

# PENGARUH PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN TERHADAP SIFAT BIOFISIK TANAH DAN KAPASITAS INFILTRASI DI KOTA MALANG

*Sugeng Utaya*

Jurusan Geografi FMIPA Universitas Negeri Malang  
Jalan Surabaya 6 Malang  
E-mail: sugengutaya@yahoo.com

## ABSTRACT

*Land use management causes the changes of the function of the land in the city. The change of the function of uncultivated land to be cultivated land has a potential to change soil biophysical characteristic, and at the same time, it decreases the absorption of soil water. This research aims: (1) to study the influence of the landuse change towards soil biophysical characteristics, (2) to study the correlation between soil biophysical characteristics and infiltration capacity, and (3) to study the influence of the landuse change towards the infiltration capacity. The landuse change is studied by comparing the on going mapping documents. Soil biophysical characteristics consist of root biomass, number of worms, soil organic matter (SOM), and porosity. The root biomass is obtained by root density, the number of worms is identified with monolith and hand sorting method, the SOM is identified with fraction analysis, and the porosity is identified with cylinder and pignometer method. The water absorption is measured with the plot experiment. The influence of the landuse towards soil biophysical traits is analyzed T-test and the influence of landuse change towards infiltration capacity is analyzed correlatively. This research gains the results that: (1) the landuse change causes the change of soil biophysical traits, too, and the soil biophysical traits change causes, furthermore, the declining of the land capability in absorbing water, and (2) the amount of the infiltration capacity is caused by soil biophysical traits, mostly by root biomass, number of worms, and the SOM, and (3) the landuse change causes the declining of infiltration capacity.*

**Keywords:** *landuse change, landuse management, soil biophysical characteristic, infiltration capacity.*

## PENDAHULUAN

Perkembangan fisik perkotaan mengakibatkan terjadinya perubahan penggunaan lahan dari lahan terbuka menjadi lahan terbangun. Perubahan penggunaan lahan tersebut cenderung mengubah lahan pertanian menjadi lahan non-pertanian, sehingga mengakibatkan luas lahan pertanian di kota semakin berkurang dan luas lahan non-pertanian semakin bertambah (Sunartono, 1995). Perubahan penggunaan lahan akan terus berlangsung sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi, sehing-

ga di masa mendatang diperkirakan perubahan penggunaan lahan kota akan terus terjadi dengan kecepatan tinggi (Djunaedi, 1990). Menurut Suryantoro (2002) cepatnya perubahan penggunaan lahan dapat menimbulkan kesulitan dalam pengendalian tata ruang, dan pada gilirannya mengakibatkan terjadinya ketidaksesuaian di dalam penggunaan lahan kota.

Perkembangan fisik Kota Malang dalam kurun waktu 4 tahun dari tahun 1997-2001 mengakibatkan terjadi penyusutan lahan pertanian sebesar 1,08 % per-

tahun dari total luas wilayah (Bappedalda Kota Malang, 2002). Perubahan penggunaan lahan terbesar di Kota Malang berupa penambahan lahan permukiman seluas 72,07 ha (47,7%) dan sarana perhubungan seluas 22,37 ha (14,8%). Perubahan penggunaan lahan tersebut berasal dari konversi lahan sawah seluas 91,20 ha (60,4%) dan tegalan seluas 27,56 ha (18,2%). Sebagai akibat perubahan saat ini sisa lahan terbuka yang berfungsi sebagai penyangga lingkungan adalah lahan sawah seluas 2.352,6 ha (21,4%), tegalan seluas 2.662,9 ha (24,2%), tanah kosong seluas 496,4 ha (4,5%), lapangan olah raga/taman seluas 105,7 ha (1%), kuburan seluas 103,96 ha (0,9%), dan tempat hiburan/rekreasi seluas 7,9 ha (0,07%).

Perubahan penggunaan lahan selain menambah proporsi luas lahan terbangun, juga mengubah tutupan lahan/vegetasi pada lahan terbuka yaitu dari lahan sawah/tegalan menjadi rumput/pekarangan. Perubahan tutupan lahan ini mengakibatkan perubahan sifat biofisik tanah, karena setiap jenis vegetasi memiliki sistem perakaran yang berbeda (Winanti, 1996). Hasil penelitian Widiyanto *et al.* (2004) menunjukkan bahwa alih guna lahan hutan menjadi kopi monokultur di Lampung mengakibatkan perubahan sifat tanah permukaan berupa penurunan bahan organik dan jumlah ruang pori. Alih guna lahan tersebut juga mengakibatkan penurunan makroporositas tanah (Suprayogo *et al.*, 2004) dan menurunkan ketebalan seresah dan jumlah pori makro tanah (Hairiah *et al.*, 2004). Terkait dengan perubahan sifat biofisik tanah tersebut, Liedloff (2003) menyatakan bahwa perubahan tutupan lahan mempengaruhi keberadaan biota tanah berupa penyusutan jumlah makroinvertebrata di dalam tanah.

Perubahan sifat biofisik akibat dapat mengganggu karakteristik hidrologi lahan di kota. Perubahan sifat biofisik akibat alih fungsi lahan terbuka bervegetasi menjadi lahan terbangun dapat meminimalkan kapasitas resapan air ke dalam tanah (Anonim, 2001). Hal ini terjadi karena hilangnya fungsi vegetasi yang secara efektif dapat mengabsorpsi air hujan, mempertahankan laju infiltrasi (Foth, 1984), meningkatkan laju infiltrasi (Schwab, 1997), dan kemampuan dalam menahan air (kapasitas retensi air/KRA). Resapan air lebih efektif pada lahan yang ditumbuhi vegetasi, karena vegetasi dapat meningkatkan kapasitas infiltrasi (Sosrodarsono dan Takeda, 2003). Menurut Agus (2004) nilai KRA lahan bervegetasi relatif lebih besar dibanding lahan tidak bervegetasi, dan nilai KRA lahan bervegetasi bervariasi menurut jenis vegetasinya. Nilai KRA sawah sebesar 80 mm, nilai KRA lahan yang didominasi pepohonan sebesar 92 mm, KRA lahan tegalan 48 mm, dan KRA lahan permukiman sebesar 20 mm.

Perubahan penggunaan lahan dapat mengancam keberadaan air tanah di kota. Hal ini disebabkan perubahan penggunaan lahan menurunkan umpan air tanah di kota (Suripin, 2002); padahal sumber utama air tanah berasal dari air hujan (Travis dan Etnier, 1984). Resapan air hujan melalui infiltrasi memegang peran penting karena menentukan keberlanjutan sistem air tanah (Wu *et al.*, 1996), sehingga terganggunya resapan air dapat berdampak pada penurunan potensi air tanah di kota. Pelaksanaan pembangunan tata ruang Kota Malang dari tahun 1984 sampai tahun 2003 telah meningkatkan luas lahan terbangun sebesar 28,97%. Hal ini berdampak pada penurunan resapan air di Kota Malang sebesar 21,65% (rata-rata 1,14% per-tahun).

Sumber penurunan resapan air berasal dari perubahan penggunaan lahan yaitu peningkatan lahan terbangun dan penyusutan lahan sawah dan tegalan. Peningkatan lahan terbangun sebesar 28,97% mengakibatkan penurunan resapan air sebesar 11,12%. Penyusutan lahan sawah sebesar 23,84% mengakibatkan penurunan resapan air sebesar 16,18% dan penyusutan lahan tegalan sebesar 7,29% mengakibatkan penurunan resapan air sebesar 6,53% (Utaya, 2008). Penurunan resapan air akan terus meningkat jika tidak dilakukan upaya pengendalian perubahan penggunaan lahan.

Berdasarkan uraian masalah tersebut, maka penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap sifat biofisik tanah dan kapasitas infiltrasi, dengan sub-tujuan: (1) mengkaji perbedaan sifat biofisik tanah pada berbagai jenis penggunaan lahan, (2) mengkaji hubungan sifat biofisik tanah dengan infiltrasi, dan (3) mengkaji pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap infiltrasi.

## **METODE PENELITIAN**

### **Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian dilakukan pada tanah aluvial di Kota Malang. Pemilihan sampel lokasi pengukuran infiltrasi dan sampel tanah dilakukan secara sengaja (*purposive sampling*), yang didasarkan pada pertimbangan persebaran ruang dan ketersediaan jenis tutupan lahan yang dibutuhkan. Pengukuran infiltrasi dan pengambilan contoh tanah dilakukan pada tempat yang sama yaitu di Kelurahan Sumbersari, Klojen, Jatimulyo, Arjosari, Purwatoro, dan Janti. Waktu penelitian mulai bulan Januari 2006 sampai bulan Januari 2007.

### **Perubahan Penggunaan Lahan**

Analisis perubahan penggunaan lahan menggunakan data penggunaan lahan tahun 1984 yang diperoleh dari interpretasi foto udara pankromatik hitam putih skala 1:10.000, dan data penggunaan lahan tahun 2004 yang diperoleh dari interpretasi citra landsat. Pemilihan kedua jenis citra karena selain alasan ketersediaan citra, kedua jenis citra memiliki resolusi spasial cukup tinggi dan sesuai untuk interpretasi landuse di perkotaan. Perubahan penggunaan lahan dianalisis secara deskriptif yang dilakukan dengan komparasi data penggunaan lahan Kota Malang tahun 1984 dan tahun 2004. Analisis secara spasial menggunakan program Arc-view.

### **Sifat Biofisik Tanah**

Sifat biofisik tanah meliputi tekstur, biomassa akar, bahan organik total (BOT), jumlah cacing, dan porositas. Identifikasi sifat biofisik tanah dilakukan pada lahan rumput, pekarangan, hutan kota, tegalan, dan semak belukar. Identifikasi sifat biofisik tanah dilakukan secara sampling dengan jumlah sampel 30 buah yang diambil pada 5 jenis penggunaan lahan di 10 lokasi dengan pengulangan 3 kali. Pengambilan Sampel tanah dalam bentuk tanah utuh dan tanah terganggu. Sampel tanah utuh digunakan untuk penetapan porositas dan biomassa akar, sedangkan sampel tanah terganggu digunakan untuk penetapan jumlah tekstur, bahan organik total, dan cacing dalam tanah.

Metode analisis sifat biofisik tanah adalah sebagai berikut: (1) analisis tekstur dilakukan dengan metode pipet; (2) analisis berat biomassa akar dilakukan dengan cara pengamatan kepadatan perakaran. Metode ini dipilih karena kepadatan perakaran menentukan kemampuan tanah dalam mengabsorpsi air (Priyono, 2000). Identifi-

kasi biomassa akar dilakukan dengan cara mengambil sampel tanah dengan pipa pralon (diameter 10 cm) sedalam antara 10—20 cm, kemudian dianalisis kepadatan perakarannya; (3) analisis BOT dilakukan dengan analisis fraksionasi berdasar ukuran partikel (Hairiah, 1996). Analisis BOT dilakukan pada tanah dengan kedalaman 0—20 cm; (4) analisis porositas tanah dihitung dengan persamaan  $P = (1 - BI / BJ) \times 100\%$ , dimana  $P$  = porositas (%),  $BI$  = bobot isi ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ ), dan  $BJ$  = berat jenis ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ ). Analisis penetapan bobot isi menggunakan metode silinder, sedangkan analisis penetapan berat jenis menggunakan metode pignometer; dan (5) analisis jumlah cacing dilakukan dengan metode sampling monolit dan hand sorting. Alat yang digunakan berupa bingkai kuadrat dari besi (*ring blok*) ukuran 25x25x10 cm. Langkah identifikasi cacing di lapang adalah: a) menanam ring block sedalam 10 cm, b) membongkar tanah di dalam ring blok, dan c) mengidentifikasi dan menghitung jumlah cacing dalam tanah bongkaran.

### Kapasitas Infiltrasi

Kapasitas infiltrasi diukur secara langsung di lapang dengan menggunakan alat double ring infiltrometer. Pengukuran kapasitas infiltrasi dilakukan pada 5 jenis penggunaan lahan yaitu rumput, hutan kota, pekarangan, tegalan, dan semak belukar. Lahan tertutup bangunan tidak diukur infiltrasinya, karena tidak dapat meresapkan air dan dianggap infiltrasinya 0. Pengukuran kapasitas infiltrasi setiap penggunaan lahan dilakukan pengulangan sebanyak 1 kali. Pengukuran infiltrasi menggunakan metode Horton dengan rumus perhitungan:  $F = fc + (fo - fc) e^{-kt}$ , dimana  $F$  = tingkat infiltrasi (cm/hari),  $fc$  = tingkat infiltrasi setelah konstan (cm/

hari),  $fo$  = tingkat infiltrasi awal (cm/hari), konstanta (2,78),  $t$  = waktu awal konstan (jam), dan  $k = 1/m \log e$ .

### Analisis Statistika

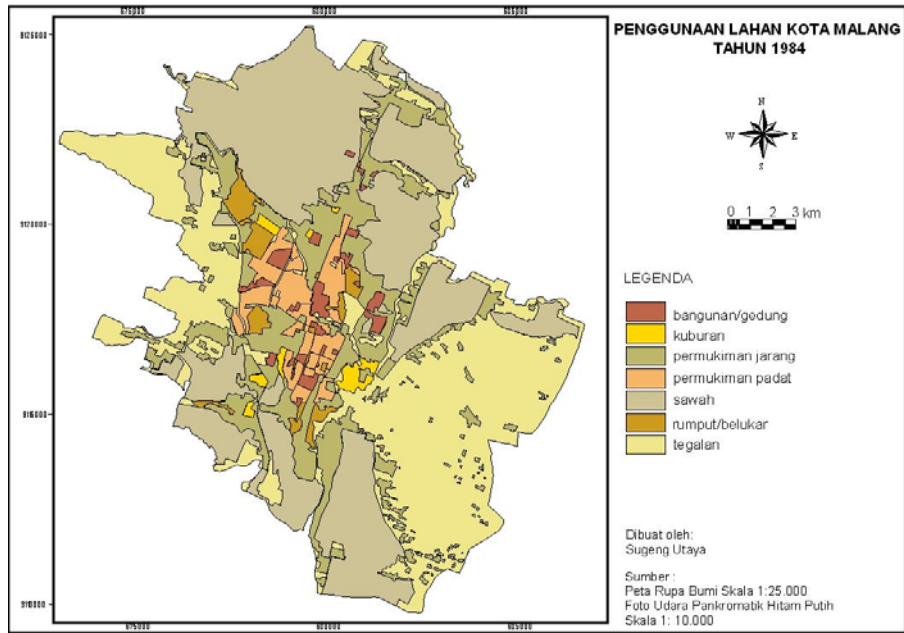
Uji beda (dengan menggunakan ANOVA-one way) digunakan untuk menganalisis perbedaan sifat biofisik tanah dan kapasitas infiltrasi. Analisis korelasi digunakan untuk menganalisis hubungan sifat biofisik tanah (biomassa akar, BOT, jumlah cacing, dan porositas) dengan kapasitas infiltrasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

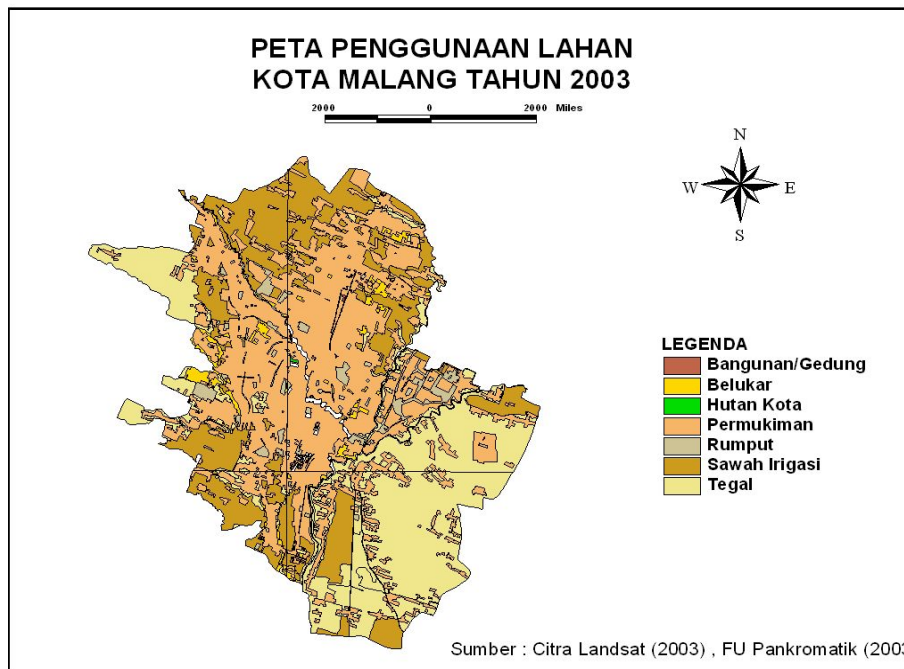
### Penggunaan Lahan dan Sifat Biofisik Tanah

Selama kurun waktu 19 tahun dari tahun 1984-2003 di Kota Malang terjadi peningkatan luas lahan terbangun sebesar 28,13% (rata-rata 1,48% per-tahun) yaitu dari 19,81% (tahun 1984) menjadi 47,94% (tahun 2003). Peningkatan luas lahan terbangun mengakibatkan bertambahnya luas lahan rumput dan pekarangan, karena di sekitar lahan terbangun hampir selalu disediakan ruang terbuka untuk areal taman dengan tanaman rumput dan tanaman campuran (pekarangan). Pertambahan lahan terbangun tersebut mengakibatkan peningkatan lahan tertutup bangunan seluas 2.152,5 Ha (19,56%), lahan terbuka rumput/taman seluas 693,67 Ha (6,30%), dan lahan pekarangan seluas 249,56 Ha (2,27%). (lihat gambar 1 dan gambar 2).

Peningkatan luas lahan terbangun mengakibatkan penyusutan luas lahan sawah dan tegalan, yang mengalami penyusutan masing-masing lahan sawah sebesar 23,86% (rata-rata 1,26% per-tahun) dan lahan tegalan sebesar 7,29% (0,38% per-tahun). Penyusutan luas lahan ini disebabkan oleh



Gambar 1. Penggunaan Lahan Kota Malang Tahun 1984



Gambar 2. Penggunaan Lahan Kota Malang Tahun 2003

adanya alih fungsi lahan terbuka menjadi lahan terbangun sebagai akibat perkembangan fisik kota. Di luar areal terbangun terjadi perubahan tata guna lahan berupa peningkatan luas lahan rumput sebesar 0,75%,

lahan pekarangan 0,02%, dan lahan semak belukar sebesar 2,45%. Peningkatan luas lahan rumput dan pekarangan di luar kawasan terbangun sebagai akibat maraknya pembangunan RTH di dalam kota, sedangkan

peningkatan luas lahan semak belukar sebagai akibat banyaknya lahan kosong diperuntukkan (terutama perumahan) yang belum dilakukan pembangunannya. Data perubahan tata guna lahan Kota Malang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Secara umum perubahan penggunaan lahan terbuka di kota dari lahan sawah, tegalan, dan semak belukar menjadi lahan taman dan pekarangan (Sunartono, 1996) mengakibatkan perubahan sifat biofisik tanah. Perubahan sifat biofisik tanah berlangsung melalui suatu proses yang kompleks. Mekanisme proses perubahan sifat biofisik tanah dijelaskan Suprayogo, *et al.* (2004) yaitu pada awalnya perubahan penggunaan lahan merubah ketersediaan sere-sah/bahan organik tanah. Bahan organik tanah tersebut dapat melindungi pori makro dan mempengaruhi keberadaan biota tanah. Keberadaan biota mempengaruhi struktur tanah dan struktur tanah mempengaruhi porositas tanah.

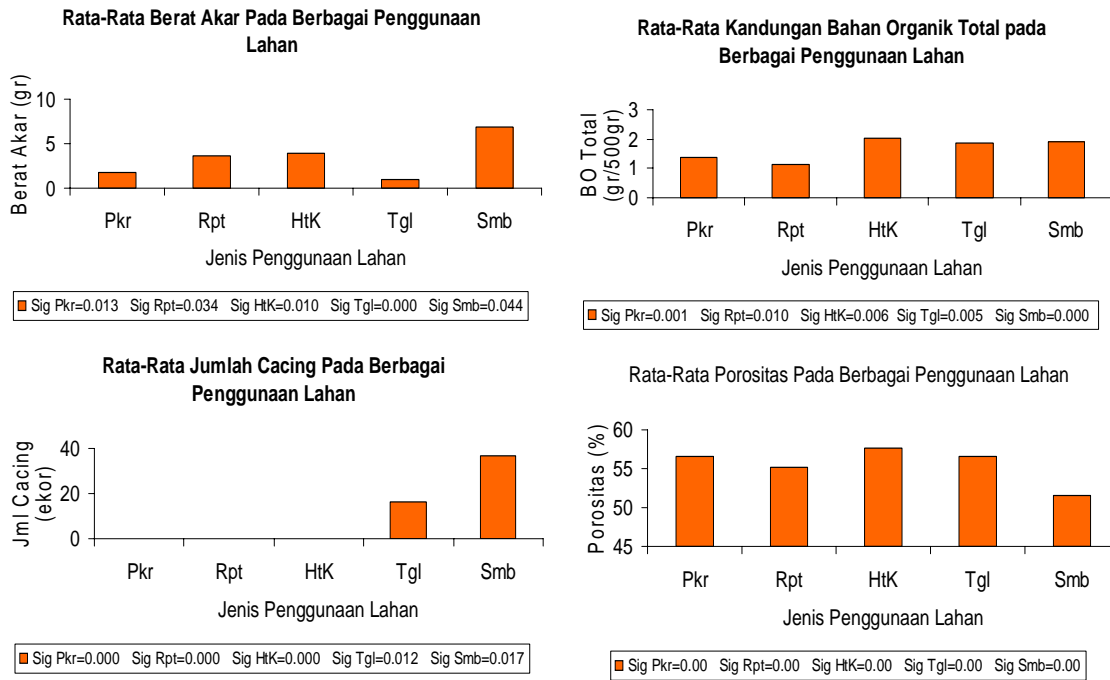
Identifikasi lapang dan analisis laboratorium parameter sifat biofisik tanah

pada berbagai jenis penggunaan lahan memperoleh hasil sebagai berikut: (1) Berat biomassa akar tertinggi terdapat pada semak belukar (6,95 gr/500 gr), sedangkan berat terendah pada lahan tegalan (0,95 gr/500 gr), (2) Jumlah BOT pada setiap jenis penggunaan lahan relatif tidak menunjukkan banyak perbedaan, tetapi jumlah terbanyak terdapat pada lahan hutan kota (2,04 gr/500 gr) dan terendah pada rumput (1,15 gr/500 gr), (3) Cacing hanya ditemukan pada lahan semak belukar (36,6 ekor/m<sup>2</sup>) dan tegalan (16 ekor/m<sup>2</sup>) sedangkan pada lahan lain nihil, dan (4) Porositas total tanah permukaan juga tidak menunjukkan banyak perbedaan, tetapi porositas tertinggi terdapat pada lahan hutan kota (57,6%) dan terendah (51,6%) pada semak belukar (lihat gambar 3).

Lahan hutan kota dengan komposisi vegetasi kompleks meliputi pohon, perdu, dan rumput memiliki biomassa akar lebih besar dibanding rumput dan tegalan yang ditempati vegetasi sejenis. Perbedaan tersebut dipertegas oleh hasil analisis one-way ANOVA biomassa akar berdasar jenis

Tabel 1. Perubahan Komposisi Tata Guna Lahan Kota Malang dari tahun 1984 sampai tahun 2003 (Foto udara,1984; Citra Iconos, 2003).

No	Penggunaan Lahan	1984		2003		Perubahan	
		Luas (Ha)	%	Luas (Ha)	%	Luas (Ha)	%
1	Terbangun/Permukiman	2.180,7	19,81	5.276,4	47,94	+3.095,7	+28,13
2	Rumput/taman	23,5	0,21	105,9	0,96	+82,4	+0,75
3	Pekarangan	101,5	0,92	103,9	0,94	+2,4	+0,02
4	Hutan kota	20,9	0,19	1,7	0,02	-19,2	-0,17
5	Tegalan	3.465,9	31,49	2.663,2	24,20	-802,7	-7,33
6	Sawah	4.968,8	45,15	2.342,7	20,80	-2.626,1	-23,86
7	Semak Belukar	244,4	2,22	511,7	4,65	+267,3	+2,45
	Kota Malang	11.005,6	100,00	11.005,6	100,00		



Gambar 3. Sifat biofisik tanah pada berbagai jenis penggunaan lahan

penggunaan lahan yang memperoleh nilai T-hitung=11,43; Oleh karena nilai T-tabel ( $\alpha=5\%$ )=5,12 yang berarti T-hitung > T-tabel; maka kandungan biomassa akar pada berbagai penggunaan lahan berbeda secara signifikan dengan taraf kepercayaan 95%. Hasil analisis uji beda ini secara statistik menunjukkan bahwa biomassa akar pada lahan bervegetasi heterogen cenderung lebih tinggi dibanding lahan homogen. Perbedaan biomassa akar ini sesuai dengan hasil penelitian Suprayogo *et al* (2004) pada lahan perkebunan kopi di Sumberjaya Lampung, yang menyimpulkan bahwa diversifikasi jenis tanaman dapat meningkatkan jumlah dan sebaran sistem akar. Hasil penelitian Hairiah *et al* (2004) yang dilakukan di tempat yang sama menyimpulkan bahwa penanaman tumpangsari pada lahan kebun kopi dapat meningkatkan jumlah akar dalam tanah.

Kandungan BOT pada berbagai penggunaan lahan menunjukkan bahwa

kandungan BOT tertinggi terdapat pada hutan kota, dan kemudian diikuti semak belukar, tegalan, pekarangan, dan rerumputan. Hal ini menunjukkan kecenderungan semakin kompleks komposisi vegetasi semakin tinggi kandungan BOT. Namun demikian pada lahan tegalan ternyata kadar BOT nya justru lebih tinggi dibanding lahan pekarangan. Temuan ini memiliki kesamaan dengan hasil penelitian Hairiah *et al.* (2004) yang menyimpulkan bahwa pola tanam tumpang sari dengan komposisi vegetasi beraneka dapat meningkatkan jumlah bahan organik dalam tanah. Perbedaan jumlah BOT tersebut terjadi secara nyata, terbukti dari uji beda jumlah BOT berdasarkan jenis penggunaan lahan memperoleh nilai T-hitung=5,42 yang lebih besar dibanding T-tabel ( $\alpha=5\%$ )=5,12. Hal ini berarti secara signifikan terdapat perbedaan kadar BOT pada berbagai jenis penggunaan lahan dengan taraf kepercayaan 95%.

Perbedaan jumlah cacing yang ditemukan pada beberapa penggunaan lahan, menunjukkan bahwa perbedaan jenis dan kondisi vegetasi penutup mengakibatkan perbedaan kadar bahan organik tanah. Hal ini karena bahan organik merupakan bahan makanan cacing, sehingga semakin banyak jumlah bahan organik akan semakin banyak ditemukan cacing tanah (Hairiah *et al.*, 2004). Menurut Liedloff (2003) semakin rapat dan beraneka vegetasi, akan semakin banyak jumlah bahan organik, dan tentunya akan semakin banyak ditemukan cacing dalam tanah. Namun demikian uji statistik one-way ANOVA hasil penelitian ini memperoleh nilai T-hitung 3,65, padahal nilai T-tabel ( $\alpha=5\%$ )=5,12. Oleh karena nilai T-hitung < T-tabel maka dapat dikatakan bahwa jumlah cacing pada berbagai penggunaan lahan tidak berbeda secara signifikan. Dengan kata lain keberadaan cacing di daerah penelitian tidak ditentukan oleh jenis penggunaan lahan, tetapi mungkin dipengaruhi oleh variabel lain seperti tekstur, struktur, dan porositas tanah.

Nilai porositas berdasarkan jenis penggunaan lahan dari tertinggi ke terendah yaitu hutan kota, tegalan, pekarangan, rumput, dan semak belukar. Perbedaan porositas ini memberi gambaran bahwa perubahan penggunaan lahan kota dari lahan bervegetasi kompleks dan rapat (hutan kota) dan lahan pertanian (tegalan) menjadi lahan budidaya (rumput dan pekarangan) dapat menurunkan porositas tanah. Hasil uji beda porositas total pada berbagai jenis penggunaan lahan memperoleh nilai T-hitung = 5,60, sedangkan nilai T-tabel ( $\alpha=5\%$ )=5,12; Oleh karena nilai T-hitung > T-tabel maka dapat disimpulkan bahwa porositas total pada berbagai jenis penggunaan lahan berbeda

secara signifikan dengan taraf kepercayaan 95%. Temuan ini sesuai dengan hasil penelitian Widiyanto *et al.* (2004) yang menyimpulkan bahwa alih guna lahan hutan menjadi lahan kopi monokultur telah menurunkan jumlah ruang pori, dan penelitian Suprayogo *et al.* (2004) dan Hairiah *et al.* (2004) yang menyatakan bahwa alih guna lahan hutan tersebut telah menurunkan makroporositas tanah.

### **Kapasitas Infiltrasi dan Sifat Biofisik Tanah**

Hasil pengukuran lapang menunjukkan adanya perbedaan kapasitas infiltrasi pada berbagai penggunaan lahan. Kapasitas infiltrasi tertinggi terdapat pada lahan semak belukar (68,99 mm/jam), kemudian berturut-turut diikuti oleh lahan hutan kota (38,20 mm/jam), pekarangan (35,11 mm/jam), tegalan (28,48 mm/jam), dan rumput (13,99 mm/jam). Dilihat dari klasifikasi Kohnke (1968; dalam Lee, 1990), kapasitas infiltrasi lahan semak belukar tergolong sedang cepat (65—125 mm/jam), kapasitas infiltrasi lahan pekarangan, hutan kota, dan tegalan tergolong sedang (20—65 mm/jam), dan kapasitas infiltrasi lahan rumput tergolong sedang lambat (5—20 mm/jam). Hasil pengukuran dan perhitungan kapasitas infiltrasi disajikan pada tabel 2.

Variasi kapasitas infiltrasi pada berbagai penggunaan lahan tersebut mengindikasikan adanya pengaruh faktor sifat biofisik tanah terhadap kapasitas infiltrasi. Pengaruh sifat biofisik tanah terhadap kapasitas infiltrasi ditunjukkan oleh hasil analisis korelasi sifat biofisik tanah dengan kapasitas infiltrasi, yaitu variabel jumlah cacing dan panjang akar berkorelasi positif dengan kapasitas infiltrasi. Kedua variabel memberi

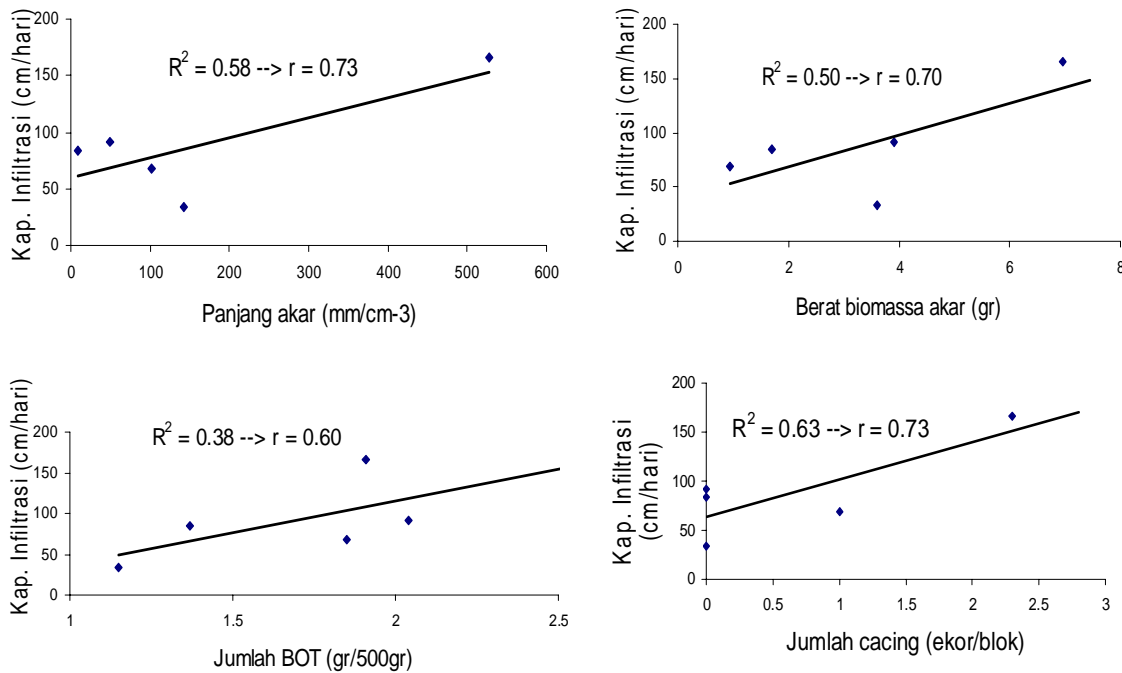


Tabel 2. Penggunaan lahan, sifat biofisik tanah, dan kapasitas infiltrasi.

