

**ESTIMASI SEDIMENTASI DI BENDUNGAN WONOREJO  
MENGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS**

Oleh

**SITI LAELATUL ROPIAH  
MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN  
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI**

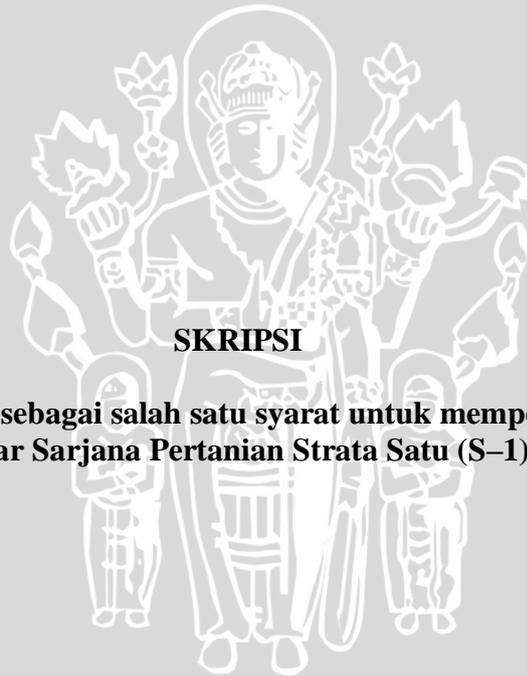


**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
JURUSAN TANAH  
MALANG  
2014**

**ESTIMASI SEDIMENTASI DI BENDUNGAN WONOREJO  
MENGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS**

Oleh  
**SITI LAELATUL ROPIAH**  
0910480154

**MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN  
PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI**



**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
Gelar Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
JURUSAN TANAH  
MALANG  
2014**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Malang, Januari 2014



SITI LAELATUL R.

Judul Skripsi : **ESTIMASI SEDIMENTASI DI BENDUNGAN  
WONOREJO MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI  
GEOGRAFIS**

Nama Mahasiswa : SITI LAELATUL ROPIAH

NIM : 0910480154

Jurusan : TANAH

Progam Studi : AGROEKOTEKNOLOGI

Minat : MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN

Menyetujui : Dosen Pembimbing

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

Dr. Ir. Sudarto, MS  
NIP. 19560317 198303 1 003

Ir. Didik Suproyogo, M.Sc, PhD  
NIP. 19600825 198601 1 002

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Tanah

Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU  
NIP. 19540501 198103 1 006

Tanggal Persetujuan:

## LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

### MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Penguji II

Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU  
NIP. 19540501 198103 1 006

Dr. Ir. Sudarto, MS  
NIP. 19560317 198303 1 003

Penguji III

Penguji IV

Ir. Didik Suproyogo, M. Sc, PhD  
NIP. 19600825 198601 1 002

Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS  
NIP. 19611109 198503 2 001

Tanggal Lulus:

*"Niscaya Allah akan meninggikan beberapa derajat orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat"*

(QS. Mujadalah: 11)

*"Barang siapa mengetahui sebuah informasi (ilmu) dan menyimpannya (tidak mengamalkan), Maka Allah akan mengikatnya dengan ikatan api neraka"*

(HR. Abu Dawud)

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



*Skripsi ini kupersembahkan untuk  
kedua orangtuaku tercinta serta adikku tersayang,  
dan my inspiration.....*

## RINGKASAN

SITI LAELATUL ROPIAH. 0910480154. Estimasi Sedimentasi di Bendungan Wonorejo Menggunakan Sistem Informasi Geografis. Dibawah bimbingan Dr.Ir.Sudarto,MS sebagai Pembimbing Utama, dan Ir.Didik Suproyogo,M.Sc.PhD sebagai Pembimbing Pendamping.

---

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan salah satu komponen yang terdapat dalam siklus hidrologi yang memiliki kondisi fisik bagian hulu berupa pegunungan dan perbukitan. Seiring dengan bertambahnya populasi penduduk dan kebutuhan perekonomian, ketersediaan lapangan pekerjaan tidak sebanding dengan ketersediaan lahan, maka sebagian besar penduduk Indonesia bekerja sebagai petani. Penggunaan lahan yang tidak mengikuti kaidah konservasi mengakibatkan tanah rentan terhadap erosi. Erosi umumnya ditemukan pada daerah tangkapan air atau daerah aliran sungai bagian hulu yang mempunyai lereng curam. Erosi tersebut menyebabkan terjadinya proses pengendapan atau sedimentasi di daerah kaki bukit yang relatif datar, seperti: sungai dan waduk. Alih fungsi lahan menyebabkan kapasitas infiltrasi menurun, butir air hujan jatuh langsung mengenai permukaan tanah, dan limpasan air permukaan meningkat sehingga menyebabkan partikel-partikel tanah mudah terangkut oleh aliran air permukaan. Kondisi lahan tersebut berpengaruh terhadap besarnya erosi dan peningkatan sedimentasi di bagian hilir daerah aliran sungai. Secara garis besar penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik Sub DAS Kali Gondang dalam mempengaruhi besarnya laju erosi dan kaitannya dengan sedimentasi yang terjadi di Bendungan Wonorejo. Secara khusus penelitian ini diarahkan guna mengetahui tingkat erosi dan sedimentasi yang dapat dimanfaatkan untuk menentukan usaha-usaha konservasi sehingga memaksimalkan usia Bendungan Wonorejo.

Perkiraan tingkat erosi tanah diperoleh dengan metode RUSLE yang diolah secara spasial menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG). Erosivitas, erodibilitas, kemiringan dan panjang lereng, dan sistem penanaman serta konservasi merupakan parameter data yang dimasukkan dalam pendekatan RUSLE.

Perubahan penggunaan lahan yang terjadi dari tahun 2003 sampai dengan tahun 2012 mempengaruhi besarnya total erosi lahan di Sub DAS Kali Gondang. Secara berturut-turut besarnya total erosi pada tahun 2003, 2006, 2009, dan 2012, yaitu: 1.190.339 ton/tahun, 1.081.531 ton/tahun, 760.582 ton/tahun, dan 756.157 ton/tahun. Berdasarkan simulasi penggunaan lahan sesuai dengan kemampuan lahan dan sesuai dengan RTRW, maka total erosi pada masing-masing penggunaan lahan sebesar 435.816 ton/tahun dan 515.159 ton/tahun. Sedangkan sedimentasi yang dihasilkan adalah sebesar 4.108 ton/tahun, 2.138 ton/tahun, dan 2.648 ton/tahun untuk penggunaan lahan aktual, sesuai kemampuan lahan, dan sesuai dengan RTRW. Penerapan penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan memiliki hasil erosi dan sedimen paling rendah dibandingkan dengan penggunaan lahan lainnya. Penerapan penggunaan lahan yang mengikuti kelas kemampuan lahan dan kaidah konservasi dapat menekan laju erosi dan sedimen.

