, X_6$ ) konstan, maka setiap peningkatan 1 unit kepemilikan aset natural yang terbakar, berakibat peningkatan kecepatan daya pulih masyarakat sebesar 0,394.

- Kepemilikan aset sosial ( $X_4$ ) mempunyai koefisien sebesar 0,079, artinya, jika nilai peubah pengaruh lain ( $X_1, X_2,$

Tabel 3. Koefisien Korelasi Berganda dan Analisis Varians

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.655 <sup>a</sup>	.607	.155	36,38056

ANOVA <sup>b</sup>						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	31727,456	6	5287,909	3,995	.001 <sup>a</sup>
	Residual	121766,180	92	1323,545		
	Total	153493,636	98			

Sumber: hasil analisis regresi ganda

Tabel 4. Hasil Analisis Persamaan Regresi Bagi bagi Peubah Tingkat Daya Pulih Korban Bencana Banjir

Model	Simbol	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
		B	Std. Error	Beta			
	(Constant)	45,403	18,577		2,444	.016	
1	Kepemilikan Aset Finansial	$X_1$	,507	3,979	,012	,127	,090
	Kepemilikan Aset Ekonomi	$X_2$	2,755	2,274	,118	1,211	,023
	Kepemilikan Aset Natural	$X_3$	21,055	5,582	,394	3,772	,000
	Kepemilikan Aset Sosial	$X_4$	2,210	2,893	,079	,764	,045
	Tingkat Pengetahuan	$X_5$	,606	1,684	,040	,360	,007
	Lama genangan banjir	$X_6$	,001	,061	-,002	,019	,985

Sumber: hasil analisis regresi ganda

$X_3, X_5, X_6$ ) konstan, maka setiap peningkatan 1 unit kepemilikan aset sosial yang terbakar, berakibat peningkatan kecepatan daya pulih masyarakat sebesar 0,079.

- Tingkat pengetahuan terhadap bencana banjir ( $X_5$ ) mempunyai koefisien sebesar 0,040, artinya, jika nilai peubah pengaruh lain ( $X_1, X_2, X_3, X_4, X_6$ ) konstan, maka setiap peningkatan 1 unit pengetahuan yang terbakar, berakibat peningkatan kecepatan daya pulih masyarakat sebesar 0,040, dan
- Lama genangan banjir ( $X_6$ ) mempunyai koefisien sebesar 0,002, artinya, jika nilai peubah pengaruh lain ( $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$ ) konstan, maka setiap peningkatan 1 unit lama genangan banjir, berakibat penurunan kecepatan daya pulih masyarakat sebesar 0,002.

Dengan kenyataan demikian, maka dapat diketahui bahwa keenam peubah  $X$  tersebut memiliki pengaruh terhadap terjadinya variasi daya pulih rumah tangga. Namun, setiap peubah atau faktor determinan tersebut besar pengaruhnya berbeda-beda, mulai dari pengaruh terbesar hingga pengaruh terkecil.

### **Faktor Penentu Tingkat Daya Pulih**

Atas dasar 6 (enam) indikator penentu tingkat daya pulih rumah tangga korban bencana banjir yang dianalisis, dilakukan analisis faktor, dengan tujuan untuk melihat dimensi-dimensi terpenting di dalam indikator-indikator tersebut dan melihat kecepatan pulih masing-masing rumah tangga. Dari ekstraksi 6 variabel daya pulih rumah tangga akibat banjir maka diperoleh dua faktor terpenting yang dapat memberikan informasi sebesar 73 persen dari total informasi dalam enam indikator. Dua faktor ini dianggap mewakili untuk melihat

tingkat daya pulih rumah tangga akibat banjir di bantaran sungai bengawan Solo.

Faktor pertama yang memberikan sumbangan tertinggi, yaitu sebesar 42,882 persen, kemudian faktor kedua memberikan sumbangan sebesar 20,744 persen (Tabel 5). Selanjutnya untuk melihat tingkat kepentingan dari setiap indikator daya pulih ini didalam setiap faktor, dapat dilihat dari faktor loading setiap faktor.

Selanjutnya untuk memudahkan analisis, maka faktor-faktor ini diberi nama sesuai dengan kelompok indikator yang diwakilinya. Indikator yang memiliki nilai lebih besar dari 0,5 dianggap indikator yang menentukan dalam faktor tersebut. Atas dasar inilah dibuat pengelompokan faktor sebagai berikut.

1. Faktor I memberikan sumbangan sebesar 42,882 % terdiri dari kepemilikan aset sosial (0.774), pengetahuan (0.759), dan kepemilikan aset natural (0.643)<sup>1</sup>. Faktor ini selanjutnya disebut dengan faktor karakteristik sosial masyarakat.  
<sup>1</sup>Angka-angka ini memiliki makna, jika suatu rumahtangga memiliki nilai tinggi dalam faktor ini, maka rumahtangga tersebut memiliki nilai tingkat daya pulih yang lebih tinggi dibanding rumahtangga lainnya.
2. Faktor II memberikan sumbangan sebesar 20,744 persen terdiri dari dua indikator dominan yaitu kepemilikan aset ekonomi (0,778) dan kepemilikan aset finansial (0,628), sehingga disebut sebagai faktor ekonomi.

Berdasarkan analisis tersebut di atas (Tabel 6), maka tingkat kecepatan daya pulih korban banjir di sungai bengawan solo ditentukan oleh besarnya kapasitas masyarakat yang berasal dari faktor kepemilikan aset sosial dan kepemilikan

finansial dan ekonomi. Semakin besar kapasitas masyarakat dan kepemilikan aset financial dan ekonomi, semakin cepat daya pulih rumah tangga dalam menghadapi bencana banjir.

### Perbedaan Daya Pulih

Berdasarkan hasil analisis varian (ANOVA) tentang perbedaan tingkat daya pulih antara rumah tangga korban bencana banjir antara daerah di wilayah tanpa tanggul, di

dalam tanggul, dan di luar tanggul tidak menunjukkan adanya perbedaan. Dengan kata lain rata-rata waktu yang diperlukan korban bencana banjir untuk pulih relatif sama antara rumah tangga yang berlokasi pada wilayah tanpa tanggul; di dalam tanggul maupun di luar tanggul. Hal ini disebabkan karakteristik banjir khususnya frekwensi, lama genangan dan kedalaman banjir relatif sama dan terdistribusi merata. Berikut hasil ANOVAnya (Tabel 7).

Tabel 5. Total Varian dari Masing-Masing Komponen (Faktor) (Menunjukkan Sumbangan Masing-Masing Faktor)

Komponen	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squares		
	Total	Varian (%)	Kumulatif (%)	Total	Varian (%)	Kumulatif (%)
1	1,973	32,882	32,882	1,973	42,882	42,882
2	1,245	20,744	53,626	1,245	20,744	63,626
3	,932	15,537	69,163			
4	,689	11,481	80,644			
5	,650	10,842	91,486			
6	,511	8,514	100,000			

Sumber: hasil perhitungan analisis faktor

Tabel 6. Koefisien Matrik Komponen Setelah Rotasi (Menunjukkan Indikator Tingkat Daya Pulih Korban Bencana Banjir Dominan di Masing-Masing Faktor)

No.	Indikator	Faktor	
		I	II
1.	Kepemilikan Aset Finansial	,178	,628
2.	Kepemilikan Aset Ekonomi	,231	,778
3.	Kepemilikan Aset Natural	,643	-,378
4.	Kepemilikan Aset Sosial	,774	,063
5.	Lama terjadinya banjir (hari)	-,547	,300
6.	Pengetahuan	,759	,087

Sumber: hasil perhitungan analisis faktor

## Optimasi Percepatan Tingkat Daya Pulih

Berdasarkan hasil analisis korelasi, faktor penentu dan model tingkat daya pulih rumah tangga sebagaimana yang telah di bahas sebelumnya dapat susun langkah-langkah optimasi untuk mempercepat tingkat daya pulih rumah tangga, yang disusun dengan skala prioritas sebagai berikut.

1. Memperkuat asset ekonomi rumah tangga korban gempa dengan memberikan peluang usaha dan berusaha.
2. Memperkuat asset financial rumah tangga korban gempa khususnya pemberian bantuan modal bagi pengembangan usaha dan bantuan financial pengaman (stimulant dana) untuk memulihkan keadaan.
3. Restrukturisasi modal natural sumberdaya alam khususnya asset tanah, bagi rumahtangga yang tidak memiliki tanah atau memiliki tanah sangat sempit. Selain itu asset peternakan dapat digunakan sebagai pengaman di waktu banjir, dengan cacatan ada keamanan ternak dari dampak banjir.
4. Memperteguh jejaring dan kepercayaan diantara masyarakat sebagai modal sosial yang sangat penting dalam

meningkatkan daya pulih, mengingat sebagian besar korban ditolong oleh kerabat dan tetangga.

5. Meningkatkan kapasitas masyarakat melalui program aksi terkait dengan peningkatan pengetahuan dan ketrampilan dalam penanganan dampak bencana banjir termasuk upaya mitigasi bencana.
6. Memperkecil tingkat ancaman banjir, dengan upaya mitigasi dan langkah-langkah teknis seperti pengerukan kedalaman sungai, pembuatan tanggul pengaman, pelurusan sungai, pemompaan ketika terjadi banjir.
7. Diperlukan langkah integrative dalam pembangunan daerah aliran sungai, khususnya konservasi di daerah hulu. Oleh karena itu diperlukan sinkronisasi, integrasi, koordinasi, dan sinergisme antar daerah.
8. Hasil analisis uji beda menunjukkan tidak ada perbedaan tingkat daya pulih antar wilayah, oleh karena langkah-langkah upaya tersebut di atas dapat diperlakukan di semua wilayah penelitian.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pembahasan hasil dan tujuan

Tabel 7. Hasil Analisis Perbedaan Tingkat Daya Pulih Rumah Tangga Akibat Banjir Antara Daerah Tanpa Tanggul, di Dalam Tanggul dan di Luar Tanggul

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	720,152	2	360,076	,226	,798
Within Groups	152773,484	96	1591,390		
<b>Total</b>	<b>153493,636</b>	<b>98</b>			

Sumber: hasil perhitungan analisis faktor

penelitian maka dapat disimpulkan hasil penelitian sebagai berikut.

### Kesimpulan

1. Kecepatan daya pulih rumah tangga korban bencana banjir sangat bervariasi tergantung dari jenis kerusakan yang didapatkannya. Kerusakan rumah umumnya dipulihkan dalam rata-rata satu bulan, sedangkan untuk finansial dan ekonomi lebih lama dari satu bulan.
2. Tidak terdapat perbedaan yang nyata daya pulih rumah tangga korban bencana banjir antar wilayah di dalam maupun di luar tanggul. Daya pulih lebih banyak ditentukan oleh besar kecilnya dampak bencana banjir tersebut dibanding aspek lokasi.
3. Terdapat hubungan yang erat antara daya pulih dengan faktor aset, pengetahuan dan lama kejadian banjir. Dua faktor utama yang dominan mempengaruhi daya pulih adalah karakteristik sosial masyarakat yang terdiri dari aset sosial, pengetahuan dan aset natural. Sedangkan faktor kedua adalah faktor ekonomi dan finansial serta lama kejadian banjir.
4. Model tingkat daya pulih yang dihasilkan penelitian ini adalah  $Y = 0,012 X_1 + 0,118 X_2 + 0,394 X_3 + 0,079 X_4 + 0,040 X_5 - 0,002 X_6$ , dimana, Y adalah Daya Pulih (kecepatan), Kepemilikan Aset Finansial ( $X_1$ ), Kepemilikan Aset Ekonomi ( $X_2$ ), Kepemilikan Aset Natural ( $X_3$ ), Kepemilikan Aset Sosial ( $X_4$ ), Lama terjadinya banjir (hari) ( $X_5$ ), dan Pengetahuan ( $X_6$ )
5. Optimasi percepatan daya pulih rumah tangga korban bencana banjir dilakukan dengan penguatan kepemilikan aset dan pengetahuan serta mengurangi lama kejadian banjir.