No	Penggunaan Lahan	Biomassa Akar (gr)	BOT (gr/500gr)	Jumlah Cacing (ekor/blok)	Porositas Total (%)	Rerata kapasitas Infiltrasi		
						cm/hr	mm/jam	Sig( $\alpha=5\%$ )
1	Pekarangan	1,69	1,37	0	56,5	84,26	35,11	0,01
2	Rumput	3,60	1,15	0	55,2	33,58	13,99	0,10
3	Hutan Kota	3,90	2,04	0	57,6	91,69	38,20	0,07
4	Tegalan	0,95	1,85	1	56,5	68,35	28,48	0,00
5	Semak Blkr	6,95	1,91	2,3	51,6	165,58	68,99	0,10

pengaruh cukup kuat terhadap kapasitas infiltrasi dengan nilai  $r=0,73$ . Variabel berat biomassa akar juga berkorelasi positif dengan kapasitas infiltrasi dengan nilai  $r=0,70$ , sedangkan variabel BOT berpengaruh secara substansial terhadap kapasitas infiltrasi dengan nilai  $r=0,60$ . Hasil analisis korelasi sifat biofisik tanah dengan kapasitas infiltrasi dapat dilihat pada gambar 4.

Hasil analisis hubungan sifat biofisik tanah dengan kapasitas infiltrasi tersebut menunjukkan bahwa variabel panjang akar, biomassa akar, BOT, dan jumlah cacing secara substansial berpengaruh terhadap kapasitas infiltrasi. Hal ini berarti setiap perubahan nilai panjang akar, berat biomassa akar, jumlah BOT, dan jumlah cacing secara positif akan diikuti oleh perubahan nilai kapasitas infiltrasi. Dengan



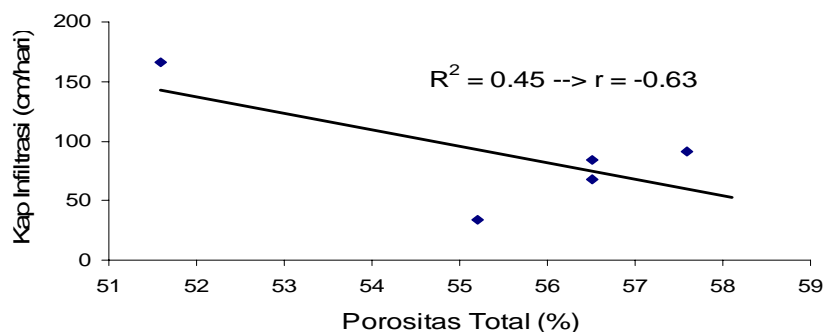
Gambar 4. Hubungan sifat biofisik tanah dengan kapasitas infiltrasi

kata lain besar-kecilnya kapasitas infiltrasi ditentukan oleh sifat biofisik tanah yang terdiri dari panjang akar, berat biomassa akar, jumlah BOT, dan jumlah cacing dalam tanah.

Sementara itu analisis korelasi porositas total dengan kapasitas infiltrasi menunjukkan bahwa kedua variabel secara substansial memiliki korelasi negatif dengan  $r = -0,63$ . Hasil uji korelasi ini tidak sesuai dengan pendapat Lee (1990) yang menyatakan bahwa besarnya nilai porositas total menentukan besarnya kapasitas infiltrasi. Nilai  $r$  yang negatif tersebut mungkin disebabkan porositas total tanah aluvial yang bertekstur lempung berliat di daerah penelitian lebih didominasi oleh pori mikro yang tidak mendukung terhadap proses infiltrasi (Wild, 1993). Menurut Stothoff *et al.* (1999) dan Suprayogo, *et al.* (2004) kapasitas infiltrasi tidak ditentukan oleh pori mikro tetapi oleh jumlah pori makro dalam tanah. Fenomena ini sesuai dengan pendapat Foth (1988) yang menyatakan bahwa tanah pasir mempunyai porositas total lebih kecil dibanding tanah liat. Akan tetapi karena tanah pasir memiliki proporsi ruang pori makro lebih banyak, maka pergerakan air di dalam tanah dapat

berlangsung cepat; sebaliknya tanah dengan tekstur halus walaupun mempunyai ruang pori total lebih banyak, tetapi karena sebagian besar tersusun atas pori mikro maka air bergerak lebih lambat. Hubungan porositas total dengan kapasitas infiltrasi disajikan pada gambar 5.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat dikatakan bahwa adanya perbedaan kapasitas infiltrasi pada berbagai jenis penggunaan lahan disebabkan setiap jenis penggunaan lahan memiliki sifat biofisik tanah yang berbeda-beda. Hal ini sesuai pendapat Asdak (2002) yang mengatakan bahwa masuknya air ke dalam tanah tergantung pada kondisi biofisik permukaan tanah. Mengenai peran sifat fisik tanah, Carrow dan Waltz (1985) dan Winanti (1996) menyatakan bahwa tekstur, struktur, porositas, dan kepadatan tanah merupakan faktor utama yang menentukan besar-kecilnya kapasitas infiltrasi. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kapasitas infiltrasi lahan terbuka di daerah penelitian ditentukan oleh sifat biofisik tanah terutama jumlah biomassa akar, BOT, dan jumlah cacing; sedangkan pengaruh porositas terhadap infiltrasi lebih diperankan oleh faktor tekstur tanah.



Gambar 5. Hubungan porositas total dengan kapasitas infiltrasi

## Pengaruh Penggunaan Lahan Terhadap Kapasitas Infiltrasi

Kemampuan tanah dalam meresapkan air ditentukan oleh sifat tanah dan kondisi permukaan tanah. Jika tanah memiliki sifat relatif sama, maka kapasitas infiltrasi ditentukan oleh faktor kondisi permukaan tanah terutama penggunaan lahan (Haan *et al.*, 1982). Hasil pengukuran kapasitas infiltrasi pada lima jenis penggunaan lahan di Kota Malang menunjukkan adanya perbedaan. Kapasitas infiltrasi tertinggi pada lahan semak belukar dengan nilai rata-rata sebesar 165,58 cm/hari, diikuti lahan hutan kota sebesar 91,69 cm/hari, lahan pekarangan sebesar 84,26 cm/hari, dan lahan tegalan sebesar 68,35 cm/hari. Sedangkan kapasitas infiltrasi lahan rumput memiliki nilai terendah yaitu sebesar 33,58 cm.hari<sup>-1</sup>. Analisis uji beda kapasitas infiltrasi memperoleh nilai T-hitung 5,15. Oleh karena nilai T-tabel ( $\alpha=5\%$ )=5,12, maka dapat disimpulkan bahwa kapasitas infiltrasi pada berbagai penggunaan lahan berbeda secara signifikan dengan taraf kepercayaan 95%.

Perbedaan kapasitas infiltrasi tersebut menunjukkan bahwa vegetasi memiliki peran besar dalam menentukan kapasitas infiltrasi; dimana kapasitas infiltrasi pada lahan bervegetasi heterogen (hutan kota, semak belukar, dan pekarangan) cenderung lebih tinggi dibanding pada lahan bervegetasi homogen (tegalan dan rumput). Vegetasi menjadi faktor penentu besarnya kapasitas infiltrasi, yaitu semakin banyak dan besar ukuran vegetasi kapasitas infiltrasi semakin besar (Stothoff *et al.*, 1999). Kapasitas infiltrasi pada lahan rumput dan tegalan yang cenderung rendah disebabkan kedua vegetasi memiliki akar serabut dengan kedalaman sangat terbatas kurang mendukung terjadinya proses infil-

trasi. Sedangkan tingginya kapasitas infiltrasi pada lahan semak belukar disebabkan lahan ini lebih bersifat alami dan memiliki komposisi vegetasi cukup bervariasi terdiri dari rumput liar, perdu, dan tanaman berbatang kayu yang mendukung terjadinya proses infiltrasi. Perbedaan kapasitas infiltrasi tersebut secara scientific benar, karena menurut Winanti (1996) pengaruh vegetasi terhadap infiltrasi ditentukan oleh sistem perakarannya yang berbeda antara tumbuhan berakar pendek, sedang, dan dalam.

Adanya perbedaan kapasitas infiltrasi pada berbagai penggunaan lahan tersebut menunjukkan bahwa faktor vegetasi (Winanti, 1996; Volk, Barker, dan Richardson, 2003) terutama jenis vegetasi (Leonard dan Andrieux, 1998) memiliki peran besar dalam menentukan kapasitas infiltrasi. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kapasitas infiltrasi pada tanah bervegetasi akan cenderung lebih tinggi dibanding tanah yang tidak bervegetasi (Lee, 1990), dan tipe vegetasi (Leonard dan Andrieux, 1998; Lee, 1990) termasuk jenis, komposisi, dan kerapatan vegetasi sangat menentukan besar-kecilnya kapasitas infiltrasi. Peran vegetasi dalam meningkatkan infiltrasi karena keberadaan vegetasi dapat meningkatkan kandungan bahan organik, jumlah dan tebal seresah, dan biota tanah (Lee, 1990; Asdak, 2002) yang mendukung berlangsungnya proses infiltrasi.

Hasil penelitian kapasitas infiltrasi pada berbagai jenis penggunaan lahan tersebut agak berbeda dengan hasil penelitian Winanti (1996) yang dilakukan di daerah dataran. Perbedaan tersebut adalah: (1) Pada penelitian ini semak belukar memiliki nilai kapasitas infiltrasi

tertinggi, sedangkan dalam penelitian Winanti semak belukar berada pada urutan ketiga dengan kemampuan meningkatkan infiltrasi sebesar 2%, (2) Pada penelitian Winanti lahan rumput memiliki kapasitas infiltrasi tertinggi dengan kemampuan meningkatkan infiltrasi sebesar 6%, sedangkan pada penelitian ini rumput berada pada urutan kelima setelah semak belukar, hutan kota, pekarangan, dan tegalan, (3) Pada penelitian ini kapasitas infiltrasi lahan pekarangan berada pada urutan ketiga, sedangkan pada penelitian Winanti nilai kapasitas infiltrasi lahan pekarangan berada di urutan kedua. Perbedaan urutan kapasitas infiltrasi tersebut mungkin disebabkan oleh perbedaan karakteristik lokasi dan metode penelitian yang digunakan.

Berdasarkan hasil penelitian di atas diketahui bahwa secara signifikan jenis penggunaan lahan memberi pengaruh pada kapasitas infiltrasi. Urutan nilai kapasitas infiltrasi dari tertinggi sampai terendah adalah lahan semak belukar, hutan kota, pekarangan, tegalan dan rumput. Lahan semak belukar mempunyai kapasitas infiltrasi dengan kategori sedang cepat, dan lahan hutan kota, pekarangan, dan tegalan mempunyai kapasitas infiltrasi dengan kategori sedang; sedangkan lahan rumput taman/lapangan mempunyai kapasitas infiltrasi dengan kategori sedang lambat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jenis penggunaan lahan yang bersifat alami seperti semak belukar dan hutan kota memiliki kemampuan tinggi dalam meresapkan air; sedangkan jenis penggunaan lahan dibudidayakan seperti rumput dan tegalan memiliki kemampuan lebih rendah dalam meresapkan air. Oleh karena perubahan penggunaan lahan di kota cenderung mengubah lahan alami menjadi

lahan budidaya, maka perubahan penggunaan lahan di kota cenderung akan menurunkan kapasitas infiltrasi.

## KESIMPULAN

1. Perubahan penggunaan lahan di kota dapat merubah sifat biofisik tanah terutama biomassa akar, BOT, dan jumlah cacing. Penggunaan lahan dengan vegetasi heterogen seperti hutan kota dan semak belukar memiliki biomassa akar dan BOT yang lebih tinggi dibanding pada lahan bervegetasi homogen seperti rumput. Uji one way ANOVA sifat biofisik tanah pada berbagai jenis penggunaan lahan menunjukkan perbedaan yang signifikan pada biomassa akar, BOT, dan porositas, tetapi tidak signifikan pada jumlah cacing.
2. Besarnya kapasitas infiltrasi dipengaruhi oleh sifat biofisik tanah terutama biomassa akar, BOT, dan jumlah cacing. Analisis korelasi sifat biofisik tanah dengan kapasitas infiltrasi menunjukkan bahwa biomassa akar dan jumlah cacing memiliki korelasi cukup tinggi ( $r=0,70$ ) dan variabel BOT memiliki korelasi substansial ( $r=0,60$ ), sedangkan variabel porositas memiliki korelasi substansial negatif ( $r=-0,63$ ). Korelasi negatif porositas dengan infiltrasi disebabkan tanah di daerah penelitian bertekstur lempung berliat yang didominasi pori mikro yang tidak mendukung proses infiltrasi.
3. Perubahan penggunaan lahan terbuka di Kota Malang lahan tegalan dan semak belukar menjadi lahan rumput, pekarangan, dan hutan kota dapat meningkatkan dan menurunkan kapa-

sitas infiltrasi. Hal ini terjadi karena perubahan penggunaan lahan dapat merubah sifat biofisik tanah, dan sifat biofisik tanah dapat memengaruhi kemampuan tanah dalam meresapkan air.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari disertasi penulis yang berjudul Perubahan Tata Guna Lahan dan Resapan Air di Kota

(Optimalisasi Resapan Air Dalam Pengelolaan Lahan Kota Malang). Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terimakasih dan penghargaan kepada Prof. Ir. Wani Hadi Utomo, PhD; Ir. Didik Suprayogo, MSc,PhD; dan Dr. Ir. Zaenal Kusuma, MS yang telah banyak memberi bimbingan dan pengarahan. Serta Sdr. Ngadirin Laboran Lab. Fisika Tanah Unibraw yang banyak membantu dalam pengumpulan dan analisis sampel tanah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F. 2004. Dampak Lingkungan Alih Guna Lahan Sawah. Harian Umum *Tempo*, 21 Desember 2004.
- Anggoro Sigit, Agus. 2007. "Analisis Proses Degradasi Lahan dan Dampaknya terhadap Produktivitas Lahan Pertanian di Kabupaten Klaten". *Forum Geografi*, Volume 21 Nomor 2 Tahun 2007. Hlm 155-173.
- Anonim, 2001. Air Bawah Tanah (Groundwater). <http://www.lablink.or.id/Hidro/air-bawah-tanah.htm>.
- Asdak, C. 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- BAPPEDA Kota Malang, 2001. *Evaluasi/Revisi Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Malang Tahun 2001 – 2010*. BAPPEDA Kota Malang, Malang.
- BAPPEDALDA Kota Malang, 2002. *Neraca Sumberdaya Alam Spasial Daerah Tahun 2002*. Pemerintah Kota Malang, Malang.
- Carrow, R.N. dan Waltz, C. 1985. *Turfgrass Soil & Water Relationships*. Crop and Soil Science Dept., Universty of Georgia , Georgia.
- Djunaedi, 1990. *Pola Tata Guna Tanah Beberapa Ibukota Kecamatan di DIY*. Laporan Penelitian, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Foth, H.D. 1984. *Fundamental of Soil Science*. John Willey and Sons, New York.
- Hairiah, K. dan Aini, F.K., 2005. Praktikum Biologi Tanah. Lab. Biologi Tanah Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.
- Haan, C.T., Johnson, H.P., dan Brakensiek, D.L.. 1982. *Hydrologic Modelling of Small Watershed*. American Society of Agriculture Engineers, Michigan.
- Lee, R. 1990. *Hidrologi Hutan*. Gama Press, Yogyakarta.
- Leonard, J dan Andrieux, P. 1998. Infiltration Characteristic of Soil in Mediterranean Vineyards in Southern France. *J. Catena* **32**: 209-233.

- Liedloff, A.C., Ludwig, J.A., dan Coughenour, M.B. 2003. Simulating Overland Flow and Soil Infiltration Using an Ecological Approach, in David A Post (ed), *Proc. Vol. 2. Natural System, Modsim*, Townsville, p. 525-519.
- Priyono, S. 2000. *Petunjuk Analisis Sifat Fisik Tanah*. Lab. Fisika Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.
- Schwab, G.O., Fangmeir, D.D., Elliot, W.J., and Frevert, R.K. 1992. *Soil and Water Conservation Engineering*. Four Edition, John Wiley & Sons. Inc, New York. Susanto, R.H. dan Purnomo, R.H (penterjemah). 1997. *Teknik Konservasi Tanah dan Air*. CFWMS Sriwijaya University, Palembang.
- Sosrodarsono, S. dan Takeda, K. 2003. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Stothoff, S.A. 1999. The effect of vegetation on infiltration in shallow soil underlain by fissure bedrock. *J. Hydrology* **218**:169-190.
- Sulaiman, W. 2002. *Jalan Pintar Menguasai SPSS*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Sunartono. 1995. Optimalisasi Pemanfaatan Lahan Di Perkotaan Melalui Pembangunan Kawasan Siap Bangun, Makalah disajikan dalam *Seminar Nasional Empat Windu Fakultas Geografi UGM*, Tanggal 2 September 1995, di UGM Yogyakarta.
- Suprayogo, D., Widiyanto, Purnomosidi, P., Widodo, R.H., Rusiana, F., Aini, Z.Z., Khasanah, N., dan Kusuma, Z. 2004. Degradasi Sifat Fisik Tanah Sebagai Akibat Alih Guna Lahan Hutan Menjadi Sistem Kopi Monokultur: Kajian Perubahan Makroporositas Tanah, *J. Agrivita* **26** (1): 60-68.
- Suripin. 2002. *Pelestarian Sumberdaya Tanah dan Air*. Penerbit Andi, Yogyakarta
- Suryantoro, A. 2002. Perubahan Penggunaan Lahan Kota Yogyakarta Tahun 1959 – 1996 Dengan Menggunakan Foto Udara, *Disertasi S-3*, Program Pasca Sarjana-UGM, Yogyakarta.
- Travis, C.C. dan Etnier, E.L. 1984. *Groundwater Pollution*. Westview Press, Inc., Colorado.
- Utaya, Sugeng. 2008. Perubahan Tata Guna Lahan dan Resapan Air di Kota: “Optimalisasi Resapan Air Dalam Pengelolaan Lahan Kota Malang”, *Disertasi S-3*, Program Pasca Sarjana-Unibraw, Malang.
- Volk, J., Barker, W., dan Richardson, J. 2003. Soil Health in Relation to Grazing. Range Science and Soil Science Department. <http://www.ag.ndsu.nodak.edu/street/2003report/Soil%20Health%20in%20Relation%20to%20Grazing.htm>.
- Winanti, T. 1996. Pekarangan Sebagai Media Peresapan Air Hujan Dalam Upaya Pengelolaan Sumberdaya Air, Makalah disajikan dalam *Konferensi Nasional Pusat Studi Lingkungan BKPSL*, Tanggal 22-24 Oktober 1996 di Universitas Udayana, Denpasar Bali.
- Widiyanto, Suprayogo, D., Noveras, H., Widodo, R.H., Purnomosidi, P., dan Noordwijk, M.V. 2004. Alih Guna Lahan Hutan Menjadi Lahan Pertanian: Apakah Fungsi Hidrologis Hutan Dapat Digantikan Sistem Kopi Monokultur?, *J. Agrivita*. **26** (1): 47-52.
- Wild, A. 1993. *Soils and The Environment: An Introduction*. Cambridge University, New York.
- Wu, J., Zhang, R., dan Yang, J. 1996. Estimating Infiltration Recharge Using a Response Function Model. *J. Hydrology* **198**:124-139.

# THE LANDSLIDE DISTRIBUTION IN LOANO SUB-DISTRICT, PURWOREJO DISTRICT, CENTRAL JAVA PROVINCE, INDONESIA

**Junun Sartohadi**

Department of Environmental Geography  
Faculty of Geography  
Gadjah Mada University  
Yogyakarta, Indonesia  
E-mail: panyidiksiti@yahoo.com

## **ABSTRACT**

*This research was proposed to figure out the importance of human influence on landslide disaster. The research objectives were: (1) to map the locations of landslide during the period of January 2004 – March 2008 of the study area; (2) to map the degree of landslide hazard of the study area; (3) to analyze the distribution of landslide based on the landslide hazard map; and (4) to analyze the distribution of landslide based on the road network. The method of this research consists of field survey and laboratory works. The field survey was intended to map the location of landslide which happened during the period of January 2004 up to March 2008. The land characteristics and land qualities data have been collected based on geomorphological approach. The laboratory works were proposed to analyze the field data of land characteristics and land qualities for landslide hazards classification and mapping purposes. Scoring method was applied for landslide hazard evaluation. Some geographical information techniques were applied for mapping purposes and spatial data analysis of landslide distribution. Map overlay and buffering techniques were applied during landslide distribution analysis. The results of the research showed that: (1) there were 291 landslides collected during the research period; (2) the study area consists of very high, high, moderate, and low of landslide hazard classes. There was no safe area of landslide hazard within the study area; (3) most the landslide occasions were more influenced by human activities than derived by physical conditions. Some of human activities that induced landslide in the study area were slope cutting for: road construction, houses, agricultural purposes, and sand and stone mining in the river canal; (4) the spatial distribution of most landslide (>90%) were parallel with road networks.*

**Keywords:** *landslide, hazard, spatial distribution, geomorphological approach*

## **INTRODUCTION**

Indonesia is the country with the second highest number of landslides in the world after China (ILC, 2004). Specifically, the landslide occasions in Java Island within 16 years, since 1990 up to 2006, were more than 1000 occasions with average 62 occasions annually (Hadmoko 2007, Hadmoko and Lavigne 2007, Marfai et al 2007). The highest number of landslide in Indonesia is due to topographical condition in combi-

nation with rainfall. The topographic situation may vary from gently to very steep. The rainfall is usually more than 2000mm/year. The high population growth creates some new settlement areas located in the hilly area. Based on the previous statement, the landslide hazard in Indonesia tends to generate casualty, material losses and damage.

Purworejo District is one of the regions in Central Java Province which is

vulnerable to landslide hazard. Purworejo District is located at 109.78° E, 7.91° S to 110.15° E, 7.51° S. The collected data from institutional surveys and fieldworks since January 2004 up to March 2008 showed that there were 316 landslides. All the landslides dispersed in the hilly and mountainous areas. The hilly and mountainous area dominated 40 % of the district. The high number of landslide occasions happened in 2004, which happened in the two extreme rainfall intensity (>70mm/hour) in the January 29<sup>th</sup> 2004 and December 27<sup>th</sup> 2004.

The Loano Sub-district is one of the very vulnerable areas of landslide hazard in Purworejo District. Figure 1 shows Purworejo District and the Loano Sub-district as the study area. Among 320 of the landslide occasions in the year 2004 up to 2008, there were more than 290 landslides (>90%) with various size found in the Loano Sub-district. The landslide occasions in the Loano Sub-district mostly happened during 2004, subsequent with the high extreme precipitation which happened generally in Purworejo District.

The landslides in Loano Sub-district provoked casualty and material losses and damage. The casualty happened if the landslide took place near to settlement area and or in the settlement area. The material losses and damages occurred when the landslide happened in the settlement area or public facilities, such as road. When the landslide took place in the road, the village or the sub-village will be inaccessible. This will affect the relief and the aid distribution program in order to minimize the victims.

The field observations during more

than 3 years research period had figured out that the study area was located in the landslide prone area. The landslide happened in all parts of the study area both in the rolling, hilly, and mountainous areas. Quick observation of the landslide distribution showed that most of the landslides were located nearby the road. Based on all of the mentioned situations, the research problems were formulated as follow:

1. How are the spatial distribution of the landslides during period of January 2004-March 2008?
2. How is the vulnerability and hazard map of the landslides in the study area?
3. Are the landslides in the study area always located in the high vulnerable area?
4. Is the road network in the study area traversing the high vulnerable area of landslide?

Based on the research problems formulation, the objectives of this research were formulated below:

1. to map the landslide during the study period of January 2004 – March 2008
2. to prepare landslide hazard map of the study area based on the evaluation of physical conditions presented in the 1 : 25.000 scale of base map
3. to analyze the distribution of landslide based on the landslide hazard map
4. to analyze the distribution of landslide based on the road networks

Landslide is a gravitational process working on every material located in the sloping areas. Since the landslide is considered as gravitational process, the physical principle is able to explain the landslide process.



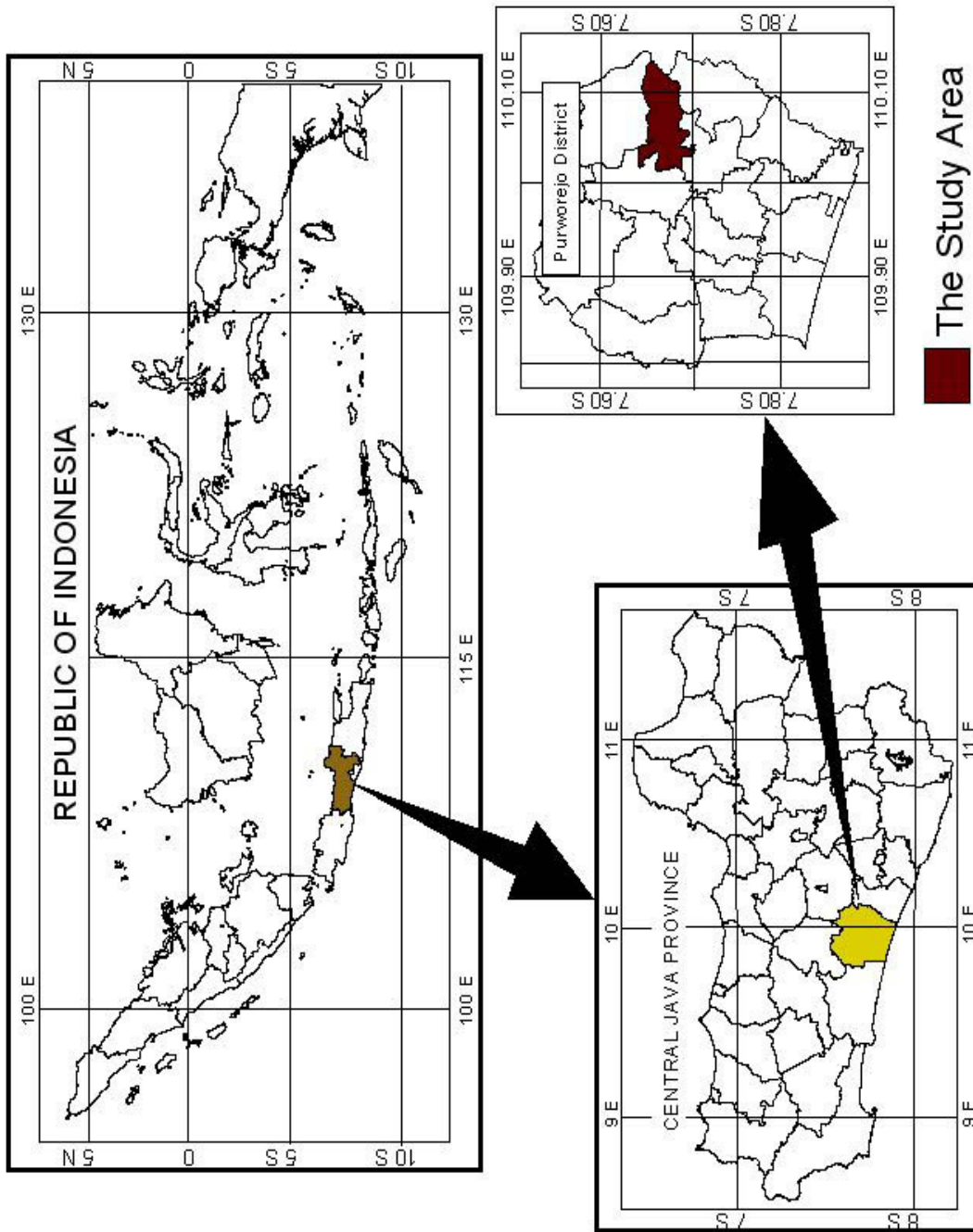


Figure 1. The Schematic Location of the Study Area in Indonesia

$$E_p = m \cdot g \cdot h \text{ (Kuhn, 1996)}$$

$E_p$  : the potential energy

$m$  : mass weight

$g$  : the acceleration of gravity

$h$  : the height difference

According to physical principle above, some statements are formulated below:

- a) mass weight of the landslide material consists of soil, rock, biomass, and man-made building. The heavier the mass weight, the higher potential energy which cause landslide.
- b) all of the materials located in the certain elevation will be affected by gravitational force. The force of gravity of all material on all the Earth's surface is relatively constant, which is  $9.8 \text{ m/s}^2$ .
- c) the elevation difference can be defined as the different between the initial position of material and the end position of landslide materials deposited. The line linking those two points is defined as slope. The larger the slope, the greater the potential energy which caused landslide.

Mass weight is a factor which is dynamic in nature and can be influenced by the natural as well as artificial environmental changing. The natural changing is the variation of humidity in the dry and the rainy season. The artificial environmental change is caused by land use and land management. Generally, landslide happens during the rainy season.

Mass weight changes, which caused landslide, are controlled by several factors,

such as the soil thickness, soil structure, soil texture, degree of weathering process, weathered soil thickness, rock type and rock structure. The rock and soil characteristics are determining the amount of water content in it. The larger the capacity to absorb water, the larger the potency of mass weight change (Schaetzl and Anderson, 2005).

The type of human activities potentially induced change of mass weight and slope inclination. The terrace construction for agricultural land and or settlement development also potentially contributes to the changes of mass weight. The terrace construction may introduce more infiltration water both in the soil and in the rock formations. Meanwhile, changes of slope inclination occurred due to the slope cutting for road network or terrace application. The development of fish pond or other infrastructure developments to control overland flow also increase the mass weight. High density plantation of perennial crop which is not the indigenous types of local plantation may also articulate as the additional mass weight (Cornforth, 2004).

## THE RESEARCH METHODS

### Landslide distribution mapping

Census method has been applied to map the landslide. All landslides were identified using the Global Positioning System (GPS). All points with GPS positions were plotted into the 1 : 25.000 scale of base map. Landslides mapped in this study were the landslide which happened during the period January 2004 – March 2008. The data collection was started from January 2004 as the research cooperation between the Department of Physical Geography and the local government of the Purworejo

District was initiated. This report was made after the end of the rainy season of the year 2008, that was in March.

### Landslide hazard mapping

Geomorphological approach has been applied widely for hazard and environmental impact assessment, including landslide hazard mapping (Alkema and Cavallin 2001). Research pertaining to landslide assessment using geomorphological approach has been done by researchers in the world, as examples Marfai (2007), Moeyesons (2004), Korup (2003), Van Westen et al (2003), Dai et al (2002), Moon and Simpson (2002), Shuzui (2001), and Slymaker and Spencer (1998). In this study, landslide hazard mapping was based on the geomorphological approach with landform as the analysis unit. The evaluation of landslide hazard was based on the land characteristics and land quality analysis. The land characteristics applied in the landslide hazard mapping covered slope inclination, soil characteristics, rock characteristics, and land use types. The landslide hazard evaluation was based on scoring method (Table 1).

The land characteristics were classified into five categories. The highest score, 5, means the strongest contribution to the landslide. The lowest score, 1, means the least contribution to landslide. Weighing was formulated based on the understanding towards the influence factor and triggering factor of landslide. The gravitational force which acts upon soil mass or rocks was the strongest influence factor of landslide. In the field, it is easily define as the slope inclination. Thus, to assess the landslide hazard status, the slope factor was considered as the utmost weight compared to other factors.

The triggering factor was categorized into twofold, first the static factor, and second, the dynamic factor. Higher weight was given to dynamic factor because the landslide occurrence always triggered by the changes on the potential energy which dynamic in nature. The rainfall factor and land use were included in this dynamic factors. The weight given to rainfall was higher compared to land use because it gave abruptly clear impact to the weight of soil mass and or rock mass compared to land use. The

Table 1. Land quality and characteristic for landslide

No	Land quality	Land characteristics
1	Topography	Slope angle
2	Lithology	Type of rock
3	Soils	Soil thickness
		Soil permeability
		Soil texture
4	Climate	Rainfall
5	Land use	Land use type

Source: Gunadi, et al., 2004.

dynamic factors also included the earthquake factor as a triggering factor to landslide. Since the study area was relatively small, it was assumed to have similar chance towards earthquake. Hence, the earthquake factor was not included in the evaluation of landslide hazard.

The groundwater condition plays role on the landsliding processes. The changes of groundwater was controlled by the infiltration rate of the soil and rock layers above the phreatic surface of groundwater, the occurrence of rainfall water, and the landuse types such as fish pound and paddy field with terraces. The infiltration rate was influenced by the properties of soil and rock layers which had been evaluated as separate factors as well as landuse types. Therefore, in order to avoid double evaluation the groundwater condition was not evaluated separately in the landslide hazard mapping processes.

Static factor was divided into two-fold, soil and rock. Rock was weighted higher than the soil because rock was underlying of soil layer. Changes occurs to-

wards bed rock will instantly affect the soil stability overlying on it. Meanwhile, any changes occurs within the soil was not correspond directly towards the underlying bed rock. Detailed weighing techniques were given in the following Table 2.

### **Distribution of landslide and landslide hazard**

The landslide, which already mapped in to the base map was hence being descriptively analyzed to study the distribution using landslide hazard map and road network. Map overlay techniques were applied to analyze the distribution of landslide based on areas of landslide hazard classes. Buffering techniques were applied to analyze the distribution landslide based on road network. In the analysis of landslide distribution based on the road network, 100 meter buffering technique was applied. That distance was mainly considering the 1:25.000 scale of base map used in the research. Therefore, 100 meter in the field is equal to 4 mm in the map. In facts, the field observations of the landslide located less than 100 m distance from the road was induced by the road constructions.

Table 2. Weighing Parameters for Landslide Hazard Mapping

Source: Gunadi, et al., 2004.