## SUMMARY

SITI LAELATUL ROPIAH. 0910480154. Estimation of Sedimentation in Wonorejo Dams Using Geographic Information Systems. Supervised by Dr.Ir.Sudarto,MS. and Ir.Didik Suproyogo,M.Sc.PhD.

---

Watershed (DAS) is one of the components contained in the hydrological cycle which has the physical condition of the upper reaches of the mountains and the hills. Along with the increasing population and the needs of the economy, the job vacancies offered are not comparable to the availability of the land, so that it causes the major population of citizens in Indonesia work as farmers. The land exploitation which does not concern to the rules of soil conservation impacts to the erosion. Erosion is commonly found in the watershed or the rivers/ upper course that has a abrupt slope. The erosion causes the process of sedimentation in the area of foothills that is relatively flat, such as: river and dam. The function changes of land cause infiltration capacity declines, grains of rainwater fall directly on the surface of the ground, and the surface water runoff increases that is causing the soil particles are easily brought by the flow of surface water. The condition of such land impact on the magnitude of erosion and the increasing of sedimentation at the downstream of the riverbank. Generally, this research aims to identify the characteristics of Sub DAS in Kali Gondang to affect the magnitude volume of the erosion and the sedimentation relation occurring at Wonorejo Dam. This research is created specially to find out the level of erosion and sedimentation which hopefully it can be beneficial to determine the conservation works in order to elongate the ages of Wonorejo Dam.

The estimate for the soil erosion is conducted with the RUSLE method in spatial using software of Geographic Information System (GIS). Rainfall erosivity, soil erodibility, slope length and slope steepness, and a system of planting and conservation are the parameters included to the RUSLE approach.

The changes of the land usage that occurred from 2003 up to 2012 affect the magnitude of the total of erosion land in Sub DAS Kali Gondang. In a row, the totals of erosions in 2003, 2006, 2009, and 2012, as follows: 1.190.339 tons/year, 1.081.531 tons/year, 760.582 tons/year, and 756.157 tons/year. Based on the simulations in the usage of land based on the land capability around 435.816 tons/year and sediments around 2.138 tons/year, in the usage of land based on RTRW around 515.159 tons/year and sediments around 2.648 tons/year. The implementation of the land usage according to the land availability has the erosion results and the lowest sediment compared to the usage of other lands. The usage of land based on the class of land availability and the conservation terms can decrease the potentation of erosion and sediment.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Estimasi Sedimentasi di Bendungan Wonorejo Menggunakan Sistem Informasi Geografis”**. Skripsi ini merupakan salah satu prasyarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pertanian di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang.

Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat yang setulus-tulusnya penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU dan Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS selaku dosen penguji yang telah memberikan penulis kritik dan saran untuk perbaikan laporan penelitian,
2. Dr. Ir. Sudarto, MS dan Ir. Didik Suproyogo, M.Sc. PhD. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyusun penelitian ini hingga selesai,
3. Dosen-dosen di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama kuliah,
4. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang, atas bantuan dan informasi yang diberikan,
5. Yang tercinta kedua orang tua, adik, kakek, nenek dan saudara-saudara yang telah memberikan dukungan baik materil maupun moril hingga selesainya penyusunan karya tulis ini,
6. Seluruh teman seperjuangan di Jurusan Tanah, terutama Soiler 2009 dan Agro C atas dukungan, perhatian, bantuan dan kenangan indah serta semua pihak yang telah turut berpartisipasi atas terselesaikan skripsi ini, dan
7. Juga untuk kedua almarhum tercinta yang telah memberikan penulis inspirasi dan ilmu yang bermanfaat.

Dalam segala kekurangan dan keterbatasan, penulis berharap skripsi ini memberikan manfaat bagi pembaca.

Malang, Januari 2014

Penulis

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Tulungagung pada tanggal 28 Nopember 1991 sebagai putri pertama dari dua bersaudara pasangan Ibu Muntoyah dan Bapak Slamet.

Penulis menempuh pendidikan dasar di SD N 1 Notorejo pada tahun 1996 sampai tahun 2003, kemudian penulis melanjutkan ke SLTP N 1 Kauman pada tahun 2003 dan selesai tahun 2006. Pada tahun 2006 sampai tahun 2009 penulis studi di SMA N 1 Kedungwaru. Pada tahun 2009 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Strata I Program Studi Agroekoteknologi melalui Jalur Prestasi Akademik dan pada tahun 2011 penulis diterima masuk Jurusan Tanah Minat Manajemen Sumberdaya Lahan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang, Jawa Timur.

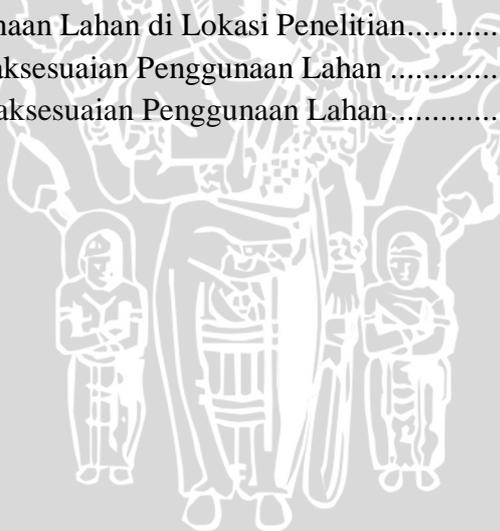
Selama menjadi mahasiswa penulis aktif menjadi asisten praktikum beberapa mata kuliah, seperti: Bahasa Indonesia, Dasar Budidaya Tanaman, Fisiologi Tanaman, Teknologi Produksi Tanaman aspek Tanah, Survei Tanah dan Evaluasi Lahan, Irigasi dan Draenase, Sistem Informasi Sumberdaya Lahan serta Teknologi Konservasi Sumberdaya Lahan. Penulis melakukan kegiatan magang kerja di PT. Bumitama Gunajaya Agro (BGA), Kalimantan Tengah. Penulis pernah aktif dalam kegiatan internal kampus yaitu: kepanitiaan PORI (Pekan Olahraga Ilmu Tanah) pada tahun 2011, POSTER (Program Orientasi Mahasiswa Terpadu) pada tahun 2011, RANTAI (Rangkaian Orientasi Program Studi) pada tahun 2011 dan 2012, KALDERA (Kegiatan Analisis Landscape dan Diskusi Arek Tanah) pada tahun 2012, dan GATRAKSI (Galang Mitra dan Kenal Profesi) pada tahun 2012 dan 2013.

## DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN.....	i
SUMMARY .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
RIWAYAT HIDUP .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR LAMPIRAN .....	viii
I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Hipotesis .....	5
1.5 Manfaat .....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Erosi .....	7
2.2 Sedimentasi.....	13
2.3 Waduk.....	16
2.4 Metode RUSLE.....	17
2.5 Daerah Aliran Sungai (DAS) .....	19
2.6 Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh.....	20
2.7 Hubungan Penggunaan Lahan dengan Erosi .....	24
2.8 Hubungan Erosi Terhadap Sedimentasi .....	25
III. METODE PENELITIAN .....	26
3.1 Tempat dan Waktu .....	26
3.2 Alat Dan Bahan .....	26
3.3 Tahapan Penelitian .....	27
3.4 Analisa Data.....	34
IV. KONDISI UMUM WILAYAH .....	40
4.1 Lokasi .....	40
4.2 Geologi dan Geomorfologi .....	40
4.3 Tanah .....	47
4.4 Iklim dan Hidrologi.....	49
4.5 Penggunaan Lahan .....	53
V. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	55
5.1 Analisis Data Spasial.....	55
5.2 Hasil Pendugaan Erosi Metode RUSLE.....	71
5.3 Pembahasan Pendugaan Erosi dan Sedimentasi .....	79
5.4 Hubungan Erosi Metode RUSLE dengan Sedimen Bendungan.....	81
5.5 Analisis Simulasi.....	84
5.6 Pembahasan Umum dan Arahan Konservasi.....	92
VI. KESIMPULAN DAN SARAN .....	100
6.1 Kesimpulan .....	100
6.2 Saran.....	101
DAFTAR PUSTAKA .....	102
LAMPIRAN .....	105

## DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
Tab 1.	Indeks penentu nilai CP .....	13
Tab 2.	Faktor-faktor yang Digunakan dalam Perhitungan TBE .....	19
Tab 3.	Penyediaan Data Penelitian .....	33
Tab 4.	Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi .....	34
Tab 5.	Luasan Geologi Lokasi Penelitian .....	42
Tab 6.	Luas Sebaran Lereng Lokasi Penelitian .....	44
Tab 7.	Luas Sebaran Bentuklahan Lokasi Penelitian .....	46
Tab 8.	Luas Sebaran Jenis Tanah Lokasi Penelitian .....	48
Tab 9.	Nilai Erosivitas Hujan .....	56
Tab 10.	Persentase Fraksi Tanah di Lokasi Penelitian .....	59
Tab 11.	C-organik dan Bahan Organik Tanah di Lokasi Penelitian.....	60
Tab 12.	Kelas Struktur di Lokasi Penelitian .....	61
Tab 13.	Nilai Permeabilitas di Lokasi Penelitian .....	62
Tab 14.	Klasifikasi Permeabilitas menurut Wischmeier (1971) .....	62
Tab 15.	Nilai Erodibilitas Tanah di Lokasi Penelitian .....	63
Tab 16.	Jenis Penggunaan Lahan di Lokasi Penelitian.....	68
Tab 17.	Matrik Ketidaksesuaian Penggunaan Lahan .....	96
Tab 18.	Luasan Ketidaksesuaian Penggunaan Lahan.....	97



## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
Gam 1.	Alur Pikir Penelitian .....	6
Gam 2.	Peta Lokasi Penelitian .....	26
Gam 3.	Peta Titik Pengamatan .....	28
Gam 4.	Alur Pembuatan Sebaran Curah Hujan .....	29
Gam 5.	Alur Pembuatan Peta Jenis Tanah .....	30
Gam 6.	Alur Pembuatan Kemiringan dan Panjang Lereng .....	31
Gam 7.	Alur Klasifikasi Penggunaan Lahan .....	32
Gam 8.	Tahapan Penelitian .....	39
Gam 9.	Peta Geologi Sub DAS Kali Gondang .....	42
Gam 10.	Peta Relief Sub DAS Kali Gondang .....	43
Gam 11.	Peta Kelerenghan Lahan Sub DAS Kali Gondang .....	45
Gam 12.	Peta Bentuklahan Sub DAS Kali Gondang .....	46
Gam 13.	Peta Jenis Tanah Sub DAS Kali Gondang .....	49
Gam 14.	Grafik Curah Hujan Bulanan Stasiun Tugu .....	50
Gam 15.	Grafik Curah Hujan Bulanan Stasiun Pagerwojo .....	50
Gam 16.	Peta Sebaran Curah Hujan Sub DAS Kali Gondang .....	51
Gam 17.	Peta Jaringan Sungai Sub DAS Kali Gondang .....	52
Gam 18.	Peta Penggunaan Lahan Aktual Sub DAS Kali Gondang .....	53
Gam 19.	Kondisi Aktual Beberapa Penggunaan Lahan Sub DAS Kali Gondang Kabupaten Tulungagung .....	54
Gam 20.	Peta Sebaran Erosivitas Hujan Sub DAS Kali Gondang .....	57
Gam 21.	Peta Sebaran Erodibilitas Tanah Sub DAS Kali Gondang .....	64
Gam 22.	Sebaran Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng .....	66
Gam 23.	Diagram Luasan Penggunaan Lahan .....	68
Gam 24.	Peta Sebaran Penggunaan Lahan .....	69
Gam 25.	Peta Sebaran Indeks CP .....	70
Gam 26.	Peta Sebaran Erosi Tahun 2003 .....	72
Gam 27.	Peta Sebaran Erosi Tahun 2006 .....	74
Gam 28.	Peta Sebaran Erosi Tahun 2009 .....	76
Gam 29.	Peta Sebaran Erosi Tahun 2012 .....	78
Gam 30.	Grafik Erosi dan Sedimentasi pada Lokasi Penelitian .....	79
Gam 31.	Perbandingan Erosi pada setiap tahun di Lokasi Penelitian .....	80
Gam 32.	Hubungan Erosi Model dengan Sedimen Lapang .....	82
Gam 33.	Keadaan Aktual di Lokasi Penelitian .....	83
Gam 34.	Peta Penggunaan Lahan Sesuai Kemampuan Lahan .....	85
Gam 35.	Peta Potensi Erosi Sesuai Kemampuan Lahan .....	87
Gam 36.	Peta Penggunaan Lahan Sesuai RTRW .....	89
Gam 37.	Peta Potensi Erosi Sesuai RTRW .....	91
Gam 38.	Peta Erosi pada Berbagai Penggunaan Lahan .....	93
Gam 39.	Grafik Erosi dan Sedimentasi pada Berbagai Penggunaan Lahan...	94
Gam 40.	Sebaran Ketidaksesuaian Penggunaan Lahan .....	98

## DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1.	Cara Membuat Data DEM atau GDEM dari Peta Topografi .....	105
2.	Proses Pembuatan Batas Daerah Aliran Sungai (DAS) .....	108
3.	Penyediaan Data Indeks R.....	116
4.	Penyediaan Data Indeks K .....	118
5.	Penyediaan Data Indeks LS .....	119
6.	Penyediaan Data Indeks CP .....	120
7.	Analisis Erosi Secara Spasial .....	121
8.	Metode Teknis Proses Koreksi Radiometri Pada Citra Satelit Landsat 7 Etm <sup>+</sup> Menggunakan <i>Software</i> Er Mapper 7.0.....	122
9.	Metode Teknis Proses Koreksi Geometri Pada Citra Satelit Menggunakan <i>Software</i> Pci Geomatica V9.0 .....	124
10.	Kondisi Penggunaan Lahan Setiap Titik Pengamatan .....	127
11.	Nilai Erodibilitas.....	128
12.	Data Curah Hujan Bulanan.....	129
13.	<i>Confusion Matrik</i> Citra Hasil Klasifikasi.....	130
14.	Peta Kelas Kemampuan Lahan Sub DAS Kali Gondang.....	131



## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan salah satu komponen yang terdapat dalam siklus hidrologi yang memiliki kondisi fisik bagian hulu berupa pegunungan dan perbukitan. Kawasan DAS memiliki manfaat yang penting dalam menunjang ekologi lingkungan. Salah satu manfaatnya adalah menyimpan dan menyediakan sumber mata air serta sebagai habitat alami makhluk hidup.

Seiring dengan bertambahnya populasi penduduk dan kebutuhan perekonomian ketersediaan lapangan pekerjaan tidak sebanding dengan ketersediaan lahan, maka sebagian besar penduduk Indonesia bekerja sebagai petani. Hal tersebut mendorong masyarakat mengeksploitasi sumberdaya alam dengan membuka lahan pertanian baru yang intensif pada lahan yang seharusnya digunakan sebagai kawasan konservasi. Penggunaan lahan yang tidak mengikuti kaidah konservasi mengakibatkan tanah rentan terhadap erosi (Arsyad, 2006).

Erosi merupakan terangkutnya lapisan tanah atas yang diakibatkan oleh tekanan gerakan angin dan air. Bahaya erosi yang banyak terjadi di Indonesia disebabkan oleh tekanan gerakan air terutama air hujan. Tetesan butir-butir air hujan tersebut dapat berukuran besar maupun kecil, akibatnya mempunyai kecepatan jatuh yang bervariasi dan dengan intensitas yang rendah sampai tinggi. Pada tanah Latosol sering terlihat gejala-gejala erosi terutama pada kemiringan lereng lebih dari 15% (Mulyadi, 1971 dalam Arsyad; 2006). Hal ini mengakibatkan porositas tanah menurun karena sebagian pori-pori tertutup oleh butir-butir tanah halus. Selain itu, tetesan air hujan dapat menimbulkan pembentukan lapisan tanah keras pada lapisan permukaan tanah. Tertutupnya pori-pori tanah menyebabkan air yang terinfiltrasi akan berkurang sedangkan aliran air permukaan (*run off*) semakin bertambah. Aliran air permukaan memiliki peran penting dalam proses pengikisan dan pengangkutan butir-butir tanah secara terus-menerus. Proses pengangkutan butir-butir tanah ini akan berhenti sebagai endapan atau sedimen (Sarief, 1985 dalam Arsyad; 2006).

Erosi umumnya ditemukan pada daerah tangkapan air atau daerah aliran sungai bagian hulu yang mempunyai lereng curam. Erosi tersebut menyebabkan

terjadinya proses pengendapan atau sedimentasi di daerah kaki bukit yang relatif datar, seperti: sungai dan waduk. Pada daerah aliran sungai, partikel dan unsur hara yang larut dalam aliran air permukaan akan mengalir ke sungai dan waduk sehingga terjadi pendangkalan pada tempat tersebut. Menurut Otto, 1978 (*dalam* Asdak, 2007), keadaan ini akan mengakibatkan daya tampung sungai dan waduk menjadi turun. Salah satu daerah aliran sungai yang dikaji dalam penelitian ini adalah Sub DAS Kali Gondang yang terletak di Kabupaten Tulungagung. Keberadaan Sub DAS Kali Gondang yang memiliki luas wilayah sebesar 4.524 ha berperan penting dalam pemasok air di Bendungan Wonorejo yang dimanfaatkan sebagai pembangkit tenaga listrik dengan kapasitas 6.300 KW, penyedia air baku Kota Surabaya, dan sebagai pengendali banjir untuk daerah Kota Tulungagung (Jasa Tirta, 2013).

Sedimentasi merupakan salah satu permasalahan pada bendungan, waduk, dan danau di Indonesia. Menurut Azdan (2008), dari hasil data yang telah dihimpun sejak tahun 1970, waduk di Indonesia sudah mulai terganggu fungsinya sebagai contoh: Waduk Gajah Mungkur Wonogiri sudah menunjukkan tingkat sedimentasi yang sangat tinggi hingga mengakibatkan pendangkalan. Setiap tahun, laju sedimentasi akibat erosi di Waduk Gajah Mungkur Wonogiri mencapai 3 juta m<sup>3</sup> hingga menyebabkan bagian penampung sedimen menjadi berkurang daya tampungnya dari 500 juta m<sup>3</sup> menjadi 300 juta m<sup>3</sup>. Waduk Gajah Mungkur Wonogiri dirancang memiliki umur efektif pemanfaatan selama 100 tahun, tetapi pada kenyataannya waduk tersebut memiliki sisa waktu ±10 tahun dari 30 tahun sisa umur layanan rencana.