### Saran

1. Temuan-temuan penelitian ini penting untuk ditindaklanjuti sebagai masukan bagi pemerintah daerah dan organisasi masyarakat guna melakukan manajemen penanganan pasca bencana banjir. Dalam konteks program rekon-struksi di Kawasan Rawan Bencana banjir yang dikembangkan oleh pemerintah dan LSM, umumnya baru mendasarkan pada tingkat kerusakan dan kerugian akibat banjir dan belum mengembangkan tingkat kemampuan daya pulih rumahtangga.
2. Perlunya mencoba formulasi model tingkat daya pulih rumahtangga dalam percepatan daya pulih, diantaranya dengan memperkuat aset finansial, ekonomi, natural dan modal sosial. Selain itu perlu peningkatan kapasitas rumahtangga dengan peningkatan pengetahuan serta mengurangi ancaman bencana banjir.
3. Perlunya penekanan redistribusi program penanganan percepatan daya pulih rumahtangga merata ke seluruh wilayah, dengan mempertimbangkan komponen penentu tingkat daya pulih.
4. Memperkecil tingkat ancaman banjir, dengan upaya mitigasi dan langkah-langkah teknis seperti pengerukan kedalaman sungai, pembuatan tanggul pengaman, pelurusan sungai, pemompaan ketika terjadi banjir.
5. Diperlukan langkah integratif dalam pembangunan daerah aliran sungai, khususnya konservasi di daerah hulu. Oleh karena itu diperlukan sinkronikasi, integrasi, koordinasi, dan sinergisme antar daerah.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada

Universitas Sebelas Maret Surakarta melalui Hibah Penelitian Fundamental Nomor: 247a/UN27.11/PN/2012 tanggal 25 April 2012, yang telah memberi bantuan dana, sehingga penelitian ini dapat terlaksana. Demikian juga dengan mahasiswa Pendidikan

Geografi UNS, Danang, Ifen, Dimas, dan Beni yang telah membantu dalam pengumpulan data. Secara khusus penulis ucapkan terima kasih kepada Dr. Lutfi Muta'ali, S.Si.MP atas sumbangan pemikiran yang diberikan serta data-data yang menjadi rujukan dalam tulisan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- ADB, 2007. *Disaster Management, A Disaster Manager's Handbook*, Manila: ADB.
- Anna, Alif Noor, Retno Woro Kaeksi, dan Wahyuni Apri Astuti. 2010. Analisis Karakteristik Parameter Hidrologi Akibat Alih Fungsi Lahan di Daerah Sukoharjo Melalui Citra Landsat Tahun 1997 dengan Tahun 2002. *Forum Geografi*. Vol. 24, No. 1, Juli 2010: 57 – 72.
- Carter. Nick, 1991. *Disaster management: A Disaster Manager's Handbook*, ADB, Manila.
- Cuny.F.C. 1983. *Disasters and Development*. Oxford University Press. New York.
- Davis, Junior R and Dirk J Bezemer. 2004. *The Development Of The Non Farm Economy in Developing Countries and Transition Economy: Key Emerging and Concept Rural Issues*. Greenwich: DFID and Natural Recource Institute, University of Greenwich.
- Davis., Ian and Satyendra S Gupta. 1991. *Disaster Mitigation in Asia and Pasific*. Asian Development Bank (ADB). Manila.
- De Guzman, Emmanuel, M. 2002. *Towards Total Disaster Risk Management Approach*, ADRC-UNOCHA-RDRA.
- DFID. 1999. *Sustainable Livelihood Guidance Sheet*. DFID.
- Ellis, Frank. 2000. *Rural Livelihoods and Diversity in Developing Countries*. New York: Oxford University Press Inc.
- Gordon, Ann. 1999. *Non Farm Rural Livelihoods*. Policy Series 4. Chatham United Kingdom: Natural Resources Institute.
- <http://www.psychologymania.com/2011/08/pengertian-persepsi.html>.
- Muta'ali, Luthfi. 2010. Tingkat daya Pulih Wilayah Perdesaan di Kawasan Rawan bencana Merapi. Yogyakarta : Sekolah Pascasarjana UGM.

*Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 11 Tahun 2008 tentang Pedoman Rehabilitasi dan Rekonstruksi.*

Smith. K., *Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster*, London, Routledge, 1992.

*Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007* tentang Penanggulangan Bencana. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.

Waugh.W.L. and Hy. R.J. 1990. *Introduction to Emergency Management*. in Waugh and Hy (Eds) *Handbook of Emergency Management: Programs and Policies Dealing with Major Hazards and Disasters*. Westport: Greenwood Press (pp.1-10).

# KAJIAN BANGKITAN PERGERAKAN TRANSPORTASI DI KOTA BANDUNG DENGAN MENGGUNAKAN CITRA QUICKBIRD DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

## *Study of Transportation Movement Generation In Bandung City by using QuickBird Imagery Remote Sensing and Geographic Information System*

Lili Somantri<sup>1</sup>, Totok Gunawan<sup>2</sup>, Projo Danoedoro<sup>2</sup>, Su Ritohardoyo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa S3 (Doktor) Penginderaan Jauh Fakultas Geografi UGM

<sup>2</sup> Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

Email: lili.somnatri@gmail.com

### **ABSTRACT**

*The objective of this study is to examine the transport movement generation in Bandung City by using QuickBird imagery remote sensing and geographic information systems. The method used in this research is spatial approach by quantitative descriptive analysis. It resulted that the greatest movement generation come from the regular housing types of 3440 people per hour. The District with the greatest generation was Sub Ujungberung, ie 55,501 people per hour, whereas the highway with the greatest amount of generation is Soekarno-Hatta street of 51,014 people per hour.*

**Keywords:** movement generation, settlement type, QuickBird imagery

### **ABSTRAK**

*Penelitian ini bertujuan mengkaji bangkitan pergerakan transportasi di Kota Bandung dengan menggunakan citra penginderaan jauh quickbird dan sistem informasi geografis. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan pendekatan spasial dengan analisis deskriptif kuantitatif. Adapun hasil dari penelitian ini yaitu bangkitan pergerakan yang paling besar berasal dari tipe permukiman teratur sedang yaitu 3.440 orang per jam. Kecamatan yang memiliki bangkitan paling besar yaitu Kecamatan Ujungberung, yaitu 55.501 orang per jam, sedangkan jalan yang memiliki jumlah bangkitan paling besar adalah Jalan Soekarno-Hatta, yaitu 51.014 orang per jam.*

**Kata kunci:** bangkitan pergerakan, tipe permukiman, citra quickbird

### **PENDAHULUAN**

Kajian transportasi dalam ilmu geografi menjadi semakin penting seiring dengan pertumbuhan penduduk dalam suatu wilayah. Peningkatan jumlah penduduk menyebabkan peningkatan kebutuhan sarana transportasi untuk menggerakkan penduduk maupun barang dari suatu wilayah ke wilayah lainnya.

Jumlah penduduk yang memadati daerah perkotaan di Indonesia terus mengalami peningkatan. Pada tahun 1971 persentase penduduk yang tinggal di perkotaan hanya 17,3% dari total penduduk Indonesia. Pada tahun 1980 meningkat menjadi hampir 22,3%, pada tahun 1995 meningkat lagi menjadi 30,9%, dan pada tahun 2000 meningkat menjadi 42,4%. Kemudian pada tahun 2003 penduduk yang tinggal

di perkotaan sekitar 55,3% dan diperkirakan naik lagi menjadi 68,6% pada tahun 2020. (Tukiran dan Ediastruti, 2004).

Bandung merupakan salah satu kota besar di Indonesia yang memiliki kepadatan penduduk sangat tinggi, berdasarkan data sensus penduduk tahun 2010 penduduk Kota Bandung yaitu sekitar 14.300 jiwa/km<sup>2</sup> (Badan Pusat Statistik Kota Bandung, 2011). Dalam beberapa tahun terakhir Kota Bandung menunjukkan penambahan jumlah penduduk yang besar, padahal luas administratif wilayahnya relatif tetap. Penambahan jumlah penduduk kota Bandung per tahun bertambah sekitar 31.423 jiwa atau 1,68 %.

Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan semakin kompleksnya kegiatan penduduk di perkotaan maka kebutuhan sarana transportasi semakin meningkat. Hal ini dapat ditunjukkan dari semakin banyaknya kendaraan yang beroperasi di jalan, baik kendaraan pribadi maupun umum. Peningkatan jumlah kendaraan apabila tidak diimbangi dengan penyediaan jalan yang memadai maka akan menimbulkan masalah transportasi, salah satunya kemacetan lalu lintas.

Untuk mengatasi masalah kemacetan lalu lintas yang disebabkan oleh kemampuan jaringan jalan yang relatif tetap, dan pertumbuhan jumlah kendaraan terus meningkat, maka perencanaan transportasi sangat perlu dilakukan. Perencanaan transportasi sangat berkaitan dengan ketersediaan data yang akurat, dapat dipercaya, dan mudah diperoleh.

Menurut Tamin (2000) bahwa perencanaan transportasi dapat dilakukan dengan model perencanaan empat tahap (*four step model*), yang terdiri atas bangkitan dan tarikan pergerakan, distribusi pergerakan, pemilihan moda, dan pemilihan rute.

Tahap bangkitan pergerakan bertujuan memperkirakan jumlah pergerakan yang akan dilakukan oleh seseorang pada setiap zona asal (*O<sub>i</sub>*) ke zona tujuan (*D<sub>d</sub>*). Data atau informasi yang digunakan dalam penentuan bangkitan pergerakan, yaitu penggunaan lahan, penduduk, dan kondisi sosial ekonomi (Tamin, 2000; Usher, 2000).

Dalam perencanaan transportasi tahap bangkitan pergerakan dibagi menjadi dua jenis, yaitu pergerakan berbasis rumah dan pergerakan bukan berbasis rumah. Pergerakan berbasis rumah (*home based*) yang dimulai (tempat asal) dan diakhiri (tempat tujuan) di rumah. Pergerakan yang berbasis bukan rumah (*non home based*) yang tidak dimulai dari rumah dan tidak diakhiri di rumah.

Tamin (2000) mengatakan bahwa pergerakan dapat dibedakan berdasarkan tujuan pergerakan, waktu, dan jenis orang yang melakukan pergerakan. Berdasarkan tujuan pergerakan misalnya ke tempat kerja atau sekolah yang dilakukan rutin, berdasarkan waktu misalnya dilakukan pada jam sibuk yaitu jam 07.00, dan berdasarkan karakteristik orang misalnya yang memiliki pendapatan tinggi, sedang, dan rendah.

Citra penginderaan jauh dapat dimanfaatkan untuk berbagai kajian lingkungan dan sumberdaya (Pigawati dan Rudiarto, 2011) salah satunya untuk kajian transportasi, jika dibandingkan dengan metode pengumpulan data secara manual (Usher, 2000). Salah satu citra satelit penginderaan jauh yang cocok digunakan untuk studi transportasi perkotaan adalah citra Quickbird.

Keunggulan citra Quickbird memiliki resolusi spasial yang sangat tinggi, yaitu 0,61 meter untuk pankromatik, dan 2,4 meter untuk multispectral sehingga dapat menyajikan data yang rinci. Dengan resolusi setinggi ini, informasi daerah

perkotaan dapat diperoleh dengan akurat dan detail sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi objek perkotaan dengan baik, seperti penggunaan lahan, jaringan jalan dan lebar jalan, pola bangunan rumah mukim, kepadatan bangunan rumah mukim, dan pusat-pusat kegiatan penduduk (Somantri, 2008).

Tujuan penelitian ini yaitu mengestimasi bangkitan pergerakan di Kota Bandung dengan menggunakan citra penginderaan jauh quickbird dan sistem informasi geografis.

## METODOE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu Citra Quickbird Pan-Sharpned tanggal 08 Januari 2008 Daerah Kota Bandung. Citra Quickbird Pan-Sharpned memiliki kelebihan tampilannya berwarna sesuai dengan keadaan di lapangan dan memiliki resolusi spasial yang tinggi (0,6 meter) sehingga mudah mengidentifikasi objek pemanfaatan lahan kota seperti permukiman. Penelitian ini menggunakan peralatan lapangan antara lain Global Positioning System (GPS) digunakan untuk penentuan plot sampel di lapangan dan Pedoman pengamatan bangkitan pergerakan di tiap permukiman.

Kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini, dilaksanakan berdasarkan tiga tahapan, yaitu tahap pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis data. Data dalam penelitian ini diperoleh dari hasil ekstraksi citra *Quickbird*, dan data lapangan. Data dari hasil ekstraksi Citra *Quickbird*, yaitu penggunaan lahan permukiman. Data lapangan, yaitu data bangkitan pergerakan dari tipe permukiman.

Unit analisis data dalam penelitian ini yaitutipe permukiman yang merupakan

hasil overlay antara peta pola bangunan permukiman dan peta ukuran bangunan permukiman. Bangkitan pergerakan diperoleh berdasarkan hasil perhitungan di lapangan yang keluar dari masing-masing tipe permukiman. Bangkitan ini dihitung pada masing-masing akses jalan keluar permukiman dari mulai jam 05.00 WIB sampai 13.00 WIB. Alur dari penelitian ini disajikan dalam bentuk bagan seperti pada Gambar 1.