Table 3. Landslide Hazard Classification

No	Degree of Landslide Hazard	Total Score
1	Very low	24 – 43,2
2	Low	>43,2 – 62,4
3	Moderate	>62,4 – 81,6
4	High	>81,6 – 100,8
5	Very High	>100,8 – 120

Source: Gunadi, et al., 2004.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

### The geomorphology and the general descriptions of the study area

Morphologically, the study area is situated in the hilly to mountainous landscape with narrow inter-hills and inter-mountainous valleys. Started from the main road that connecting Purworejo city to Magelang, the elevation of the study area is gradually increased to both directions of west and east in the form as mountainous areas. The hilly part of the study areas were formed of tuffaceous sandstone in the western part and breccias hill in the middle to the east. The tuffaceous sandstone hills were covered by volcanic material from Sumbing Volcano. The breccias hills were interrupted by andesitic lava and limestone hills in the top of the eastern mountainous area.

Stratigraphically, the study area was formed from the oldest rock such as tuffaceous sandstone which overlaid with andesite-dacite breccia and limestone. The formations of those rocks were uplifted and at the same time it was interrupted by andesite lava, thus it is seen as the recent morphology. The highest elevation of the mountainous area is covered by limestone

and it is only occupy a small portion of the mountainous area.

Faulting and joint process also occurred during the uplifting process. Across the joint and fault line there were exogenous process such as weathering, erosion, mass-wasting and sedimentation forming a stream channel order 1 to 4. The dominant process along the stream was should be valley deepening and valley lengthening. Since the river bed was consists of hard rock, thus the widening process and meandering process become more intensive.

The characteristics of landform in the study area can be summarized in the Table 4. The andesitic breccias mountain and hills are located in the eastern side, while the tuffaceous sandstone hills are located in the western side. The alluvium plain is located along the river. Those 5 main landform was delineated more detail based on the contour pattern analysis and their morphoarrangement to perform detail landform units. Based on the landform units the land characteristics and land quality were evaluated to generate information about landslide hazard class. Therefore, the delineation unit of the landslide hazard map presented in the Figure 2 was based on the landform unit delineation.

Table 4. The Landform Characteristic of the Study Area.

Nr	Morphology	Main Rocks Formation	Structure	Genesis	Acreage (Ha)
1	Undulating Plain	Alluvium	Horizontal	Fluvial	1766.0
2	Hills	Andesitic Breccias	Massive	Tertiary-Volcanic	898.0
3	Mountain	Andesitic Breccias – Andesitic Intrusion	Massive	Tertiary-Volcanic	2035.6
4	Hills	Tuffaceous Sandstone	Massive	Tertiary-Volcanic	520,0
5	Mountain	Limestone	Massive	Solutional	41.0

Source: map analysis

Climatic condition in the study area was tropical wet climate, with annual precipitation more than 2900mm, 8 wet months during the year. Extreme monthly rainfall (>300mm/month) is in December-March. The existing climate condition, the geomorphological factors and the land use were affecting the study area to have high landslide hazard.

The topography of study area was highly induced by human activities. In the initial regional development, the settlement was only occupied the plain areas. In the further development, the break of slope zones between the middle slope and upper slope also settled by the inhabitant. Many new settlements occupied the break slope zone since the availability of springs which can be fulfilling the need of domestic water around this area. The rest area was utilized for agricultural activities with the terraces practice. The human induced activities which appear as landuse type within the study area and its relation with the landslides distribution were presented in Table 5. The highest density of landslide occurs in the settlement area.

The road network in the study area consists of national, provincial, and local

road. The national road is the largest road and it divides the study area into two parts, west and east parts. The national road that connecting Purworejo and Magelang has two branches: to the west direction to Kepil-Wonosobo, and to the east direction to Banyuasin. Separate the capital city of the Loano Sub-district. The local road has many branches that connecting villages to the capital city of the Loano Sub-district.

Since year of 90's, had been initiated a program dealing with the road improvement from narrow trail into road that can be passed by four wheels vehicle. Many roads were widened and stiffened with the river stones in order to open the isolated settlement. The road improvement process was carried out by cut and fill of land across the slopes. Those activities continued until this moment in form of asphaltting, hence the big vehicles (trucks) intensity is getting higher in the village's road. The traffic which transports heavy material such as timbers or building materials had vibrated the land surround the road and has triggered the landslide process.

Natural resources exploitation has decreased the carrying capacity of the study

Table 5. Landuse Type and Landslide Distribution

Source: map analysis

area. One of the natural resource exploitation is the form of building materials (sand and stone) mining. The sand and stone mining activities along the river had been getting more intensive in accordance with the road construction in order to open the isolated area (Ritohardoyo, 2005). The deposition rate along the river has not balanced with sand and stone removal. Finally, the

mining activities along the river had deepened the river canal body and in the same time the stream has directly reached the bed rock, i.e. volcanic breccia and andesite lava flow. This valley deepening process had steepened the river slope. Since the stream could not erode the bedrock anymore, as a consequence riverbank erosion becomes more intensive. Those two situations, valley deepening and river bank erosion were becoming trigger factor controlled the landslide along the river bank. Schematic situation of the footslope - river bank landslide processed is presented in Figure 2. On that figures the vegetation situation have not been presented since there were no significant landuse changes.

**Landslide Hazard of the Study Area**

Based on the geomorphological approach and landslide hazard evaluation by scoring method, the study area consist of

four classes of hazard, i.e.: low, moderate, high, and very high. The scoring was made base on land characteristics evaluation measured in every landform unit. The distribution of landslide hazard areas within the study area is presented in Figure 3. In the study area there was no save area of landslide. Table 5 presented the composition of the study area based on the land-

slide hazard classes. The numbers of landslides within every landslide hazard class as presented in the Table 5 showed that 44% of landslide occasions were situated in the low landslide hazard areas. This was un-logical situation because most of landslide occasions must be situated in the high and or very high landslide hazard areas. The mapping process of the landslide hazard in the study area was done based on the 1 : 25.000 scale of base map. This base map had 12,5 m contour intervals. The landslide occasions occur in the low landslide hazard class were triggered by human activities that created steep slope with elevation differences less than 12,5 m. Therefore, those situations were not able detected from the base map used in this research.

The areas of low landslide hazard occupied the alluvial plain and colluvial –

Landuse Type	Dimension (Ha)	Number of Landslides	Landslide hazard classes Density (Ha <sup>-1</sup> )
Mixed garden	3063.7	150	0.05
Settlement	630.9	66	0.10
Paddy field	1212.2	69	0.06
Dry land farm	347.9	6	0.02
Total	5260.6	291	0.05

Figure 2. The cracks on the nearby road constructions and river bank initiate the landslide in the low landslide hazard areas which can not be identified through the 1 : 25.000 scale of base map.

foot slope landform. Those landforms were situated narrowly along the main river in the study area. Within this area, the main road connecting the capital city of sub-district with the capital city of district was located. Nearby areas of the main local road was recently become more occupied by

houses having function both for business and/or living place.

The areas of moderate landslide hazard were situated on the hills and mountain foot slopes zone. Those areas were mostly used as enlargement of settlement



Table 5. The Relation between Landslides Points and Landslide Hazard Classes

Number of Landform Unit	Hazard Classes	Area dimension		Landslide Points	
		Ha	%	Number of Landslides	Density (Ha <sup>-1</sup> )
1	Very Low	0	0	0	0
2	Low	1766.0	33.6	127	0,072
3	Moderate	1418.0	27.0	56	0,039
4	High	2035.6	38.7	108	0,054
5	Very High	41.0	0.8	0	0
S u m		5260.6	100	291	-

Source: map analysis

purposes with accompanied facilities. The moderate landslide hazards classes were also located around the old settlement areas. The dry land agriculture and mix garden farm were typical landuse types in the area of moderate landslide hazard.

The high landslide hazard classes were situated on the hills-mountain of breccia with biggest proportion of large area compared with the other classes. The steep slope condition, the availability of common landuse such as mixed plantation and dry land farms combined with the soil characteristic and weathered rock which has high infiltration capacity was the major causing factors to the high class of the landslide hazard.

According to the data showed in Table 5, the landslides mostly happened in the area with low level of landslide hazard. Many landslides occurred in the narrow alluvial plain along the river. The area of alluvial plain was generally utilized as settlement and wet land agriculture such as paddy field. Sand and stone mining along the river had triggered the landslide pro-

cesses. These landslides had given negative impact to the settlement and road infrastructure which directly cause many inhabitant killed and loss of property. At least 12 lost of life and 8 houses was completely destroyed by landslide during the year 2004.

Many road sections were situated in the border area between alluvial plain and hills footslope. The cutting slope activities on the footslope which composed by landslide deposit had become a triggering factor along the road to the capital city of the Loano Sub-District.

The landslide density within the high landslide hazard class was approximately one landslide per 2 ha of land. This area was dominated by mixed garden and dry land agriculture land. Moreover, this area is not relatively disturbed compared with the plain area. Many landslides which happened within this area were considerably because of the natural factors.

The landslide occurrence during the study period was not recorded inside the very high landslide hazard area. This was

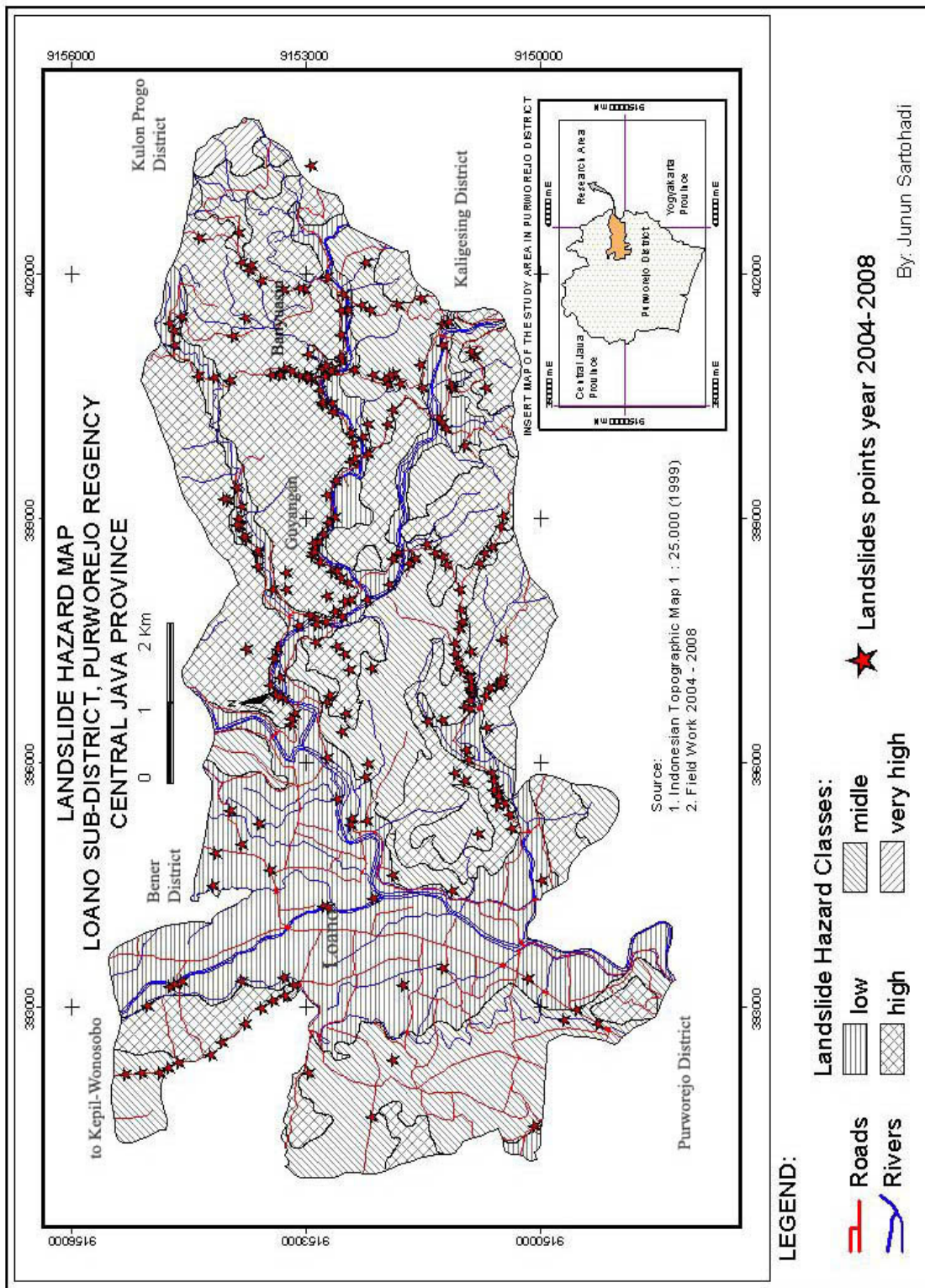


Figure 3. Landslide Hazard Map of Loano Sub-District, Purworejo Regency, Central Java Province

might be caused by the relatively limited acreage compared with the others. Another reason was that the soil in that area was relatively thin. Hence, the utilization of this soil was not so intensive and tends to be leaved in natural condition as a bushes land area.

### Road networks across the landslide hazard area

There were 3 classes of road, i.e. local, provincial, and national. The local roads cover all the interconnection roads of villages and sub-villages that able for four wheels vehicles. The provincial road was the main road connecting the study area and Wonosobo District. The national road is the main road connecting Purworejo District and Magelang District. All of those roads across the study area having varied of landslide hazard classes as showed in the Tabel 6.

The landslide located around the road with the maximum distance 100 m were considered as landslide influenced by road construction. The influence of road construction could be in the form of slope cutting, ground vibration due to heavy vehicle movement, and runoff concentration along

the road. The slope cutting was considered as slope steepening. As mentioned in the theory the slope steepening and ground vibration were two main factors controlling landslide processes. The slope cutting were often to cut the lithological contact between permeable and impermeable layers. The lithological contact would become seepage or spring water line along the road. During the raining time, this lithological contact could act as slickenside plane for landslide.

The highest density of landslide occurred in the provincial roads crossing the high landslide hazard area. The provincial road from the study area toward Kepil Sub-District in Wonosobo was the climb-up road. The areas crossed by road were consisting deeply weathered old Sumbing Volcano materials. Slope cutting along the provincial road had created steep road side slope. Therefore, those situations had created some landslide occasions particularly during the rainy season.

The national road crossed mostly gentle slope within the study area. The national road only consisted of small distance road crossed hills foot slope. The landslide

Table 6. Road Network in the Study Area Related with Landslide Hazard Classes

Hazard Level	Provincial Road			National Road			Local Road		
	Length (Km)	Number of Landslide	Density (Km <sup>-1</sup> )	Length (Km)	Number of Landslide	Density (Km <sup>-1</sup> )	Length (Km)	Number of Landslide	Density (Km <sup>-1</sup> )
Low	0.8	0	0.0	5.61	4	0.71	66.21	123	1.9
Moderate	0.82	4	4.9	0.7	1	1.43	35.91	45	1.3
High	1.49	8	5.4	0	0	0.00	21.1	95	4.5
Very High	0	0	0.0	0	0	0.00	0.11	0	0.0
Total	3.11	12	-	6.31	5	-	123.33	248	-

Source: map analysis

occasions were mostly located around the bridges. The canal where the bridge located usually become an outlet of some drainage canal around the road. Some of canal was too small and the stream was too strong during the raining time. Nevertheless, the stream were often eroding the area around the bridge and created small landslide. The ground vibration due to moving heavy vehicle also could act as another trigger factors for landslide around the national roads.

The highest density of landslides along the local road was located in the high landslide hazard area. Comparing the data presented in the Table 5 and Table 6, most of the landslides were influenced by road construction. Only about 10% of the landslides were due to physical condition of the land.

High numbers of landslides were found along the local road crossing the low landslide hazard area. Most of the roads crossed the gentle slope located along the border line between footslope and alluvial plain. The small slope cutting in the hills and mountain foot slope had created higher hazard status of landslide. Moreover, the sand and stone mining in the river canal had created landslides along the river bank within the alluvial plain.

## CONCLUSIONS

The conclusions of this research based on some point discussed in the previous parts could be formulated below:

- 1) there were 291 landslides during the research period started in January 2004 up to March 2008.
- 2) based on the geomorphological approach, the landslide hazard of the

study area can be evaluated. The study area consisted of: low, moderate, high, and very high classes. There were no save area of landslide in the study area.

- 3) most the landslide occasions were more influenced by human activities than derived by physical conditions. Some of human activities that induced landslide in the study area were slope cutting for: road construction, houses, agricultural purposes, and sand and stone mining in the river canal.
- 4) the spatial distribution of most landslide (>90%) were parallel with road networks.

## RECOMMENDATIONS

Some recommendations related to the results of the research were formulated as follow:

- 1) to minimize the landslide along the roads, the slopes side of the road should be stabilized
- 2) river stream should be maintained in order to minimize under cutting processes due to river bank erosion; slope of river bank should be stabilized.
- 3) slope stabilization in the area surrounding of settlement is needed
- 4) community empowerment is necessary in order to improve people capacity to cope the landslide
- 5) further research in landslide hazard which strong consideration on impact of human activity is required.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to express his deep gratitude to some of his colleagues: Mr. Danang Sri Hadmoko, MS. Ainun Harlin, Mr. Nugroho Christanto, Mr. Anggri Setiawan as well as Mr. Aris Marfai, MS.

Dyah Rahmawati and MS. Estuning Tyas who have shared their time during the field data collections. They also have given some improvement comments on the first draft of this paper. Great appreciation also extends to all of his students who have done many field works in Loano Sub-District.

## REFERENCES

- Alkema, D and Cavallin, (2001). Geomorphologic Risk Assessment for EIA. *Studi Trontini, di Scienze Natureli, Acta Geologica*, 78, 139-145.
- Cornforth, D.H., 2004. *Landslide in Practice: Investigations, Analysis, and Remedial/ Preventive Options in Soils*. John Willey & Sons, Inc., USA.
- Dai FC, Lee CF, Ngai YY. (2002). Landslide Risk Assessment and Management: an overview. *Engineering Geology*, 64, 65-87.
- Gunadi, S., Sartohadi, J, Hadmoko, D.S., Hardiatmo, H.C., and Giyarsih, S.R., 2004. Tingkat Bahaya Longsor di Kecamatan Samigaluh dan Daerah Sekitarnya, Kabupaten Kulonprogo, Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta: *Prosiding Seminar Nasional Degradasi Hutan dan Laban*, Yogyakarta 10-11 Desember 2004.
- Hadmoko, D.S., 2007. Toward GIS-based integrated landslide hazard assessment: a critical overview, *Indonesian Journal of Geography*, 34 (1), 55-77.
- Hadmoko D.S, Lavigne F, 2007. *Landslides in Menoreh Mountains, Central Java, Indonesia: dynamics, triggering, spatio-temporal analysis, and associated hazards*. Paper presented on the International Conference of International Association of Geomorphologists on Environmental Change in the Tropic. Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia 22–25 June.
- ILC, 2004. *International Landslide Centre*. University of Durham. <http://www.landslidecentre.org/database.htm>. March 15th 2008
- Korup, O (2003). Geomorphometric Characteristics of New Zealand Landslide Dams. *Engineering Geology*, 73, 13-35.
- Kuhn, F.K., 1996. *Basic Physics: A Self-Teaching Guide*. John Willey & Sons Inc. USA
- Kuswaji Dwi Priyono, Yuli Priyana, dan Priyono. 2006. “Analisis Tingkat Bahaya Longsor Tanah di Kecamatan Banjarmangu Kabupaten Banjarnegara”. *Forum Geografi*, Vol. 20. No. 2. Desember 2006. Hlm. 175-189.
- Marfai, M.A. (2007). Landslide Susceptibility Mapping of Middle Agri-River Basin, San Lorenzo Area, Southern Italy. *Issues on Geomorphology and Environment*. Eds: S.K.Basu & Sunil Kr. De. Pp 48-54. ACB Publications, Kolkata India.

- Marfai, M.A., King, L., Singh, L.P., Mardiatno, D., Sartohadi, J., Hadmoko, D.S., Dewi., 2007. Natural hazards in Central Java Province, Indonesia: an overview, *Environmental Geology* DOI 10.1007/s00254-007-1169-9. <http://www.springerlink.com/content/8u38826x8g716t40/>. Marc 16th 200
- Moeyersons J, Trefois Ph, Lavreau J, Alimesi D, Badriya I, Mitima B, Mundala M, Munganga D.O, Nahimana L (2004). A Geomorphological Assessment of Landslide Origin at Bukavu, Democratic Republic of The Congo. *Engineering Geology*, 72, 73-87.
- Moon, V and Simpson CJ. (2002). Large-Scale Mass Wasting in Ancient Volcanic Materials. *Engineering Geology*, 64, 41-64.
- Ritohardoyo, S. dan Priyono. 2005. "Perkembangan Permukiman dan Perubahan Daya Dukung Lingkungan Perdesaan Daerah Aliran Sungai Progo". *Forum Geografi*, Vol. 19, No. 2, Desember 2005. Hlm 127-141.
- Schaetzl, R., and S. Anderson, 2005. *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press, UK.
- Slaymaker, O., and T. Spencer, 1998. *Physical Geography and Global Environmental Change*. Longman Ltd., Edinburgh U.K.
- Van Westen C.J., Rengers N, and Soeters R (2003). Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assessment. *Natural Hazards*, 30, 349-419.

# AKURASI METODE IDW DAN KRIGING UNTUK INTERPOLASI SEBARAN SEDIMEN TERSUSPENSI DI MAROS, SULAWESI SELATAN

**Gatot H. Pramono**

Peneliti SIG di Bakosurtanal  
Telpon: 021-875-9481  
E-mail: gatot@bakosurtanal.go.id

## ABSTRACT

*Physical conditions of seawater in coastal area can be studied by sampling at several locations. To perform spatial analysis, the data should be interpolated to get the values between sample points. Several approaches for interpolation may result in different outcomes. The purpose of this research is to compare Inverse Distance Weighted (IDW) and Kriging methods. Their parameters are studied using the total suspended sediments in Maros area, South Sulawesi. The results show that the more accurate interpolation is obtained by using IDW method than using Kriging method.*

**Keywords:** IDW, Kriging, interpolation, suspended sediment

## PENDAHULUAN

Data di wilayah pesisir perlu dipelajari untuk berbagai kebutuhan seperti perencanaan pembangunan pelabuhan, pengembangan pariwisata dan budidaya pesisir seperti ikan kerapu, rumput laut dan terumbu karang buatan. Survei lapangan perlu dilakukan untuk mengumpulkan data. Dikarenakan kondisi alam yang terkadang buruk, wilayah cakupan yang luas dan keterbatasan waktu serta dana, maka survei dilakukan dengan mengambil beberapa titik sampel pengamatan. Untuk mengolah dan menganalisa data secara spasial, Sistem Informasi Geografis (SIG) biasanya digunakan. Didalam analisa spasial baik dalam format vektor maupun raster, diperlukan data yang meliputi seluruh studi area. Oleh sebab itu, proses interpolasi perlu dilaksanakan untuk mendapatkan nilai diantara titik sampel.

Ada beberapa metode yang bisa digunakan untuk melakukan interpolasi seperti

*Trend, Spline, Inverse Distance Weighted (IDW) dan Kriging. Setiap metode ini akan memberikan hasil interpolasi yang berbeda. Akan menjadi mudah dan bermanfaat bagi pengguna berikutnya apabila ada kajian tentang perbandingan hasil interpolasi dengan metode yang berbeda sehingga metode yang tepat bisa dipilih. Penggunaan metode trend dan spline telah dijelaskan dalam Pramono (2005). Penelitian ini memfokuskan pada penggunaan metode IDW dan Kriging.*

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mempelajari perbedaan akurasi hasil interpolasi dengan menggunakan metode IDW dan *Kriging* pada data sedimen tersuspensi di lepas pantai Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan. Studi ini merupakan kelanjutan dari pekerjaan analisis tingkat kesesuaian marine culture yang disusun oleh Lembaga Penelitian dan Pemberdayaan Masyarakat IPB (Wiradisastra, dkk, 2004a).

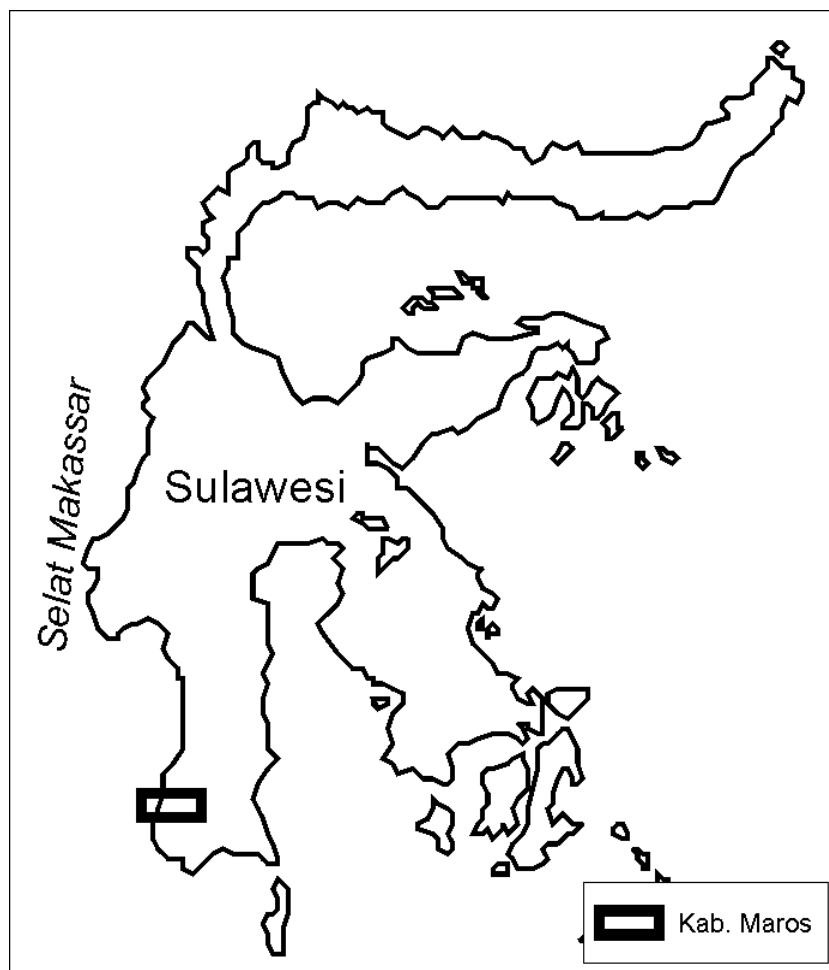
Sedang tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari keuntungan dan kerugian dari interpolasi dengan menggunakan metode IDW dan *Kriging*,
2. Menjelaskan perbedaan hasil yang diberikan oleh kedua metode tersebut,
3. Menentukan metode yang terbaik yang dapat digunakan untuk interpolasi khususnya pada sebaran sedimen tersuspensi.

Studi ini menggunakan data yang diukur di Selat Makassar di kabupaten Maros, provinsi Sulawesi Selatan (Gambar 1). Kabupaten ini terletak pada posisi geo-

grafis antara 119°20'17" BT sampai 119°31'34" BT dan 4°45'2" LU sampai 4°59' 16" LU. Batas-batas dari kabupaten Maros adalah dengan kabupaten Pangkep di bagian utara, kabupaten Bone di bagian timur, selat Makassar di bagian barat dan kota Makassar di bagian selatan. Kabupaten Maros letaknya sekitar 30 km utara dari ibukota Sulawesi Selatan yaitu Makassar. Oleh sebab itu, kabupaten Maros dikenal sebagai kabupaten penyangga kota Makassar.

Luas wilayah kabupaten Maros sekitar 1.613 km<sup>2</sup> yang meliputi 14 kecamatan dan 103 desa atau kelurahan. Jumlah penduduk di kabupaten Maros pada akhir 2001 sebanyak 279.259 jiwa. Tingkat kepadatan



Gambar 1: Studi area di kabupaten Maros



penduduk adalah 168 orang/km<sup>2</sup>. Beberapa suku menghuni di kabupaten ini dengan mayoritas suku Bugis dan Makassar. Curah hujan di kabupaten Maros sangat cukup sehingga memiliki kondisi pertanian yang relatif subur. Curah hujan tertinggi didapatkan pada bulan Februari dengan nilai sekitar 839 mm, sedang curah hujan terendah ditemukan pada sekitar bulan Juni dan Agustus.

Interpolasi adalah metode untuk mendapatkan data berdasarkan beberapa data yang telah diketahui (Wikipedia, 2008). Dalam pemetaan, interpolasi adalah proses estimasi nilai pada wilayah yang tidak disampel atau diukur, sehingga ter-buatlah peta atau sebaran nilai pada selu-ruh wilayah (Gamma Design Software, 2005). Didalam melakukan interpolasi, sudah pasti dihasilkan. *Error* yang dihasilkan sebelum melakukan interpolasi bisa dikarenakan kesalahan menentukan metode sampling data, kesalahan dalam pengukuran dan kesalahan dalam analisa di laboratorium.

Pada tulisan ini, akan dijelaskan penggunaan metode IDW dan *Kriging* untuk interpolasi. Metode IDW dapat dikelompokkan dalam estimasi *deterministic* dimana interpolasi dilakukan berdasarkan perhitungan matematik. Sedang metode *Kriging* dapat digolongkan kedalam estimasi *stochastic* dimana perhitungan secara statistik dilakukan untuk menghasilkan interpolasi.

Metode *Inverse Distance Weighted* (IDW) merupakan metode deterministik yang sederhana dengan mempertimbangkan titik disekitarnya (NCGIA, 1997). Asumsi dari metode ini adalah nilai interpolasi akan lebih mirip pada data sampel yang dekat daripada yang lebih jauh. Bobot (*weight*) akan berubah secara linear sesuai dengan jaraknya dengan data sampel. Bobot ini

tidak akan dipengaruhi oleh letak dari data sampel.

Metode ini biasanya digunakan dalam industri pertambangan karena mudah untuk digunakan. Pemilihan nilai pada *power* sangat mempengaruhi hasil interpolasi. Nilai *power* yang tinggi akan memberikan hasil seperti menggunakan interpolasi *nearest neighbor* dimana nilai yang didapatkan merupakan nilai dari data point terdekat.

Kerugian dari metode IDW adalah nilai hasil interpolasi terbatas pada nilai yang ada pada data sampel. Pengaruh dari data sampel terhadap hasil interpolasi disebut sebagai *isotropic*. Dengan kata lain, karena metode ini menggunakan rata-rata dari data sampel sehingga nilainya tidak bisa lebih kecil dari minimum atau lebih besar dari data sampel. Jadi, puncak bukit atau lembah terdalam tidak dapat ditampilkan dari hasil interpolasi model ini (Watson & Philip, 1985). Untuk mendapatkan hasil yang baik, sampel data yang digunakan harus rapat yang berhubungan dengan variasi lokal. Jika sampelnya agak jarang dan tidak merata, hasilnya kemungkinan besar tidak sesuai dengan yang diinginkan.

Metode *Kriging* adalah estimasi *stochastic* yang mirip dengan *Inverse Distance Weighted* (IDW) dimana menggunakan kombinasi linear dari *weight* untuk memperkirakan nilai diantara sampel data (Ctech Development Corporation, 2004). Metode ini ditemukan oleh D.L. Krige untuk memperkirakan nilai dari bahan tambang. Asumsi dari metode ini adalah jarak dan orientasi antara sampel data menunjukkan korelasi spasial yang penting dalam hasil interpolasi (ESRI, 1996). Metode *Kriging* sangat banyak menggunakan sistem komputer dalam perhitungan.

Kecepatan perhitungan tergantung dari banyaknya sampel data yang digunakan dan cakupan dari wilayah yang diperhitungkan.

Tidak seperti metode IDW, *Kriging* memberikan ukuran *error* dan *confidence*. Metode ini menggunakan *semivariogram* yang merepresentasikan perbedaan spasial dan nilai diantara semua pasangan sampel data. *Semivariogram* juga menunjukkan bobot (*weight*) yang digunakan dalam interpolasi. *Semivariogram* dihitung berdasarkan sampel *semivariogram* dengan jarak  $h$ , beda nilai  $z$  dan jumlah sampel data  $n$  diperlihatkan pada persamaan di Gambar 2. Pada gambar ini juga ditunjukkan grafik dari sebuah *semivariogram*. Pada jarak yang dekat (sumbu horisontal), *semivariance* bernilai kecil. Tetapi pada jarak yang lebih besar, *semi-variance* bernilai tinggi yang menunjukkan bahwa variasi dari nilai  $z$  tidak lagi berhubungan dengan jarak sampel point. Jenis *Kriging* yang bisa dilakukan adalah dengan cara *spherical*, *circular*, *exponential*, *gaussian* dan *linear* (ESRI, 1999). Penjelasan yang lebih lengkap tentang kelima jenis *Kriging* ini bisa dilihat pada McBratney & Webster (1986).