Permasalahan sedimentasi juga terjadi pada Bendungan Wonorejo. Bendungan Wonorejo pada Tahun 2000 memiliki kapasitas efektif tampungan sebesar 106.000.000 m<sup>3</sup> sedangkan pada tahun 2008 kapasitas efektif bendungan tersisa sebesar 99.040.000 m<sup>3</sup> (Jasa Tirta, 2013). Data kapasitas efektif Bendungan Wonorejo menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan sebesar 6.960.000 m<sup>3</sup> dalam kurun waktu 8 tahun. Saputra (2006) berpendapat bahwa, telah terjadi penambahan sedimen setiap tahunnya sebesar 1,58% sehingga menyebabkan usia guna bendungan berkurang per tahunnya sekitar 6 hari.

Sedimentasi menjadi permasalahan yang terkait dengan keberlanjutan fungsi bendungan. Sedimentasi yang menyebabkan kritisnya kondisi bendungan pada umumnya diakibatkan oleh pengalihan fungsi lahan hutan di daerah hulu Sub DAS atau DAS menjadi lahan pemukiman penduduk atau areal pertanian baru. Perubahan penggunaan lahan tersebut berpengaruh besar terhadap besarnya limpasan permukaan. Selain itu, jenis tanaman yang diusahakan juga berpengaruh terhadap aliran permukaan dan besarnya erosi. Tanaman berperan penting dalam melindungi tanah dari pukulan hujan secara langsung dengan mematahkan energi kinetik hujan melalui tajuk, ranting, dan batangnya. Seresah yang dijatuhkan oleh tanaman dapat membentuk humus yang berguna untuk menaikkan kapasitas infiltrasi tanah. Alih fungsi lahan menyebabkan kapasitas infiltrasi menurun, butir air hujan jatuh langsung mengenai permukaan tanah, dan limpasan air permukaan meningkat sehingga menyebabkan partikel-partikel tanah mudah terangkut oleh aliran air permukaan. Kondisi lahan tersebut berpengaruh terhadap besarnya erosi dan peningkatan sedimentasi di bagian hilir daerah aliran sungai.

Perkiraan besarnya erosi dapat diketahui dengan memanfaatkan metode *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) yang dikembangkan oleh Renard (1997) dalam Asdak, (2007). Metode RUSLE merupakan model empiris yang memprediksi erosi yang dihubungkan dengan aliran permukaan. Perkiraan besarnya erosi (E) diperoleh dari lima parameter, yaitu: erovitas hujan (R), erodibilitas tanah (K), panjang lereng (L), kemiringan lereng (S), dan pengelolaan lahan (CP). Persamaan yang digunakan pada rumus RUSLE pada dasarnya sama dengan rumus USLE, namun pada rumus RUSLE terdapat perhitungan baru pada parameter panjang lereng (L) dan kemiringan lereng (S) (Schmitz, 2000 dalam Asdak; 2007). Faktor LS ditentukan berdasarkan panjang lereng dan kemiringan lereng yang disesuaikan dengan tingkat kemiringan. Daerah dengan kemiringan  $\leq 9\%$  nilai  $S = 10,8 \sin \alpha + 0,03$  dan kemiringan  $\geq 9\%$  nilai  $S = 16,8 \sin \alpha - 0,50$  (Renard, 1997). Nilai faktor LS untuk suatu daerah tangkapan hujan dapat dihitung per segmen dengan mempertimbangkan nilai R, K, CP pada masing-masing segmen.

Proses analisis tingkat bahaya erosi menggunakan sebuah aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG). Sistem Informasi Geografis (SIG) ialah suatu

komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis dan sumberdaya manusia yang bekerja bersama secara efektif untuk memasukkan, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa, dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis (Consortium, 2007). Data-data yang terdiri dari erodibilitas, erositas, penggunaan lahan dan panjang lereng kemudian dianalisis spasial menggunakan rumus RUSLE dengan bantuan *tools* yang terdapat pada aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) yang menghasilkan besarnya massa sedimen yang tererosi atau laju erosi tahunan.

SIG yang berbasis pixel digunakan sebagai alat pemodelan spasial dalam memprediksi erosi pada lahan-lahan yang mempunyai keadaan topografi yang kompleks (Larito, 2004). Kendala yang ditemui dalam proses pengoperasian SIG, yaitu: menghitung faktor panjang lereng (L). Perhitungan erosi dengan metode RUSLE tidak memungkinkan untuk menghitung seluruh panjang lereng pada setiap bentuk lereng di daerah tangkapan air. Sedangkan faktor kemiringan lereng (S) dapat diperoleh dengan mudah dari data SIG. Faktor LS dalam aplikasi SIG dapat diperoleh dari beberapa data, antara lain: *Digital Elevation Model* (DEM), *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), kontur dari Peta RBI, dan Peta Topografi. Menurut Blanco (2006), ada beberapa formula untuk menentukan nilai faktor LS berbasis DEM dalam SIG yang mempertimbangkan heterogenitas lereng.

Secara garis besar penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik Sub DAS Kali Gondang dalam mempengaruhi besarnya laju erosi dan kaitannya dengan sedimentasi yang terjadi di Bendungan Wonorejo. Secara khusus penelitian ini diarahkan guna mengetahui tingkat erosi dan sedimentasi yang dapat dimanfaatkan untuk menentukan usaha-usaha konservasi sehingga memaksimalkan usia Bendungan Wonorejo.

## 1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang diteliti dalam penelitian ini meliputi:

1. Apakah perubahan penggunaan lahan dapat mempengaruhi erosi dan sedimentasi di Bendungan Wonorejo? dan,
2. Apakah pendugaan erosi menggunakan metode RUSLE dapat digunakan untuk estimasi tingkat sedimentasi di Bendungan Wonorejo dengan implementasi Sistem Informasi Geografis?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