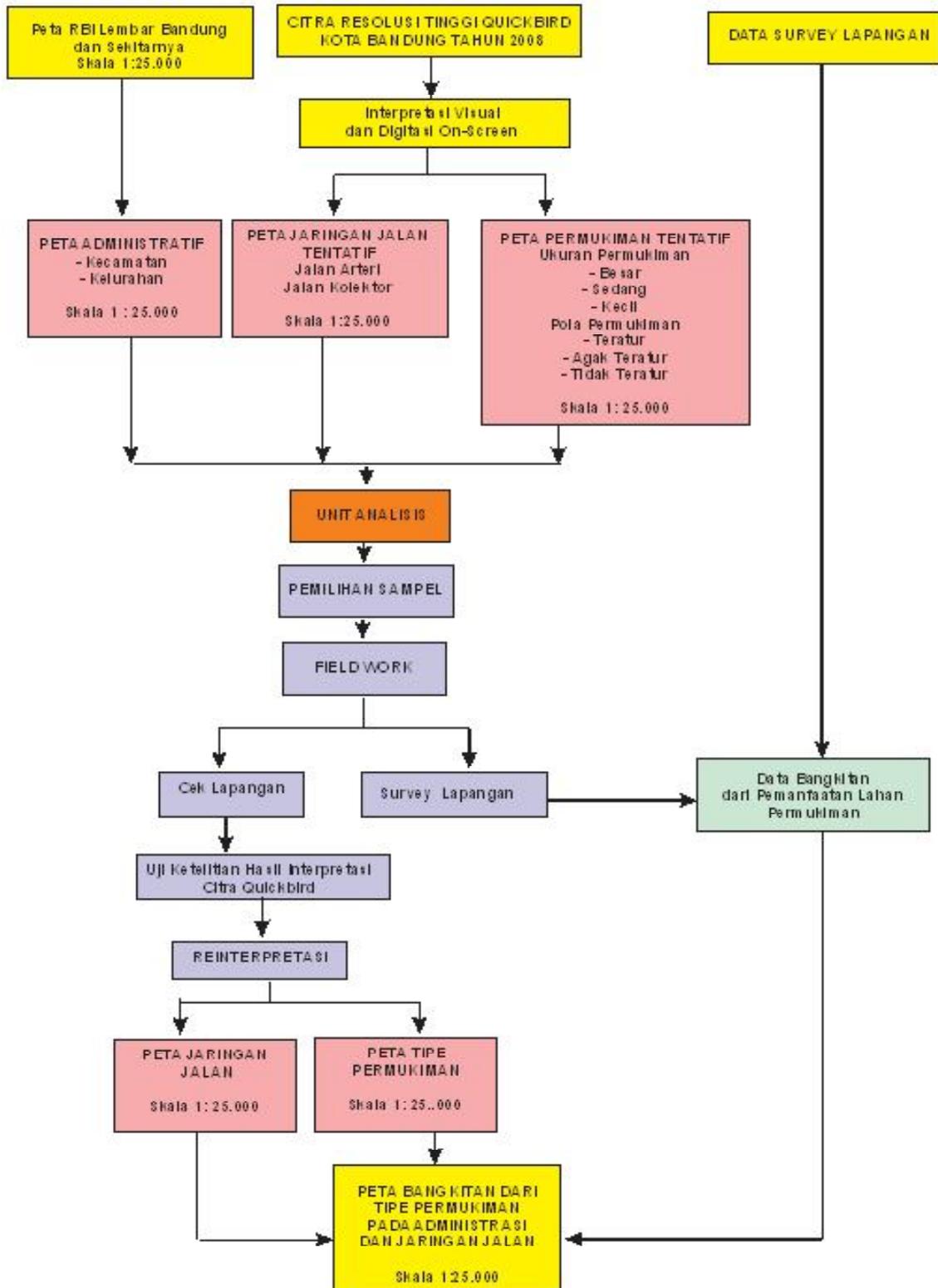
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Interpretasi Pemanfaatan Lahan

Pemanfaatan lahan merupakan data yang sangat penting digunakan dalam kajian transportasi kota, yaitu mengidentifikasi kawasan permukiman sebagai daerah asal bangkitan pergerakan.

Untuk analisis bangkitan pergerakan, Objek permukiman diklasifikasikan sampai pada level IV yang dibedakan berdasarkan atas ukuran bangunan rumah mukim, yaitu ukuran kecil ( $d < 100$  meter persegi), sedang ( $> 100 - 250$  meter persegi), besar ( $> 250$  meter persegi). Pada level III permukiman diklasifikasikan berdasarkan pola bangunan yang terdiri atas permukiman teratur, permukiman agak teratur, dan permukiman tidak teratur.

Pada citra *Quickbird* objek permukiman teratur sangat mudah dikenali dengan bentuk dan ukuran atapnya yang relatif sama, berwarna abu-abu, orange, dan terkadang biru (Gambar 2). Atapnya ada yang berbentuk segi empat (bujur sangkar) dan adapula yang berbentuk persegi panjang. Ciri khas permukiman teratur adalah polanya yang teratur mengikuti atau berasosiasi dengan jaringan jalan, terutama jalan lokal. Ukuran bangunannya yaitu 200 - 450 meter persegi.



Sumber: hasil analisis

Gambar 1. Bagan Alur Penelitian

Permukiman agak teratur ukuran bangunannya bervariasi dari 120 – 200 meter persegi dengan bentuk bangunan sebagian besar persegi panjang. Ciri khasnya bangunannya hanya sekitar 75% yang menghadap jalan lingkungan (lokal) sehingga ada rumah-rumah yang tidak menghadap ke jalan dan hanya dihubungkan dengan gang-gang (Gambar 3). Mengidentifikasi objek bangunan permukiman agak teratur memerlukan kejelian dalam menginterpretasinya.

Pada citra Quickbird, objek permukiman tidak teratur juga sangat mudah dikenali karena memiliki ciri ukuran bangunan yang

lebih kecil dibandingkan objek bangunan lainnya, terdapat pada suatu kawasan yang sangat banyak bangunannya. Kemudian pada objek permukiman tidak teratur banyak bangunan yang tidak menghadap ke jalan lingkungan dan hanya dihubungkan oleh gang-gang sempit. Ciri khas permukiman tidak teratur itu sangat padat dengan atapnya berwarna orange, atau coklat.

### Tipe Permukiman di Kota Bandung

Tipe permukiman didasarkan hasil overlay pola permukiman (teratur, agak teratur, tidak teratur) dan ukuran permukiman



Sumber: hasil analisis

Gambar 2. Permukiman Teratur



Sumber: hasil analisis

Gambar 3. Permukiman Agak Teratur

(kecil, sedang, besar). Jenis tipe permukiman yang dihasilkan yaitu permukiman agak teratur kecil (ATK), agak teratur sedang (ATS), teratur besar (TB), teratur kecil (TK), teratur sedang (TS), tidak teratur kecil (TTK), dan tidak teratur sedang (TTS). Berdasarkan hasil dari interpretasi citra Quickbird luas masing-masing tipe permukiman dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui bahwa permukiman agak teratur kecil banyak terdapat di wilayah Bojonegara dengan luas 130.4 Ha, permukiman agak teratur sedang banyak terdapat di wilayah Cibeunying dengan luas 167.1 Ha. Permukiman teratur besar banyak terdapat di wilayah Cibeunying dengan luas 532.1 Ha, permukiman teratur kecil banyak terdapat di wilayah Tegallega yaitu 114.3 Ha, permukiman teratur sedang banyak terdapat di wilayah Karees yaitu 604.6 Ha. Adapun permukiman tidak teratur kecil banyak terdapat di wilayah Tegallega yaitu 864.5 Ha, dan permukiman tidak teratur sedang banyak

terdapat di wilayah Karees, yaitu 29.4 Ha.

Untuk analisis bangkitan pergerakan menggunakan unit analisis tipe permukiman yang dioverlaykan dengan akses permukiman terhadap jalan utama, dan luas kawasan permukiman per kelurahan (Ha). Akses permukiman ke jalan utama terdiri atas jalan arteri dan jalan kolektor, sedangkan luas kawasan permukiman terdiri atas 4 kelas, yaitu < (kurang dari) 30 Ha, antara 31 – 60 Ha, antara 61 – 90 Ha, dan > (lebih dari) 91 Ha.

### Bangkitan Permukiman Hasil Survey Lapangan

Setiap tipe permukiman memiliki jumlah bangkitan pergerakan yang berbeda-beda, karena dipengaruhi oleh jumlah penduduk dan kondisi sosial ekonomi yang ada pada masing-masing tipe permukiman tersebut. Hasil survey lapangan bangkitan pergerakan pada masing-masing tipe permukiman dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 1. Luas Tipe Permukiman di Kota Bandung

Wilayah Pengembangan	Agak Teratur (Ha)		Teratur (Ha)			Tidak Teratur (Ha)	
	ATK	ATS	TB	TK	TS	TTK	TTS
Bojonegara	130.4	156.9	455.5	54.2	180.2	577	10.2
Cibeunying	14.2	167.1	532.1	35.9	80.8	810	0
Tegallega	28.7	35	139.3	114.3	293	864.5	19.7
Karees	56.5	82	26.5	17.1	604.6	430.4	29.4
Ujungberung	36.4	11.2	0	56.9	216.9	722.7	0
Arcamanik	12.1	5	2.5	32.4	541.4	125.6	6.5
Kordon	0	37	38.5	3.5	492.9	192.4	7
Gedebage	0	0	0	0	460.9	106.5	0
<b>Total</b>	<b>278.3</b>	<b>494.2</b>	<b>1194.4</b>	<b>314.3</b>	<b>2870.7</b>	<b>3829.1</b>	<b>72.8</b>

Sumber: Interpretasi Citra Quickbird Tahun 2011

Tabel 2. Bangkitan Pergerakan dari Permukiman Teratur

No	Permukiman Teratur	Bangkitan Pergerakan (Orang/Jam)
1.	<b>Permukiman Teratur Besar</b>	
	a. Teratur Besar Arteri < 30 Ha	320
	b. Teratur Besar Arteri Antara 31 – 60 Ha	426
	c. Teratur Besar Arteri Antara 61 – 90 Ha	303
	d. Teratur Besar Kolektor Kurang Dari 30 Ha	519
	e. Teratur Besar Kolektor 31 - 60 Ha	276
	f. Teratur Besar Kolektor 61 – 90 Ha	410
	g. Teratur Besar Kolektor Lebih Dari 90 Ha	956
2.	<b>Permukiman Teratur Kecil</b>	
	a. Teratur Kecil Arteri < 30 Ha	435
	b. Teratur Kecil Arteri 31 – 60 Ha	423
	c. Teratur Kecil Kolektor < 30 Ha	367
	d. Teratur Kecil Kolektor Antara 31 - 60 Ha	399
3.	<b>Permukiman Teratur Sedang</b>	
	a. Teratur Sedang Arteri < 30 Ha	577
	b. Teratur Sedang Arteri 31 - 60 Ha	581
	c. Teratur Sedang Arteri 61 - 90 Ha	724
	d. Teratur Sedang Arteri > 90 Ha	548
	e. Teratur Sedang Kolektor < 30 Ha	392
	f. Teratur Sedang Kolektor Antara 31 – 60 Ha	303
	g. Teratur Sedang Kolektor > 90 Ha	315

Sumber: survey lapangan, tahun 2012

Tabel 3. Bangkitan Pergerakan dari Permukiman Agak Teratur dan Tidak Teratur

No.	Permukiman Agak Teratur	Bangkitan Pergerakan (Orang/Jam)
1.	<b>Agak Teratur Kecil</b>	
	a. Agak Teratur Kecil Arteri < 30 Ha	616
	b. Agak Teratur Kecil Kolektor < 30 Ha	205
2.	<b>Agak Teratur Sedang</b>	
	a. Agak Teratur Sedang Arteri < 30 Ha	637
	b. Agak Teratur Sedang Arteri Antara 31 – 60 Ha	380
	c. Agak Teratur Sedang Kolektor < 30 Ha	302
	d. Agak Teratur Sedang Kolektor > 90 Ha	479
3.	<b>Tidak Teratur Kecil</b>	
	a. Tidak Teratur Kecil Arteri < 30 Ha	396
	b. Tidak Teratur Kecil Arteri Antara 31-60 Ha	308
	c. Tidak Teratur Kecil Arteri 61-90 Ha	466
	d. Tidak Teratur Kecil Kolektor < 30 Ha	246
	e. Tidak Teratur Kecil Kolektor Antara 31 - 60 Ha	297
4.	<b>Tidak Teratur Sedang</b>	633

Sumber: survey lapangan, tahun 2012

## **Pemetaan Variabel Bangkitan Pergerakan Penduduk**

Berdasarkan nilai bangkitan pergerakan dari hasil survey lapangan pada masing-masing tipe permukiman maka dengan bantuan Sistem Informasi Geografis dapat dilakukan overlay sehingga dapat dibuat nilai bangkitan pergerakan berdasarkan administrasi (kecamatan, wilayah pengembangan) dan jaringan jalan.

### **1. Berdasarkan Administrasi**

Berdasarkan wilayah pengembangan, wilayah Tegallega memiliki bangkitan pergerakan yang paling besar yaitu 148071 orang per jam, sedangkan yang paling sedikit adalah wilayah Kordon yaitu 44206 orang pejam. Berdasarkan kecamatan pada masing-masing wilayah pengembangan, bangkitan pergerakan orang per jam di wilayah Bojonagara yaitu Kecamatan Andir (39780 orang), di wilayah Cibeunying, yaitu kecamatan coblong (22234 orang), di wilayah kordon yaitu kecamatan buahbatu (23372 orang), di wilayah karees yaitu kecamatan regol (29596 orang), di wilayah tegallega yaitu kecamatan bandung kulon (53488orang), di wilayah ujungberung yaitu kecamatan ujungberung (55501 orang), di wilayah gedebage yaitu kecamatan gedebage (15160 orang), di wilayah arcamanik yaitu kecamatan arcamanik (43475 orang). Untuk detail mengenai jumlah bangkitan pergerakan di kota bandung dapat dilihat pada Tabel 4 (Lampiran).