Tahapan dalam menggunakan metode ini adalah: analisa statistik dari sampel

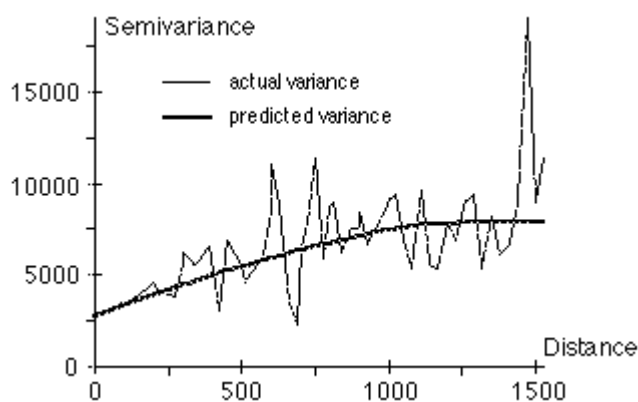
data, pemodelan variogram, membuat hasil interpolasi dan menganalisa nilai *variance*. Metode ini sangat tepat digunakan bila kita mengetahui korelasi spasial jarak dan orientasi dari data. Oleh sebab itu, metode ini sering digunakan dalam bidang ketanahan dan geologi. Kelemahan dari metode ini adalah tidak dapat menampilkan puncak, lembah atau nilai yang berubah drastis dalam jarak yang dekat. Untuk keterangan lebih lanjut tentang penelitian metode *Kriging* bisa dilihat dalam tulisan Bancroft & Hobbs (1986) atau Siska & Hung (2001).

## METODE PENELITIAN

Pada bagian ini akan dibahas tahapan dalam penelitian. Proses pengumpulan data atau survei lapangan dijelaskan beserta tahapan persiapan data untuk diinterpolasi. Perangkat lunak yang digunakan dan parameter yang dipelajari untuk interpolasi juga dijelaskan.

### Pengumpulan dan Persiapan Data

Pengumpulan data parameter bio-fisik dilaksanakan oleh Lembaga Penelitian dan Pemberdayaan Masyarakat IPB



$$\gamma(\mathbf{h}) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \{Z(\mathbf{x}_i) - Z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})\}^2$$

Gambar 2: Grafik dan persamaan semi-variogram (ESRI, 1999)

(Wiradisastra, dkk, 2004b). Data yang diukur langsung adalah salinitas, oksigen terlarut, kadar keasaman (pH), suhu permukaan dan pengambilan sampel air untuk analisis chlorofil dan sedimen tersuspensi. Total ada 45 titik yang disampel pada wilayah kabupaten Maros. Sampel air yang didapatkan kemudian dianalisa di laboratorium Limnologi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.

Dari beberapa jenis data yang dikumpulkan pada survei lapangan, data sedimen tersuspensi atau *Total Suspended Sediment* (TSS) dipilih untuk analisa perbandingan metode interpolasi. Data tersebut dipilih karena memiliki nilai dengan standar deviasi yang cukup tinggi yaitu sekitar 17 mg/l. Nilai minimum dan maksimum TSS adalah 2 mg/l dan 78 mg/l. Dengan kisaran data yang cukup tinggi, diharapkan dapat memberikan hasil interpolasi yang bervariasi. Dari 45 data yang disurvei, hanya ada 23 data yang memiliki nilai TSS. Tabel 1 menunjukkan posisi survei dan nilai TSS yang didapatkan.

## Interpolasi Data

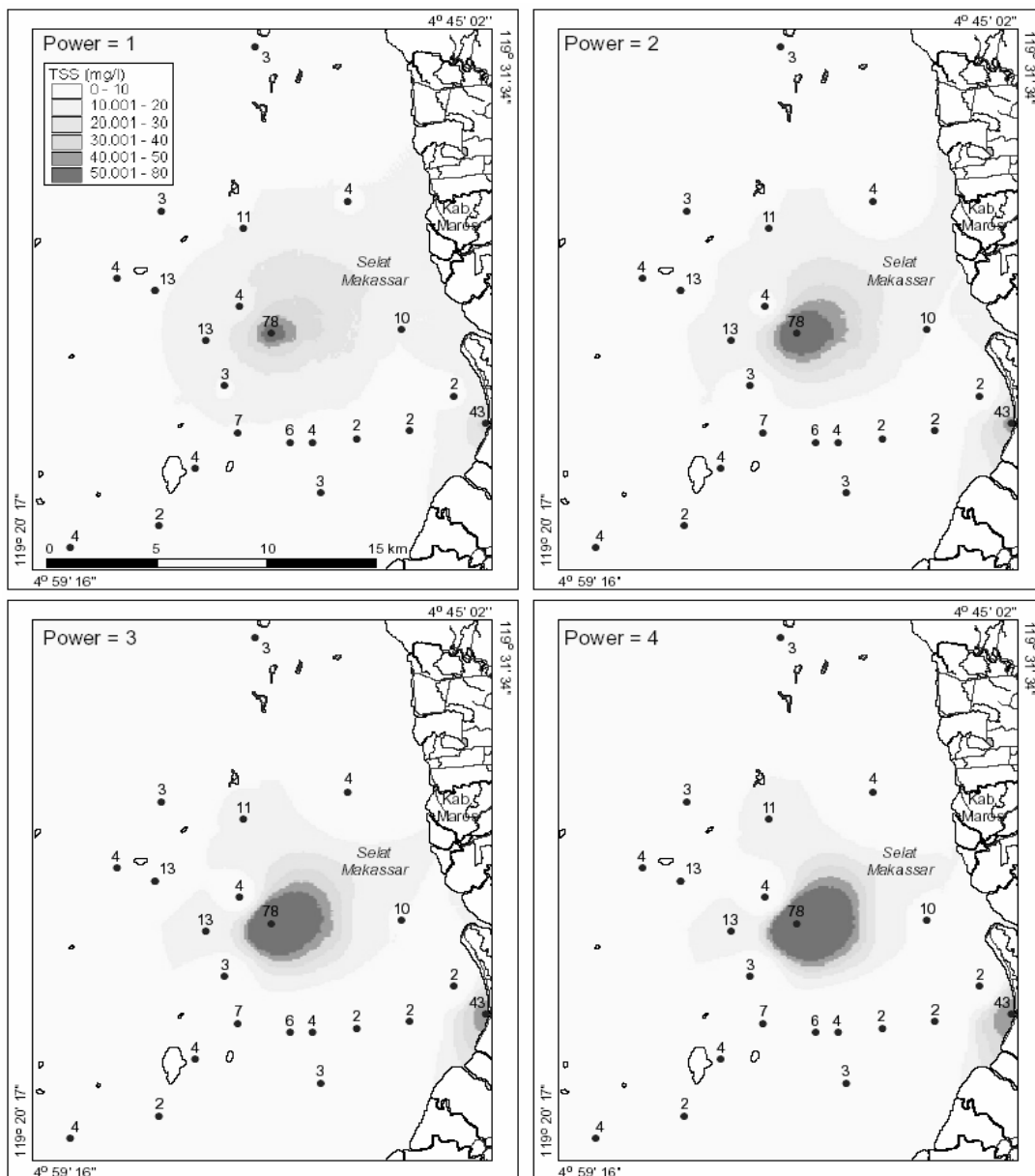
Dalam penelitian ini, perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) yang digunakan adalah ArcView versi 3.2 dari Environmental Systems Research Institute (ESRI). Untuk melakukan proses interpolasi dengan beberapa metode, digunakan ekstensi Spatial Analyst versi 1.1. Sistem operasi yang digunakan adalah Windows XP pada komputer berbasis prosesor Intel Pentium IV dengan kecepatan 2.26 GHz dan kapasitas memori sebesar 256 Megabyte.

Salah satu kelebihan dari perangkat lunak ArcView adalah penyediaan sarana untuk kustomisasi aplikasi dengan bahasa Avenue. Interpolasi digunakan dengan menjalankan skrip Avenue dan nilainya dirubah untuk setiap model interpolasi yang dibuat. Tabel 2 menunjukkan daftar metode, parameter dan nilai yang dirubah. Untuk metode IDW, dilakukan sebanyak 8 kali simulasi dengan mengubah parameter *power* dan jumlah sampel. Sedang untuk metode *Kriging* dilakukan sebanyak 13 kali simulasi

Tabel 1. Nomer stasiun, lokasi dan nilai sedimen tersuspensi (TSS)

Stasiun	X (m)	Y (m)	TSS (mg/l)		Stasiun	X (m)	Y (m)	TSS (mg/l)
1	779892	9455266	43		17	763098	9462352	3
2	777940	9455100	11		19	767123	9459304	4
3	776421	9454924	7		20	770120	9459668	4
4	775376	9454760	13		21	773103	9459756	13
5	774000	9454570	6		22	776063	9459858	78
6	771986	9454374	3		24	776798	9452038	10
9	768683	9460956	2		25	772353	9451936	5
11	765140	9465610	2		26	764999	9450336	3
13	769396	9473570	2		27	760969	9449240	2
14	772274	9473296	4		28	766670	9453094	4
15	773610	9466084	4		29	768612	9454812	4
16	768855	9464726	3					

Tabel 2. Parameter dan nilai yang diubah dalam interpolasi



Gambar 3: Interpolasi dengan metode IDW dengan perubahan nilai *power*

dengan mengubah parameter interval, tipe dan jumlah sampel. Grid data yang dihasilkan memiliki resolusi 100 m dan besar file hasil interpolasi sekitar 277 kilo byte.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dijelaskan hasil dari proses interpolasi dengan metode IDW dan *Kriging*. Pada setiap metode akan dijelaskan parameter yang bisa dirubah, perhitungan statistik dan peta dari hasil interpolasi.

### Metode IDW

Dalam interpolasi dengan menggunakan metode IDW, terdapat dua parameter yang bisa dipelajari yaitu *power* dan jumlah sampel. Hasil analisa statistik beserta peta sebarannya dibahas dalam bagian ini.

### Parameter Power

*Power* dapat digunakan untuk menentukan pentingnya nilai sampel data pada perhitungan interpolasi. Interpolasi lokal bisa dirubah menjadi interpolasi global dengan merubah *power*. *Power* yang lebih tinggi akan menjadikan kurangnya pengaruh dari sampel data sekitarnya dan hasil interpolasi menjadi lebih detail.

Gambar 3 menunjukkan peta sebaran TSS dengan metode IDW pada nilai *power* yang berbeda. Terlihat bahwa semakin

tinggi *power*, wilayah disekitar sampel dengan nilai tertinggi semakin membesar.

Hasil perhitungan statistik dari metode IDW dengan nilai *power* yang berbeda diperlihatkan pada Tabel 3. Terlihat bahwa nilai minimum dan maksimum dari interpolasi mendekati atau sama dengan nilai dari sampel data. Tidak ada nilai interpolasi yang negatif atau terlalu besar. Nilai rata-rata juga menunjukkan nilai yang serupa, sedang standard deviasi naik dengan kenaikan *power*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa merubah *power* tidak merubah secara drastis hasil interpolasi. Nilai hasil interpolasi juga dalam kisaran sampel data yang terkumpul dalam survei.

### Parameter Jumlah Sampel

Sampel data yang digunakan adalah 2, 5 10 dan 15. Gambar 4 menunjukkan sebaran TSS dengan menggunakan metode IDW dengan sampel data yang berbeda. Terlihat bahwa tidak ada perubahan bentuk yang penting dengan perubahan jumlah sampel data.

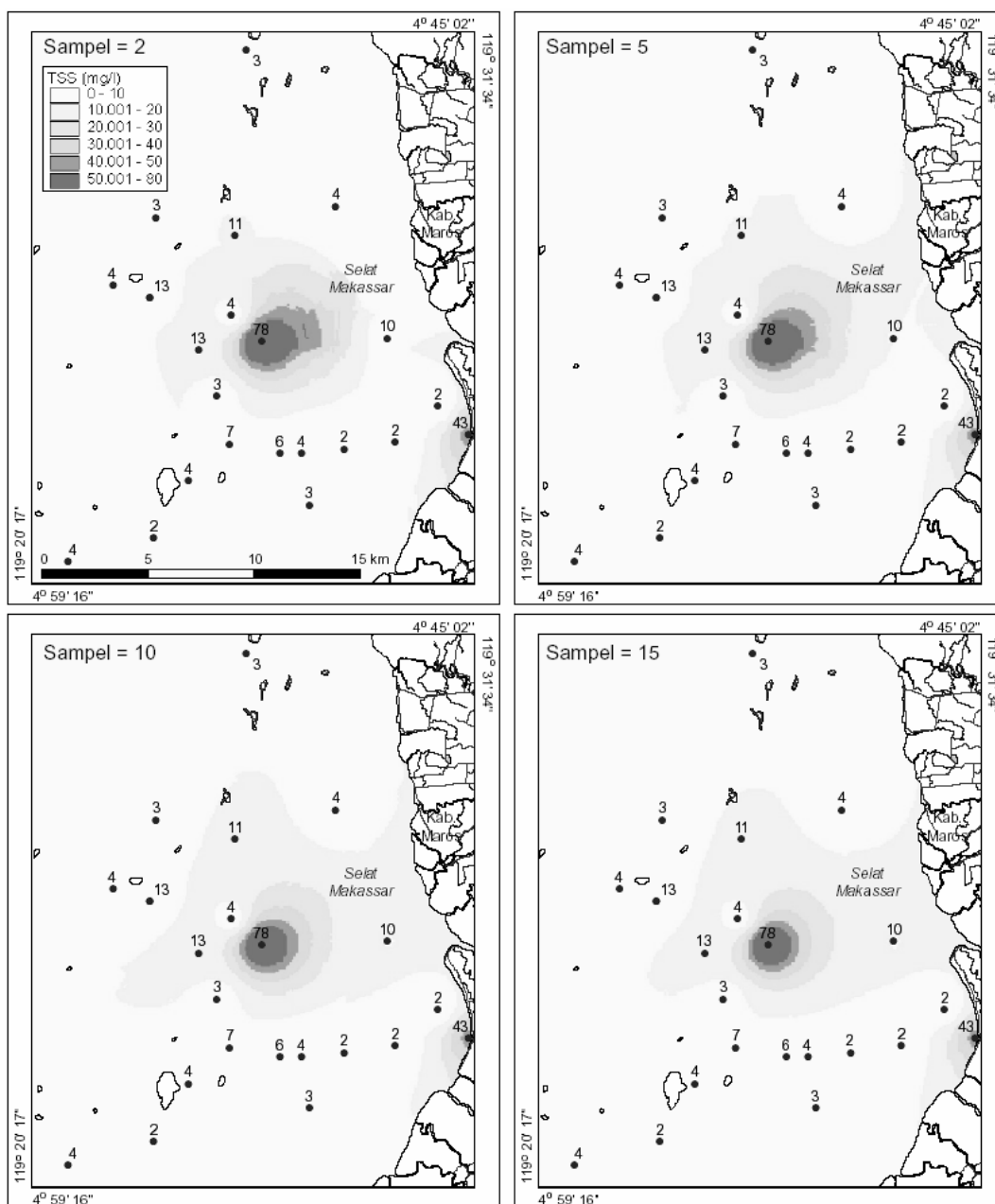
Perhitungan statistik dari penggunaan metode IDW dengan jumlah sampel yang berbeda terlihat pada Tabel 4. Terlihat bahwa nilai minimum dan maksimum tidak mengalami perubahan. Sementara itu, nilai rata-rata dan standard deviasi tidak menga-

Tabel 3. Stastistik dari metode IDW dengan perubahan nilai *power*

<i>Power</i>	Min	Max	Rata <sup>2</sup>	Std dev
1	2.08	75.91	8.53	6.39
2	2.00	77.98	8.13	7.96
3	2.00	78.00	7.89	9.34
4	2.00	78.00	7.77	10.37

Tabel 4. Stastistik dari metode IDW dengan perubahan jumlah sampel

Sampel	Min	Max	Rata <sup>2</sup>	Std dev
2	2.00	77.99	7.52	8.54
5	2.00	77.98	8.13	7.96
10	2.00	77.98	9.41	6.81
15	2.00	77.98	9.37	6.25



Gambar 4: Interpolasi dengan metode IDW dengan perubahan jumlah sampel

lami perubahan yang berarti. Dengan demikian dapat disimpulkan penggunaan sampel data tidak memiliki efek yang berarti dalam proses interpolasi.

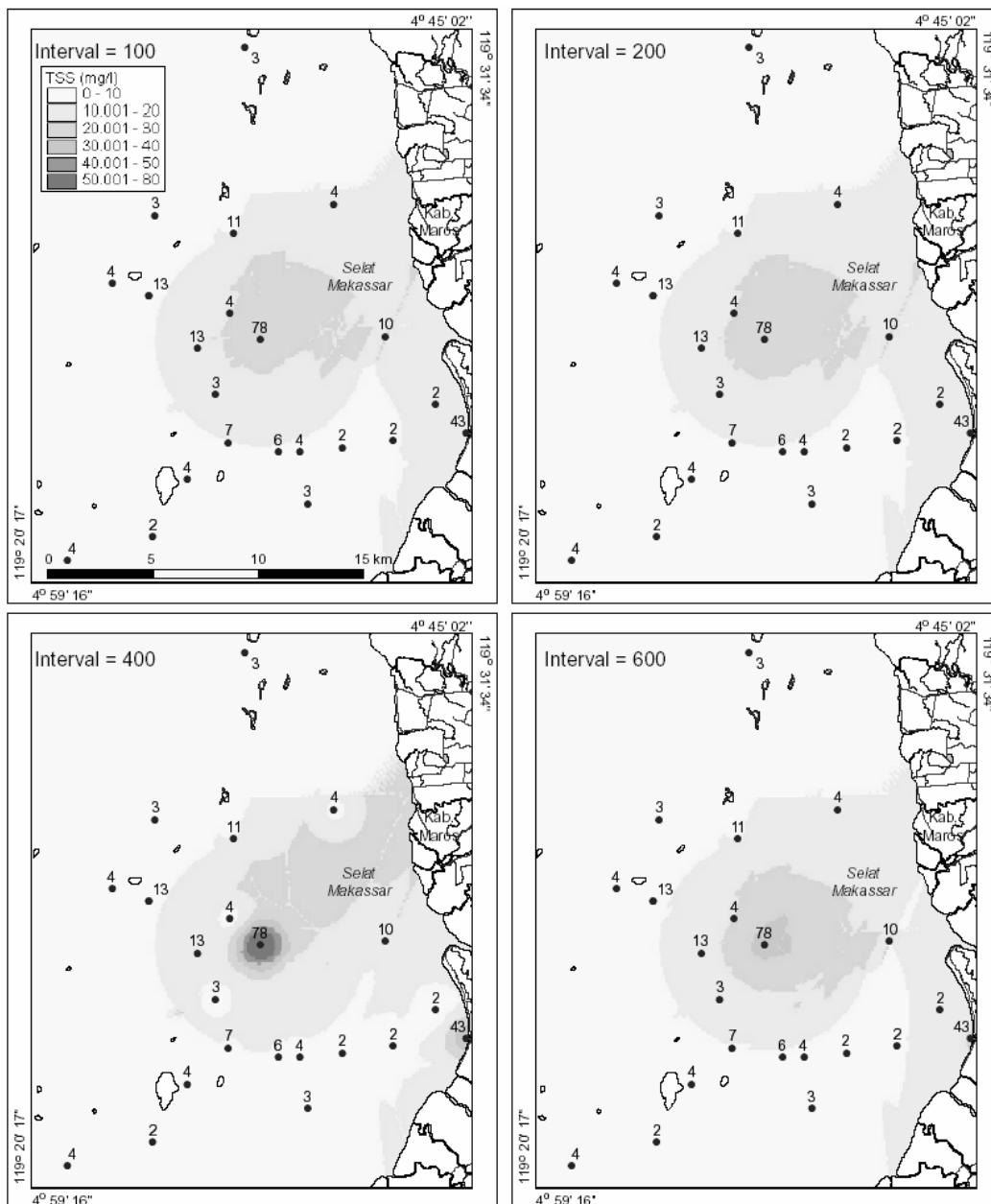
### Metode Kriging

Seperti yang disebutkan sebelumnya, interpolasi dengan metode *Kriging* memerlukan hitungan statistik dari setiap sampel

data. Perhitungan statistik ini dilakukan dengan membuat *semivariogram*. Dalam penelitian ini, pengaruh dari parameter interval, tipe dan jumlah sampel data dipelajari.

### Parameter Interval

Interval yang digunakan untuk menghitung *semivariogram* adalah 100 m, 200



Gambar 5: Interpolasi dengan metode *Kriging* dengan perubahan interval

Tabel 5. Stastistik dari metode *Kriging* dengan perubahan interval

Interval	Min	Max	Rata <sup>2</sup>	Std dev
100	2.55	27.94	8.73	5.74
200	2.54	30.08	8.81	5.89
400	2.03	76.94	8.94	6.69
600	2.50	34.99	8.38	5.93

m, 400 m dan 600 m. Gambar 5 menunjukkan sebaran TSS dari metode *Kriging* dengan interval yang berbeda. Terlihat bahwa bentuk dari sebaran TSS kurang lebih sama meskipun diproses dengan interval yang berbeda.

Tabel 5 menunjukkan stastistik dari penggunaan metode *Kriging* dengan jarak interval yang berbeda. Nilai minimum tidak terlalu berubah pada 100, 200 dan 600 m interval. Nilai maksimum yang sebanding dengan nilai maksimum dari sampel data terlihat dengan menggunakan interval sebesar 400 m. Sedang dengan interval lain, nilai maksimum terlalu rendah dibandingkan dengan nilai maksimum data yang terkumpul. Nilai rata-rata dan standar deviasi tidak mengalami perubahan yang berarti. Dapat disimpulkan bahwa perhitungan dengan interval 400 m telah menunjukkan nilai minimum dan maksimum mendekati dengan nilai dari sampel data.

#### **Parameter Tipe**

Metode *Kriging* dapat dilakukan dengan 5 jenis pendekatan yaitu: *spherical*, *circular*, *exponential*, *gaussian* dan *linear*. Gambar 6 menunjukkan grid hasil interpolasi *Kriging* dengan tipe yang berbeda. Untuk tipe *spherical* bisa dilihat pada hasil *Kriging* dengan interval 400 m pada Gambar 5. Tidak terlihat perubahan

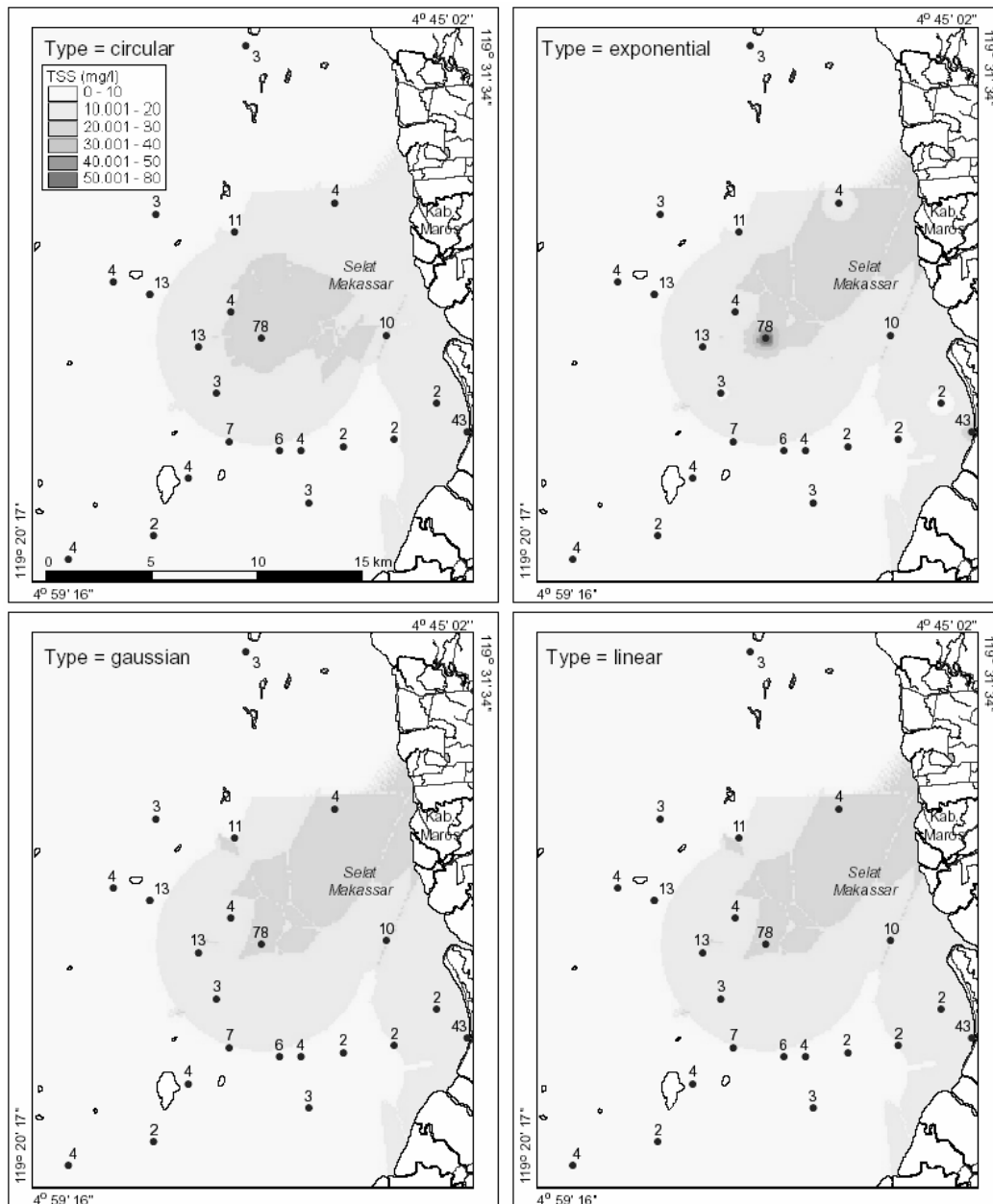
pada sebaran TSS dengan penggunaan tipe yang berbeda.

Tabel 6 menunjukkan perhitungan statistik dari setiap tipe dari metode *Kriging*. Nilai minimum secara umum tidak begitu berubah. Sedang nilai maksimum interpolasi yang mendekati nilai maksimum sampel data terdapat pada tipe *spherical* dan *exponential*. Untuk tipe *circular*, *gaussian* dan *linear*, nilai maksimumnya lebih rendah yaitu kurang dari 30. Sementara itu, nilai rata-rata dan standar deviasi tidak begitu berubah dengan tipe *Kriging* yang berbeda. Dari sini dapat disimpulkan bahwa tipe *spherical* atau *exponential* lebih layak digunakan karena kisaran hasil interpolasi sangat mirip dengan kisaran sampel data.

#### **Parameter Jumlah Sampel**

Pada penelitian ini, jumlah sampel data yang digunakan untuk interpolasi adalah 2, 5, 10 dan 15 sampel. Gambar 7 menunjukkan sebaran TSS dari metode *Kriging* dengan menggunakan jumlah sampel data yang berbeda. Terlihat bahwa ketika hanya diperlukan 2 sampel data saja untuk interpolasi, bentuk mirip lingkaran terlihat mengitari pada sampel data dengan nilai maksimum. Hal ini dikarenakan sedikit sampel data yang digunakan. Sedang pada 10 dan 15 sampel terlihat beberapa lingkaran terbentuk pada sampel data kurang dari 10.

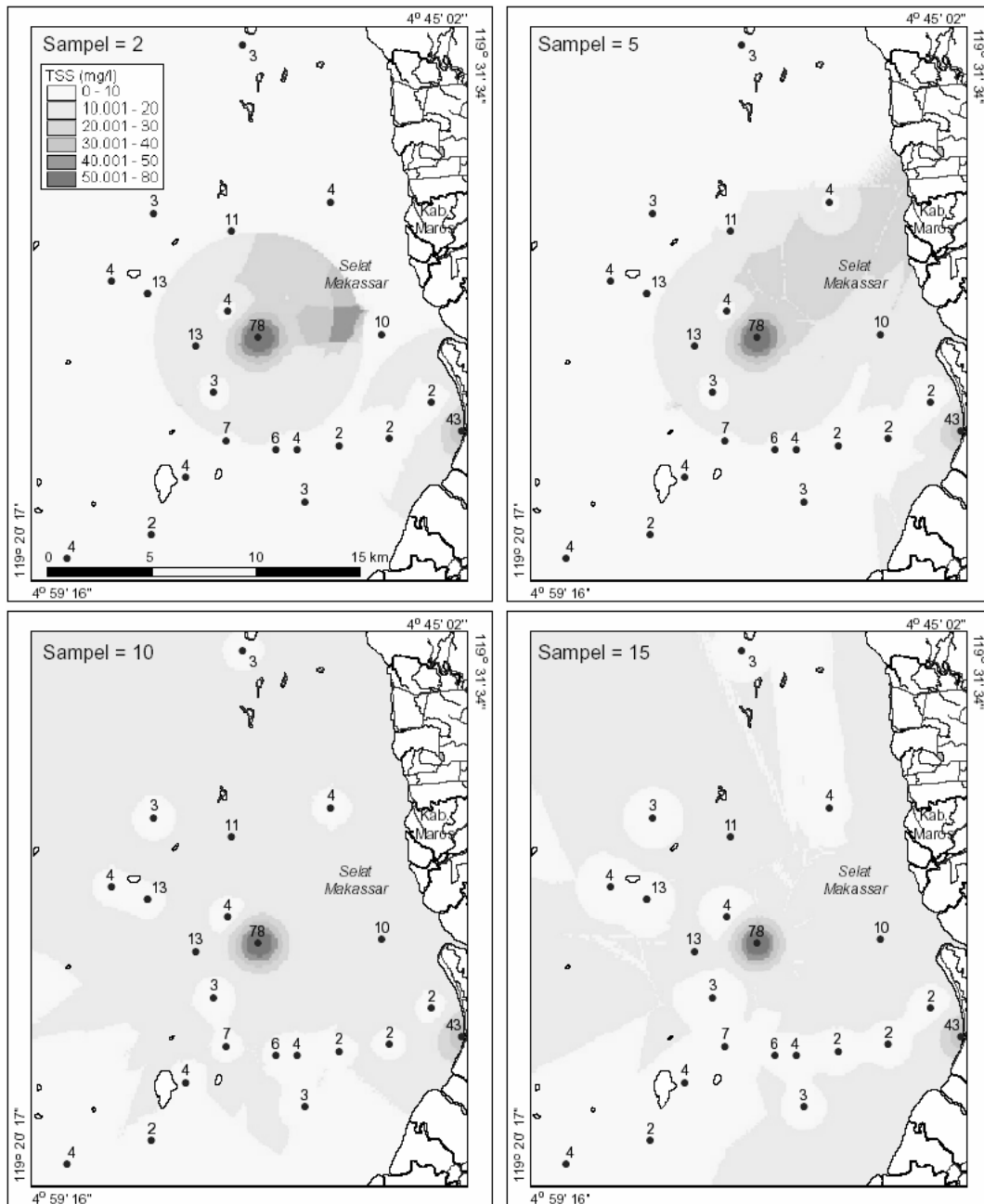




Gambar 6: Interpolasi dengan metode *Kriging* dengan perubahan tipe

Tabel 6. Statistik dari metode *Kriging* dengan perubahan tipe

<b>Tipe</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Rata<sup>2</sup></b>	<b>Std dev</b>
<i>Spherical</i>	2.03	76.94	8.94	6.69
<i>Circular</i>	2.55	28.00	8.57	5.64
<i>Exponential</i>	2.10	75.03	8.98	6.03
<i>Gaussian</i>	2.60	27.40	8.99	5.86
<i>Linear</i>	2.60	27.40	8.99	5.86



Gambar 7: Interpolasi dengan metode *Kriging* dengan perubahan jumlah sampel

Tabel 7. Statistik dari metode *Kriging* dengan perubahan jumlah sampel

Sampel	Min	Max	Rata <sup>2</sup>	Std dev
2	2.00	77.03	7.65	7.20
5	2.03	76.94	8.94	6.69
10	2.13	76.85	11.94	4.80
15	2.30	76.78	10.99	3.63

Perhitungan statistik dari metode *Kriging* dengan sampel data yang berbeda ditampilkan pada Tabel 7. Disini terlihat bahwa nilai minimum dan maksimum hasil interpolasi tidak berubah banyak dengan jumlah sampel data. Sedang nilai rata-rata yang tinggi dan standar deviasi yang rendah ditemukan pada 10-15 sampel data. Dengan ini dapat disimpulkan bahwa jumlah sampel data tidak memiliki pengaruh yang besar dalam menentukan bentuk sebaran data dan beberapa parameter statistik.

## KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Beberapa hal dapat disimpulkan dari penelitian perbandingan metode interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW) dan *Kriging* dengan menggunakan data *total suspended sediment* (TSS) yaitu sebagai berikut:

1. Metode IDW memberikan hasil interpolasi yang lebih akurat dari metode *Kriging*. Hal ini dikarenakan semua hasil dengan metode IDW memberikan nilai mendekati nilai minimum dan maksimum dari sampel data. Sedang metode *Kriging* terkadang memberikan hasil interpolasi dengan kisaran yang rendah. Opsi power dan jumlah sampel tidak memberikan perubahan yang signifikan pada hasil interpolasi.
2. Jika ingin menggunakan metode *Kriging*, opsi interval 400 m dan tipe *spherical*

atau *exponential* perlu dipilih untuk proses interpolasi karena menghasilkan data yang mendekati kisaran dari sampel data. Hal ini tentu disesuaikan dengan skala dan resolusi grid yang dibuat.