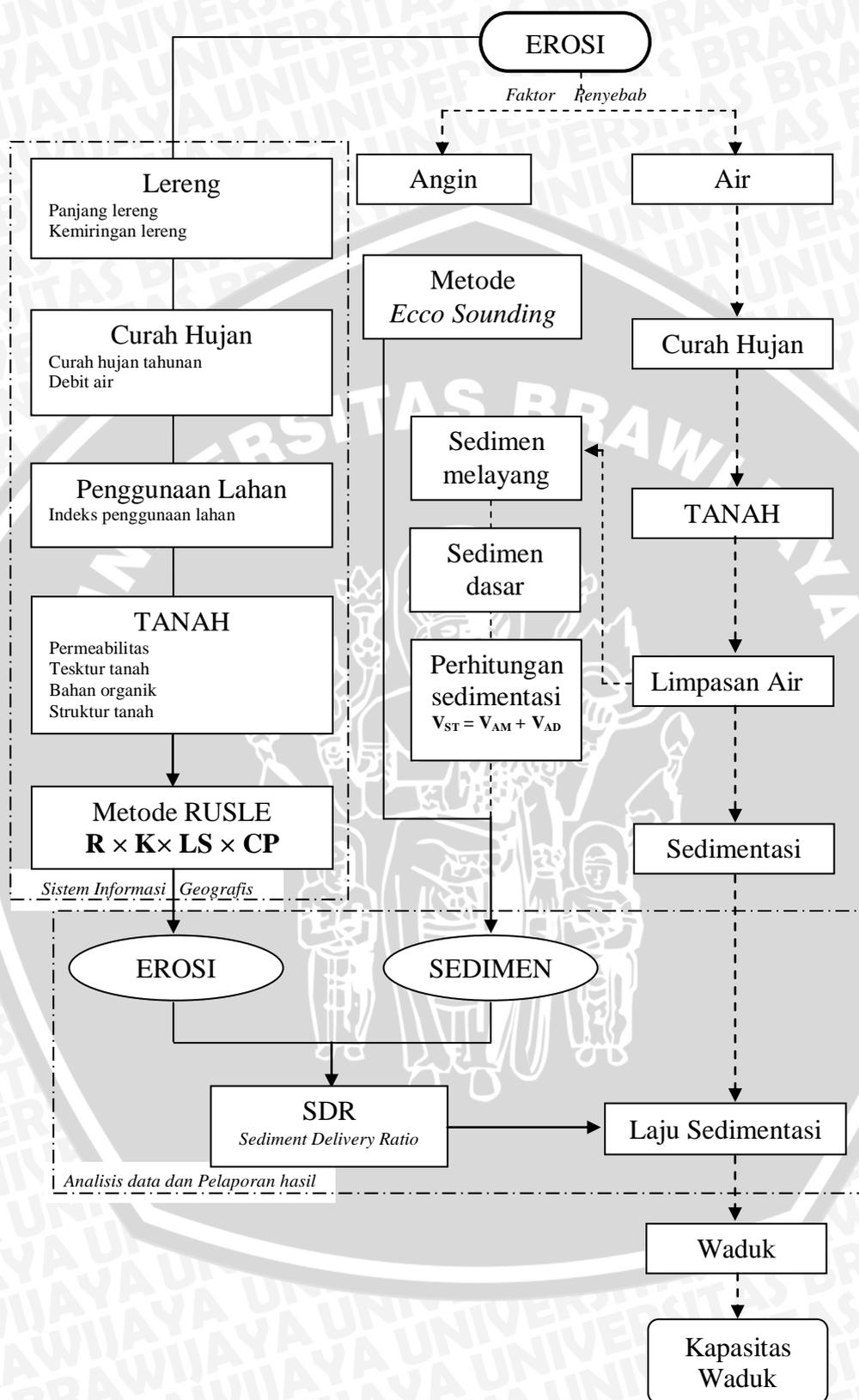
1. Menganalisa pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap besarnya erosi dan sedimentasi di Bendungan Wonorejo,
2. Mengevaluasi keeratan hubungan pendugaan erosi menggunakan metode RUSLE dengan besarnya tingkat sedimentasi di Bendungan Wonorejo,
3. Menduga tingkat sedimentasi menggunakan persamaan yang dihasilkan dari hubungan erosi model dengan sedimentasi bendungan, dan
4. Memetakan wilayah berdasarkan kelas erosi.

## 1.4 Hipotesis

Perubahan penggunaan lahan menyebabkan terjadinya peningkatan laju bahaya erosi pada suatu Sub DAS hingga mengakibatkan tingginya tingkat sedimentasi pada suatu bendungan.

## 1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang sebaran tingkat bahaya erosi pada daerah Sub DAS Kali Gondang serta besaran jumlah sedimentasi yang dihasilkan di Bendungan Wonorejo. Selain itu, sebagai pertimbangan dalam pengambilan keputusan konservasi dan rencana pemanfaatan serta pengelolaan wilayah.



Gambar 1. Alur Pikir Penelitian

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Erosi

#### 2.1.1 Definisi Erosi

Erosi tanah merupakan pengikisan lapisan permukaan tanah dari suatu lahan yang disebabkan oleh tekanan air dan angin. Menurut Asdak (2007), erosi tanah merupakan pelepasan butir-butir tanah dan proses pemindahan tanah yang terjadi baik secara alamiah maupun dikarenakan kegiatan manusia.

Di daerah tropis yang lembab seperti: di Indonesia dengan rata-rata curah hujan melebihi 1500 mm per tahun, air merupakan penyebab utama terjadinya erosi. Proses erosi tanah yang disebabkan oleh air meliputi 3 tahap, yaitu: a) pemecahan bongkah-bongkah agregat tanah ke dalam bentuk butir-butir kecil atau partikel tanah, b) pemindahan atau pengangkutan butir-butir yang kecil tersebut, dan c) pengendapan butir-butir atau partikel tersebut di tempat yang lebih rendah, di dasar sungai atau waduk (Widodo, 1986 *dalam* Arsyad; 2006). Sedangkan erosi karena kegiatan manusia kebanyakan disebabkan oleh terkelupasnya lapisan tanah bagian atas akibat cara bercocok tanam yang tidak mengindahkan kaidah-kaidah konservasi tanah atau kegiatan pembangunan yang bersifat merusak keadaan fisik tanah, antara lain: pembuatan jalan di daerah dengan kemiringan lereng curam (Asdak, 2007).

#### 2.1.2 Bentuk Erosi

##### *Erosi Percikan*

Tumbukan yang disebabkan oleh hujan merupakan gaya yang mengawali erosi tanah. Tumbukan butir-butir hujan menyebabkan pemecahan dan percikan tanah. Ekern dan Muckenhirn, 1947 (*dalam* Arsyad, 2006) telah membuktikan bahwa tumbukan butir hujan dapat memindahkan butiran-butiran pasir. Pemindahan bahan tanah yang melalui percikan sangat potensial dalam merangsang erosi tanah, meskipun pemindahan tersebut menjangkau jarak pendek namun mampu mengangkut bahan tanah dalam jumlah besar. Efektifitas pemindahan tersebut dipengaruhi oleh ukuran garis tengah butiran hujan. Butir

hujan berukuran garis tengah kurang dari 2 mm terbukti tidak efektif dalam memercikkan pasir berukuran garis tengah 0,2 mm.