### **2. Berdasarkan Tipe Jaringan Jalan**

Tipe jaringan jalan dibedakan atas jaringan jalan arteri primer, arteri sekunder, kolektor primer, dan kolektor sekunder. Setelah dimasukkan data atribut bangkitan pergerakan hasil pengukuran lapangan pada masing-masing data spasial tipe permukimannya, kemudian dioverlaykan dengan data hasil buffer sepanjang 500

meter pada masing-masing tipe jaringan jalan maka diperoleh jumlah bangkitan pergerakan sebagai berikut.

- a. Jalan arteri primer (Tabel 5)(Lampiran)
- b. Jalan arteri sekunder (Tabel 6) (Lampiran)
- c. Jalan kolektor primer (Tabel 7) (Lampiran)
- d. Jalan kolektor sekunder (Tabel 8) (Lampiran)

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui bahwa pada jaringan jalan arteri primer yang memiliki nilai bangkitan paling banyak yaitu jalan Soekarno Hatta (51014 orang per jam), pada jalan arteri sekunder yang memiliki nilai bangkitan paling banyak yaitu Jl. Kiaracondong (31386 orang per jam), pada jalan kolektor primer yang memiliki nilai bangkitan paling banyak yaitu Jl. Gatot Subroto (27470 orang per jam) dan pada jalan kolektor sekunder yang memiliki nilai bangkitan paling banyak yaitu Jl. Ir. H. Juanda (17494 orang per jam)

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa unit analisis untuk bangkitan pergerakan transportasi yaitu tipe permukiman yang merupakan hasil overlay antara peta pola bangunan rumah mukim dan peta ukuran bangunan rumah mukim. Untuk memperoleh peta pola dan ukuran bangunan rumah mukim dapat dengan mudah diperoleh dari hasil interpretasi citra quickbird. Permukiman teratur merupakan tipe permukiman yang paling luas di Kota Bandung. Bangkitan pergerakan yang besar berasal dari permukiman Teratur, berdasarkan wilayah pembangunan yang memiliki banyak jumlah bangkitan yaitu Tegallega dan berdasarkan kecamatan yang memiliki

banyak bangkitan yaitu Ujungberung. Berdasarkan jaringan jalan bangkitan yang jumlahnya besar adalah pada Jalan Soekarno-Hatta. Penelitian bangkitan pergerakan transportasi ini perlu dilakukan

pengkajian lebih lanjut karena mobilitas pergerakan penduduk tidak hanya melewati satu jalan saja sehingga dapat meminimalkan penyimpangan jumlah bangkitan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kota Bandung. 2008. Data Jumlah Penduduk Kota Bandung.
- Budi, I.S. 2007. Pengaruh Penggunaan Lahan Terhadap Bangkitan Dan Tarikan Pergerakan di Sepanjang Jalan Gajah Mada Kota Batam. *Tesis*. Program Pascasarjana. Magister Teknik Pembangunan Wilayah dan Kota. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Chang, K. 2002. *Introduction to Geographic Information Systems*. McGraw-Hill Higher Education. New York.
- DigitalGlobe, 2007. *QuickBird Imagery Products (Product Guide)*. DigitalGlobe, Inc., Longmont.
- Pigawati, Bitta dan Iwan Rudiarto. 2011. Penggunaan Citra Satelit untuk Kajian Perkembangan Kawasan Permukiman Di Kota Semarang. *Forum Geografi*. Vol. 25, No. 2, Desember 2011: 140 – 151.
- Rodrique, J.P., Comtos, C., dan Black, B. 2009. *The Geography of Transport System*. Departement of Global Studies and Geography. Hofstra University. New York.
- Samsat Kota Bandung. 2010. Data Pertambahan Jumlah Kendaraan di Kota Bandung. 2010.
- Tamin, O.Z. 2000. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Penerbit ITB. Bandung.
- Tukiran dan Ediasuti, E. 2004. *Penduduk Indonesia Saat Ini dan Tantangan di Masa Mendatang*. Pusat Studi Kependudukan dan Kebijakan. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Usher, J.M. 2000. *Remote Sensing Applications in Transportation Modelling*. Departement of Industrial Engineering Mississippi State University. Diakses tanggal 30 Oktober 2009.

Tabel 4. Bangkitan Pergerakan di Kota Bandung Berdasarkan Administrasi

No.	Wilayah Pengembangan	Kecamatan	Bangkitan Pergerakan (Orang Per Jam)
1.	<b>Bojonagara 123194</b>	Andir	39780
		Cicendo	38740
		Sukajadi	25195
		Sukasari	19479
2.	<b>Cibeunying 84991</b>	Bandung Wetan	3406
		Cibeunying Kaler	19803
		Cibeunying Kidul	16196
		Cidadap	19464
		Coblong	22234
		Sumur Bandung	3888
3.	<b>Kordon 44206</b>	Bandung Kidul	20834
		Buahbatu	23372
4.	<b>Karees 97657</b>	Batununggal	29112
		Kiaracondong	26353
		Lengkong	12596
		Regol	29596
5.	<b>Tegallega 148071</b>	Astanaanyar	16912
		Babakan Ciparay	39026
		Bojongloa Kidul	33922
		Bandung Kulon	53488
		Bojongloa Kaler	4543
6.	<b>Ujungberung 146069</b>	Cibiru	27497
		Panyileukan	21037
		Ujungberung	55501
		Cinambo	15003
7.	<b>Gedebage 27382</b>	Gedebage	15160
		Rancasari	12222
8.	<b>Arcamanik 88405</b>	Antapani	24204
		Arcamanik	43475
		Mandalajati	20727

Sumber: hasil analisis Sistem Informasi Geografis, Tahun 2012

Tabel 5. Bangkitan Pergerakan di Jalan Arteri Primer

No	Nama Jalan	Panjang Jalan (Km)	Bangkitan Pergerakan (Orang Per Jam)
1	Jl. Jend. Sudirman	6,79	9060
2	Jl. Asia Afrika	1,51	4141
3	Jl. Jend. A. Yani	5,40	17931
4	Jl. Raya Ujungberung	8,04	12003
5	Jl. Soekarno Hatta	18,46	51014
6	Jl. Dr. DJunjuran	2,00	14328
7	Jl. Pasteur	0,21	2190
8	Jl. Surapati	1,16	12841
9	Jl. PHH. Mustofa	3,34	13272
10	Jl. Haji Amir Mahmud (Raya Cibeureum)	2,78	15384

Sumber: hasil analisis Sistem Informasi Geografis, Tahun 2012

Tabel 6. Bangkitan Pergerakan di Jalan Arteri Sekunder

No.	Nama Jalan	Panjang jalan (Km)	Bangkitan Pergerakan (Orang per jam)
1.	Jl. Kiaracandong	4,12	31386
2.	Jl. Ters. Kiaracandong	0,99	15370
3.	Jl. Jamika	0,91	2721
4.	Jl. Peta	2,60	8791
5.	Jl. BKR	2,30	20519
6.	Jl. Pelajar Pejuang 45	1,48	14475
7.	Jl. Laswi	1,10	7494
8.	Jl. Sukabumi	0,64	7696
9.	Jl. Diponegoro	0,66	8925
10.	Jl. W.R. Supratman	1,86	8442
11.	Jl. Jakarta	1,15	12521
12.	Jl. Ters. Jakarta	2,76	29526
13.	Jl. Ters. Pasirkoja	2,68	10999
14.	Jl. Pasir Koja	0,46	5263

Sumber: hasil analisis Sistem Informasi Geografis, Tahun 2012

Tabel 7. Bangkitan Pergerakan di Jalan Kolektor Primer

No.	Nama Jalan	Panjang Jalan (Km)	Bangkitan Pergerakan (Orang per jam)
1.	Jl. Raya Setiabudhi	6.03	18285
2.	Jl. Sukajadi	2.57	5274
3.	Jl. HOS. Tjokroaminoto (Pasirkaliki)	2.18	12617
4.	Jl. Gardujati	0.41	7349
5.	Jl. Astanaanyar	0.76	11286
6.	Jl. K.H. Wahid Hasyim (Kopo)	2.96	23932
7.	Jl. Moch. Toha	3.47	19483
	Jl. Buah Batu	2.73	19478
8.	Jl. Ters. Buah Batu	1.06	12005
9.	Jl. Moch. Ramdan	0.94	12557
11.	Jl. Rumah Sakit	2.83	11063
12.	Jl. Gedebage Selatan	3.08	12930
13.	Jl. Wastukencana	0.98	3620
14.	Jl. Pajajaran	2.24	12094
15.	Jl. R.E Martadinata	3	7606
16.	Jl. Gatot Subroto	4.31	27470

Sumber: hasil analisis Sistem Informasi Geografis, Tahun 2012

Tabel 8. Bangkitan Pergerakan di Jalan Arteri Sekunder

No.	Nama Jalan	Panjang Jalan (Km)	Bangkitan Pergerakan (Orang per jam)
1.	Jl. Ir. H. Juanda	5.64	17494
2.	Jl. Dipatiukur	1.83	10692
3.	Jl. Merdeka	1.04	3293
4.	Jl. Ciumbuleuit	2.44	9829
5.	Jl. Cihampelas	0.14	10095
6.	Jl. Siliwangi	1.06	10207
7.	Jl. Gegerkalong Hilir	2.10	10876
8.	Jl. Tubagus Ismail	1.27	13351
9.	Jl. Sadang Serang	0.71	7727
10.	Jl. Cikutra Barat	0.88	6334
11.	Jl. Cikutra Timur	2.37	11719
12.	Jl. Ciwastra	5.80	14246
13.	Jl. Rajawali Barat	1.02	14527
14.	Jl. Rajawali Timur	1.54	12827
15.	Jl. Kebonjati	1.40	10824
16.	Jl. Veteran	0.83	5127

Sumber: hasil analisis Sistem Informasi Geografis, Tahun 2012

# PEMETAAN KAPASITAS ADAPTIF WILAYAH PESISIR SEMARANG DALAM MENGHADAPI GENANGAN AKIBAT KENAIKAN MUKA AIR LAUT DAN PERUBAHAN IKLIM

## *Adaptive Capacity Mapping of Semarang Offshore Territory by The Increasing of Water Level and Climate Change*

Ifan Ridlo Suhelmi

Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir  
Balitbang Kelautan dan Perikanan - KKP  
Email: Ifan\_ridlo@yahoo.com

### **ABSTRACT**

*Tidal inundation, flood and land subsidence are the problems faced by Semarang city related to climate change. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) predicted the increase of sea level rise 18-59 cm during 1990-2100 while the temperature increase 0,6°C to 4°C during the same periode. The Semarang coastal city was highly vulnerable to sea level rise and it increased with two factors, topography and land subsidence. The purpose of this study was to map the adaptive capacity of coastal areas in the face of the threat of disasters caused by climate change. The parameters used are Network Number, Employee based educational background, Source Main Livelihoods, Health Facilities, Infrasuktur Road. Adaptive capacity of regions classified into 3 (three) classes, namely low, medium and high. The results of the study showed that most of the coastal area of Semarang have adaptive capacities ranging from low to moderate, while the village with low capacity totaling 58 villages (58.62%) of the total coastal district in the city of Semarang.*

**Keywords:** adaptive capacity, inundation, sea level rise, climate change

### **ABSTRAK**

*Kota Semarang menghadapi berbagai permasalahan lingkungan yang terkait dengan perubahan iklim antara lain banjir, rob, amblesan tanah. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) memperkirakan bahwa kenaikan muka air secara global dari 1990 sampai 2100 akan mencapai 18-59 cm, sementara kenaikan suhu dunia dalam jangka waktu tersebut sekitar 0,6°C sampai 4°C. Dalam menghadapi perubahan iklim, suatu wilayah akan memberikan respon yang berbeda-beda. Kondisi pesisir Semarang di Provinsi Jawa Tengah termasuk wilayah yang rentan terhadap fenomena kenaikan muka air laut. Hal ini disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor topografi dan faktor penurunan tanah (land subsidence). Tujuan penelitian ini adalah untuk memetakan kapasitas adaptif wilayah pesisir dalam menghadapi ancaman bencana yang disebabkan oleh perubahan iklim. Parameter yang dikaji antara lain Jaringan Telpon, Pekerja berdasarkan latar belakang pendidikan, Sumber Pencaharian Utama, Sarana Kesehatan, Infrasuktur Jalan. Kelas kapasitas adaptif wilayah dikelaskan menjadi 3 (tiga) kelas yaitu rendah, sedang dan tinggi. Hasil kajian menunjukkan bahwa sebagian wilayah pesisir Kota Semarang memiliki kapasitas adaptif yang berkisar antara rendah hingga sedang, adapun kelurahan yang memiliki kapasitas rendah berjumlah 58 kelurahan (58,62%) dari total seluruh kecamatan pesisir yang ada di Kota Semarang.*

**Kata kunci:** kapasitas adaptif, genangan, kenaikan muka laut, perubahan iklim

## PENDAHULUAN

Semarang merupakan salah satu kota yang terletak di wilayah pesisir. Ibu kota Provinsi Jawa Tengah ini terus mengalami perkembangan dan telah tumbuh menjadi pusat kegiatan ekonomi utama dan kota industri di Jawa Tengah. Arbriyanto dan Kardiyanto (2006) mengungkapkan berbagai permasalahan lingkungan yang dihadapi Kota Semarang yang berkaitan dengan fenomena kelautan dan dinamika lingkungan antara lain masalah rob (limpasan air pasang laut), amblesan tanah antara 15-25 cm per tahun dan banjir setiap musim hujan ketika terjadi hujan deras 1 sampai dengan 3 jam.