Sedang rekomendasi yang bisa disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian kedepan, metode interpolasi sebaiknya diujikan juga dengan data yang telah disurvei pada lokasi yang sama seperti suhu permukaan, pH, chlorophyl dan lain-lain. Hal ini akan memastikan apakah metode yang sama bisa digunakan untuk data dengan kisaran dan nilai yang berbeda.
2. Penelitian yang juga masih terbuka adalah perbandingan metode interpolasi pada sebaran data TSS yang berbeda. Ada kemungkinan bahwa metode interpolasi yang lain bisa lebih unggul dengan input sampel data yang lengkap pada jarak yang teratur.
3. Didalam hal survei lapangan, akan lebih baik untuk mengumpulkan sampel yang mencakup wilayah studi secara tersebar dan merata. Hal ini akan berpengaruh pada kualitas interpolasi. Selain itu sampel yang tersebar secara merata juga memungkinkan digunakan untuk mengecek keberhasilan hasil interpolasi secara lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bancroft, B.A. & Hobbs, G.R. 1986. Distribution of Kriging Error and Stationarity of the Variogram in a Coal Property. *Mathematical Geology* 8(7): 635-651.
- ESRI. 1996. *Using the ArcView Spatial Analyst*. Redlands, Environmental Systems Research Institute, Inc.

- ESRI. 1999. *ArcView Help*. Redlands, Environmental Systems Research Institute, Inc.
- Haryanto. 2004. "Bahaya Perubahan Penggunaan Lahan di Kota Semarang". *Forum Geografi*, Vol. 18, No. 2, Desember 2006. Hlm. 152-160.
- Gamma Design Software. 2005. *Interpolation in GS+*. <http://www.geostatistics.com/OverviewInterpolation.html> (23 Juni 2008).
- McBratney, A.B. & Webster, R. 1986. Choosing Functions for Semivariograms of Soil Properties and Fitting Them to Sampling Estimates. *Journal of Soil Science* 37:617-639.
- NCGIA. 2007. *Interpolation: Inverse Distance Weighting*. <http://www.ncgia.ucsb.edu/pubs/spherekit/inverse.html> (23 Juni 2008).
- Pramono, G. 2005. Perbandingan Metode Trend dan Spline untuk Interpolasi Sebaran Sedimen Tersuspensi Di Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan. *Jurnal Ilmiah Geomatika* 11(1): 20-32.
- Siska, P.P. & Hung, I.K. 2001. *Assesment of Kriging Accuracy in the GIS Environment*. <http://gis.esri.com/library/userconf/proc01/professional/papers/pap280/p280.htm> (23 Juni 2008).
- Suprpto Dibyosaputro. 2005. "Muatan Suspensi Total dan Laju Sedimentasi Sungai Kayan di Kabupaten Bulungan, Kalimantan Timur". *Forum Geografi*, Vol. 19, No. 2, Desember 2005. Hlm. 115-126.
- Watson, D.F. & Philip G.M. 1985. *A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation*. *Geo-Processing* 2: 315-327.
- Wikipedia. 2008. *Interpolasi*. <http://en.wikipedia.org/wiki/Interpolation> (23 Juni 2008)
- Wiradisastra, U.S. dkk. (2004a). *Laporan Akhir – Analisis Tingkat Kesesuaian Marine Culture Wilayah ALKI II, Buku II (Kajian ilmiah)*. Bogor, Lembaga Penelitian dan Pemberdayaan Masyarakat, IPB.
- Wiradisastra, U.S. dkk. (2004b). *Laporan Akhir – Analisis Tingkat Kesesuaian Marine Culture Wilayah ALKI II, Buku I (Teknis – analisis)*. Bogor, Lembaga Penelitian dan Pemberdayaan Masyarakat, IPB.

# DEGRADASI HUTAN BAKAU AKIBAT PENGAMBILAN KAYU BAKAR OLEH INDUTRI KECIL GULA KELAPA DI CILACAP

*Tumisem, Suwarno*

Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan  
Universitas Muhammadiyah Purwokerto  
Jl. Raya Dukuhwaluh PO. BOX 202 Kembaran Purwokerto  
Telp. 081328707320;  
E-mail: umiump@yahoo.com

## ABSTRACT

*A study on degradations mangrove forest due to firewood exploitation by coconut palm sugar home industry in Cilacap. Information on social economic aspect and respons of coconut palm sugar home industry to using fuel substitutions were collected by using a questioner. The potential of mangrove as a firewood source was estimated by quadrat method. The study has been carried out on dry and rainy season. The wood production of available 8000 ha of mangrove from Cilacap primarily *Rhizophora apiculata* Linn and *Rhizophora mucronata* Lamk were 3.249.920 m<sup>3</sup>. The results showed that the declining of mangrove was about 19,250 m<sup>2</sup> in dry season and 26,551 m<sup>2</sup> in rainy season, this was correlated with the amount of nira to be processed that was 0,782 m<sup>3</sup> in dry season and 1,079 m<sup>3</sup> in rainy season. Deforestation of mangrove forest due to change of mangrove zonation. *Rhizophora apiculata* Linn and *Rhizophora mucronata* Lamk will be domination *Nypa fruticans*, that is shown superficiality to continent form.*

**Keywords:** *degradations, mangrove, firewood exploitation, coconut palm sugar home industry.*

## PENDAHULUAN

Hutan mangrove mempunyai fungsi ganda, yaitu dari segi ekologis dan sosial ekonomi. Dari segi ekologis misalnya sebagai tempat berpijah atau berkembangbiak berbagai jenis biota air termasuk ikan dan udang, dan sosial ekonomi misalnya sebagai tempat mencari ikan, udang, dan kepiting, dan sumber kayu bakar. Kawasan mangrove di Cilacap berbatasan dengan Segara Anakan. Di dalam kawasan mangrove Cilacap terdapat beberapa daerah pemukiman antara lain: desa Ujung Alang, Ujung Gagak, Pamotan dan Jojok Kutawaru. Mata-pencarian penduduk yang tinggal di kawasan mangrove sebagian besar sebagai nelayan tradisional yang menangkap ikan di sekitar Segara Anakan. Di Segara Anakan

terdapat muara beberapa sungai besar seperti Sungai Citanduy, Sungai Donan, Sungai Cibeureum, Sungai Cikonde dan sungai-sungai kecil lainnya. Sungai-sungai yang bermuara di Segara Anakan banyak membawa partikel-partikel tanah, menyebabkan tingkat sedimentasi di Segara Anakan cukup tinggi. Sedimentasi merupakan salah satu sistem terjadinya penurunan produksi perikanan tangkap nelayan tradisional di sekitar Segara Anakan (Roemidi 1998). Menurut Kepala Desa Jojok Kutawaru (komunikasi personal), penurunan hasil perikanan tangkap, menyebabkan sebagian besar nelayan terutama desa Cimeong dan Cigintung beralih menjadi pengusaha atau pekerja industri kecil kelapa tradisional (*home industry*) dan petani pasang surut. Perkembangan industri kecil

gula kelapa dimulai sekitar tahun 1993 sampai saat ini. Industri kecil gula kelapa tersebut memasak nira menggunakan kayu bakar mangrove. Untuk memproduksi gula kelapa yang baik, dibutuhkan bahan yste berkualitas baik. Kayu mangrove sebagai bahan bakar untuk memproduksi gula kelapa terutama *Rhizophora sp* memiliki kualitas yang baik, karena memiliki nilai kalor yang cukup tinggi yaitu 4.000–4.300 Kkal/kg (Hilal dan Syaffriadi 1997). Umumnya tingkat konsumsi kayu bakar industri kecil gula kelapa pada musim penghujan 2 kali tingkat konsumsi kayu bakar pada musim kemarau, karena jumlah nira yang diperoleh pada musim penghujan lebih banyak.

Luas hutan mangrove di Cilacap terus mengalami penyusutan, yang semula sekitar 15.551 ha pada tahun 1974 saat ini menjadi sekitar 8.000 ha. Penyusutan luas hutan mangrove antara lain bersumber dari kegiatan manusia yang mengkonversi areal mangrove menjadi pemukiman, kegiatan komersial/industri, pertanian dan eksploitasi yang berlebihan terhadap vegetasi mangrove menjadi kayu bakar (Haeruman 1987; Rahayu 1994). Berkembangnya industri kecil gula kelapa di sekitar kawasan mangrove yang mengambil kayu bakar mangrove merupakan salah satu sistem yang ikut mempercepat penyusutan hutan mangrove di Cilacap. Penyusutan ini terlihat jelas pada hutan mangrove yang terletak di sebelah Barat desa Cimeong dengan luas sekitar 112 ha telah berubah menjadi lahan kosong dan sekitar 38 ha lainnya hanya terdiri dari jenis *Nypa fruticans* dan semak (Perhutani, 1998). Sampai saat ini, belum ada bahan bakar pengganti kayu mangrove yang tepat dengan harga yang terjangkau oleh industri kecil gula kelapa di Kelurahan Jojok Kutawaru.

Berdasarkan latar belakang permasalahan di atas dapat dikemukakan bahwa penyusutan hutan mangrove banyak bersumber dari kegiatan manusia yang mengkonversi areal mangrove menjadi pemukiman, kegiatan komersial/industri, pertanian dan eksploitasi yang berlebihan terhadap vegetasi mangrove menjadi kayu bakar. Sampai saat ini pendataan penyusutan hutan mangrove yang dilakukan oleh pihak Perhutani Cilacap dianalisis secara umum dan menyeluruh, sehingga masing-masing kegiatan manusia terkait dengan penyusutan hutan mangrove tersebut di atas belum ada menunjukkan angka nyata (Perhutani, 1998). Hal ini mengakibatkan sistem utama penyusutan hutan mangrove belum terdeteksi secara pasti. Untuk melengkapi salah satu data penyusutan hutan mangrove akibat pengambilan kayu bakar oleh *home industry* gula kelapa dilakukan pendataan jumlah pengrajin yang ada di sekitar kawasan mangrove dan analisis konsumsi kayu bakar mangrove pada musim penghujan dan kemarau.

## METODE

Penelitian ini dilakukan di empat desa sekitar kawasan mangrove Cilacap. Lokasi ini ditentukan berdasarkan data statistik penduduk yang menyebutkan bahwa industri kecil gula kelapa sekitar kawasan mangrove Segara Anakan terdapat di desa Jojok-Kutawaru, Cimeong dan Cigintung.

Analisis jumlah industri kecil gula kelapa sekitar kawasan mangrove dilakukan melalui pendataan langsung bekerjasama dengan masing-masing kepala lingkungan. Kepala lingkungan merupakan petugas yang dipilih masyarakat untuk membawahi suatu wilayah tertentu di seki-

tar kawasan mangrove sebagai pengganti kepala dusun. Tugas-tugas kepala lingkungan sama dengan tugas kepala dusun. Perlu diketahui bahwa di kawasan mangrove terdapat empat kepala lingkungan artinya di kawasan mangrove sekitar segara anakan memiliki empat desa yang di kepalai oleh Kepala Lingkungan.

Jumlah kayu bakar yang digunakan oleh industri kecil gula kelapa diketahui melalui:

### **Pemilihan industri kecil kelapa sebagai responden**

Jumlah industri kecil kelapa yang digunakan untuk memperoleh informasi mengenai pemakaian kayu bakar dipilih secara acak sebanyak 10% dari jumlah seluruh industri kecil (Sutrisno Hadi 1983). Jumlah 10% dari seluruh pengrajin selanjutnya dalam penelitian disebut sebagai responden.

### **Jenis dan jumlah kayu bakar**

Untuk mendapatkan informasi mengenai jenis kayu bakar yang digunakan masing-masing responden dilakukan pengamatan langsung di lapangan terhadap karakteristik tumbuhan. Pengamatan langsung dilakukan bersama dengan Staf Perhutani dan pencari kayu yste, sedangkan wawancara dilakukan terhadap seluruh industri kecil kelapa di desa Cimeong dan Cigintung.

Untuk mengetahui informasi mengenai jumlah kayu bakar yang digunakan oleh masing-masing responden digunakan penghitungan langsung jumlah kayu bakar di lapangan. Untuk mengetahui ketelitian data volume yang dipergunakan masing-masing responden, maka dilakukan penghitungan langsung di lapangan pada masing-masing

responden. Penghitungan langsung volume masing-masing responden dilakukan 3 hari seminggu selama 4 minggu.

### **Penyusutan Mangrove dan dampaknya**

Untuk mengetahui penyusutan hutan mangrove dilakukan dengan cara menghitung volume produksi kayu mangrove yang tersedia pada area tertentu dikurangi dengan volume kayu bakar yang digunakan oleh industri kecil gula kelapa. Volume produksi kayu mangrove yang tersedia dilakukan melalui plotting (Gambar 1.1), pengukuran karakter tegakan, penghitungan luas basal area tegakan, kemudian dilanjutkan dengan menghitung volume produksi kayu mangrove yang tersedia. Jumlah plot yang dibuat sebanyak 5 plot dengan ukuran masing-masing plot = 5mX5m. Volume produksi kayu mangrove yang tersedia menurut (Bonham 1989) digunakan rumus sebagai berikut:

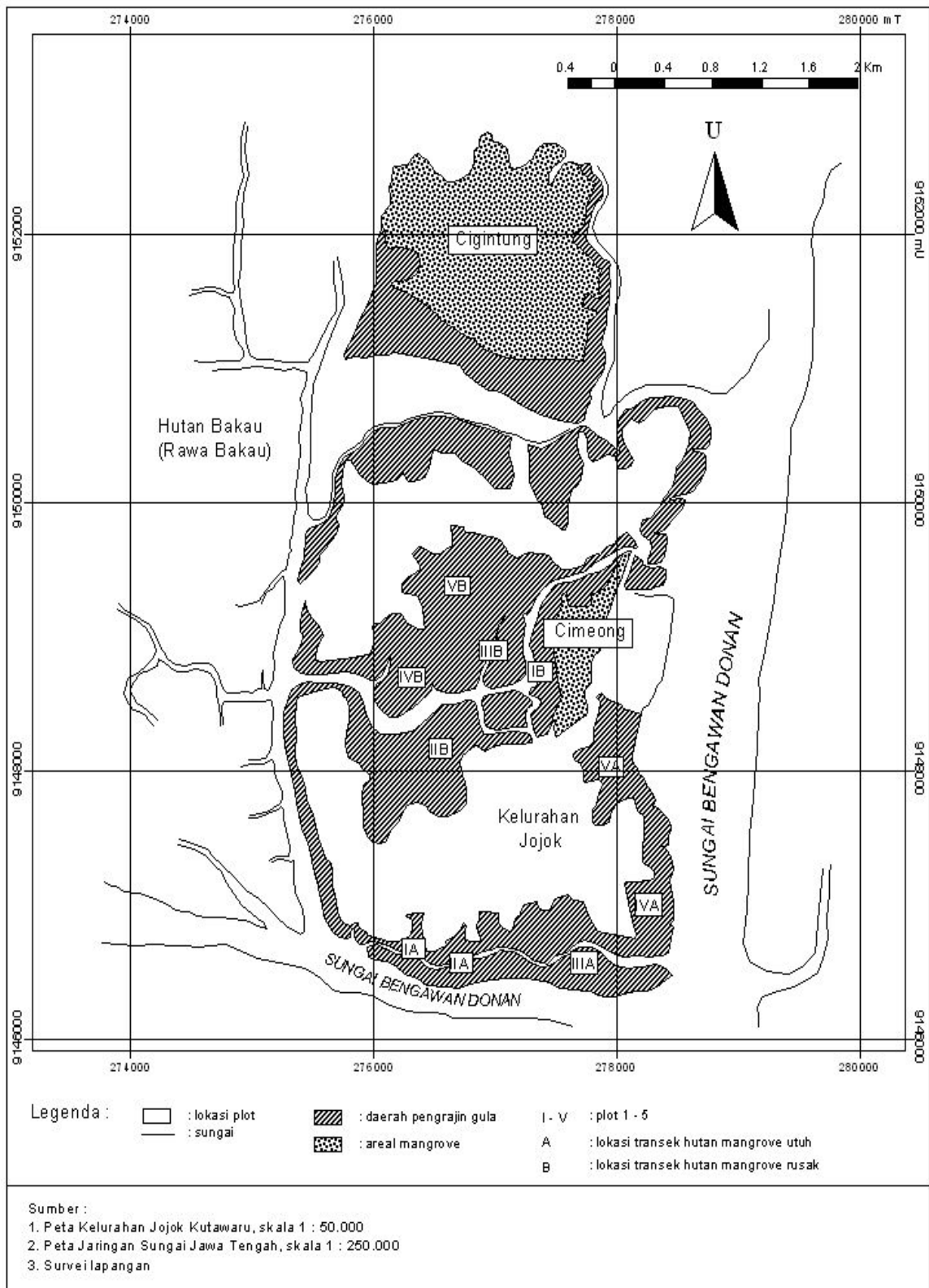
$Lba \text{ total tegakan } A \times \text{rata-rata } Tt \ A \times 0,7$   
(dimana 0,7 adalah faktor koreksi)

$Lba \text{ total tegakan } A = Lba \text{ rata-rata tegakan } A \times \text{Kerapatan } A$

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Jumlah Industri kecil dan Penggunaan Kayu Bakar Mangrove**

Hasil penelitian menunjukkan jumlah seluruh industri kecil gula kelapa yang berada di kawasan lingkungan sekitar mangrove 400 buah terdiri atas: Kelurahan Jajok-Kutawaru, Cimeong, Cigintung. Umumnya industri kecil kelapa di desa Cimeong dan Cigintung saat memasak nira menggunakan *Rhizophora apiculata* Linn dan *Rhizophora mucronata* Lamk sebagai bahan bakar memasak nira. Kayu bakar yang



Gambar 1. Lokasi Penelitian dan Ploting Di kawasan Mangrove Sekitar Segara Anakan Cilacap. (Peta Monografi Desa, 2007).



Tabel 1. Jumlah Industri Kecil, Perolehan Kayu Bakar, dan Jenis Kayu yang Digunakan

No.	Desa	Jumlah Industri Kecil	Perolehan Kayu Bakar		Jenis Kayu Mangrove yang Digunakan
			Dari hutan	Beli dari pengepul	
1.	Cimeong	80	5	75	<i>Rhizophora apiculata</i> <i>Rhizophora mucronata</i>
2.	Cigintung	120	6	114	
3.	Jojob	200	200	-	
Jumlah		400	211	189	

digunakan diperoleh melalui dua cara yaitu membeli kayu bakar ke pengepul dan mengambil langsung dari huta mangrove di sekitarnya (Tabel 1.).

Hasil penelitian menunjukkan bagi industri kecil yang menyadap pohon kelapa antara 10 – 19 pohon, umumnya membeli kayu bakar dalam bentuk ikatan. Bila jumlah pohon yang disadap lebih dari 20, akan membeli kayu bakar dalam bentuk kubikan. Satu ikat kayu bakar yang digunakan sama dengan  $1/7\text{m}^3$ . Jumlah kayu bakar yang digunakan oleh masing-masing industri kecil antara musim penghujan dan kemarau berbeda. Hal ini disebabkan jumlah nira antara musim kemarau dengan penghujan juga berbeda.

Hasil analisis menunjukkan jumlah rata-rata kayu bakar yang dipakai oleh industri kecil pada musim kemarau yaitu  $0,782\text{m}^3$  dengan jumlah nira rata-rata yang diperoleh sebanyak 66,99 liter. Pada musim penghujan jumlah rata-rata kayu bakar yang dipakai  $1,079\text{m}^3$  dengan jumlah nira rata-rata yang diperoleh sebanyak 84,711 liter.

#### Penyusutan Luas Hutan Mangrove Akibat Pengambilan Kayu Bakar

Rata-rata kepadatan *Rhizophora apiculata* di lokasi yang masih alami (utuh

$5/25\text{m}^2$  dan *Rhizophora mucronata*  $3/25\text{m}^2$ . Rata-rata diameter batang *Rhizophora apiculata* y 4,99 cm dan *Rhizophora mucronata* 4,92 cm dengan rata-rata tinggi tegakan *Rhizophora apiculata* 6,54 m dan *Rhizophora mucronata* 5,60 m. Rata-rata luas basal area *Rhizophora apiculata*  $19,63\text{cm}^2$  dan *Rhizophora mucronata*  $19,08\text{cm}^2$  (Tabel 2 dan Tabel 3).

Hasil analisis terhadap produksi kayu dari *Rhizophora apiculata* yang tersedia saat ini dengan luas hutan mangrove sekitar 8.000 ha adalah  $3.121.920\text{m}^3$  dan untuk *Rhizophora mucronata* adalah  $128.000\text{m}^3$ , sehingga produksi total kayu mangrove sebagai bahan bakar memasak nira yang tersedia adalah  $3.249.920\text{m}^3$ . Rata-rata luas hutan mangrove yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan kayu bakar pada musim kemarau adalah  $19,250\text{m}^2$  dan musim penghujan adalah  $26,551\text{m}^2$ .

#### Dampak Pengambilan Kayu Mangrove terhadap Perubahan Zonasi Mangrove

Hasil analisis data yang diperoleh dari lapangan menunjukkan bahwa di lokasi yang masih utuh nilai penting tertinggi terdapat pada *Rhizophora apiculata* sebesar 68,64%, diikuti oleh *Bruguiera gymnorrhiza* (65,22%), *Avicenia alba* (43,48%),

Tabel 2. Jumlah, diameter batang (Db), tinggi tegakan (Tt) dan luas basal area (Lba) dari *Rhizophora apiculata* (Ra) di lokasi yang masih utuh

No.	Stasiun	$\Sigma Ra$	Db (cm)	Lba (cm <sup>2</sup> )	Tt (m)
1	I	4	4,78	17,94	10,23
2	II	5	5,01	19,70	9,55
3	III	6	4,91	18,92	9,50
4	IV	4	5,22	21,39	10,10
5	V	4	5,07	20,18	10,34
Rataan		5	4,99	19,63	9,94

Tabel 3. Jumlah, diameter batang (Db), tinggi tegakan (Tt), dan luas basal area (Lba) dari *Rhizophora mucronata* (Rm) di lokasi masih utuh

No.	Stasiun	$\Sigma Rm$	Db (cm)	Lba (cm <sup>2</sup> )	Tt (m)
1	I	4	4,22	13,98	7,24
2	II	2	5,01	19,70	6,56
3	III	3	5,32	22,22	7,34
4	IV	2	5,12	20,58	6,52
5	V	2	4,92	19,00	7,32
Rataan		3	4,92	19,08	6,99

*Rhizophora mucronata* (34,09%), *Sonneratia alba* (27,92%), *Ceriops tagal* (24,65%), *Xylocarpus mollucensis* (20,92%) dan *Nypa fruticans* (15,08%) (Tabel 4). Di lokasi penebangan nilai penting tertinggi terdapat pada *Nypa fruticans* yaitu 122,29%, diikuti oleh *Bruguiera gymnorrhiza* (64,09%), *Rhizophora apiculata* (30,49%), *Xylocarpus mollucensis* (28,92%), *Rhizophora mucronata* (27,55%) dan *Ceriops tagal* (26,68%) (Tabel 5).

Menurut pengakuan industri kecil (komunikasi personal), kayu *Rhizophora apiculata* dan *Rhizophora mucronata* mem-

punyai nyala api yang baik, awet dan mudah dinyalakan. Nyala api yang baik dari *Rhizophora apiculata* dan *Rhizophora mucronata* disebabkan karena kayu *Rhizophora apiculata* dan *Rhizophora mucronata* mempunyai kepadatan yang cukup tinggi. Kayu dengan kepadatan yang tinggi akan menjadi lebih berat (rata-rata 0,9 m/s<sup>2</sup>), keras, mempunyai daya keawetan yang lama dan merupakan bahan bakar yang baik dengan panas yang ditimbulkan cukup tinggi serta nyala apinya cukup lama. Namun demikian gas-gas pembakaran dari kayu tersebut dapat menimbulkan karat pada logam (Anonim 1998; Duke, & Bunt

Tabel 4. Analisis vegetasi di lokasi yang tidak terganggu, meliputi frekuensi Kayu bakar (Fr), kepadatan kayu bakar (Kpr), kerimbunan kayu bakar (Kbr), dan nilai penting (NP).

Tabel 5. Analisis vegetasi di lokasi terganggu, meliputi frekuensi kayu bakar (Fr), kepadatan kayu bakar (Kpr), kerimbunan kayu bakar (Kbr), dan nilai penting (NP).

No.	Jenis	Fr	Kpr	Kbr	NP
1.	<i>Rhizophora apiculata</i>	13,16	22,54	32,98	68,64
2.	<i>Rhizophora mucronata</i>	13,16	12,73	8,88	37,85
3.	<i>Avicenia alba</i>	13,16	14,71	15,61	43,48
4.	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	13,16	24,45	25,52	65,29
5.	<i>Xylocarpus mollucensis</i>	13,16	5,88	1,88	28,92
6.	<i>Ceriops tagal</i>	13,16	8,82	2,65	24,68
7.	<i>Sonneratia alba</i>	13,16	4,90	9,86	27,92
8.	<i>Nypa fruticans</i>	27,32	68,91	59,26	123,08

Hal ini sesuai dengan pendapat - 4,90 sifat-sifat sama dengan kayu *Rhizophora* (delaku industri kecil (komunikasi personal), *apiculata* dan *Rhizophora mucronata*).

yaitu bahwa wajan pemasak nira menjadi lebih tebal dan cepat keropos. Keadaan wajan yang bertambah tebal membuat proses pembuatan gula menjadi lebih lama dan pemakaian kayu bakar meningkat. Pemakaian kayu bakar mangrove menurut pengakuan pengrajin juga disebabkan karena kayu bakar yang berasal dari pekarangan sendiri tidak mencukupi dan tidak ada kayu bakar pengganti yang memiliki

Umumnya pembelian kayu bakar sebanyak 1 m<sup>3</sup> akan diantar ke alamat pembeli menggunakan gerobak, sedangkan dalam bentuk ikatan si pembeli mengambil sendiri. Jumlah kayu bakar yang dipakai industri kecil gula kelapa tergantung pada jumlah nira yang diperoleh. Jumlah nira yang diperoleh industri kecil gula kelapa dipengaruhi oleh jumlah pohon yang disa-

dap dan musim. Umumnya mayang kelapa yang disadap dalam satu pohon berkisar antara 2 – 3 mayang. Pada musim penghujan, menurut industri kecil kelapa (komunikasi personal), dua mayang kelapa yang disadap menghasilkan nira sama dengan tiga mayang pada musim kemarau, sehingga jumlah nira yang diperoleh pada musim tersebut akan lebih banyak. Jumlah nira kelapa pada musim penghujan yang lebih banyak disebabkan karena ikut masuknya air hujan ke dalam penampung nira (pongkor). Jumlah nira yang banyak pada musim penghujan juga disebabkan karena kadar air dalam tubuh tanaman cukup tinggi. Sebagai upaya untuk memelihara keseimbangan kadar air dalam tubuh tanaman dengan kondisi lingkungannya, maka tanaman mengeluarkan air dari dalam tubuhnya melalui organ ekskresi. Dalam hal ini karena adanya luka pada mayang kelapa, maka kadar air dalam tubuh tanaman juga akan dikeluarkan melalui luka tersebut disamping senyawa-senyawa lainnya yaitu sukrosa (Hilal dan Syaffriadi 1997; Karimuddin 1995).

Kegiatan pengambilan kayu mangrove dilakukan dengan cara mencuri (di desa Cigintung terdapat 6 orang sebagai pengambil kayu bakar dan juga sebagai pelaku industri, dan di desa Cimeong terdapat 5 orang). Pencurian kayu dilakukan dengan alasan untuk menambah penghasilan karena pohon yang disadap sedikit (10-12 pohon), sehingga hasil gula yang diperoleh sedikit dan pendapatan yang diperoleh juga sedikit. Pengambilan kayu selain untuk digunakan sendiri dalam memasak nira juga dijual ke industri kecil lainnya yang membutuhkan kayu bakar. Penjualan kayu bakar mangrove hanya berkisar di sekitar desa Cimeong dan Cigintung. Pengambilan kayu bakar mangrove

oleh industri kecil gula kelapa memberatkan tekanan pada daerah-daerah konservasi mangrove, terutama pada kawasan yang letaknya berdekatan dengan pemukiman penduduk.

Dalam upaya membantu mencukupi kebutuhan kayu bakar, Perhutani telah mengizinkan industri kecil gula kelapa maupun masyarakat sekitar kawasan mangrove mengambil kayu mangrove dengan ketentuan bahwa pengambilan kayu mangrove hanya dilakukan terhadap tanaman selain tanaman pokok yaitu *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*, dan *Bruguiera gymnorrhiza*, tetapi industri kecil gula kelapa ternyata masih tetap mengambil tanaman pokok mangrove sebagai bahan bakar memasak nira kelapa terutama *Rhizophora apiculata* dan *Rhizophora mucronata*. Pengambilan kayu mangrove yang dilakukan tiap hari oleh industri kecil gula kelapa tanpa adanya pengawasan yang ketat oleh Perhutani mengakibatkan penyusutan hutan mangrove di Cilacap semakin cepat. Penyusutan hutan mangrove yang cepat akibat pengambilan kayu bakar oleh industri kecil gula kelapa terjadi pada musim penghujan, yang masih memungkinkan industri kecil gula kelapa melakukan penyadapan mayang kelapa.

Di lokasi mangrove yang tidak terganggu, zona depan didominasi oleh *Rhizophora apiculata*, *Avicenia alba*, *Bruguiera gymnorrhiza* dan *Rhizophora mucronata*. Penyusutan mangrove akibat pengambilan kayu bakar oleh industri kecil gula kelapa di zona depan (zona *Rhizophora apiculata* dan *Rhizophora mucronata*), menyebabkan terjadinya perubahan zonasi vegetasi mangrove. Perubahan yang terjadi yaitu bahwa pada lokasi tidak terganggu zona terdepan didominasi oleh *Rhizophora apiculata*, sedang

pada lokasi terganggu zona terdepan berubah menjadi didominasi oleh *Nypa fruticans* yang berasosiasi dengan *Bruguiera gymnorrhiza*. Pada lokasi mangrove yang mengalami kerusakan paling berat akibat pengambilan kayu bakar mangrove sebagai bahan bakar oleh industri kecil gula kelapa mengakibatkan sebagian besar area mangrove menjadi lahan kosong/daratan.

## KESIMPULAN

Dari penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa:

1. Jumlah kayu bakar yang digunakan industri kecil pada musim penghujan rata-rata  $1,079 \text{ m}^3$  dengan jumlah nira sebanyak 84,711 liter. Pada musim kemarau rata-rata  $0,782 \text{ m}^3$  dengan jumlah nira sebanyak 66,99 liter.
2. Pengambilan kayu bakar sebanyak  $1,079 \text{ m}^3$  menyebabkan penyusutan luas hutan mangrove sekitar  $26,551 \text{ m}^2$  dan pengambilan kayu bakar sebanyak  $0,782 \text{ m}^3$  menyebabkan penyusutan luas mangrove sekitar  $19,250 \text{ m}^2$ .
3. Penyusutan luas mangrove terjadi terutama pada zona *Rhizophora apiculata*

dan *Rhizophora mucronata* menyebabkan terjadinya perubahan zonasi mangrove yaitu zona terdepan yang terdiri atas *Rhizophora apiculata* dan *Rhizophora mucronata* di lokasi utuh digantikan oleh *Nypa fruticans* yang berasosiasi dengan *Bruguiera gymnorrhiza*.