#### *Erosi Permukaan*

Erosi permukaan disebabkan oleh kemampuan limpasan permukaan dalam mengikis lapisan tanah. Daya rusak limpasan ini dipengaruhi oleh kecepatan aliran air. Pada kecepatan rendah dan aliran tenang, limpasan permukaan tidak menyebabkan erosi. Setelah mencapai nilai kecepatan tertentu, yaitu: ketika energi limpasan permukaan lebih besar dibandingkan ketahanan tanah, limpasan permukaan tersebut akan mengerosi permukaan tanah. Menurut Morgan, 1979 (*dalam Arsyad, 2006*), nilai kecepatan tersebut dipengaruhi oleh ukuran partikel tanah. Pada partikel tanah yang berukuran kecil, maka nilai kecepatannya akan bertambah besar. Hal ini disebabkan adanya daya kohesi dari partikel-partikel tanah.

#### *Erosi Alur*

Erosi alur terbentuk pada jarak tertentu ke arah bawah lereng, dimana aliran permukaan terkumpul dan membentuk selokan kecil (*chanel*). Morgan, 1979 (*dalam Arsyad, 2006*) mengemukakan bahwa, erosi alur dapat terbentuk pada permukaan dekat kaki lereng, dimana aliran deras yang terjadi secara tiba-tiba karena adanya rintangan kecil pada daerah tersebut. Alur-alur yang terbentuk tidak terdapat lanjutannya sehingga tidak mempunyai hubungan langsung dengan sungai atau saluran pembuang utama. Efektifitas erosi alur dalam mengikis dan mengangkut tanah tergantung dari jarak alur yang satu dengan yang lainnya. Erosi alur akan efektif pada jarak alur yang sempit, dimana alur terjadi pada jarak 8 sampai 9 m (Utomo, 1994).

#### *Erosi Selokan*

Erosi selokan pada awalnya disebut dengan erosi alur. Suatu penelitian dilakukan Olege pada tahun 1972 (*dalam Utomo, 1994*), menunjukkan bahwa erosi selokan terbentuk dari proses terbukanya penutup tanah. Selanjutnya air akan terpusat pada daerah ini hingga menyebabkan terbentuknya saluran yang

makin lama makin besar dan akhirnya terbentuklah selokan yang permanen (Utomo, 1994).

### *Erosi Massa*

Erosi massa terjadi dengan adanya pengumpulan air pada lapisan tanah atas. Lapisan tanah atas yang telah jenuh air sedangkan lapisan bawahnya tidak dapat menyerap air menyebabkan adanya gaya geser melebihi kekuatan geser tanah sehingga massa tanah lapisan atas bergerak secara bersama-sama.

Erosi massa memiliki peranan penting pada proses erosi yang terjadi di lahan pertanian. Proses ini terjadi pada lahan miring yang kedalaman efektifnya dangkal dan pada teras yang baru di bangun atau teras yang kurang terpelihara (Utomo, 1994).

### **2.1.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Erosi**

Menurut Hudson, 1986 (*dalam* Utomo, 1994) ada dua faktor yang menyebabkan terjadinya proses erosi, yaitu: faktor penyebab terjadinya erosi yang dinyatakan dalam erosivitas dan faktor tanah yang dinyatakan dalam erodibilitas. Di alam, proses erosi tidak hanya disebabkan oleh erosivitas dan erodibilitas, tetapi dipengaruhi juga oleh faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kedua variabel tersebut, yaitu: manifestasi hujan, vegetasi, dan kemiringan serta aktifitas manusia. Artinya, terjadinya erosi dipengaruhi oleh sifat hujan, sifat tanah, derajat kemiringan dan panjang lereng, adanya vegetasi, dan aktifitas manusia dalam hubungannya dengan pemakaian tanah (Utomo, 1994).

Persamaan yang digunakan untuk menghitung erosi dikenal dengan Persamaan Umum Kehilangan Tanah (PUKT) atau *Universal Soil Loss Equation* (USLE). Jika persamaan tersebut diuraikan, hujan menjadi sifat yang menentukan energi (R), kemiringan (S) dan panjang (L) lereng menjadi faktor yang mempengaruhi besarnya energi, karakteristik tanah (K), jenis vegetasi yang ditanam (C), dan pengelolaan lahan (P). Persamaan erosi disajikan dalam Persamaan 1.

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

Dimana nilai E merupakan jumlah tanah yang hilang (ton/ha/tahun)

### *Erosivitas*

Erosivitas adalah kemampuan hujan untuk menimbulkan erosi. Hujan dengan intensitas yang rendah jarang menyebabkan erosi, tetapi hujan yang lebat dengan periode yang pendek atau panjang dapat menyebabkan adanya limpasan permukaan yang besar dan kehilangan tanah. Sifat-sifat curah hujan yang mempengaruhi erosi adalah besarnya butir-butir hujan, dan kecepatan tumbukannya. Untuk menghitung indeks erosivitas hujan (R) diperoleh dari intensitas hujan yang relatif sama. Utomo dan Mahmud, 1984 (*dalam* Utomo, 1994) menggunakan data jumlah hujan untuk menghitung indeks erosivitas hujan di DAS Brantas hingga menghasilkan sebuah persamaan. Rumus tersebut disajikan pada Persamaan 2.

$$R_b = 10,80 + 4,15 H_b \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:  $R_b$  = Indeks erosivitas bulanan (MJ/ha/tahun)

$H_b$  = Curah hujan bulanan (cm)

### *Erodibilitas*

Erodibilitas adalah ketidakmampuan tanah untuk menahan tumbukan butir-butir hujan. Tanah yang mempunyai erodibilitas yang tinggi akan tererosi lebih cepat dibandingkan dengan tanah yang mempunyai erodibilitas yang rendah, dengan intensitas hujan yang sama. Kemudahan tanah dapat tererosi sangat bervariasi sesuai dengan ketahanan suatu tanah. Ketahanan tanah menentukan mudah tidaknya massa tanah dihancurkan oleh air baik air hujan maupun air limpasan permukaan dan infiltrasi menentukan volume limpasan permukaan yang mengikis dan mengangkut hancuran massa. Kemudahan massa tanah untuk dihancurkan dipengaruhi oleh tekstur tanah, kemantapan agregat, dan kandungan bahan organik.