Adanya fenomena alam tersebut membawa konsekuensi bagi pemerintah kota dan kelompok masyarakat yang terkena dampaknya secara langsung untuk menanggung kerugian fisik bangunan rumah, kerugian sosial penduduk, serta biaya pembangunan dan pemeliharaan sarana dan prasarana yang harus dikeluarkan oleh pengelola kota dan juga masyarakat setempat. Kondisi topografi Semarang cenderung landai dengan kemiringan 0 sampai 2% dengan sebagian besar wilayahnya hampir sama tingginya dengan permukaan laut bahkan di beberapa tempat berada di bawahnya (Bappeda 2002). Topografi yang demikian landai menyebabkan tingkatan kerentanan terhadap perubahan iklim tersebut menjadi semakin besar. Risiko tersebut semakin besar dengan adanya pertumbuhan pemukiman yang dari tahun ke tahun semakin meningkat (Pigawati dan Rudiarto, 2011).

Pemanasan global ditengarai akan menaikkan muka air laut, akibat kenaikan air laut adalah fenomena erosi dan genangan di wilayah pesisir dan hilangnya lahan baasah yang kaya akan keanekaragaman hayati (de Lourdes dan Olivio, 1997; Saizar

1997; Titus, 1990). Kajian mengenai pengaruh detail dan dampak pemanasan global pada wilayah pesisir dengan kepadatan penduduk yang tinggi perlu dilakukan. Kongres internasional mengenai perubahan iklim menggarisbawahi seriusnya dampak yang ditimbulkan perubahan lingkungan pada permukiman penduduk di wilayah pesisir (GCAPC, 2000).

Kenaikan muka air laut secara umum akan mengakibatkan berbagai dampak antara lain: (a) peningkatan frekuensi dan intensitas banjir, (b) perubahan arus laut dan meluasnya kerusakan mangrove, (c) perluasan intrusi air laut, (d) peningkatan ancaman terhadap kegiatan sosial-ekonomi masyarakat pesisir, dan (e) berkurang luas daratan atau hilangnya pulau-pulau kecil (Diposaptono, 2002).

Amblesan tanah merupakan fenomena alami karena adanya konsolidasi tanah akibat pematangan lapisan tanah yang masih muda di Semarang bawah. Pada musim hujan, banjir yang bersinergi dengan fenomena rob akan menjadikan wilayah yang tergenang menjadi semakin luas.

Penelitian ini mengkaji kapasitas adaptif wilayah pesisir terhadap ancaman kenaikan muka air laut yang terjadi di pesisir Kota Semarang. Kapasitas adaptif suatu wilayah akan berpengaruh terhadap besar kecilnya dampak yang ditimbulkan oleh fenomena perubahan iklim.

## METODE PENELITIAN

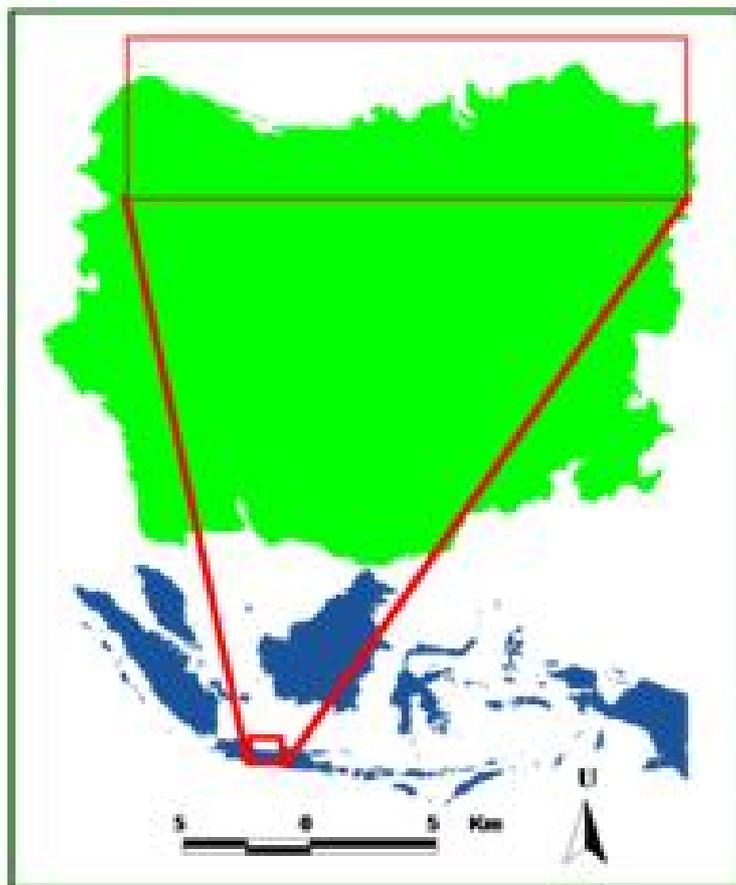
Lokasi kajian potensi kerugian akibat genangan rob di lakukan pada pesisir Kota Semarang terlihat pada Gambar 1. Kajian ini merupakan kajian lanjutan dari kajian fisik luasan penggenangan rob akibat kenaikan muka air laut. Hasil kajian luas dan distribusi rob dijadikan masukan dalam

menghitung kerugian ekonomi akibat genangan (Gambar 1).

Penilaian kerentanan wilayah pesisir dilakukan setelah diperoleh berbagai skenario genangan yang terjadi pada pesisir Kota Semarang. Skenario penggenangan menggunakan data Suhelmi (2010). Pendekatan penentuan kerentanan dengan melihat aspek sosial dan fisik. Pendekatan kerentanan menggunakan metode hasil modifikasi dengan mempertimbangkan pemetaan kerentanan yang disusun oleh ACCCRN (2010) dan Miladan (2009) yang merupakan modifikasi dari Pedoman Penyusunan Peta Resiko yang disusun oleh Bappenas. Adapun faktor yang dinilai meliputi kerentanan fisik, ekonomi, sosial

kependudukan dan kerentanan lingkungan. Parameter yang digunakan untuk menyusun peta kerentanan terdiri dari 8 (delapan) parameter. Setiap parameter dilakukan pembobotan sesuai dengan kontribusi tingkat kerentanan. Pembobotan setiap parameter dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan delapan indikator tersebut kemudian dilakukan penilaian kerentanan masing-masing kelurahan terhadap bencana genangan banjir pasang. Penilaian dilakukan dengan mengkalikan antara bobot masing-masing indikator dengan skor indikator untuk masing-masing kelurahan. Formula yang digunakan seperti terlihat pada persamaan 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

$$VI = \sum_{j=1}^8 w_{ij} \times V_{ij} \text{-----} (1)$$

Dimana:

$VI$  = indeks kerentanan total suatu kelurahan

$w_{ij}$  = bobot dari suatu indikator kerentanan  $i$  pada kelurahan  $j$

$V_{ij}$  = nilai suatu indikator kerentanan  $i$  pada kelurahan  $j$

Berdasarkan Formula 1 selanjutnya disusun kelas kerentanan terhadap genangan, tidak hanya berdasarkan aspek fisik namun juga mempertimbangkan aspek sosial. Kelas kerentanan dapat dilihat pada Tabel 2.

Parameter untuk menyusun indek kapasitas wilayah menggunakan 5 (lima) parameter dengan pembobotan setiap parameter seperti terlihat pada Tabel 3.

Indikator fasilitas kesehatan dibagi ke dalam 5 sub-indikator yaitu: jumlah Poliklinik (Pl), Posyandu (Ps), Pelayanan Kesehatan Masyarakat (Puskesmas, Pk), Klinik Bidan (B) dan Klinik Dokter (D). Semua nilai-nilai sub-indikator dinormalisasi dengan jumlah populasi Kelurahan yang bersangkutan. Nilai skor di setiap Kelurahan IA4 dihitung dengan menggunakan rumus oleh ACCCRN (2010) persamaan 2.

Tabel 1. Indikator yang Digunakan untuk Mendefinisikan Kerentanan dan Bobotnya

<b>V</b>	<b>Kerentanan</b>	<b>Bobot</b>
B1	Jaringan jalan	0,20
B2	Persentasi lahan terbangun	0,20
B3	Sumber Air Minum	0,05
B31	Baik	0,10
B32	Sedang	0,20
B33	Buruk	0,30
B34	Tidak ada Layanan	0,40
B4	Kepadatan penduduk	0,05
B5	Kemiskinan	0,10
B6	Kawasan sempadan pantai	0,10
B7	Kawasan sempadan sungai	0,10
B8	Persentase tutupan mangrove/kawasan resapan air	0,20

Sumber: ACCCRN, 2010, Miladan, 2009, dengan modifikasi

Tabel 2. Kelas Kerentanan Akibat Genangan Banjir Pasang

<b>No</b>	<b>Kelas Kerentanan</b>	<b>Nilai Skor</b>
1	Rendah	< 0,48
2	Sedang	0,48 – 0,74
3	Tinggi	> 0,74

Sumber: ACCCRN, 2010, Miladan, 2009, dengan modifikasi

$$IA4i = 1/Pi*(0.3*Pli+0.2*Psi +0.2*Pki+0.1*Bi+ 0.2*D \text{ -----} (2)$$

Penghitungan nilai indek kapasitas total digunakan persamaan 3 yang merupakan jumlah dari perkalian antara faktor penentu kapasitas dengan bobot masing-masing indikator (ACCCRN, 2010).

$$CI = \sum_{i=1}^5 w_{ij} \times C_{ij} \text{ -----} (3)$$

Dimana:

CI = indek kapasitas total suatu kelurahan

$w_{ij}$  = bobot dari suatu indikator kapasitas i pada kelurahan j

$C_{ij}$  = nilai suatu indikator kapasitas i pada kelurahan j

Nilai kapasitas adaptif hasil perhitungan dengan menggunakan formula 2, dikelaskan menjadi 3 (tiga) kelas dengan interval seperti terlihat pada Tabel 4.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Kerentanan terhadap genangan merupakan suatu kondisi dimana suatu lokasi akan mudah untuk terkena genangan akibat kenaikan muka air laut dan banjir. Analisa kerentanan dilakukan dengan unit analisa berupa

Tabel 3. Indikator yang Digunakan untuk Mendefinisikan Kapasitas Adaptif dan Bobotnya

C	Kapasitas	Bobot
A1	Jaringan Telpon	0,05
A2	Pekerja berdasarkan latar belakang pendidikan	0,30
A21	TK - SMP	0,30
A24	SMA/Universitas	0,70
A3	Sumber Pencaharian Utama	0,30
A4	Sarana Kesehatan*	0,10
A41	Puskesmas	0,20
A42	Poliklinik	0,30
A43	Posyandu	0,20
A44	Tempat Praktek Bidan	0,10
A45	Tempat Praktek Dokter	0,20
A5	Infrasuktur Jalan	0,25

Tabel 4. Kelas Kapasitas Adaptif Masing-Masing Kelurahan

No	Kelas Kerentanan	Nilai Skor
1	Rendah	< 0,49
2	Sedang	0,49 – 0,74
3	Tinggi	> 0,74

satuan kelurahan. Masing-masing kelurahan memiliki suatu nilai kerentanan tertentu. Semakin besar nilai indek kerentanan suatu kelurahan maka tingkat kerentanan kelurahan tersebut semakin tinggi untuk terkena dampak genangan akibat kenaikan muka air laut dan amblesan tanah.

Berdasarkan prediksi luas genangan pada tahun 2030 hasil kajian Suheli (2011) yang mendasarkan pada laju kenaikan muka air laut dan amblesan tanah, maka akan terjadi perubahan pada indikator kerentanan luas jalan, bangunan yang tergenang dan jumlah penduduk yang terkena dampak. Pada tahun 2010 penduduk pada 9 Kecamatan di Kota Semarang mencapai 872.604 jiwa. Dengan prediksi laju pertumbuhan 1,5% per tahun maka pada tahun 2030 diprediksi penduduk akan berpenduduk 1.175.271 jiwa. Kepadatan penduduk meningkat dari 6.405 jiwa/km<sup>2</sup> menjadi 8.627 jiwa/km<sup>2</sup>. Maka akan terjadi perubahan kerentanan pada setiap kelurahan. Peningkatan kerentanan dari tahun 2010 dan tahun 2030 dapat dilihat pada Gambar 2.