## SARAN

Sebagai upaya untuk melestarikan mangrove, menyediakan kayu bakar, meningkatkan ekonomi masyarakat sekitar dan menjaga siste penyangga kehidupan di sekitarnya perlu dilaksanakan:

- a. Hutan kemasyarakatan melalui KTHM (Kelompok Tani Hutan Mangrove)
- b. Pengembangan pemanfaatan ganda mangrove
- c. Peraturan Perundang-undangan secara tegas
- d. Pengembangan sumberdaya manusia khususnya di sekitar mangrove
- e. Pembentukan KUB (Kelompok Usaha Bersama)
- f. Menjalin kerjasama antar instansi terkait untuk keberhasilan pengelolaan mangrove dan pengembangan industri kecil gula kelapa

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1998. *Kondisi Cuaca di Cilacap*. Badan Meterologi Kabupaten Cilacap.
- \_\_\_\_\_. 1998. *Daftar Monografi Desa*. Cilacap Tengah. Kabupaten Cilacap.
- Agus Anggoro Sigit dan Suharjo. 2007. "Analisis Proses Degradasi Lahan dan Dampaknya terhadap Produktivitas Lahan Pertanian di Kabupaten Klaten". *Forum Geografi*, Vol. 21, No. 2, Desember 2007. Hlm 155-173.
- Bonham, Charles D. 1989. *Measurements for Terrestrial Vegetation*. Colorado State university Fort Collins. Colorado. P 19-66
- Duke, N.C. & Bunt, J.S. 1979. *The Genus Rhizophora (Rhizophoraceae) in North Eastern Australia*. *Aus J Bot* 27. p. 657-678

- Haeruman, H.1987. *Membina Peranan Kayu Rakyat di Jawa*. Diskusi pembinaan dan pengembangan kayu rakyat, 9 – 10 Juli 1987. Bandung. Hal. 11-16
- Hilal, H dan Syaffriadi. 1997. Pemanfaatan Sumber Energi untuk Mendukung Pembangunan berkelanjutan. *Jurnal Studi Pembangunan Institut Teknologi Bandung Vol. 1 No. 2*. Bandung. Hal 1-2.
- Karimuddin, Y. 1995. *Fungsi Ekologi, Tekanan Penduduk dan Sistem Pengelolaan Laban Bakau di Kawasan Pantai Sumatera Selatan*. PPLH UNSRI. Hal 6-11
- Perhutani. 1998. *Perkembangan Mangrove dan Struktur Vegetasi Mangrove di Cilacap*. Perhutani Kabupaten Dati IICilacap.
- Rahayu, S. 1994. Mengikutsertakan Masyarakat Pedesaan dalam Proyek Pembangunan Hutan Berskala Kecil. *Journal of forestry research and development Vol. IX. No. 2*. hal 73 –79.
- Roesmidi. 1998. *Proyek Konservasi dan Pembangunan Segara Anakan: Status dan Permasalahannya*. BAPPEDA Tingkat II Cilacap. Hal 1-11
- Sajogyo. 1987. *Ekologi Pedesaan*. Penerbit: Yayasan Obor. Jakarta. Hal 223-253
- Sutrisno Hadi. 1983. *Metodologi Research* (Jilid III). Andi Offset. Yogyakarta. Hal 221

**KAJIAN MODEL ESTIMASI VOLUME LIMPASAN PERMUKAAN,  
DEBIT PUNCAK ALIRAN, DAN EROSI TANAH DENGAN MODEL SOIL  
CONSERVATION SERVICE (SCS), RASIONAL  
DAN MODIFIED UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION (MUSLE)  
(Studi Kasus di DAS Keduang, Wonogiri)**

**Ugro Hari Murtiono**

Kelompok Peneliti Konservasi Tanah dan Air (KTA) Balai  
Penelitian Kehutanan Solo  
Jl. Jend. A. Yani - Pabelan, Kartasura  
Po Box 295 Surakarta 57102  
E-mail: ugrohari@yahoo.com

**ABSTRACT**

*Hydrologic modelling has been developing and it is usefull for basic data in managing water resources. The aim of the reseach is to estimate volume runoff, maximum discharge, and soil erosion with SCS, Rational, and MUSLE models on Keduang Watershed. Explain the data analysis, and flow to get the data. SCS parameters model use are : runoff, rainfall, deferent between rainfall runoff. The deferent rainfall between runoff relationship kurva Runoff Coefisient (Curve Nunmber/CN). This Coefisient connected with Soil Hydrology Group (antecedent moisture content/ AMC), landuse, and cultivation method. Rational parameters model use are : runoff coefisient, soil type, slope, land cover, rainfall intensity, and watershed areas. MUSLE parameters model use are: rainfall erosifity (RM), soil erodibility (K), slope length (L), slope (S), land cover (C), and soil conservation practice (P). The result shows that the conservation service models be applied Keduang Watershed, Wonogiri is over estimated about 29.54 %, Rational model is over estimated about 49,96 %, and MUSLE model is over estimated about 48,47 %.*

**Keywords:** *hydrological models, estimate volume runoff, maximum discharge, and soil erosion, Soil Conservation Model (SCS), Rational models, and MUSLE models.*

**PENDAHULUAN**

Salah satu program perencanaan pengelolaan DAS adalah perlu diketahuinya lebih dahulu kondisi hidrologi setempat. Namun demikian sebagian besar DAS yang akan direncanakan pengelolaan DASnya belum tersedia data hidrologi yang cukup memadai, untuk mengatasi masalah ini diperlukan suatu pendekatan melalui pemodelan hidrologi yang sesuai dengan kondisi biofisik sub DAS/DAS tersebut, hasil pemodelan tersebut diharapkan dapat diterapkan pada sub DAS/DAS yang mempuny-

nyai kemiripan kondisi biofisik. Dengan adanya model hidrologi yang sesuai maka karakterisasi dan evaluasi sub DAS/DAS tersebut dapat dengan mudah dilakukan.

Pemodelan hidrologi sudah diterapkan sejak lama. Prediksi debit maksimum (metode rasional) yang berdasarkan pada curah hujan, luas DAS, dan karakteristik daerah aliran sungai telah diperkenalkan pada tahun 1850 oleh Mulvaney (Fleming, 1979). Crawford dan Linsley (1966) memperkenalkan model *Stanford* untuk memprediksi “*streamflow*” dan sedimen dari DAS.

Model-model hidrologi sebagian besar dikembangkan di daerah temperate, hanya sedikit yang dikembangkan di daerah tropis, padahal daerah tropis juga sangat memerlukan adanya model hidrologi. Model hidrologi yang dikembangkan di daerah temperate belum tentu sesuai bila diterapkan di daerah tropis karena selain perbedaan iklim juga perbedaan tanah dan vegetasi penutupnya.

Struktur model hidrologi didasarkan pada proses-proses yang ada dalam siklus hidrologi. Proses-proses tersebut mulai dari hujan, intersepsi, evapotranspirasi, infiltrasi, *overlandflow*, *sub surface flow*, *perkolation*, *groundwater storage*, *ground water flow*, sampai hasil air. Untuk itu perlu dikaji model-model hidrologi khususnya pada kawasan hutan dan non hutan yang dapat diterapkan dan dikembangkan di Indonesia.

Manfaat hasil analisis data hidrologi dewasa ini semakin dirasakan, bahkan selalu diperlukan sebagai data dasar bagi kegiatan yang menyangkut pengelolaan sumberdaya air DAS. Pada umumnya ada 3 (tiga) tahap dalam analisis hidrologi yaitu diawali dengan mengadakan pengukuran terhadap fenomena hidrologi, membuat korelasi diantara peubah yang diteliti, dan melakukan prediksi (Sharp dan Sawden, 1984). Analisis regresi dan korelasi sering kali digunakan untuk membuat suatu model hidrologi. Model hidrologi diusahakan sesederhana mungkin dalam arti model tersebut mudah digunakan, tanpa mengabaikan aspek ketelitian, dan model yang dihasilkan bersifat prediktif.

Suatu model hidrologi umumnya menggunakan satuan DAS sebagai satu kesatuan daerah penelitian. Dalam analisis respons DAS, DAS merupakan satu sistem

hidrologi dimana terdapat hubungan yang sangat erat antara setiap masukan yang berupa hujan, proses hidrologi DAS, dan keluaran yang berupa debit sungai dan sedimen yang terangkut.

Setelah memperhatikan proses-proses hidrologi dalam suatu DAS, maka dapat disimpulkan bahwa distribusi curah hujan menjadi aliran langsung selain dipengaruhi oleh sifat fisik permukaan DAS, juga dipengaruhi oleh sifat-sifat hujannya. Mengingat bahwa hujan yang terjadi di daerah beriklim tropika basah mempunyai variasi yang cukup besar menurut ruang dan waktu, maka kajian tentang hubungan hujan dan limpasan serta bagaimana pengaruhnya terhadap respons suatu DAS sangat diperlukan, mengingat pengukuran fenomena hidrologi terutama daerah-daerah yang tidak ada pencatatan data hidrologinya baik karena keterbatasan dana maupun sumberdaya manusianya, maka diperlukan suatu model korelasi diantara peubah, sehingga dengan adanya suatu model maka dapat dikurangi pengukuran fenomena hidrologi tersebut secara langsung.

Dalam pembuatan model diperlukan data yang lengkap dan akurat, sehingga hasil model dapat diterapkan pada daerah yang mempunyai kemiripan kondisi biofisik maupun sosial ekonominya. Dalam kajian ini hanya akan diuji pada model empiris yang merupakan salah satu bagian dari model deterministik. Model ini pada umumnya mempresentasikan hubungan dua atau lebih faktor-faktor hidrologi berdasarkan hasil pengamatan di laboratorium maupun lapangan. Model empiris biasanya berbentuk persamaan matematika berdasarkan informasi yang diperoleh dari hasil penelitian.



Tujuan kajian ini adalah memprediksi volume limpasan permukaan, debit aliran puncak, dan erosi tanah dengan model *SCS*, *Rational*, dan *MUSLE* pada DAS Keduang.

Terjadinya erosi, banjir, kekeringan, pendangkalan sungai, waduk serta jaringan irigasi merupakan kenyataan bahwa sedemikian merosotnya kondisi hidroorologis dan makin buruknya mutu sumber daya alam di hampir semua wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) di Indonesia. Dengan kondisi yang demikian usaha-usaha pengelolaan wilayah DAS pada saat ini dirasakan kurang efektif dan kurang efisien, keadaan ini tercermin dengan masih belum terkendalinya banjir di musim hujan, terjadinya kekeringan dimusim kemarau dan menurunnya kualitas air. Banjir dan kekeringan disebabkan oleh tataguna sumberdaya tanah dan air belum sesuai dengan pengelolaan DAS yang baik, sedangkan makin menurunnya kualitas air merupakan akibat dari alokasi pembangunan di lingkungan pemukiman, industri, produksi.

Sampai saat ini pengelolaan DAS masih belum mencapai taraf yang dapat menjamin keseimbangan yang diperlukan dalam tiap-tiap DAS, yaitu: belum terwujudnya sinkronisasi program/rencana induk dari masing-masing kegiatan dalam satuan waktu dan tempat dari berbagai instansi yang terkait dalam pengelolaan DAS, sedangkan pengelolaan DAS yang ada sekarang adalah pengembangan rencana DAS dengan tekanan kepada Sub-sistem airnya saja, padahal sebenarnya yang diperlukan adalah konsep makro yang menyangkut total sistem (air, tanah, vegetasi dan masyarakat), yang tersusun dalam suatu *pre-planning*, bukannya sebagai *post-planning* (Sudaryono, 1984).

Secara garis besar model hidrologi dapat dibagi menjadi 3 (tiga) bagian yaitu model deterministik, statistik, dan optimalisasi. Model deterministik dapat didefinisikan sebagai sebuah model baik empiris maupun konseptual yang memperlakukan proses-proses hidrologi sebagai bagian dari sistem determinasi dengan tanpa membuat perwakilan dari proses-proses random yang mungkin muncul dalam sistem. Contoh dari model deterministik ini adalah *Stanford Watershed Model*. Model statistik memperhatikan hubungan antara proses-proses yang diarahkan ke teori statistik. Contoh dari model statistik ini adalah *Co-axiial correlation model*. Model optimum adalah model yang telah diberikan beberapa tujuan disatu sisi dan sisi lain telah diberikan beberapa hambatan. Kemudian model ini akan memberikan rencana yang paling bagus untuk kepuasan tujuan dengan hambatan-hambatan yang diberikan. Contoh model ini adalah *model Fiering* (1971).

Lebih jauh model deterministik dapat dibagi menjadi dua yaitu model empiris yang menekankan pada proses-proses komponen dan model konseptual yang menekankan pada proses-proses terintegrasi. Model konseptual ini masih dapat dibagi lagi menjadi 3 (tiga) bagian yaitu linear atau non linear, *lumped* atau *distributed*, dan sesaat atau kontinyu.

Model statistik dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu model korelasi dan model stokastik. Model optimum dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu analisis sistem dan "teori keputusan".

Pemodelan dapat memberikan beberapa kontribusi dalam pemahanan ilmiah (de coursey,1991 dalam de Roo, 1993). Model matematik yang lengkap dapat me-

nyediakan garis besar konsep yang mungkin membantu tempat-tempat dimana pengetahuan tentang suatu hal masih kurang, dan mensimulasi ide-ide yang baru.

Pemodelan dapat membantu memberikan strategi dan dukungan taktis untuk sebuah program penelitian, memotivasi peneliti, dan mendorong kerjasama.

- a. Model-model yang divalidasi dengan data dari DAS penelitian menyediakan sebuah mekanisme untuk transfer data dari daerah penelitian ke daerah dimana data akan dipakai.
- b. Model hidrologi konseptual adalah model hidrologi yang didasarkan pada proses-proses yang mempengaruhi response DAS. Model hidrologi konseptual diantaranya adalah model *STANFORD*. Model ini adalah salah satu model simulasi hidrologi dengan komputer yang paling awal. Model tersebut telah dikembangkan oleh *Crawford* dan *Linsley* pada tahun 1962. Model ini didasarkan pada penyederhanaan konseptual dari proses-proses fisik *overland flow*, *interflow*, *soil water storage*, *deep percolation*, *ground water storage*, dan evapotranspirasi untuk memperkirakan *streamflow* dari data curah hujan. Model ini mensyaratkan kalibrasi untuk kondisi-kondisi spesifik DAS.

Limpasan permukaan adalah bagian dari curah hujan yang mengalir diatas permukaan tanah menuju sungai, danau dan lautan. Nilai limpasan permukaan yang penting untuk keperluan evaluasi DAS adalah kondisi volume limpasan permukaan yang terjadi sebelum selama dan setelah adanya suatu kegiatan/proyek. Beberapa faktor yang mempengaruhi kondisi

tersebut adalah yang berkaitan dengan : (1). Curah hujan meliputi; lama waktu hujan, intensitas dan penyebarannya; dan (2). Karakteristik daerah aliran sungai (DAS) meliputi: bentuk dan ukuran DAS, topografi, tanah, geologi dan penggunaan lahan.

Melalui ujicoba terhadap perilaku infiltrasi air hujan yang jatuh pada berbagai jenis tanah yang berbeda. Dinas Konservasi Tanah Amerika Serikat (*US SCS, 1972*) mengembangkan metode estimasi total volume limpasan dengan menggunakan data hujan yang tersedia, yaitu dikenal sebagai metode *SCS*. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi perilaku infiltrasi tanah tersebut untuk mendukung metode ini, a.l. : grup hidrologi tanah (*hydrolic soil group*), type penutupan lahan (*land cover*), kondisi hidrologis dan kelembaban tanah awal (*antecedent moisture content/AMC*), dan cara bercocok tanam (cara pengelolaan lahan) (Sukresno.1999).

Dalam menentukan besarnya debit sungai berdasarkan hujan perlu ditinjau hubungan antara hujan dan aliran sungai. Besarnya aliran di dalam sungai ditentukan terutama oleh besarnya hujan, intensitas hujan, luas daerah hujan, lama waktu hujan, luas daerah aliran sungai dan ciri-ciri daerah aliran itu.

Dengan kemungkinan yang sama untuk timbul, intensitas hujan berkurang kalau intervalnya meningkat. Kalau hujan berlangsung lebih lama daripada lama waktu konsentrasi alirannya, intensitas rata-ratanya akan lebih kecil daripada kalau lama waktu hujan itu sama dengan lama waktu konsentrasi. Lama waktu konsentrasi ialah selang waktu antara permulaan hujan dan saat yang seluruh areal daerah alirannya ikut berperan pada pengaliran sungai. Apabila

lama hujan melebihi lama waktu konsentrasi, maka laju pengaliran didalam sungai akan kurang daripada kalau lama waktu hujannya sama dengan lama waktu konsentrasi. Sebaliknya, apabila lama waktu hujan lebih pendek daripada lama waktu konsentrasi, intensitas hujannya meningkat menjadi lebih tinggi, akan tetapi hanya sebagian dari areal daerah aliran ikut berperanan pada pengaliran sungai. Dengan demikian maka laju pengaliran maksimum terjadi kalau lama waktu hujan sama dengan lama waktu konsentrasi daerah alirannya.

Model Erosi *MUSLE* merupakan pengembangan dari persamaan *Universal Soil Loss Equation (USLE)* yang pertama kali diterbitkan dalam *Agricultural Handbook* No. 282 (1965) dan dipublikasikan lagi pada *Agricultural Handbook* No. 587 (1978).

Metode *USLE* sebagai suatu persamaan hanya dapat menduga besar erosi tanah tahunan yang berasal erosi permukaan yang terjadi pada bagian profil bentang lahan (*landscape*) dan tidak dapat menghitung deposisi yang terjadi. *USLE* juga tidak diperuntukkan untuk menghitung hasil sedimen yang berada pada hilirnya maupun bentuk erosi *gully*.

Selanjutnya persamaan pendugaan erosi dikembangkan oleh Williams (1975) yaitu menerapkan faktor erosivitas hujan (R) sebagai *rainfall-runoff* basis sebagai persamaan *MUSLE (modified USLE)*.

## METODE PENELITIAN

### Letak dan Luas

Letak daerah penelitian berdasarkan unit DAS termasuk DAS Keduang, Solo Hulu, wilayah DAS Bengawan Solo, berdasarkan peta rupa bumi digital Indo-

nesia, yang diterbitkan Bakosurtanal (Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional), terletak pada :  $7^{\circ} 42' 27,16''$  -  $7^{\circ} 55' 35,51''$  LS  $110^{\circ} 59' 29,29''$  -  $111^{\circ} 13' 30,00''$  " BT. Berdasarkan letak administrasi meliputi wilayah Kecamatan: Girimarto, Jatipurno, Sidoharjo, Jatisrono, Slogohimo dan Jatiroto yang semuanya termasuk Kabupaten Wonogiri.

Luas Sub DAS Keduang berdasarkan wilayah hidrologis adalah 35.993 ha (luas Sub DAS yang diukur sampai outlet pengukuran (Stasiun Pengamatan Arus Sungai/SPAS), sedangkan luas Sub DAS secara alamiah adalah : 42.644 ha.

### Bahan dan Alat

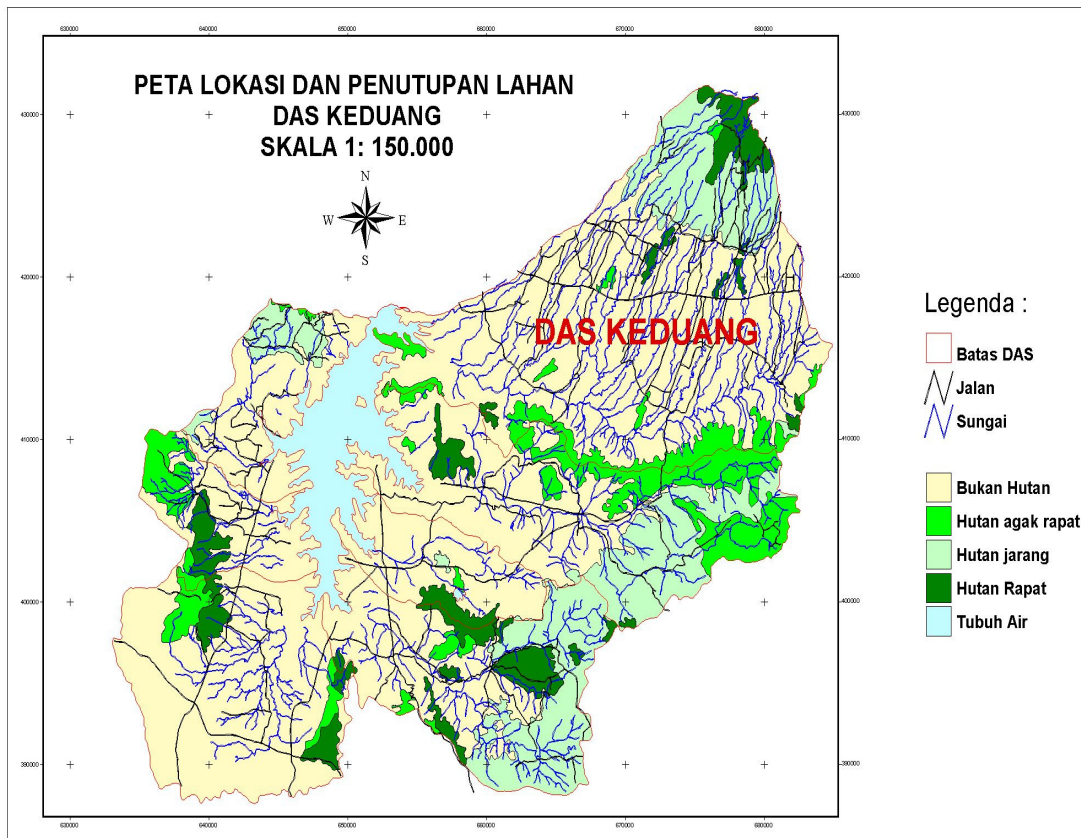
Bahan yang diperlukan untuk mendukung penelitian ini meliputi :

- (1).Peta penggunaan lahan skala 1 :50.000, peta geologi skala 1 : 500.000, peta tanah skala 1 : 100.000, dan peta rupa bumi Indonesia (Peta RBI) skala 1 : 50.000
- (2). Citra *landsat*  
Alat yang digunakan untuk penelitian meliputi :
  - 1) Stasiun Pengamatan Arus Sungai (SPAS)
  - 2) Stasiun Pengamatan Hujan (SPH)
  - 3) Komputer
  - 4) Software SPSS

### Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan meliputi :

- (1). parameter hidrologi untuk mendukung estimasi volume limpasan (*runoff*) dengan metode **SCS** yaitu : grup hidrologi tanah (*hydrologic soil grup*), tipe penutupan lahan (*land cover*), kondisi hidrologi dan kelembaban tanah awal (*antecedent moisture conten/AMC*), dan cara bercocok tanam (cara pengelolaan lahan);
- (2). parameter hidrologi untuk mendukung estimasi debit maksi-



Gambar 1. Peta Lokasi dan Penutupan Lahan DAS Keduang

rum dengan metode rational yaitu : koefisien *run off* yang didasarkan pada faktor-faktor daerah pengalirannya seperti: jenis tanah, kemiringan lereng, keadaan hutan penutupnya dan besar kecilnya banjir, intensitas hujan selama *time of concentration* dan luas daerah pengaliran; dan (3). parameter hidrologi untuk estimasi erosi dan sedimentasi dengan metode *MUSLE* yaitu : erosivitas hujan sebagai *runoff-rainfall* basis ( $R_m$ ), erodibilitas tanah ( $K$ ), panjang lereng ( $L$ ), kemiringan lereng ( $S$ ), penutupan tanaman ( $C$ ), dan praktek konservasi tanah ( $P$ ).

#### Pengolahan dan Analisa Data

a. Estimasi volume limpasan permukaan dengan metode *SCS* yaitu :

Metode prakiraan total volume limpasan permukaan dari *SCS* ini, persamaannya adalah :

$$Q = \frac{(P-0.2 s)^2}{P + 0.8 s} P^3 0.2 s \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- Q = limpasan permukaan (mm)
- P = curah hujan (mm)
- s = perbedaan antara curah hujan dan runoff (mm)

Besarnya perbedaan antara curah hujan dan limpasan permukaan,  $s$  adalah berhubungan dengan angka kurva limpasan ( $CN$ ) dimana persamaannya adalah :

$$S = \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)^{25,4} \dots\dots\dots (2)$$

Angka *CN* (*curve number*) adalah bervariasi dari 0 sampai 100 yang dipengaruhi oleh kondisi grup hidrologi tanah *AMC* (*antecedent moisture content*), penggunaan lahan dan cara bercocok tanam. Kondisi *AMC* rata-rata (II) angka *CN* tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

Adapun grup hidrologi tanah (dibedakan atas A, B, C dan D dan untuk kondisi *AMC* II (rata-rata), dikategorikan menurut besarnya laju infiltrasi dan tekstur

tanah, nilainya disajikan pada Tabel 2. Kondisi *AMC* (*antecedent moisture content*) I (kering) dan III (jenuh air) angka *CN* langsung diperoleh dari Tabel 3, didasarkan pada angka *CN* kondisi II.

b. Estimasi debit maksimum dengan metode rasional yaitu :

Rumus rasional adalah rumus yang tua dan yang terkenal diantara rumus-rumus empiris. Untuk pertama-tama digunakan di Irlandia oleh Mulvaney pada tahun 1847.

Pemikiran secara rasional ini dapat dinyatakan secara aljabar dengan rumus rasional berikut :

Tabel 1. Angka *CN* (*curve number*) untuk kondisi *AMC* (*antecedent moisture content*) II (kondisi rata-rata)

Penggunaan lahan (1)	Tipe Penutupan (2)	Cara Pengelolaan (3)	Kondisi Hidrologi (4)	Grup Hidrologi Tanah			
				A (5)	B (6)	C (7)	D (8)
Pertanian	Bera	Tanah terbuka		77	86	91	94
	Tanaman berjajar	Larikan lurus	Buruk	72	81	88	91
		Larikan lurus	Baik	67	78	85	89
		Kontur	Buruk	70	79	84	88
		Kontur	Baik	65	75	82	86
		Kontur & teras	Buruk	66	74	80	82
		Kontur & teras	Baik	62	71	78	81
	Padi, gandum	Larikan lurus	Buruk	65	76	84	88
		Larikan lurus	Baik	63	75	83	87
		Kontur	Buruk	63	74	82	85
		Kontur	Baik	61	73	81	84
		Kontur & teras	Buruk	61	72	79	82
Kontur & teras		Baik	59	70	78	81	
Tanaman legum	Larikan lurus	Buruk	66	77	85	89	
	Larikan lurus	Baik	58	72	81	84	
	Kontur	Buruk	64	75	83	85	
	Kontur	Baik	55	69	78	83	
	Kontur & teras	Buruk	63	73	80	83	
	Kontur & teras	Baik	51	67	76	80	
Lapangan rumput			Buruk	68	79	86	89
			Sedang	49	69	79	84
			Baik	39	61	74	80
Padang rumput				30	58	71	78
	Tegakan hutan		Buruk	45	66	77	83
			Sedang	36	60	73	79
<i>Kajian Model Estimasi Volume Limpasan Perumahan ... (Ugo Harjo Murtono)</i>				77			
	Pekarangan rumah		-	59	74	82	86
Padang rumput (iklim kering)	Tanaman perdu (rumput-an & tanaman bawah)		Buruk (< 30%)		80	87	93
			Sedang		71	81	89
			Baik (70%)		62	74	79
	Perdu daerah pegunungan		Buruk		66	74	79

Penggunaan lahan	Tipe Penutupan	Cara Pengelolaan	Kondisi Hidrologi	Grup Hidrologi Tanah			
				A	B	C	D
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	Pekarangan rumah		-	59	74	82	86
<b>Padang rumput (iklim kering)</b>	Tanaman perdu (rumput-an & tanaman bawah)		Buruk (< 30%)		80	87	93
			Sedang		71	81	89
			Baik (70%)		62	74	79
	Perdu daerah pegunungan		Buruk		66	74	79
			Sedang		48	57	63
			Baik		30	41	48
	Perdu padang pasir		Buruk	63	77	85	88
			Sedang	55	72	81	86
			Baik	49	68	79	84
<b>Perkotaan</b>	Telah berkembang :						
	-Taman kota berumput		Buruk (2%)	68	79	86	89
			Sedang	49	69	79	84
			Baik (75 %)	39	61	74	80
	- Kawasan beraspal dan berbeton			98	98	98	98
	- Jalan tanah			72	82	87	89
	- Jalan aspal/beton			98	98	98	98
	- Jalan berbatu			76	85	89	91
	- Jalan aspal/beton Bersaluran Terbuka			83	89	92	93
	Wilayah :						
	- Pertokoan (85 % kedap air (ka)			89	92	94	95
	- Industri (72 % ka)			81	88	91	93
	- Perumahan ( halaman (h) 500 m <sup>2</sup> , 65 % ka)			77	85	90	92
	- Perumahan ( h ± 1000 m <sup>2</sup> , 38% ka)			61	75	83	87
	- Perumahan ( h ± 1350 m <sup>2</sup> , 30% ka)			57	72	81	86
	- Perumahan ( h ± 2000 m <sup>2</sup> ,25% ka)			54	70	80	85
	- Perumahan ( h ± 4000 m <sup>2</sup> , 20% ka)			51	68	79	84
	- Perumahan ( h ± 8000 m <sup>2</sup> , 12% ka)			46	65	77	82
	- Pengembangan Kota ( tanpa vegetasi)			77	86	91	94

Sumber : McCuen (1989) dan US SCS (1972)

Tabel 2. Grup Hidrologi Tanah (*hydrolic soil group*)

Grup Tanah	Laju infiltrasi (mm/jam)	Tekstur
A	8- 12	Pasir, pasir berlempung dan lempung berpasir
B	4 – 8	Lempung berdebu, lempung
C	1 – 4	Lempung pasir berliat
D	0 – 1	Lempung berliat, lempung debu berliat, liat berpasir, liat berdebu, liat

Sumber : McCuen (1989) dan US SCS (1972)

Tabel 3. Angka *CN* untuk kondisi *AMC I* (kering) dan *AMC III* (jenuh air dengan hujan terjadi pada 5 hari terakhir).

Angka <i>CN</i> (II) untuk kondisi <i>AMC I</i> (kering) dan <i>AMC III</i> (jenuh air dengan hujan terjadi pada 5 hari terakhir)		
Angka <i>CN</i> (II)	Kondisi <i>AMC I</i> (kering)	Kondisi <i>AMC III</i> (jenuh air dengan hujan terjadi pada 5 hari terakhir)
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
65	45	83
60	40	79
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33
10	4	26
5	2	17
0	0	0

Sumber : McCuen (1989) dan US SCS (1972)

$Q = C.I.A.$  cfs (*cubic feet per second* atau *second feet*) ..... (3)

A = luas daerah aliran sungai dalam acres

I = intensitas hujan maksimum selama waktu yang sama dengan lama waktu konsentrasi, dinyatakan dalam inchi tiap jam

C = angka pengaliran (*koefisien runoff*), tak berdimensi.

Apabila digunakan satuan metrik, maka rumus rasional menjadi :

$$Q = 0,278 C.I.A. \text{ m}^3/\text{dt.} \dots\dots\dots (4)$$

I : dalam mm tiap jam

A : dalam km<sup>2</sup>.

a. Koefisien *run off* yang didasarkan pada faktor-faktor daerah pengalirannya seperti : jenis tanah, kemiringan, keadaan hutan penutupnya dan besar kecilnya banjir, intensitas hujan selama *time of concentration* dan luas daerah pengaliran.

Besarnya koefisien *runoff* ( C ) didasarkan pada keadaan daerah pengaliran seperti terlihat pada Tabel 4.

b. Intensitas hujan (I) didapat dari persamaan :

$$I = \frac{R}{24} \cdot \left( \frac{24}{T_c} \right)^{2/3} \dots\dots\dots (5)$$

I = intensitas hujan selama *time of concentration* (mm/jam)

R = hujan sehari (mm)

$T_c$  = *time of concentration* (jam)

$$T_c = \frac{(0,869 \times L^3)^{0,385}}{H} \dots\dots\dots (6)$$

$T_c$  = *time of concentration* (jam)

L = panjang sungai utama ( km)

H = beda tinggi antara titik tertinggi dengan titik terendah pada *catchment area* (m)

c. Luas DAS (A) dalam km<sup>2</sup>

3) Estimasi perhitungan erosi tanah dengan metode *MUSLE*

Metode *USLE* sebagai suatu persamaan hanya dapat menduga besar erosi tanah tahunan yang berasal erosi permukaan yang terjadi pada bagian profil bentang lahan (*landscape*) dan tidak dapat

Tabel 4. Perhitungan Koefisien *Runoff*

No.	Keadaan daerah pengaliran	Koefisien <i>runoff</i>
1.	Bergunung dan curam	0,75 - 0,90
2.	Pegunungan tersier	0,70 - 0,80
3.	Sungai dengan tanah dan hutan dibagian atas dan bawahnya	0,50 - 0,75
4.	Tanah dasar yang diairi	0,45 - 0,60
5.	Sawah waktu diairi	0,70 - 0,80
6.	Sungai bergunung	0,75 - 0,85
7.	Sungai dataran	0,45 - 0,75

Sumber : Sosrodarsono, 1993



menghitung deposisi yang terjadi. *USLE* juga tidak diperuntukkan untuk menghitung hasil sedimen yang berada pada hilirnya maupun bentuk erosi *gully*.