Jumlah kelurahan pada kategori kerentanan rendah pada tahun 2030 menurun dari 85 kelurahan menjadi 34 kelurahan. Sebanyak 51 kelurahan mengalami peningkatan kelas kerentanan dari kerentanan rendah menjadi kerentanan sedang atau tinggi. Kelurahan dengan kerentanan sedang pada tahun 2010 berjumlah 14 kelurahan dan meningkat menjadi 44 kelurahan pada tahun 2030. Sedangkan kerentanan tinggi pada tahun 2010 tidak ada kelurahan yang masuk kategori ini namun pada tahun 2030 diprediksikan akan terdapat 21 kelurahan yang masuk kelas kerentanan tinggi seperti dapat dilihat pada Gambar 3.

Kerentanan tinggi khususnya terdapat pada kelurahan-kelurahan yang terletak pada lokasi yang terpengaruh genangan

akibat kenaikan muka air laut dan tingginya laju amblesan tanah. Hal tersebut dapat dilihat pada beberapa kelurahan seperti kelurahan Tanjung Emas, Bandarharjo dan Kemijen yang meningkat menjadi kelas kerentanan tinggi pada tahun 2030 menjadi kelas kerentanan tinggi. Peningkatan tingkat kelas kerentanan ini terkait pula dengan peningkatan luas infrastruktur yang diprediksikan akan terkena genangan pada tahun 2030.

Berdasarkan kelas kerentanan tersebut, dapat disajikan distribusi spasial kelas kerentanan setiap kelurahan yang ada di pesisir Kota Semarang. Persebaran kelas kerentanan masing-masing kelurahan pada tahun 2010 dapat dilihat pada Gambar 4a, sedangkan kelas kerentanan kelurahan pada tahun 2030 dapat dilihat pada Gambar 4b.

Peningkatan kerentanan seiring dengan peningkatan jumlah kelurahan yang terkena dampak genangan akibat kenaikan muka air laut dan amblesan tanah. Pada tahun 2010 terdapat 31 kelurahan (31%) yang terkena dampak penggenangan dan akan meningkat menjadi 56 kelurahan (57%) kelurahan akan terkena dampak penggenangan pada tahun 2030 (Tabel 5).

Sebagian besar kelurahan yang memiliki kerentanan tinggi berada pada lokasi yang memiliki nilai amblesan tanah yang tinggi, sedangkan wilayah yang memiliki amblesan tanah yang cukup kecil tidak meningkat kerentanannya, seperti kelurahan-kelurahan yang terletak di Kecamatan Tugu.

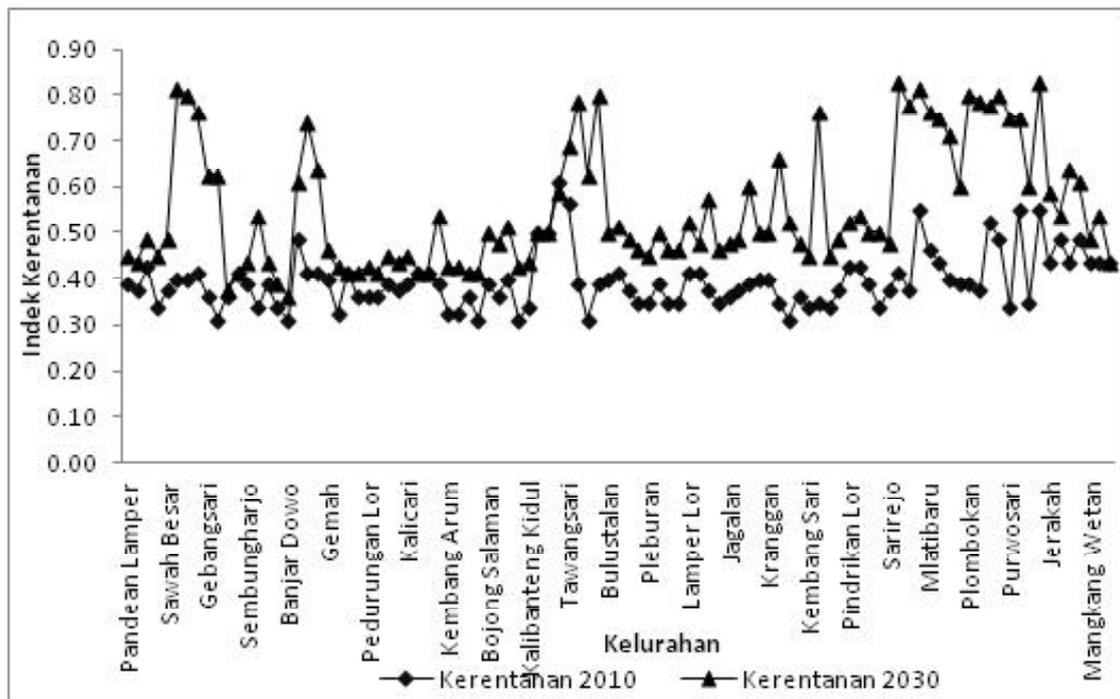
Penilaian kapasitas adaptif dilakukan dengan menghitung kapasitas adaptif suatu kelurahan terhadap bencana genangan. Semakin tinggi kapasitas adaptif maka semakin tahan kelurahan tersebut dalam menghadapi bencana genangan.

Perhitungan indek kapasitas dilakukan pada 9 (sembilan) kecamatan yang

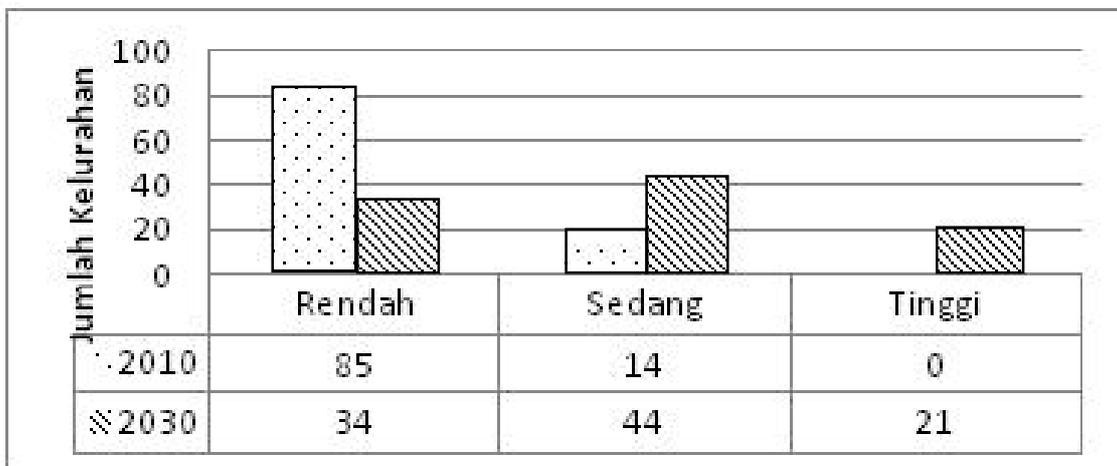
berpotensi terkena genangan akibat kenaikan muka air laut dan amblesan tanah sampai dengan tahun 2030. Sembilan kecamatan tersebut terdiri dari Kecamatan Gayamsari, Genuk, Pedurungan, Semarang Barat, Semarang Selatan, Semarang Tengah, Semarang Timur dan Tugu. Sembilan kecamatan tersebut terdiri dari

99 kelurahan. Perhitungan indek kapasitas dan indek kerentanan dilakukan pada 99 kelurahan tersebut.

Hasil perhitungan indek kapasitas dapat dikelompokkan kapasitas kelurahan menjadi 3 yaitu rendah, sedang dan tinggi. Berdasarkan kriteria tersebut diperoleh



Gambar 2. Indeks Kerentanan Per Kelurahan pada Tahun 2010 dan Tahun 2030



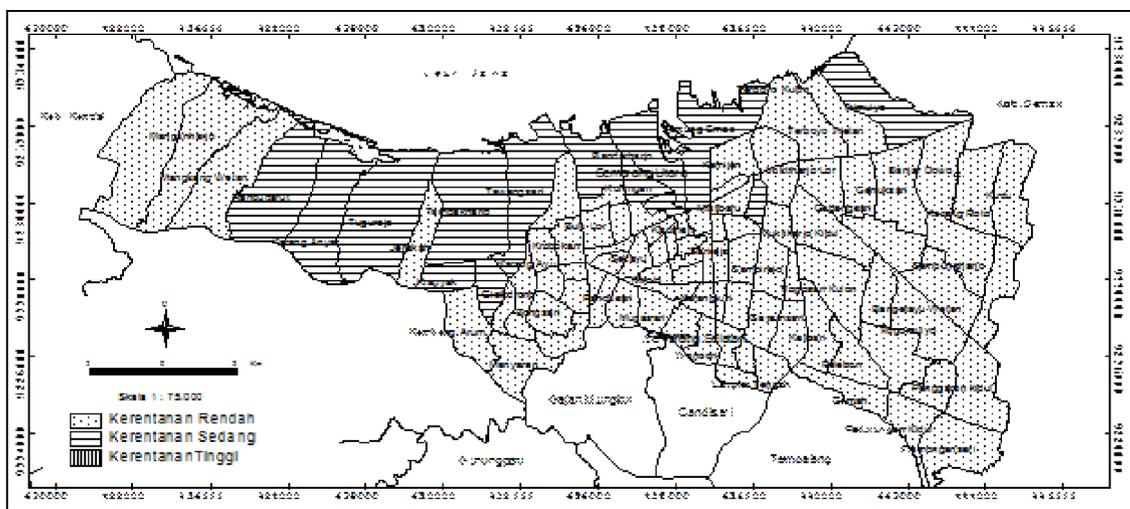
Gambar 3. Jumlah Kelurahan Berdasarkan Kelas Kerentanan pada Tahun 2010 dan Tahun 2030

sebagian besar kelurahan yang ada di pesisir Kota Semarang pada tahun 2010 memiliki nilai kapasitas yang rendah hingga sedang, adapun kelurahan yang memiliki kapasitas rendah berjumlah 58 kelurahan (58,62%) seperti terlihat pada Gambar 5.

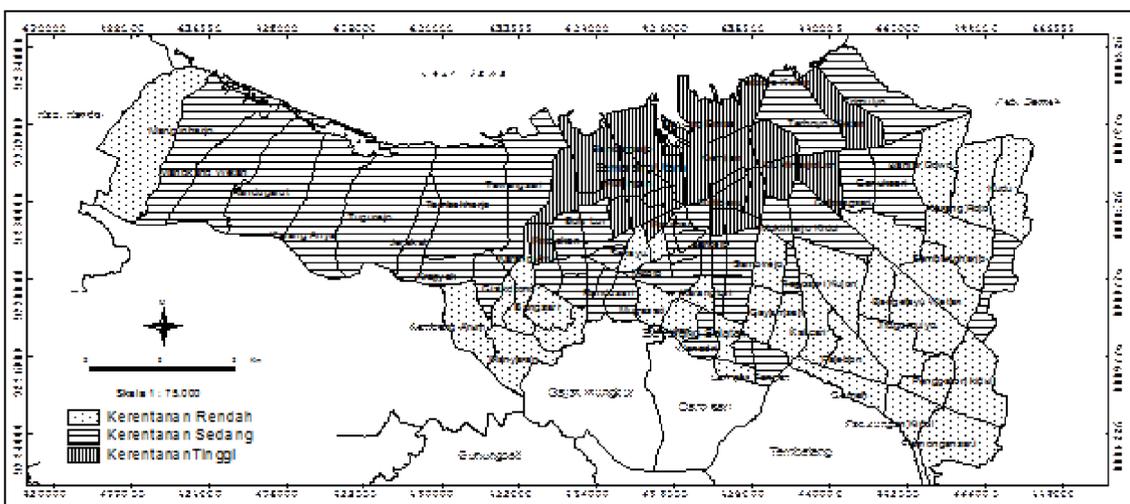
Distribusi spasial kapasitas adaptif untuk tiap kelurahan pada tahun 2010 dapat dilihat pada Gambar 6a. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa beberapa kelurahan yang terletak pada garis pantai

memiliki nilai kapasitas yang sedang, seperti terlihat pada Kelurahan Tawangsari dan Kelurahan Pangung.