Selanjutnya persamaan pendugaan erosi juga dikembangkan oleh Williams (1975) yaitu menerapkan faktor erosivitas hujan (R) sebagai *rainfall-runoff* basis sebagai persamaan *MUSLE* (*modified USLE*), sehingga persamaannya menjadi :

$$A = Rm \times K \times L \times S \times C \times P \dots\dots\dots (7)$$

dimana :

$$Rm = 11,8 (Q qp)^{0,56}$$

Q = total volume *runoff* (m3)

qp = adalah puncak banjir (m3/dt)

a). Rm : erosivitas hujan merupakan faktor R pada *MUSLE*, yang dicari dengan menggunakan nilai total volume *runoff* dan debit puncak, dimana Rm (Williams dan Berndt,1977) :

$$Rm = 11,8 (Q qp)^{0,56}$$

Q = total volume *runoff* (m3)

qp = adalah puncak banjir (m3/dt) yang dihitung dengan melalui pengamatan tinggi muka air otomatis (*AWLR*), pada tinggi muka air yang tertinggi, kemudian disubstitusikan kedalam persamaan hubungan tinggi muka air dengan debit aliran (*discharge rating curve*)

b). K: erodibilitas tanah yang dihitung dengan nomograph *USLE*, dari Wischmeier dan Smith , dimana parameter-parameternya adalah fraksi pasir sangat halus + debu (%), fraksi pasir (%), bahan organik (%) dengan 5 (lima) kelas, struktur tanah 4

(empat) kelas dan permeabilitas tanah 6 (enam kelas). Nilai K ini juga dapat dihitung dengan persamaan:

$$100 K = 2,1 M 1,14 (10^{-4}) (12 - a)^{EU} + 3,25 (b-2) + 2,5 (c - 3) \dots (8)$$

dimana untuk memperoleh nilai satuan metrik, maka nilai K adalah :

$$K = 1,292 \times \text{nilai } K_{EU}$$

c). LS : faktor panjang dan kemiringan lereng yang dihitung dengan persamaan

$$L = (1/22,1)^{1/2} \dots\dots\dots (9)$$

$$S = 65,41 \sin 2 a + 4,56 a + 0,065 \dots\dots\dots (10)$$

d). C dan P : berupa faktor penutupan tanah oleh tanaman (C) dan praktek konservasi tanah (P) yang dihitung berdasarkan nilai-nilai yang telah diadopsi untuk kondisi Indonesia.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Estimasi Volume Limpasan Permukaan dengan Model SCS

Perhitungan masing-masing faktor untuk Model **SCS** adalah sebagai berikut :

1. Faktor angka *Curve Number* (CN) disajikan pada Tabel 5.

2. Perbedaan antara curah hujan dan limpasan permukaan (s)

Besarnya perbedaan antara curah hujan dan limpasan permukaan (s) adalah berhubungan dengan angka kurva limpasan permukaan (CN) dimana persamaannya adalah :

$$S = \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) 25,4 \text{ atau}$$

Tabel 5. Perhitungan angka *Curve Number (CN)* DAS Keduang

No.	Luas (ha)	Kelompok tanah	Tipe landuse, Perlakuan, Kondisi tanah	Angka CN	CN Tertimbang
1	2	3	4	5	6 = 2 x 5
1	7.971,191	D	Pekarangan rumah	86	685.522,43
2	255,671	D	Lapangan rumput, baik	80	20.453,664
3	2.528,760	D	Tegakan hutan, baik	77	194.714,52
4	1.288,148	A	Tegakan hutan, sedang	36	46.373,328
5	3.446,809	A	Tegakan hutan, buruk	45	155.106,39
6	12.948,285	D	Padi, larikan lurus, baik	87	11.265,008
7	8.341,739	D	Legum, kontur dan teras baik	80	667.339,12
	36.780,603				2.896.010,2
Angka CN tertimbang = 2.896.010,2445 / 36.780,603 = <b>78,74</b>					

Sumber : hasil perhitungan

$$S = \left( \frac{25400}{CN} - 254 \right)$$

sehingga (s) = ( 25400 / CN ) - 254  
 (s) = ( 25.400 / 78,74 ) - 254  
 = **68,58**

3. Volume Limpasan Permukaan

Volume limpasan permukaan (*runoff*) dengan persamaan :

$$Q = \frac{(P - 0.2 s)^2}{P + 0.8 s}$$

dimana :

Q = limpasan permukaan (mm)

P = curah hujan sesaat (mm) = 108 mm, (hujan maksimum terjadi pada tanggal 20–Desember-2005)

s = perbedaan antara curah hujan dan runoff (mm)

$$Q = \left\{ 108 - (0,2 \times 68,58) \right\}^2 / \left( 108 + (0,8 \times 68,58) \right) = 8889.4726 / 162.864 = \mathbf{54,58 \text{ mm}}$$

4. Total volume limpasan permukaan (*run-off*) pada kejadian hujan maksimum sebesar 108 mm ( 20-Desember-2005)

Total volume limpasan permukaan (Q) untuk DAS Keduang pada tanggal 20 Desember 2005 =  
 $54,58 \times 1/1000 \text{ m} \times 36.780,603 \times 10.000 \text{ m}^2 = \mathbf{20.056.462,82 \text{ m}^3}$

Perhitungan hasil total volume limpasan permukaan terprediksi (*Q-SCS*) di DAS Keduang pada kejadian hujan maksimum sebesar 108 mm pada tanggal 20 Desember 2005 nilainya sebesar 20.056.462,82 m<sup>3</sup> dibandingkan dengan nilai aktual yang diperoleh dari hasil pengamatan hidrologi (SPAS) pada tanggal 20 Desember 2005 nilainya sebesar 15.482.534,40 m<sup>3</sup>, sehingga terdapat selisih + 4.573.928,40 m<sup>3</sup> (29,54 %). Hal ini menunjukkan bahwa metode *SCS* yang diterapkan pada DAS Keduang terjadi *over estimate* dalam memprediksi total volume limpasan permukaan.

**Model Estimasi Debit Puncak Aliran Dengan Model Rasional**

Dalam mengestimasi debit maksimum (*qp*) dengan metode rasional digunakan persamaan berikut :

$$qp = 0,278 \text{ C.I.A. m}^3/\text{dt.}$$

dimana

- A = luas daerah aliran sungai dalam km<sup>2</sup>
- I = intensitas hujan maksimum selama waktu yang sama dengan lama waktu konsentrasi, dinyatakan dalam mm tiap jam
- C = Koefisien *run off* yang didasarkan pada faktor-faktor daerah pengalirannya seperti : jenis tanah, kemiringan, keadaan hutan penutupnya dan besar kecilnya banjir, intensitas hujan selama *time of concentration* dan luas daerah pengaliran.

1. Besarnya koefisien *runoff* (C) didasarkan pada keadaan daerah pengaliran seperti terlihat pada Tabel 6.
2. Intensitas hujan (I) didapat dari persamaan :

$$I = \frac{R}{25} \dots \left( \frac{24}{Tc} \right)^{2/3}$$

- I = intensitas hujan selama *time of concentration* (mm/jam)
- R = hujan sehari (mm)
- Tc = *time of concentration* (jam)

$$Tc = \frac{(0,869 \times L^3)^{0,385}}{H}$$

- Tc = *time of concentration* (jam)
- L = panjang sungai utama ( km) = 37,82 km.
- H = beda tinggi antara titik tertinggi dengan titik terendah pada *catchment area* (m)  
925 - 150 = 1725 m.

$$Tc = \left( \frac{0,867 \times L^3}{H} \right)^{0,385}$$

$$Tc = \left( \frac{0,867 \times (37,82)^3}{1725} \right)^{0,385}$$

$$Tc = \left( \frac{46.901,1694}{1725} \right)^{0,385}$$

$$Tc = 3,57 \text{ jam}$$

Tabel 6. Perhitungan Koefisien *Runoff* di sub DAS Keduang

No.	Kondisi Sungai	Luas		Nilai C	Nilai C Tertimbang
		(ha)	(%)		
1.	Sungai dataran	5.331	14,49	0,60	0,087
2.	Sungai bergunung	26.935	73.23	0,80	0.586
3.	Sungai bergunung dan curam	4.515	12,28	0,825	0,101
<b>Koefisien <i>Runoff</i> ( C ) rata-rata tertimbang</b>					<b>0,774</b>

$$I = \frac{R}{24} \cdot \left( \frac{24}{T_c} \right)^{2/3}$$

$$I = \frac{108}{24} \cdot \left( \frac{24}{3.57} \right)^{2/3}$$

$$I = 4,50 \cdot 3,585 = \mathbf{16,13 \text{ mm/jam}}$$

3. Luas DAS (A) dalam km<sup>2</sup>  
Luas DAS (A) Keduang = 367,81 km<sup>2</sup>

4. Estimasi debit aliran puncak (*qp*) DAS Keduang berdasarkan model rasional  
*qp* = 0,278 C.I.A. m<sup>3</sup>/dt.  
*qp* = 0,278 x 0,774 x 16,13 x 367,81 m<sup>3</sup>/dt.  
***qp* = 1.276,57 m<sup>3</sup>/dt.**

Perhitungan hasil debit puncak aliran terprediksi (*qp*-rasional) di DAS Keduang pada kejadian hujan maksimum = 108 mm dan tinggi muka air maksimum = 3,30 m pada tanggal 20 Desember 2005 nilainya sebesar 1.276,5671 m<sup>3</sup>/dt dibandingkan dengan nilai aktualnya yang diperoleh dari hasil pengamatan hidrologi (SPAS) yang terjadi pada tanggal 20 Desember 2005 dengan tinggi muka air maksimum = 3,30 m, nilainya sebesar 638,819 m<sup>3</sup>/dt, sehingga terjadi penyimpangan serbesar + 637.7481 m<sup>3</sup>/dt (49,96 %). Hal ini menunjukkan bahwa untuk metode rasional yang diterapkan di DAS Keduang terjadi *over estimate* dalam memprediksi debit puncak aliran.

### Model Estimasi Erosi Dengan Model MUSLE

Parameter yang dihitung dalam memprediksi erosi tanah dengan metode MUSLE adalah sebagai berikut

- 1). *Rm* : erosivitas hujan merupakan faktor *R* pada MUSLE, yang dicari dengan

menggunakan nilai total volume *runoff* dan debit puncak aliran, dimana *Rm* (Williams dan Berndt, 1977) :

$$R_m = 11,8 (Q \text{ qp})^{0,56}$$

*Q* = total volume *runoff* (m<sup>3</sup>) yang dihitung dengan metode bilangan kurva (*SCS*)

*qp* = adalah puncak banjir (m<sup>3</sup>/dt) yang dihitung dengan rumus rasional.

$$R_m = 11,8 (Q \text{ qp})^{0,56}$$

$$R_m = 11,8 (20.056.462 \times 1.276,57)^{0,56}$$

$$R_m = \mathbf{5481,1241}$$

- 2). *K* : erodibilitas tanah yang dihitung dengan nomograph *USLE*, dari Wischmeier dan Smith, dimana parameter-parameternya adalah fraksi pasir sangat halus + debu (%), fraksi pasir (%), bahan organik (%) dengan 5 (lima) kelas, struktur tanah 4 (empat) kelas dan permeabilitas tanah 6 (enam) kelas. Nilai *K* ini juga dapat dihitung dengan persamaan :

$$100 K = 2,1 M^{1,14} (10^{-4})^{(12-a)} + 3,25 (b-2)^{EU} + 2,5 (c-3)$$

dimana untuk memperoleh nilai satuan metrik, maka nilai *K* adalah :

$$K = 1,292 \times \text{nilai } K_{EU}$$

Nilai *K* (erodibilitas tanah) DAS Keduang disajikan dalam Tabel 11.

- 3). *LS* : faktor panjang dan kemiringan lereng yang dihitung dengan persamaan

$$L = (1/22,1)^{1/2}$$

$$S = 65,41 \sin 2 a + 4,56 a + 0,065$$

Tabel 7. Nilai K (erodibilitas tanah) DAS Keduang

No.	Jenis tanah	Batuan induk	K	Luas		K tertimbang
				(ha)	(%)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) = (4) x (6)
1.	Lithosol	Breksi	0,015	3.593	9,77	0,0015
2.	Lithosol	Vulkanik/lava	0,03	5.392	14,66	0,0044
3.	Gromusol	Napel	0,24	353	0,96	0,0023
4.	Mediteran	Tuff Vulkan	0,18	15..577	42,35	0,0762
5.	Latosol	Tuff vulkan	0,16	11.866	32,26	0,0516
Nilai K (erodibilitas tanah) tertimbang						<b>0,1360</b>

Faktor panjang dan kemiringan lereng (faktor LS) DAS Keduang dihitung dengan bantuan peta topografi dengan persamaan McCool dkk. (1987). Hasil nilai panjang dan kemiringan lereng (faktor LS) sub DAS Keduang adalah = **17,3** (BTP DAS, 2001)

4). C dan P : berupa faktor penutupan tanah oleh tanaman (C) dan praktek konservasi tanah (P) yang dihitung berdasarkan nilai-nilai yang telah diadopsi untuk kondisi Indonesia. Nilai C dan P di DAS Keduang hasilnya disajikan pada Tabel 8.

5). Hasil prediksi tingkat erosi tanah (A) dari *MUSLE* dihitung berdasarkan persamaan umum kehilangan tanah (*USLE*) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 A &= 70.687.029,01 \times 0,1360 \times 17,30 \\
 &\quad \times 0,035 \\
 &= \mathbf{5.820.935,465 \text{ ton} = 158,2610} \\
 &\quad \mathbf{\text{ton/ha/th}}
 \end{aligned}$$

Perhitungan hasil erosi tanah (A) dari *MUSLE* terprediksi (*A-MUSLE*) di DAS Keduang tahun 2005 sebesar 158,2610 ton/ha/th dibandingkan dengan nilai aktualnya yang diperoleh dari hasil

Tabel 8. Nilai C dan P rata-rata tertimbang DAS Keduang

No.	Landuse	Nilai C	Nilai P	Luas		Nilai CP
				(ha)	(%)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) = (3) x(4) x (6)
1.	Hutan	0,01	1,00	4.083	11,1	0,001
2.	Hutan dan semak	0,15	1.00	2.244	6,1	0,009
3.	Sawah	0,10	0,04	15..521	42,2	0,001
4.	Kampung	0,40	0,15	5.076	13,8	0,008
5.	Tegal	0,50	0,15	7.209	19,6	0,015
6.	Tegal/hutan rakyat	0,10	0,15	2.648	7,2	0,001
Nilai CP rata-rata tertimbang =						<b>0,035</b>

pengamatan hidrologi (SPAS) tahun 2005 nilainya sebesar 106,5931 ton/ha/th, sehingga terjadi penyimpangan sebesar + 51,6679 ton/ha/th (48,47 %). Hal ini menunjukkan bahwa metode perhitungan erosi tanah dari *MUSLE (A-MUSLE)* yang diterapkan pada DAS Keduang terjadi *over estimate* dalam memprediksi erosi tanah.

## KESIMPULAN

1. Metode *Soil Conservation Service (SCS)* terjadi *over estimate* sebesar 29,54 % dalam memprediksi volume aliran permukaan pada DAS Keduang, dibandingkan dengan nilai aktualnya yang diperoleh dari hasil pengamatan hidrologi (SPAS), hal ini didasarkan pada hasil perhitungan total volume *runoff* terprediksi (*Q-SCS*) pada kejadian hujan sebesar maksimum = 108 mm pada tanggal 20 Desember 2005.
2. Metode Rasional (*qp-rasional*) terjadi *over estimate* sebesar 49,96 % dalam memprediksi debit aliran puncak pada DAS Keduang dibandingkan dengan nilai aktualnya yang diperoleh dari hasil pengamatan hidrologi (SPAS), hal ini didasarkan pada hasil perhitungan debit maksimum terprediksi (*qp-rasional*) pada kejadian hujan maksimum = 108 mm dan tinggi muka air maksimum =

3,30 m pada tanggal 20 Desember 2005

3. Metode *MUSLE (A-MUSLE)* terjadi *over estimate* sebesar 48,47 % dalam memprediksi erosi tanah pada DAS Keduang, dibandingkan dengan nilai aktualnya yang diperoleh dari hasil pengamatan hidrologi (SPAS) tahun 2005. Perhitungan hasil erosi tanah (A) dari *MUSLE* terprediksi (*A-MUSLE*) di DAS Keduang tahun 2005 sebesar 158,2610 ton/ha/th dibandingkan dengan nilai aktualnya yang diperoleh dari hasil pengamatan hidrologi (SPAS) tahun 2005 nilainya sebesar 106,5931 ton/ha/th, sehingga terjadi penyimpangan sebesar + 51,6679 ton/ha/th (48,47 %).
4. Estimasi volume limpasan permukaan dengan model *SCS*, estimasi debit puncak aliran dengan model Rasional (*qp-rasional*) dan metode perhitungan erosi tanah dengan model *MUSLE (A-MUSLE)* pada DAS Keduang dengan luas yang relatif besar (42.644 ha) terjadi *over estimate* apabila dibandingkan dengan hasil pengukuran aktual.
5. Disarankan perlu untuk dilaksanakan lagi penelitian pada lokasi lain yang mempunyai variasi luasan DAS yang berbeda-beda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrachman, A., S. Abujamin, and U. Kurnia. 1984. Soil and Management Practices For Erosion Control. In Lal, R. 1990, *Soil Erosion in The Tropics Principles and Management*, Mc Graw – Hill, Inc., New York.
- Arsyad, S. 1989. Soil and Water Conservation (translated). IPB Press, Bogor, Indonesia.
- Bols, P.L. 1978. The Iso-Erodent Map of Java and Madura. SRI, Bogor.

- Coursey, D.G., J.C. Shaake, and E.H. Seely. 1982. Stochastic Models in Hydrology. In Haan, Johnson, Brakensiek (Ed): *Hydrologic Modelling of Small Watersheds*. ASAE Monograph : 19 -73.
- De Roo, A.P.J. 1993. Modelling Surface Run Off and Soil Erosion in Catchments Using Geographical Information System. *Nederlands Geografische Studies* 157. Utrecht.
- Fleming, 1979. Deterministic Models in Hydrology. FAO. Rome. Italy.
- Junun Sartohadi dan Ratih Fitria Putri. 2008. “Evaluasi Potensi Degradasi Lahan dengan Menggunakan Analisa Kemampuan Lahan dan Tekanan Penduduk terhadap Lahan Pertanian di Kecamatan Kokap Kabupaten Kulon Progo” dalam *Forum Geografi*, Vol. 22, No. 1, Juli 2008. Hlm. 1-12.
- Kurnia, U. and H.Suwardjo. 1985. Effect of Mechanical Conservation Methods on Soil in Tropodulf and Tropothent in Yogyakarta. In Lal, R. (1990), *Soil Erosion In The Tropics : Principles and management*, Mc.Graw-Hill, Inc., New York.
- Mc.Cool, D.K., L.C. Brown, G.R. Foster, C.K. Mutchler, and L.D. Meyer. 1987. *Revised Slope Steepness Factor for The USLE*. Trans ASAE., 30 (5): 1397-1396.
- Mc.Cuen,R.H. 1989. Hydrologic Analysis and Design. Prince Hall, New York.
- Seyhan, E. 1977. Mathematical Simulation of Watershed Hydrologic Processes. Geografisch Instituut der Rijksuniversity te Utrecht, Utrecht.
- Sharp, J.J. and P.G. Sawden. 1984. Basic Hydrology. Butterworth & Co., London.
- Sosrodarsono, S. 1978. Hidrologi Untuk Pengairan. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- Sudariyono, 1984. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Seminar Hidrologi Dalam Rangka Peringatan Dies Natalis XXXV, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta 14-15 Desember 1984
- Suprpto Dibyosaputro. 2005. “Muatan Suspensi Total dan Laju Sedimentasi Sungai Kayan di Kabupaten Bulungan, Kalimantan Timur”. *Forum Geografi*, Vol. 19, No. 2, Desember 2005. Hlm. 115-126.
- Sukresno. 1999. Laporan Kajian Penerapan RUSLE, MUSLE Untuk Pendugaan Erosi dan Sedimentasi. BTPDAS, Badan Litbang Kehutanan dan Perkebunan, Dephutbun, Surakarta.
- Wischmeier,W.H. dan D.D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide To Conservation Planning. USDA. Ag. Handbook No.537, 58 p.

# POTENSI AIR TANAH PASCA GEMPA TEKTONIK DI LERENG MERAPI DAERAH KLATEN JAWA TENGAH

**Suharjo, Alif Noor Anna,  
Retno Woro Kaeksi, dan Yuli Priyana**

Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A. Yani Pabelan Kartasura Tromol Pos I Surakarta 57102, Telp. (0271) 717417  
Psw. 151-153, Fax. (0271) 7155448  
E-mail: suharjo@ums.ac.id; anna@ums.ac.id;  
retno@ums.ac.id; yuli\_priyana@ums.ac.id

## ABSTRACT

*The purpose of this research is to analyze the potency of land water in the post tectonic earthquake at Merapi slope in Klaten regency, Central Java. This research applies a survey method. The result of analysis is made based on the trilinear diagram, Stiff pattern, and the quality standard of drinking water. The collected data are in the form of land form, shallow land water data, suppressed land water, and well or spring. The results of the research show that 1) the land form in Klaten is divided into four sets of landform, they are peak and slope of volcano, feet of volcano, fluvial plain under volcano, and a set of structural morphology. 2) the potency of land water can be tested based on the amount of land water and the quality of land water. The amount of land water in Klaten regency 260,502,274 m<sup>3</sup>/year or 727,618,722 liter/day. The amount of land water above is taken from free land water 73,301,436 m<sup>3</sup>/year, suppressed land water 34,138,520 m<sup>3</sup>/year, and land water taken from well or spring 153,062,784 m<sup>3</sup>/year. The quality of shallow land water in Klaten regency is proper to consume. 3) The distribution of upland water potency happens in the feet volcano land form, the potency of medium land water happens in the superficial of fluvial under volcano land form, and the potency of lowland water happens in the slope volcano land form and in the structural range of hills at Bayat subdistrict, 4) The tectonic earthquake gives serious effect toward morphological changes, land split, land subsident and the potency of land water in the fluvial plain of land form under volcano and structural range of hills in the area of Bayat subdistrict, and 5) In 2008, the needs of drinking water in Klaten regency is predicted around 1,164,000 people × 150 liter/day = 174,600,000 liter/day.*

**Keywords:** *potency of land water, tectonic earthquake and land form.*

## PENDAHULUAN

Undang-Undang No. 7 tahun 2004 tentang sumber daya air yang belum diikuti peraturan pemerintah maka yang terjadi di lapangan: 1) Pengelolaan dan pembagian air dari mata air daerah kabupaten Klaten nampaknya belum adanya koordinasi antar masyarakat pengguna, masyarakat dengan kepala daerah, serta antar kepala daerah sebagai pengguna air tanah dari Gunung Api Merapi (Kabupaten Klaten, Sukoharjo dan Kabupa-

ten Kota Surakarta), 2) belum adanya kesepakatan bersama yang dituangkan dalam Peraturan Daerah (Perda) tentang pengelolaan air tanah di lereng Merapi, yang meliputi daerah (Klaten, Sukoharjo, Surakarta).

Sumber air tanah di daerah Klaten terdiri dari air tanah bebas, air tanah tertekan dan air tanah dari mata air atau *spring*. Jumlah mata air di daerah klaten sebanyak 162 dengan rincian 28 mata air sudah mati dan 134 mata air mempunyai debit air bervariasi (Suharjo, 2005).



Potensi air tanah bebas dan air tanah tertekan dipengaruhi oleh relief, jenis batuan, struktur batuan. Gempa bumi tektonik yang terjadi pada tanggal 27 Mei 2006 daerah Klaten berakibat terjadi degradasi lahan (rekahan, retakan, longsor lahan, sembulan, dan amblesan) terjadi di bentuklahan dataran fluvial bawah volkan Merapi dan bentuklahan asal struktural perbukitan Bayat (Suharjo, 2006). Berubahnya relief dan kedudukan struktur batuan berpengaruh terhadap potensi air tanah dangkal dan air tanah dalam di daerah Klaten. Sehingga data dasar air tanah sebelum gempa bumi tektonik pada tanggal 27 Mei 2006 mengalami perubahan di perlu diperbaiki.

Tujuan yang dicapai dalam penelitian analisis potensi air tanah di setiap bentuklahan pasca gempa bumi tektonik 27 Mei 2006.

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian, untuk perbaikan data dasar air tanah pasca gempa bumi tektonik; pengembangan materi ajar geomorfologi terapan.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian dilakukan di daerah Kabupaten Klaten Jawa Tengah dengan metode survai, sedang analisis datanya dilakukan di Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta dan Laboratorium Fakultas geografi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta; analisis hasil digunakan metode deskriptif.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu : (a) Peta rupa bumi daerah Klaten Skala 1 : 25000, (b) Peta geologi lembar Yogyakarta dan Surakarta skala 1: 100.000, (c) peta geologi cekungan air tanah Karanganyar- Boyolali, (d) peta morfologi

cekungan air tanah Karanganyar-Boyolali, (e) peta kontur muka air tanah di Cekungan air tanah Karanganyar-Boyolali, (f) botol dan plastik sampel air tanah (g) unsur kimia untuk analisa laboratorium, (h) Komputer dan seperangkat analisa GIS, (i) alat alat tulis.

Analisis potensi air tanah dilakukan di setiap bentuklahan di daerah Kabupaten Klaten. Penyusunan bentuklahan didasarkan aspek morfologi, proses geomorfologi dan kondisi litologi daerah klaten.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

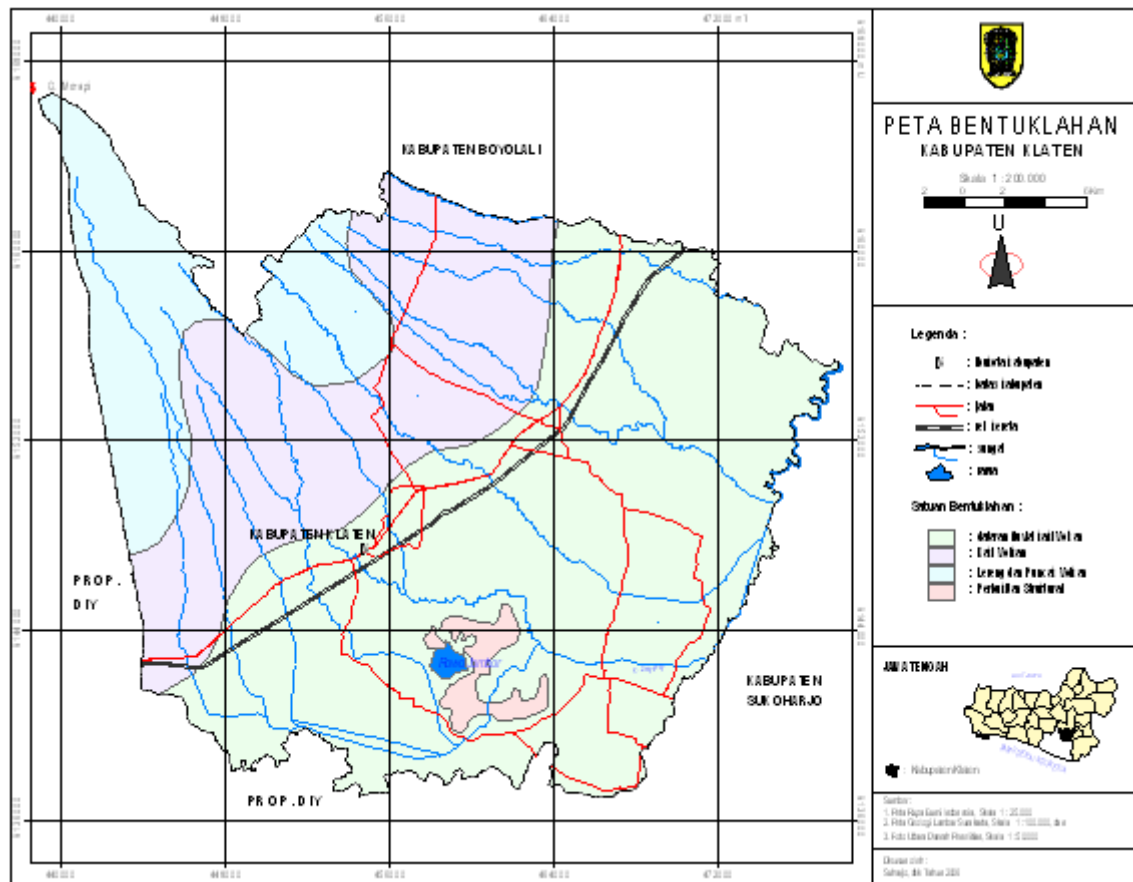
### **Bentuklahan**

Bentuklahan dibedakan menjadi : a). Lereng dan puncak volkan, b). Kaki volkan, c). Dataran fluvial bawah volkan, dan d). Bentuklahan asal struktural perbukitan Bayat ( lihat gambar 1)

### **Curah Hujan**

Curah hujan di daerah klaten berkisar antara 1500 – 3000 mm/tahun (berdasarkan data pemetaan sumberdaya alam). Lebih lanjut berdasarkan curah hujan, secara garis besar Kabupaten Klaten dapat dibedakan dalam 3 wilayah, yaitu:

1. Wilayah curah hujan 1500 – 2000 mm/ tahun merupakan kriteria beriklim lembab yang tergantung pada lamanya musim hujan dengan 3 – 4 bulan kering, meliputi daerah Kecamatan Gantiwarno, Wedi, Cawas, Trucuk, Kalikotes, dan Kebonarum.
2. Wilayah curah hujan 2000-2500 mm/ tahun, merupakan kriteria beriklim sangat lembab dengan 3-4 bulan kering meliputi daerah Prambanan, Bayat, Manisrenggo, Ceper, Wonosari, Delanggu, Polanharjo, Jatinom, Ngawen,



Sumber : Suharjo, 2006

Gambar 1. Peta Bentuklahan Daerah Klaten Jawa Tengah

Pedan, Karangdowo, Juwiring, Karang-anom, Tulung, Kemalang, Klaten Tengah, Klaten Selatan, dan Klaten Utara.

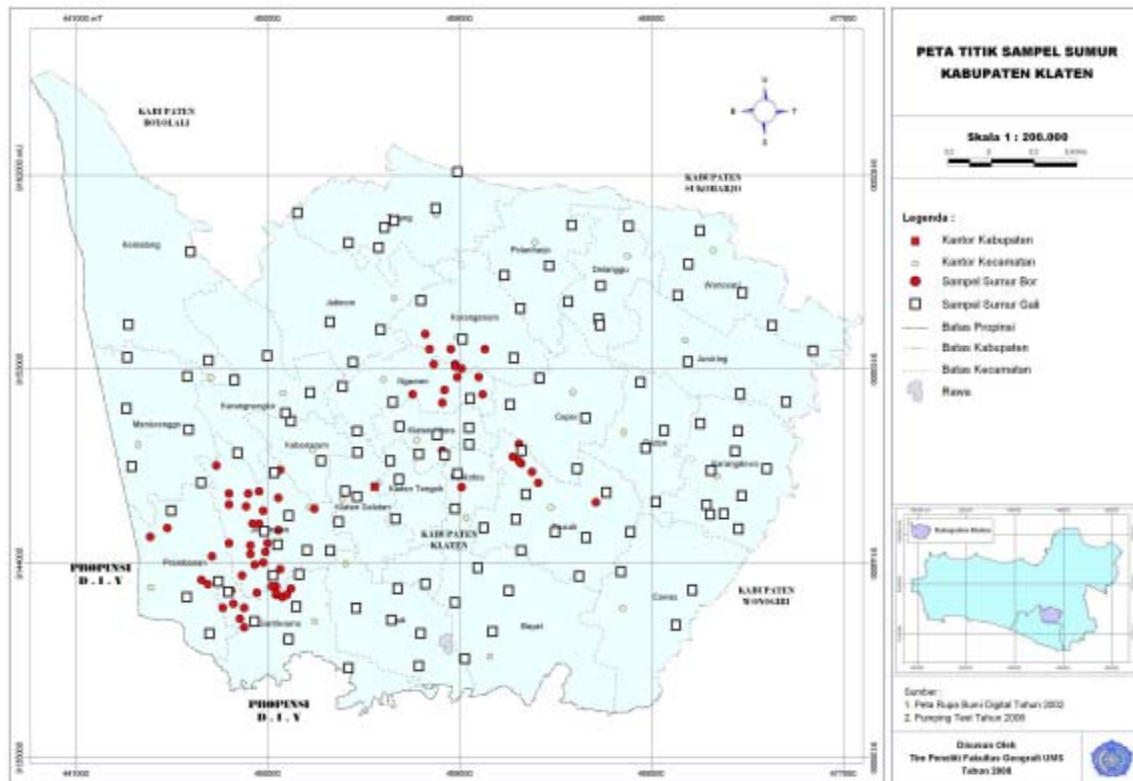
3. Wilayah curah hujan 2500 – 3000 mm/ tahun, yang merupakan kriteria beriklim basah dengan 2-3 bulan kering, meliputi daerah Jogonalan dan Kecamatan Karangnongko.

Air hujan disamping meresap ke dalam perlapisan batuan membentuk air tanah, sebagian mengalir melalui sungai di wilayah Klaten. Sungai–sungai di wilayah Klaten sebagian besar mengalirkan air sepanjang tahun dan air tersebut sebagian

besar dipergunakan untuk irigasi. Berdasarkan data dari Sub Dinas Pengairan DPU Kabupaten Klaten volume air sungai tersebut kurang lebih 1.083.198.528 m<sup>3</sup>.

### Air Tanah

Di daerah Klaten, air tanah dibedakan menjadi a). Air tanah Bebas, b). Air tanah tertekan dan c). Air tanah dari mata air atau *spring*. Data air tanah bebas dan air tanah tertekan didapatkan dari Dinas Pertambangan Dan Energi Propinsi Jawa dan dianalisa menggunakan Sistem Informasi Geografi (SIG). Penyebaran sampel air tanah bebas dan air tanah tertekan dapat dilihat pada Gambar 2.



Sumber : 1. Dinas Pertambangan Dan Energi Propinsi JawaTengah , 2 dan analisa GIS.

Gambar 2. Peta Data Air Tanah Bebas dan air tanah Tertekan

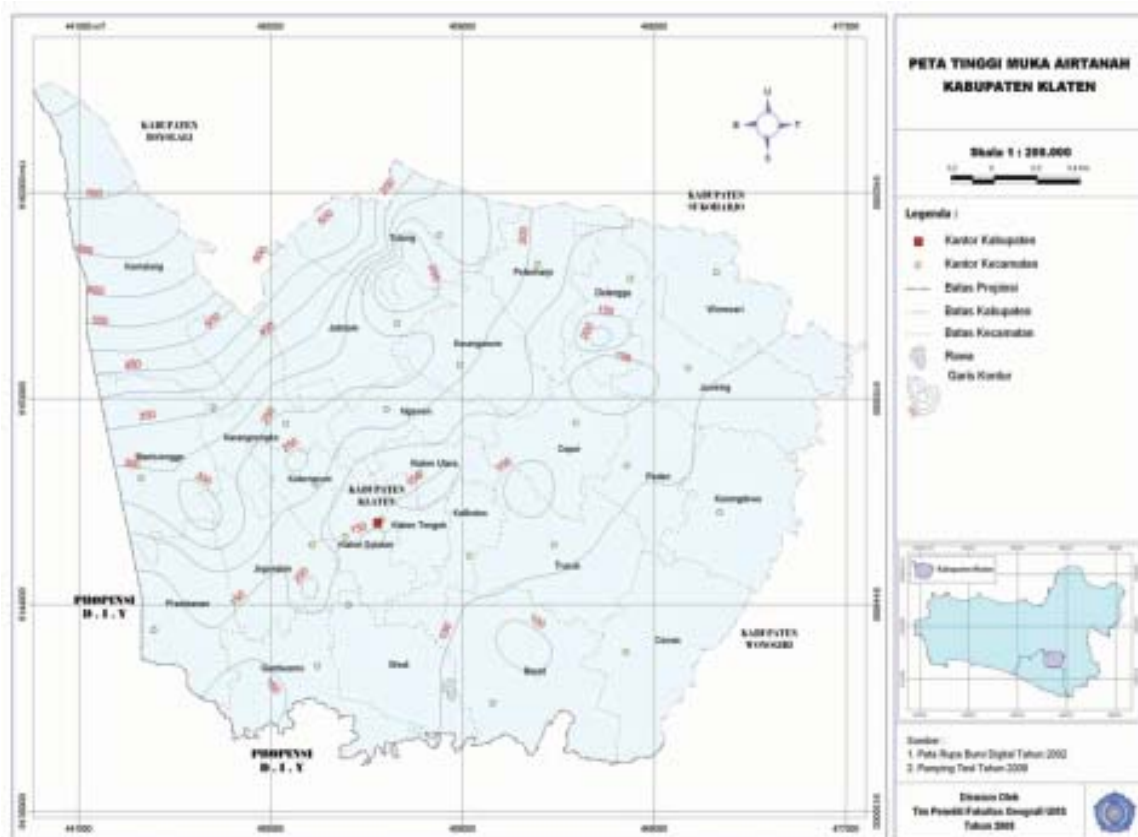
### Air Tanah Bebas

Airtanah (*Groundwater*) adalah air yang terdapat dalam ruang antar butir (pori) batuan atau tanah yang terdapat dalam bawah permukaan tanah dan terletak pada zone jenuh (Todd, 1980). Airtanah yang dimaksudkan disini adalah air tanah bebas, yaitu airtanah pada bagian atas dibatasi oleh muka preatik dan pada bagian bawah dibatasi oleh lapisan kedap air.