Berdasarkan prediksi jumlah penduduk dan kondisi sosial ekonomi serta mengacu pada rencana tata ruang pada tahun 2030, disusun indek kapasitas adaptif pada tahun 2030. Berdasarkan hal tersebut sebagian besar kelurahan mengalami peningkatan kapasitas adaptif, terlihat ada 3 kelurahan yaitu Tlogosari Kulon, Pleburan dan



(4a)



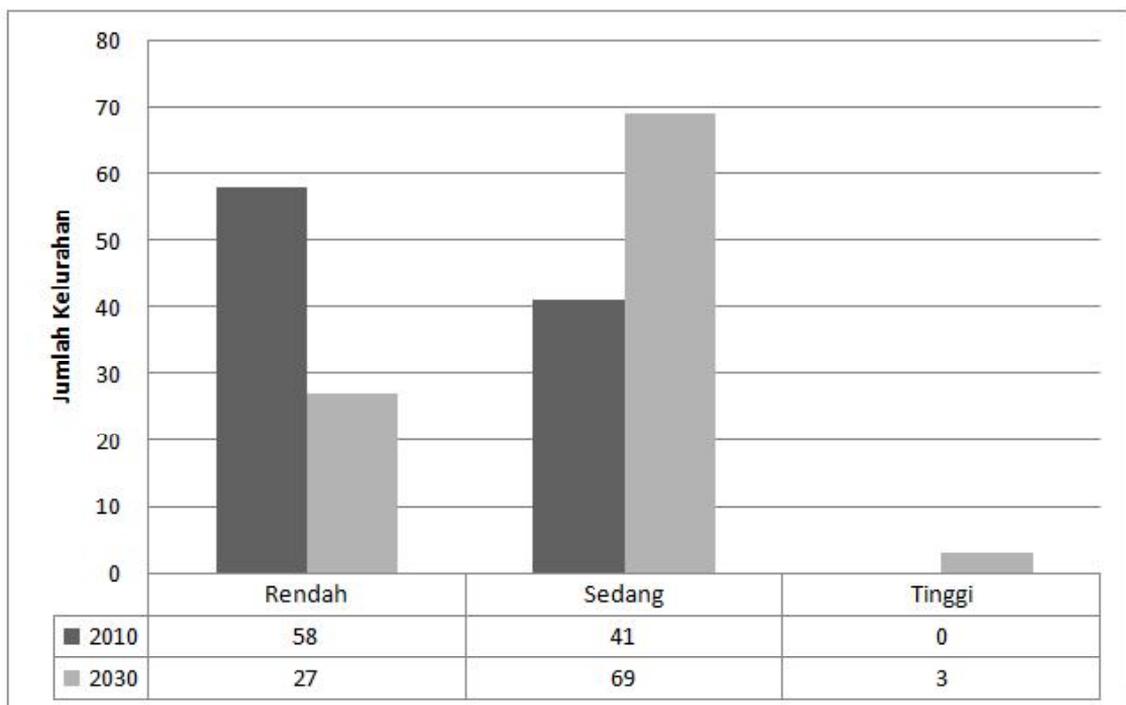
(4b)

Gambar 4. Kerentanan pesisir terhadap genangan pada tahun 2010 (4a) dan pada tahun 2030 (4b)

Tabel 5. Jumlah dan Persentase Kelurahan Tergenang Tiap Kecamatan Tahun 2010 dan 2030

Kecamatan	Jumlah Kelurahan	Jumlah Kelurahan Tergenang 2010	% Kelurahan Tergenang 2010	Jumlah Kelurahan Tergenang 2030	% Kelurahan Tergenang 2030
Gayamsari	7	3	43	5	71
Genuk	13	4	31	7	54
Pedurungan	12	0	0	2	17
Semarang Barat	16	3	19	10	63
Semarang Selatan	10	0	0	1	10
Semarang Tengah	15	3	20	7	47
Semarang Timur	10	2	20	8	80
Semarang Utara	9	9	100	9	100
Tugu	7	7	100	7	100
<b>Jumlah</b>	<b>99</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>56</b>	<b>57</b>

Sumber: Suhelmi, 2011



Gambar 5. Jumlah Kelurahan Berdasarkan Kelas Indeks Kapasitas



Panggung Lor memiliki kapasitas adaptif yang tinggi. Sedangkan kelurahan yang berada di wilayah pesisir sebagian besar memiliki kelas kapasitas adaptif sedang. Untuk melihat distribusi persebaran kelas kapasitas adaptif tiap kelurahan dapat dilihat pada peta distribusi kelas kapasitas adaptif pada tahun 2030 seperti terlihat pada Gambar 6b.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil kajian menunjukkan bahwa peningkatan luas genangan rob akibat kenaikan muka air laut berperan besar dalam nilai indeks kerentanan. Pada umumnya dengan kondisi sosial ekonomi yang ada akan terjadi peningkatan kapasitas adaptif pada tahun 2030 dibandingkan dengan kapasitas adaptif

tahun 2010. Hal ini dikarenakan lokasi kajian adalah wilayah perkotaan yang mempunyai infrastruktur yang baik. Untuk memperoleh hasil kajian yang lebih komprehensif, disarankan untuk menerapkan metode pada wilayah yang belum berkembang.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala Pusat Penelitian dan pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir, Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan atas dukungan dalam penelitian ini, Muhamad Helmi, M.Si. yang telah memberikan masukan dan data yang diperlukan dalam penyusunan naskah ini, serta Hari Prihatno, M.Sc yang telah membantu terlaksananya penelitian di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [ACCCRN] Asians Cities Climate Change Resilience Network. 2010. Kajian Kerentanan dan Adaptasi Terhadap Perubahan Iklim di Kota Semarang. *Laporan Akhir*. Mercy Corps. Jakarta.
- Arbriyanto D, Kardyanto D. 2006. Identifikasi Pengukuran Kerugian Fisik Bangunan Rumah dan Kerugian Sosial Penduduk Kawasan Pantai Kota Semarang. *Proceeding Seminar Kerugian pada Bangunan dan Kawasan Akibat Kenaikan Muka Air Laut pada Kota-Kota Pantai di Indonesia*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [Bappeda] Badan Perencanaan Pembangunan Daerah, Kota Semarang. 2002. *Laporan Antara: Rencana Pengembangan Potensi Kelautan Kota Semarang Tahun Anggaran 2001/2002*. Semarang : Bappeda Kota Semarang.
- Diposaptono S. 2002. *Pengaruh Pemanasan Global terhadap Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil di Indonesia*. Jakarta: Direktorat Bina Pesisir Direktorat Jenderal Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil DKP.
- de Laurdes and Olivo M. 1997. Assesment of The Vulnerability of Venezuela to Sea Level Rise. *Climate Res*. Vol. 9:57-65. <http://www.int-res.com/articles/cr/9/c009p057.pdf> (30 Juli 2009).

- [GCAPC] Global Change and Asia Pacific Coasts. 2000. *Proceedings of APN/SUVAS/LOICZ Joint Conference on Coastal Impacts of Climate Change and Adaptation in the Asia-Pacific Region*. Kobe-Japan: Nov 14-16, 2000 <http://sim.nilim.go.jp/GE/Papers/JGEE0407/Kobayasi.doc> (8 Februari 2008).
- Miladan N. 2009. Kajian Kerentanan Wilayah Pesisir Kota Semarang erhadap Perubahan Iklim. *Thesis* pada Program Studi Magister Teknik Pembangunan Wilayah dan Kota Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, Semarang.
- Pigawati, Bitta dan Iwan Rudiarto. 2011. Penggunaan Citra Satelit untuk Kajian Perkembangan Kawasan Permukiman Di Kota Semarang. *Forum Geografi*. Vol. 25, No. 2, Desember 2011: 140 – 151.
- Saizar A. 1997. Assesment of Impact of a Potential Sea Level Rise on The Coast of Montevideo, Uruguay. *Climate Res.* Vol. 9:73-79 <http://www.int-res.com/articles/cr/9/c009p073.pdf> (1 September 2009).
- Suhelmi, 2011. Kajian Dampak Land Subsidence Terhadap Peningkatan Luas genangan Rob di Kota Semarang. *Jurnal Teknologi Kelautan*.
- Titus JG. 1990. Greenhouse Effect, Sea Level Rise, and Land Use. *Land Use Policy Journal* 7:138-53. <http://www.epa.gov/climatechange/effects/downloads/landuse.pdf> (2 Agustus 2009).

**PENGARUH KONDISI METEOROLOGIS TERHADAP  
KETERSEDIAAN AIR TELAGA DI SEBAGIAN KAWASAN KARST  
KABUPATEN GUNUNGGIDUL**  
**(Studi Analisis Neraca Air Meteorologis untuk Mitigasi Kekeringan)**  
*Effect of The Meteorological Conditions to Spring Water Availability In Some  
Karst Region at Gunungkidul Districts*  
**(Meteorologist Water Balance Analysis Study for Drought Mitigation)**

**Darmakusuma Darmanto<sup>1</sup>, Ahmad Cahyadi<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Geografi Lingkungan Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada

Email: darmakusuma@ugm.ac.id

**ABSTRACT**

*The objective of this study is to understand the influence of meteorological conditions of logva water availability in karst area, Gunungkidul Regency. Meteorological condition analysis was determined by creating meteorological water balance using Thornthwaite Mather method. Water availability condition was determined by using multi-temporal images. Then, the result of water balance was matched with the logva water availability derived from multi-temporal images. The result shows that meteorological conditions will influence logva water availability in karst area, Gunungkidul Regency. It was shown by comparing the amount of logva in surplus months and deficit months. The amount of logva in surplus months is more than in deficit months. In addition, the longer meteorological water deficit, the amounts of detected logva decreases. Based on that condition, it means that meteorological water balance analysis can be used to plan disaster mitigation based on the time and duration of deficit months.*

**Keywords:** karst, logva, meteorological condition, multitemporal imagery, water balance

**ABSTRAK**

*Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kondisi meteorologis terhadap ketersediaan air telaga di kawasan karst Kabupaten Gunungkidul. Analisis kondisi meteorologis ditentukan dengan pembuatan neraca air meteorologis menggunakan metode Thornthwaite Mather. Kondisi ketersediaan air telaga ditentukan dengan menggunakan citra multi temporal. Hasil analisis neraca air kemudian dicocokkan dengan kondisi ketersediaan air telaga yang diperoleh dari citra multi temporal. Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi meteorologis sangat mempengaruhi ketersediaan air telaga di kawasan karst Kabupaten Gunungkidul. Hal ini dibuktikan dengan jumlah telaga yang terdeteksi pada bulan surplus air lebih banyak dibandingkan pada bulan defisit. Selain itu, semakin lama mengalami defisit air meteorologis, maka jumlah telaga yang terdeteksi juga semakin sedikit. Berdasarkan hal tersebut, maka berarti bahwa analisis neraca air meteorologis dapat digunakan untuk merencanakan upaya mitigasi bencana berdasarkan pada waktu terjadinya bulan defisit air, serta lamanya terjadi bulan defisit air secara meteorologis.*

**Kata kunci:** karst, telaga, kondisi meteorologis, citra multitemporal, kesetimbangan air

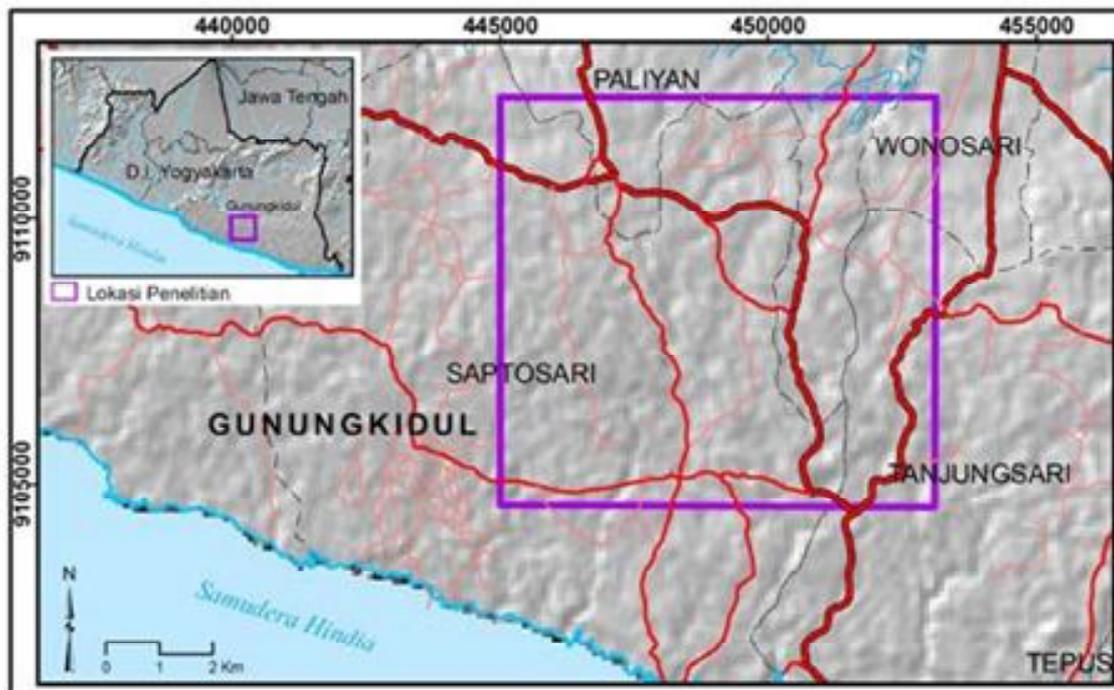
## PENDAHULUAN

Kawasan karst merupakan kawasan yang kondisinya gersang dan memiliki banyak singkapan batuan kemudian digunakan untuk menyebutkan wilayah lain di seluruh dunia yang memiliki kondisi yang sama. Saat ini, istilah karst sering digunakan digunakan untuk menyebutkan bentuk lahan yang secara dominan terbentuk oleh kombinasi batuan yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang dengan baik (Ford dan Williams, 1992 dan Veni dan DuChene, 2001). Pembentukan lorong-lorong dan diaklas-diaklas (retakan) di permukaan menyebabkan air masuk ke dalam sistem aliran bawah tanah sehingga menyebabkan kondisi kering di permukaan (Sudarmadji dkk, 2012).

Ketiadaan aliran permukaan menyebabkan telaga dan mataair menjadi sumber air yang sangat penting di kawasan karst (Santosa,

2007). Lebih lanjut Santosa (2007) menjelaskan bahwa telaga atau logva adalah ledokan-ledokan berbentuk corong (*doline*) pada daerah berbatuan karbonat yang terisi air baik secara permanen (terisi air sepanjang tahun) ataupun tidak permanen (terisi air hanya pada musim penghujan). Ketersediaan air telaga khususnya pada musim kemarau sangatlah penting untuk memenuhi kebutuhan air di kawasan karst Gunungsewu Kabupaten Gunungkidul (Gambar 1) (Awang dan Nurhadi, 2005; Sudarmadji dkk, 2012). Namun demikian, tidak semua telaga memiliki ketersediaan air sepanjang tahun. Hal ini akan menyebabkan suatu wilayah dilanda kekeringan apabila tidak memiliki sumber air yang lain.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kondisi meteorologis terhadap ketersediaan air telaga di kawasan karst Gunungsewu Kabupaten Gunungkidul. Penelitian ini diharapkan dapat digunakan



Gambar 1. Lokasi Kajian Penelitian

untuk membantu dalam pengembangan metode penentuan telaga yang potensial dan tidak potensial untuk pemenuhan kebutuhan air kawasan karst pada musim kemarau berdasarkan pada neraca air meteorologis.

## **METODE PENELITIAN**

### **Perhitungan Neraca Air Meteorologis**

Data yang digunakan untuk perhitungan neraca air meteorologis adalah data hujan dan suhu dari stasiun Panggang dan Playen Tahun 2001, 2003, dan 2009. Perhitungan neraca air meteorologis dilakukan dengan menggunakan Metode Thornthwaite Mather (Thornthwaite dan Mather, 1957).

### **Analisis Kondisi Telaga**

Penentuan lokasi telaga yang terdapat di wilayah kajian dilakukan dengan menggunakan peta rupa bumi Indonesia (RBI) terbitan Bakosurtanal skala 1: 25.000 serta survei lapangan. Kondisi telaga yang terdapat pada lokasi penelitian dilihat dengan menggunakan citra ASTER VNIR (Februari 2001 dan Juni 2003) dan ALOS AVNIR (Juni 2009). Hasil dari pemantauan dengan ketiga citra tersebut menghasilkan kondisi telaga berair atau telaga kering. Waktu pemotretan masing-masing citra yang digunakan, dicocokkan dengan kondisi neraca air lokasi penelitian. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari kondisi meteorologis terhadap kondisi ketersediaan air telaga di lokasi penelitian. Telaga di Kabupaten Gunungkidul banyak yang mati (kering) akibat proses sedimentasi (Santosa, 2007). Oleh karena itu, maka dalam penelitian ini digunakan citra Geo Eye (Maret 2010) dan survei lapangan untuk memastikan bahwa telaga yang kering bukan hanya disebabkan oleh sedimentasi, tetapi juga oleh sebab faktor meteorologis.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil analisis neraca air meteorologis wilayah penelitian ditunjukkan pada Gambar 2. Neraca air meteorologis wilayah penelitian pada Tahun 2001 mengalami surplus sebanyak 6 bulan dan mengalami defisit sebanyak 6 bulan. Kondisi defisit pada tahun ini mulai terjadi pada Bulan April dan berakhir pada Bulan September.

Kondisi neraca air meteorologis wilayah penelitian Tahun 2003 menunjukkan bahwa defisit air hanya terjadi 5 bulan, lebih sedikit dibandingkan Tahun 2001. Defisit air secara meteorologis terjadi mulai Bulan April dan berakhir lebih awal dibandingkan Tahun 2001, yakni Bulan Agustus. Hal ini menunjukkan adanya variasi kondisi meteorologis di wilayah penelitian. Kondisi meteorologis Tahun 2009 sangat berbeda dengan Tahun 2001 dan 2003. Kondisi defisit secara meteorologis terjadi sebanyak 9 bulan. Kondisi defisit terjadi pada Bulan April, namun sampai pada Bulan Desember kondisi tersebut belum berakhir.

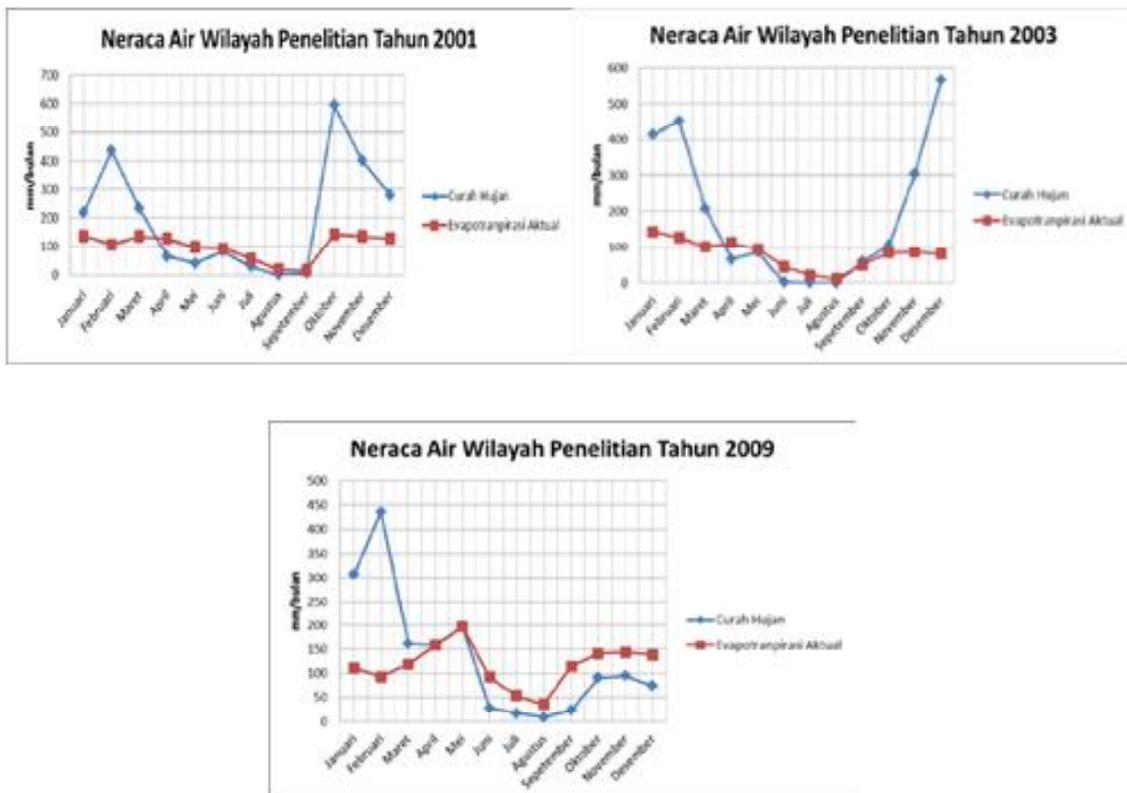
Jumlah telaga di wilayah penelitian berdasarkan pada peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1: 25.000 berjumlah 13, sedangkan berdasarkan survei lapangan terdapat 10 telaga yang tidak masuk di dalam peta RBI tersebut. Hal ini berarti jumlah telaga di wilayah penelitian adalah 23. Jumlah telaga yang terdeteksi pada tiga citra yang digunakan juga berbeda-beda.

Hasil analisis ASTER VNIR Februari 2001 mendeteksi 18 titik telaga, ASTER VNIR Juni 2003 mampu mendeteksi 10 telaga, sedangkan analisis ALOS AVNIR Juni 2009 mendeteksi 13 telaga dengan lokasi yang berbeda. Berdasarkan neraca air meteorologis yang telah dibuat, Februari 2001 merupakan bulan surplus air secara meteorologis. Hal tersebut menyebabkan banyak telaga di wilayah penelitian terisi

air pada Februari 2001. Defisit terjadi karena hujan yang jatuh ke permukaan bumi jumlahnya lebih kecil dibanding evapotranspirasi aktual sehingga air yang dapat tertahan dalam tanah lebih sedikit. Hal ini menjadikan kelembaban tanah berkurang dan tanah menjadi kering. Evapotranspirasi aktual yang besar telaga pada bulan defisit membuat volume air pada telaga menurun. Kondisi ini berlangsung pada bulan defisit sehingga banyak telaga yang mengering.

Kondisi yang berbeda terjadi pada hasil analisis citra tanggal 30 Juni 2003 dan 20 Juni 2009, di mana keduanya berada pada bulan defisit air secara meteorologis. Hal ini menyebabkan jumlah telaga yang terdeteksi pada citra lebih sedikit (Tahun 2003 terdeteksi 10 telaga dan Tahun 2009

terdeteksi 13 telaga) dibandingkan dengan jumlah telaga yang terdeteksi pada citra Tahun 2001. Jumlah telaga yang terdeteksi pada Tahun 2009 lebih banyak dibandingkan dengan Tahun 2003 karena tanggal perekaman citra pada Tahun 2003 merupakan bulan ke-3 dari bulan defisit air secara meteorologis, atau telah terjadi 2 bulan defisit sebelum perekaman citra. Hal ini berbeda dengan kondisi perekaman citra Tahun 2009, di mana pada saat perekaman bulan defisit air secara meteorologis baru berjalan satu bulan. Berdasarkan hal tersebut, maka berarti kondisi meteorologis sangat mempengaruhi ketersediaan air telaga di kawasan karst Kabupaten Gunungkidul. Hasil ini menunjukkan bahwa analisis neraca air meteorologis dapat digunakan untuk merencanakan upaya mitigasi



Gambar 2. Neraca Air Meteorologis Wilayah Penelitian Tahun 2001, 2003, dan 2009

bencana berdasarkan pada waktu terjadinya bulan defisit air, serta lamanya terjadi bulan defisit air secara meteorologis.

### KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis neraca air meteorologis dan citra multi temporal menunjukkan bahwa kondisi meteorologis sangat mempengaruhi ketersediaan air telaga di

kawasan karst Kabupaten Gunungkidul. Hal ini terbukti dari banyaknya telaga yang terdeteksi pada citra yang terekam pada bulan defisit, sedangkan semakin lama mengalami bulan defisit air secara meteorologis maka jumlah telaga yang terdeteksi semakin sedikit. Oleh karena itu, maka berarti bahwa analisis neraca air meteorologis dapat digunakan untuk membantu dalam perencanaan mitigasi kekeringan di kawasan karst Kabupaten Gunungkidul.

Tabel 1. Telaga yang terdeteksi pada Masing-Masing Citra dan Peta

No.	RBI 1998	ASTER 2001	ASTER 2003	ALOS 2009	GEOEYE 2010
1.	*	*	*	*	*
2.				*	*
3.		*	*	*	*
4.	*				*
5.	*	*		*	*
6.	*	*	*	*	*
7.	*	*	*	*	*
8.		*	*	*	*
9.	*	*	*	*	*
10.		*			*
11.		*			*
12.	*		*	*	*
13.	*				*
14.	*	*	*	*	*
15.		*		*	*
16.	*				*
17.	*	*			*
18.	*	*			*
19.		*			*
20.		*			*
21.	*	*	*	*	*
22.		*			*
23.	*	*	*	*	*
<b>Jumlah</b>		<b>13</b>	<b>18</b>	<b>10</b>	<b>23</b>

Sumber: hasil analisis

## DAFTAR PUSTAKA

- Adji, Tjahyo Nugroho; Haryono, Eko; dan Woro, Suratman. 1999. Kawasan Karst dan Prospek Pengembangannya. *Makalah dalam Seminar Pertemuan Ilmiah Tahunan Ikatan Geografiwan Indonesia 1999*. Universitas Indonesia, 26-27 Oktober 1999.
- Awang, S.A. dan Nurhadi. 2005. Konservasi Sumber Air Tambakromo: Ketersediaan dan Kelangkaan Air. dalam Awang, S.A. 2005. *Kelangkaan Air: Mitos Sosial, Kiat dan Ekonomi Rakyat*. Yogyakarta: Debut Press.
- Ford, D. dan Williams, P. 1992. *Karst Geomorphology and Hydrology*. London: Chapman and Hall.
- Santosa, Langgeng Wahyu. 2007. Kerusakan Telaga Dolin dan Faktor-Faktornya di Wilayah Perbukitan Karst Kabupaten Gunungkidul. *Jurnal Kebencanaan Indonesia, Vol.1(3)*. Hal 176-193.
- Sudarmadji; Suprayogi, S. dan Setiadi. 2012. *Konservasi Mata Air Berbasis Masyarakat di Kabupaten Gunungkidul untuk Mengantisipasi Dampak Perubahan Iklim*. Yogyakarta: Penerbit Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada.
- Thornthwaite, C.W. dan J.R. Mather. 1957. Introduction and Tables for computing Potensial Evapotranspiration and The Water Balance. *Publ. In Clim. Vol. 10(3)*. Cerrerton. New Jersey.
- Veni, G. dan DuChene, H. 2001. *Living With Karst: A Fragile Foundation*. Alexandria: American Geological Institute.