Debit air tanah bebas dihitung berdasarkan rumus  $Q = T \times I \times L$  (Walton, 1970), dimana  $Q$  = debit air tanah ( $m^3$ / tahun );  $T$  = koefisien transmisibilitas ,  $I$  = gradien hidrolik dan  $L$  = rata rata lebar aquifer. Untuk mendapatkan besarnya koefisien transmisibilita ( $T$ ), gradien hidrolik ( $I$ ) dan

besarnya lebar aquier ( $L$ ) diperlukan peta agihan tinggi muka air tanah bebas dan peta agihan kedalaman sumur. Berdasarkan analisis Sistem Informasi Geografi terhadap data agihan sumur, kedalaman muka air tanah dan kedalaman sumur ( Dinas Pertambangan Dan Energi Propinsi Jawa Tengah) dan cek lapangan) diperoleh peta agihan tinggi muka air tanah(gambar 3) dan peta agihan (gambar 4).

Berdasarkan peta agihan muka air tanah (gambar 3) dan peta agihan kedalaman air sumur (gambar 4) maka variasi besarnya koefisien transmisi-bilitas disajikan pada tabel 1. Rata-rata koefisien transmisibilitas air tanah bebas sebesar 290, 05  $m^3$ /hari



Sumber: Dinas pertambangan Dan Energi Propinsi Jawa Tengah (2003) dan Perhitungan GIS

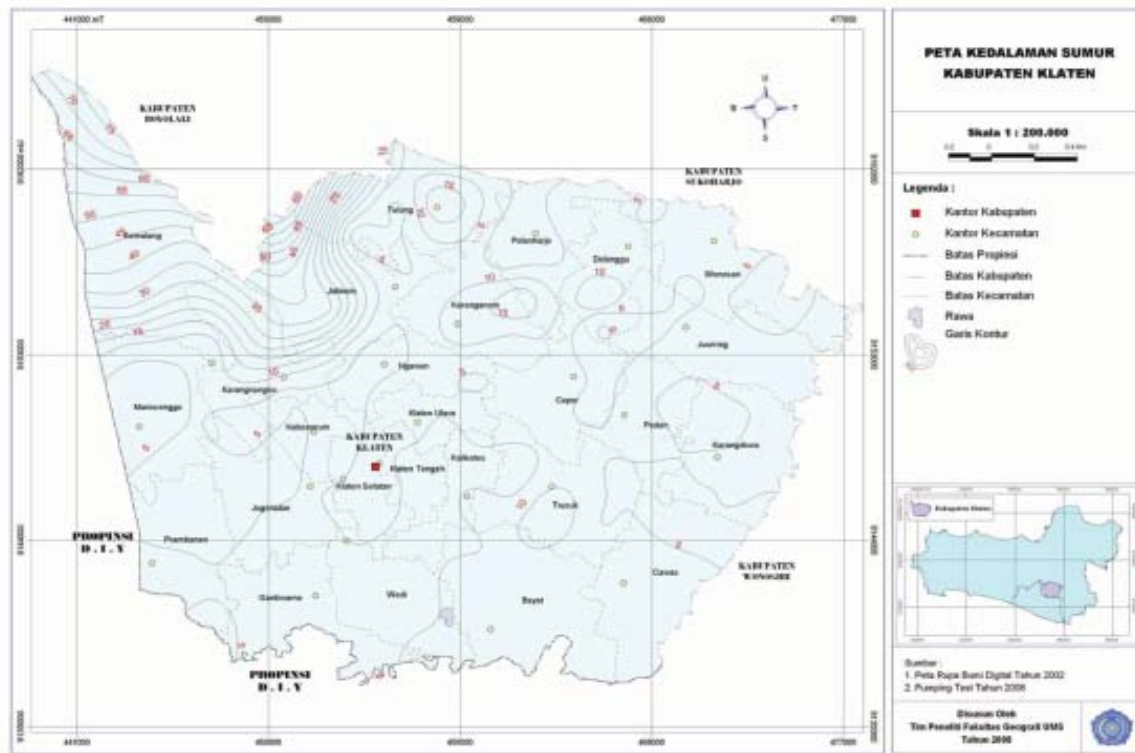
Gambar 3. Peta Agihan Tinggi Muka air Tanah

Tabel 1. Perhitungan Nilai T Rata-rata Daerah Klaten

No	Lokasi Pengukuran	T (m <sup>2</sup> /hari)
1	Geneng, Prambanan	151,44
2	Sanggrahan, Prambanan	258,42
3	Wonoboyo, Jogonalan	412,37
4	Gondangan, Jogonalan	217,57
5	Wonosari, Trucuk	477,90
6	Randusari, Prambanan	222,59
	Rata-rata	290,05

Berdasarkan interpretasi peta agihan muka air tanah (gambar 3) variasi gradien

hidrolik (I) dan rata rata lebar akuifer (L) disajikan pada tabel 2.



Sumber Dinas Pertambangan Dan Energi Propinsi Jawa Tengah (2003) dan perhitungan GIS

Gambar 4. Agihan Kedalaman Sumur pada Air Tanah Bebas

Tabel 2. Tabel Gradien Hidrolik Air Tanah Bebas pada Bentuklahan Dataran Fluvial Bawah Volkan Dan Kaki Volkan

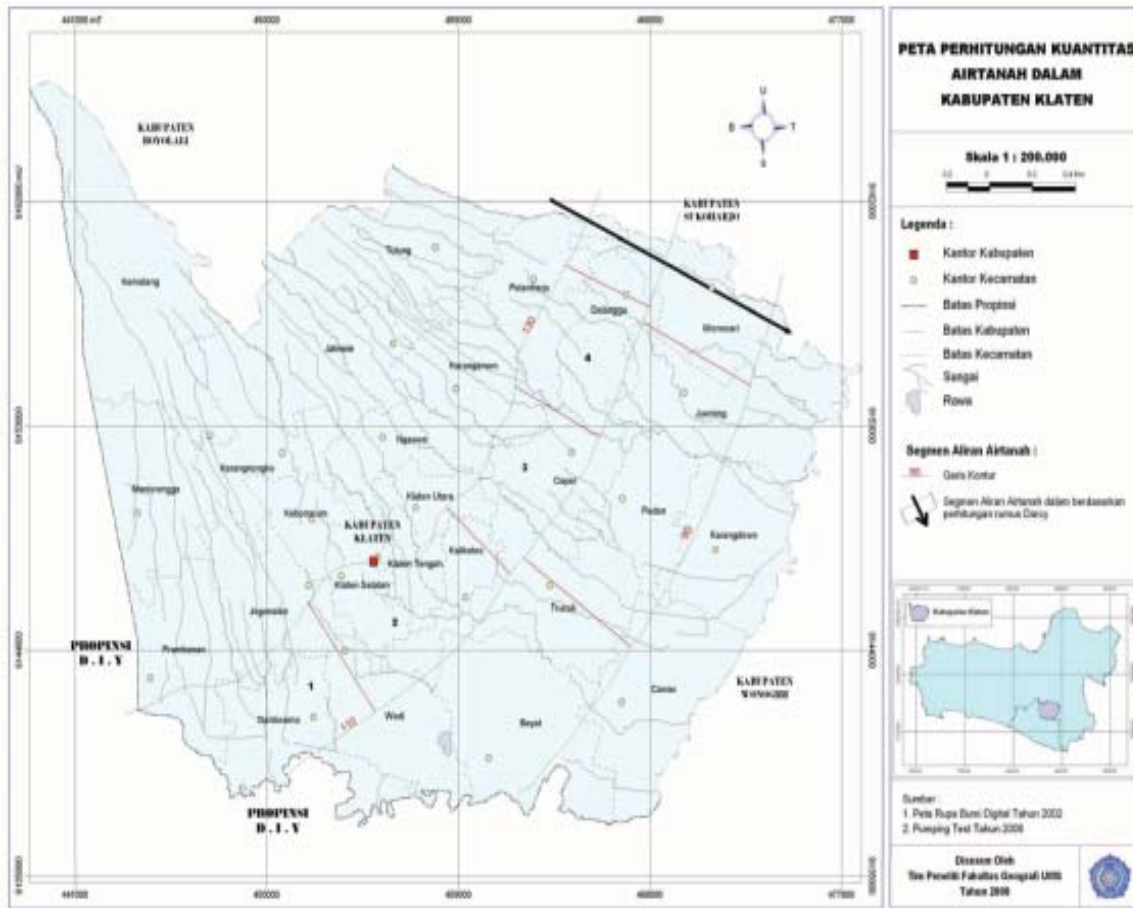
Klas Contur	A (K m <sup>2</sup> )	L ( Km )	$W_a = \frac{A}{L}$	$I = \frac{C_i}{W_a}$
250 - 200	75,0	32,3	2,32	0,023
200 - 150	68,0	30,1	2,25	0,022
Rata-rata		31,2		0,0225

Berdasarkan tabel 2, diperoleh besar gradien hidrolik ( I ) = 0,0225 dan rata-rata lebar akifer (L) = 31,2 Km. Debit air tanah bebas daerah Klaten yaitu:

$$Q = T \cdot I \cdot L = 31,2 \times 0,0225 \times 290,05 = 203.615,1 \text{ m}^3/\text{hari atau } 73.301.436 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

### Air Tanah Tertekan

Air Tanah Tertekan; air tanah ini berada di bawah perlapisan batuan tidak tembus air atau impermiabel; dimana sumber air tanahnya berasal dari perlapisan batuan dibagian hulu. Untuk mengetahui debit air tanah tertekan digunakan rumus  $Q = T \times I \times L$ ; perhitungan T, I dan L dikelompokkan ke dalam segmen wilayah air tanah tertekan (gambar 6).



Sumber : Dinas Pertambangan Dan Energi Propinsi Jawa Tengah 2003

Gambar 6. Peta Segmen Wilayah Air Tanah Tertekan

Berdasarkan peta Segmen segmen wilayah air tanah tertekan (gambar 6) maka besarnya koefisien tranmisibilitas (T),

gradien hidrolik (I), lebar akuifer dan debit air tanah tertekan disetiap segmen yang mengalir di *Catmet Area* Klaten disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Aliran Air tanah tertekan Wajar di CAT Klaten

Segmen	T (m <sup>2</sup> /hari)	I	L ( m)	Q ( m <sup>3</sup> /hari)
1	722	0.005	4300	26714
2	734	0.005	4000	28626
3	791	0.006	3600	29899
4	361	0.005	39.00	9566
Jumlah				94807

Debit air tanah tertekan daerah Klaten sebesar 94.807 m<sup>3</sup>/hari atau 34.138.520 m<sup>3</sup>/tahun.

### **Mata Air**

Daerah Klaten terdapat 134 mata air, debit air dari mata air sebesar 153.062.784 m<sup>3</sup>/tahun atau 58.76 %, dari jumlah air tanah di daerah Klaten dan layak untuk air minum (Suharjo, 2005).

Berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan terhadap singkapan batuan dan sumur gali penduduk, akuifer di daerah penelitian terdiri atas beberapa jenis batuan. Batuan yang menyusun akuifer dangkal umumnya sama yaitu pasir kasar hingga halus, kerikil, kerakal, tuf, dan batu pasir tuffan yang berasal dari endapan fluvial material Gunungapi Merapi. Ketebalan akuifer bervariasi mulai dari 2,00 m – 23 meter di bawah muka tanah setempat (m bmt).

Kedudukan air tanah antara 2,00 – 23,00 meter (m bmt), tebal akuifer 5,00-23,00m. Pola kedalaman sumur gali, hampir selaras dengan satuan bentuklahan. Di satuan bentuklahan dataran fluvial bawah volkan muka air tanah antara 2,00 m – 15.00 m (dangkal). Di satuan bentuklahan perbukitan structural daerah kecamatan Bayat keterdapatn muka air tanah lebih besar 15,00 m. (mbt); sedang di satuan bentuklahan kaki volkan dan lereng dan puncak volkan keterdapatn muka air tanah lebih dari 23 m (m mbt).

### **Agihan Potensi Air Tanah di setiap Satuan Bentuklahan**

Debit air tanah daerah Klaten sebesar 260.502.740 m<sup>3</sup>/tahun atau 723.618.722 liter /hari. Besarnya debit airtanah tersebut debit air tanah bebas 73.301.436

m<sup>3</sup>/tahun, debit air tanah tertekan 34.138.520 m<sup>3</sup>/tahun dan debit air tanah dari air mata air 153.062.784 m<sup>3</sup>/tahun.

### **Karakteristik Fisika dan Kimia Airtanah**

Berdasarkan tabel 4, daya hantar listrik di bentuklahan dataran fluvial bawah volkan 359- 1360 mhos/cm atau tawar sampai dengan asin. Terdapatnya air asin (sampel 5,8 dan 13) tersebut akibat dampak gempa bumi tektonik, terjadi rekahan akuifer sehingga air asin yang merupakan air fosil menelusup ke dalam air sumur. Jalur air asin (*connet water*) berada di daerah peralihan antara bentuklahan asal Gunungapi Merapi dan bentuklahan asal struktural pegunungan Selatan Jawa (Suharjo, 2006).

Analisis kualitas air tanah untuk tujuan air minum juga dilakukan mendasarkan metode diagram pola stiff dan diagram paper.

### **Analisis Diagram Stiff**

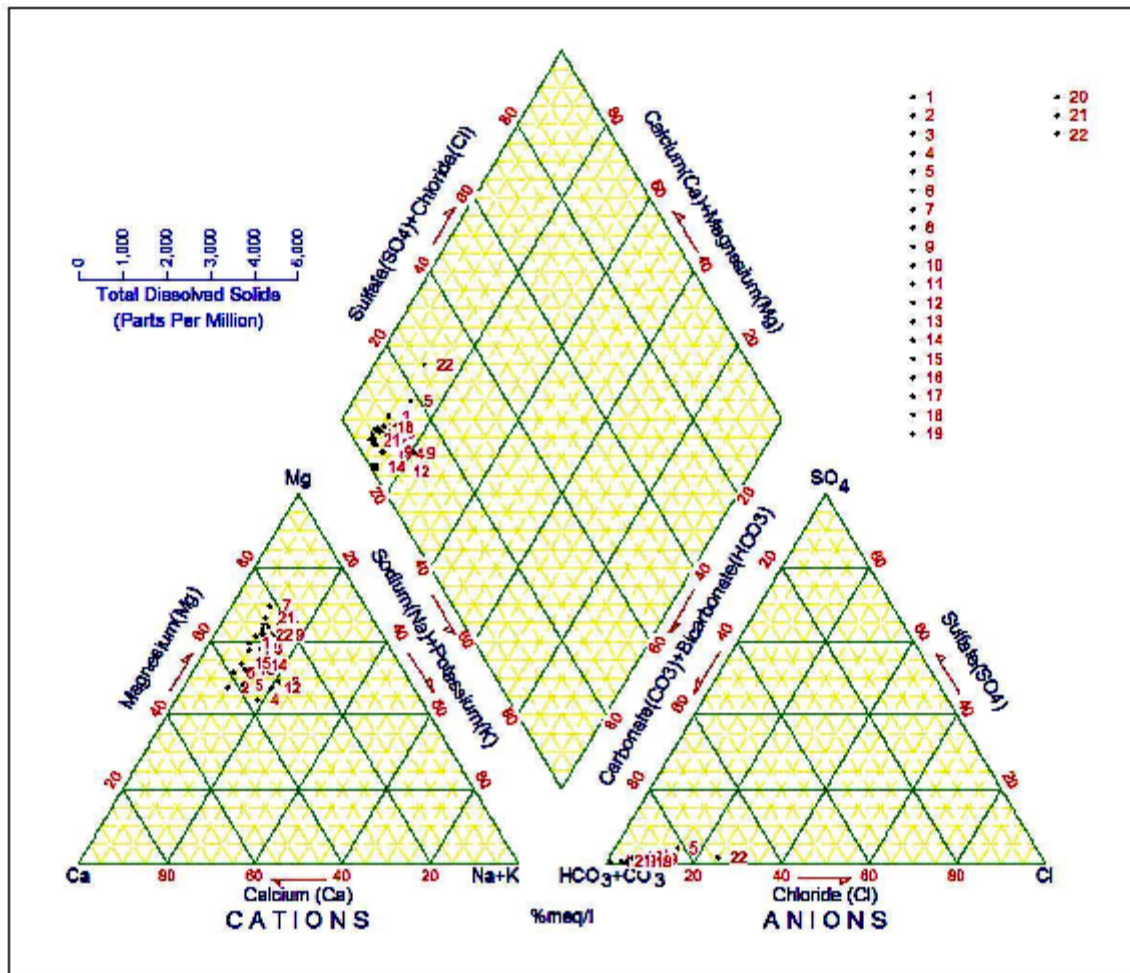
Salah satu cara untuk menganalisis kualitas airtanah di suatu daerah adalah dengan menggunakan diagram Stiff. Prinsip pembuatan diagram ini menggunakan ion dominan yang terlarut di dalam air. Hal yang perlu diperhatikan pada diagram stiff adalah pada bentuk dan ukurannya. Bentuk diagram stiff menunjukkan sifat kimiawi air tanah yang didasarkan atas ion-ion dominan dalam airtanah didalamnya, sedangkan ukuran atau besar kecilnya diagram menunjukkan besaran kadar ion-ion dominan tersebut. Hasil analisis data Laboratorium pada setiap lokasi sampel digunakan sebagai data dasar input untuk mengetahui dominasi distribusi kation dan anion pada setiap lokasi sampel Berdasarkan analisis menggunakan diagram stiff unsur dominan anion dan kation pada setiap titik sampel

Tabel 4. Data Kualitas Air Tanah Dangkal di Satuan Bentuklahan

Nomor Urut	Bentuklahan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	Baku Mutu Air bersih Permenkes 907 / V.11 /2002
	Nomor Laboratorium	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1170	1171	
<b>PARAMETER</b>	<b>Satuan</b>																							
<b>FISIKA</b>																								
DHL	□ mhos/ cm	740	745	570	980	1280	769	682	1295	570	1360	649	407	640	471	376	617	539	476	560	495	359	418	-
<b>KIMIA</b>																								
pH	-	7.07	8.04	8.03	7.45	7.60	7.05	7.15	7.15	6.90	7.29	6.79	6.5 - 8.5	6.82	6.66	6.82	6.80	7.73	7.67	7.08	7.21	7.01	7.26	6.5 - 8.5
Besi (Fe)	mg/L	0.21	0.18	0.15	0.11	0.20	0.18	0.15	0.12	0.14	0.17	0.21	0.3	0.09	0.10	0.14	0.14	0.12	0.20	0.160	0.19	0.10	0.12	0.3
Alkalinitas (HCO <sub>3</sub> )	mg/L	160	220	260	295	200	255	340	235	320	260	180	300	245	705	225	210	270	135	375	295	305	45	-
Karbonat (CO <sub>3</sub> )	mg/L	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
Kalium (K)	mg/L	4.80	20.9	18.4	15.2	24.6	22.5	0.4	32.5	4.3	33.5	14.4	68.7	17.1	13.5	21.9	20.5	23.5	6.2	26.5	11.2	8.5	6.3	-
Natrium (Na)	mg/L	18.4	22.2	21.0	45.1	41.6	20.5	33.3	16.6	52.6	16.1	14.3	200	17.0	12.0	17.7	17.4	18.5	22.5	23.8	22.0	16.7	25.7	200
Kalsium (Ca)	mg/L	49.4	92.8	57.3	77.0	112.6	88.9	63.2	49.4	59.3	65.2	51.4	49.4	45.4	29.6	69.1	57.3	45.4	49.4	45.4	51.4	39.5	51.4	-
Kesadahan ( CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	256	390	276	330	443	400	464	271	246	306	276	232	232	296	148	330	325	291	291	287	316	138	500
Magnesium (Mg)	mg/L	32,43	38,43	32,43	33,63	51,64	43,24	74,46	36,03	36,03	34,83	36,03	500	42,04	18,02	38,43	44,44	43,24	40,83	42,04	45,64	39,63	43,24	*
Sulfat ( SO <sub>4</sub> )	mg/L	14.8	5.8	2.6	14.9	39.3	3.2	10.5	4.9	15.7	4.4	3.23	5.86	9.6	2.6	9.3	13.7	0.10	1.20	5.5	6.1	5.2	3.5	250
Klorida (Cl)	mg/L	34.9	32.9	41.1	57.5	76.0	37.0	43.1	39.0	86.3	47.2	18.5	250	20.5	16.4	30.8	26.7	26.7	26.7	39.0	22.6	22.6	32.9	250
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	mg/L	38.8	0.0	5.8	8.3	0.4	1.6	0.0	6.6	4.9	6.6	14.8	250	3.9	8.9	22.4	5.0	5.1	10.9	45.1	5.1	18.4	22.2	50
Nitrit (NO <sub>2</sub> )	mg/L	0.023	0.011	0.12	0.018	0.010	0.006	0.000	0.006	0.000	0.008	0.006	50	0.163	0.022	0.019	0.036	0.013	0.010	0.008	0.000	0.000	0.024	3

Sumber: Hasil Analisa Laboratorium.



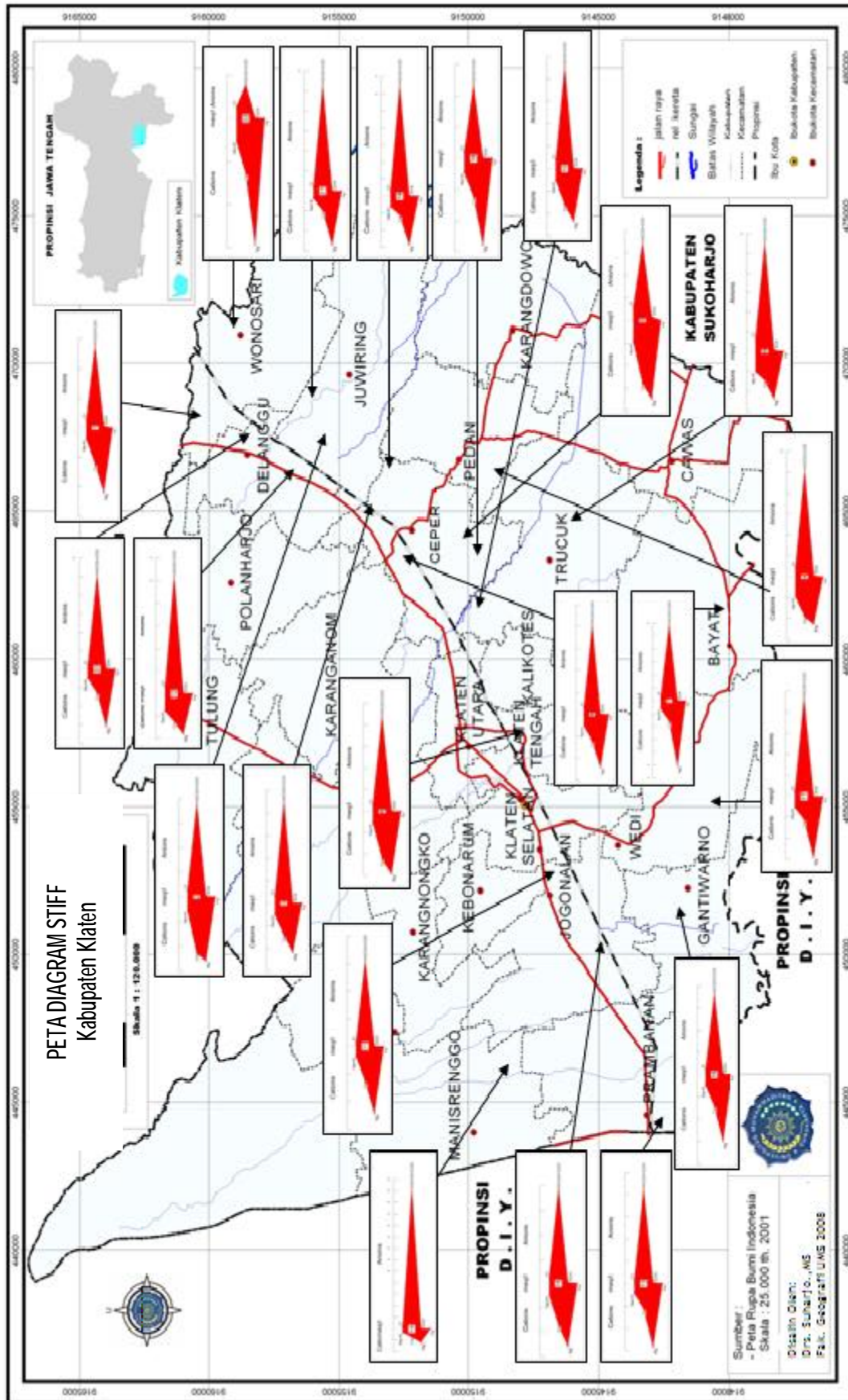


Gambar 7. Diagram Piper untuk Menunjukkan Distribusi Masing-masing Unsur Setiap Titik Sampel

adalah unsur Magnesium ( $Mg^{+2}$ ) pada kation dan unsur Bikarbonat ( $HCO_3^-$ ) pada anion. Daerah penelitian kualitas airnya menunjukkan pola seragam pada setiap unsur mayor (kation dan anion) pada masing – masing titik sampel, hal ini ditunjukkan oleh bentuk diagram stiff. Kecenderungan unsur kation lebih banyak dijumpai pada lokasi sampel di daerah Kecamatan Wonosari (dengan dominasi unsur Mg) sedangkan kecenderungan unsur anion lebih tinggi terdapat pada daerah Kecamatan Manisrenggo (dengan dominasi unsur  $HCO_3^- + CO_3^{2-}$ ). Distribusi diagram stiff pada masing- masing lokasi

di setiap satuan bentuklah ditunjukkan pada peta distribusi diagram stiff seperti terlihat pada gambar 8.

Untuk lebih memperjelas dominasi kualitas air di daerah penelitian maka digunakan juga diagram piper. Diagram Piper merupakan diagram yang digunakan untuk menentukan unsur dominan pada setiap lokasi penelitian. Variabel yang digunakan adalah unsur-unsur mayor dari kation (Ca, Na, K, Mg) dan anion ( $SO_4$ ,  $HCO_3^-$  dan Cl) ditambah dengan TDS. Plotting kation dan anion pada setiap sampel menunjukkan bahwa pada daerah pene-



Gambar 8. Peta Diagram Stiff Daerah Penelitian

litian sebagian besar kualitas air didominasi oleh unsur Mg, SO<sub>4</sub> + Cl dan HCO<sub>3</sub> + CO<sub>3</sub>. Distribusi masing – masing unsur pada setiap titik sampel ditunjukkan pada gambar diagram piper seperti terlihat pada gambar 7.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Berdasarkan bentuklahan, daerah Klaten terbagi dalam empat satuan bentuklahan, yaitu lereng dan puncak volkan, kaki volkan, dataran fluvial bawah volkan, dan satuan asal struktural.
2. Potensi air tanah dinilai atas dasar jumlah air tanah dan kualitas air tanah. Jumlah air tanah daerah Klaten 260.502.740 m<sup>3</sup>/tahun atau 723.618.722 liter /hari. Jumlah tersebut berasal dari Air tanah bebas 73.301.436 m<sup>3</sup>/tahun, air tanah tertekan 34.138.520 m<sup>3</sup>/tahun dan air tanah dari mata air 153.062.784 m<sup>3</sup>/tahun. Kualitas air tanah dangkal daerah Klaten berada dibawah standar baku mutu air minum yang ditetapkan oleh PERMENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2002 atau layak untuk air minum.
3. Agihan potensi air tanah tinggi berada di bentuklahan kaki volkan, potensi airtanah sedang di bentuklahan dataran

fluvial bawah volkan dan potensi air tanah rendah berada di lereng volkan dan perbukitan struktural daerah Bayat.

4. Gempa bumi tektonik berdampak pada potensi air tanah di bentuklahan dataran fluvial bawah volkan dan perbukitan struktural daerah kecamatan Bayat, Wonosari dan Gantiwarno. Sebagian sumur daerah tersebut air tanah asin dan terjadi degradasi lahan (rekahan, amblesan) sehingga merubah struktur akuifer.

### Saran

1. Berdasarkan kajian potensi air tanah daerah Klaten, maka daerah prospek untuk dikembangkan pemanfaat air tanahnya adalah terletak di wilayah potensi sedang – tinggi yaitu di bentuklahan kaki volkan.
2. Perlu dilakukan pemantauan kualitas air tanah secara berkala dengan unsur yang diuji secara lengkap sesuai dengan unsur pada standar air minum, ditambah dengan unsur logam dan bakteri. Perhatian utama adalah pemantauan unsur Nitrit dan Nitrat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada DP2M Ditjen Dikti yang telah membiayai program penelitian Hibah Bersaing Tahun Pertama tahun anggaran 2008.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alif Noor Anna; dkk, 2006. *Analisis Karakteristik Parameter hidrologi Akibat Alih Fungsi lahan Di Daerah Sukoharjo Melalui Citra Landsat Tahun 1997 dengan Tahun 2002*. Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Engelen, G.B; F. Klosterman, 1996. *Hydrological System Analysis Method and Applications*. Kluwer Academic Publisher. London.

- Imam Hardjono. 2006. "Hirarki Gempa Bumi dan Tsunami (Aceh, Nias, Bantul, Pangandaran, dan Selat Sunda". *Forum Geografi*, Vol. 20, No. 2, Desember 2006. Hlm 135-141.
- Muhammad Aqil, Yomota Atsshi, Abi Prabowo, 2006. *Model Pengelolaan Sumberdaya Air di Jepang*. <http://io.ppi-jepang.org/article.php?id=89>.
- Retno Woro Kaeksi, dkk, 2005. *Agihan Kekritisian Sumber Daya Air Daerah Sukoharjo Jawa Tengah*. Direktorat Pengembangan Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional.
- Soenarno, 2005. Kebijakan Pengelolaan Sumber Daya Air dan Privatisasi atas Air. *Makalah Proseding Seminar Nasional*. Fak. Geografi UMS
- Suharjo; dkk, 2004. *Perubahan Penggunaan Lahan dan Pengaruhnya Terhadap Kualitas Air Tanah di Daerah Sukoharjo sebagai Penyangga Kota*. Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Nasional. Departemen Pendidikan Nasional.
- Suharjo; dkk, 2005. *Studi dan Pemetaan Sumber Air di Kabupaten Klaten*. Badan Perencanaan Pengembangan Daerah ( BAPPEDA) Kabupaten Klaten.
- Suharjo, dkk, 2006. *Analisis Proses Geomorfologi Melalui GIS Untuk Pengelolaan Lahan Pertanian Daerah Kabupaten Klaten Jawa Tengah*. Fak. Geografi UMS.
- Suharjo, 2006. *Proses Geomorfologi Daerah Solo Jawa Tengah*. Penelitian Fundamental, Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Nasional. Departemen Pendidikan Nasional.
- . 2003. *Kajian Zonasi Konfigurasi Dan Tata Guna Air Bawah Tanah Pada Cekungan Semarang- Demak, Subab Dan Karanganyar –Boyolali Propinsi Jawa Tengah*. Dinas Pertambangan dan Energi Propinsi Jawa Tengah
- Suprihanto Notodarmojo, 2005. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. ITB, Jl.Ganesa 10 Bandung.
- Sutikno. 2007. "Earthquake Disaster of Yogyakarta and Central Java, and Disaster Reduction, Indonesia". *Forum Geografi*, Vol. 21, No. 1, Juli 2007. Hlm 1-16.
- Tood. David Keith, 1959. *Grounwater Hydrology*. New York John Wely and Sons.
- Totok Gunawan, 2003. Pemanfaatan Teknik Penginderaan Jauh Untuk Pemantauan dan Evaluasi pengelolaan Daerah Aliran Sungai Solo. *Forum Geografi* .Vol. 17 No. 2, Desember 2003.
- Verstappen, H.Th, 1983. *Applied Geomorphology*. Geomorphological Surveys for Environmental Development New York, El sevier.