Berbagai cara dikembangkan untuk menentukan tingkat erodibilitas tanah. Untuk mempercepat penentuan nilai K, Wischmeier, 1971 (*dalam* Utomo, 1994) yang menghubungkan sifat fisik tanah dengan kehilangan tanah untuk menghitung indeks erodibilitas tanah (K). Rumus menghitung indeks erodibilitas disajikan dalam Persamaan 3.

$$K = \frac{1,292 \{ 2,1 M^{1,14} (10^{-4}) (12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5 (c - 3) \}}{100} \dots\dots(3)$$

Keterangan: K = Indeks erodibilitas tanah (ton/MJ)

M = Ukuran partikel (%debu + %pasir halus)(100 - %liat), %pasir halus diperoleh dari perhitungan 30% dari fraksi pasir.

a = Kandungan bahan organik, didapat dari hasil rumus perhitungan  $\%C \times 1,724$

b = Kelas struktur tanah

c = Kelas permeabilitas

*Topografi*

Kemiringan dan panjang lereng adalah dua faktor yang menentukan karakteristik topografi suatu daerah aliran sungai. Kedua faktor tersebut penting untuk terjadinya erosi karena faktor-faktor tersebut menentukan besarnya kecepatan dan volume aliran air. Kemiringan lereng yang tinggi mempercepat laju limpasan permukaan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa peningkatan laju erosi tidak hanya sebanding dengan peningkatan persentase kemiringan, tetapi ada parameter-parameter lain yang konstan yang ikut mempengaruhinya.

Panjang lereng mempengaruhi energi untuk erosi. Selain itu, panjang lereng juga mempengaruhi volume limpasan permukaan sehingga mempengaruhi kemampuan untuk mengerosi tanah. Pada beberapa penelitian menunjukkan bahwa, erosi meningkat jika lereng bertambah panjang sampai 20 m, kemudian turun pada lereng 37,5 m. Lal, 1982 (*dalam* Mulyono, 2009) memberi penjelasan mengenai turunnya erosi pada lereng 37,5 m yang disebabkan lereng tersebut tidak beraturan.

Baver, 1961 (*dalam* Mulyono, 2009) menyatakan bahwa pengaruh derajat kemiringan dan panjang lereng dipadukan akan diperoleh hubungan yang disajikan dalam Persamaan 4.

$$LS = \left(\frac{\lambda}{72,6}\right)^m \times 10,8 \sin \theta + 0,03 \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan: L = Parameter panjang lereng

$\lambda$  = Panjang kemiringan lereng (m) dimisalkan 100 kaki

m = angka eksponen yang dipengaruhi oleh panjang dan kemiringan lereng dengan m=0,2 untuk  $S < 1$ , m=0,3 untuk  $S$  1-3, m=0,4 untuk  $S$  3-4,5, dan m=0,5 untuk  $S > 4,5$ .

S = Parameter kemiringan lereng

$\theta$  = Derajat kemiringan

Menurut Ahuja dan Barnett, 1976 (*dalam* Utomo, 1994) bahwa, nilai m untuk daerah tropis adalah 0,67 untuk kemiringan 4%: 0,76 untuk kemiringan 9%: dan 1,1 untuk kemiringan 15%.

#### *Vegetasi Penutup Lahan*

Vegetasi penutup tanah memiliki peranan terhadap erosi, yaitu: a) melindungi permukaan tanah dari tumbukan air hujan, b) menurunkan kecepatan dan volume air larian, c) menahan partikel-partikel tanah pada tempatnya melalui sistem perakaran dan seresah yang dihasilkan, dan d) mempertahankan kemantapan kapasitas tanah dalam menyerap air.

Tanaman menyebabkan air hujan yang jatuh tidak langsung memukul massa tanah, tetapi terlebih dahulu ditangkap oleh tajuk daun tanaman yang dikenal dengan intersepsi. Besarnya intersepsi hujan oleh tajuk daun tanaman dipengaruhi oleh jenis tanaman. Penurunan volume dan kecepatan limpasan permukaan juga terjadi sebagai akibat adanya tanaman di atas tanah yang berfungsi sebagai penghalang aliran (Utomo, 1994).

Tanaman memiliki peranan dalam pembentukan dan pemantapan agregat tanah. Terbentuknya agregat yang mantap akan menciptakan ruang pori. Ruang pori tersebut akan menyebabkan kapasitas infiltrasi tanah tetap besar. Selain itu, tanaman berpengaruh terhadap kandungan bahan organik, agregasi, permeabilitas, dan infiltrasi.

Efektifitas tanaman dalam mengurangi laju erosi dipengaruhi oleh: (a) tinggi dan kontinuitas mahkota daun, (b) bahan organik yang dihasilkan, (c) sistem perakaran, dan (d) kepadatan tanaman. Efektifitas pengaruh tanaman terhadap erosi biasanya dilihat dari produksi bahan keringnya dan kemampuan tanaman

untuk menutup tanah. Kedua parameter ini kemudian dikalikan untuk menghasilkan indeks efektifitas tanaman (Tabel 1).

Tabel 1. Indeks Penentu Nilai CP

No	Penggunaan Lahan	Nilai CP
1.	Hutan	0,001
2.	Padang rumput	0,100
3.	Semak belukar	0,010
4.	Perkebunan	0,200
5.	Sawah irigasi	0,020
6.	Sawah tadah hujan	0,010
7.	Tegal/ ladang	0,400
8.	Pemukiman	1,000
9.	Perairan	0,010

Sumber: Asdak (1995)

## 2.2 Sedimentasi

### 2.2.1 Definisi Sedimentasi

Sedimen merupakan hasil pengendapan dari partikel yang diakibatkan dari proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya yang mengendap di bagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, saluran air, sungai, dan waduk (Asdak, 2007). Proses sedimentasi adalah proses terkumpulnya butir-butir tanah yang terjadi karena kecepatan aliran air yang mengangkut bahan sedimen mencapai kecepatan pengendapan (*settling velocity*).

Proses sedimentasi dapat terjadi pada lahan-lahan pertanian maupun di sepanjang dasar sungai, dasar waduk, muara, dan sebagainya. Pengendapan sedimen di dasar sungai menyebabkan tingginya muka air sehingga berakibat sering terjadi banjir. Sedimentasi di saluran irigasi menyebabkan pengendapan sedimen sehingga terjadi penyumbatan saluran. Pengendapan di waduk akan mengurangi volume efektif waduk yang berdampak terhadap berkurangnya umur rencana waduk.

### 2.2.2 Mekanisme Pengangkutan Sedimentasi

Proses pengangkutan dan pengendapan sedimentasi dipengaruhi oleh sifat butir-butir sedimen. Sedangkan pemindahan butir-butir sedimen dipengaruhi arus aliran air. Kondisi aliran air menentukan kapasitas sedimen yang dapat terangkut. Sifat-sifat butir sedimen berkaitan dengan ukuran partikel, bentuk partikel, massa partikel, porositas, dan kecepatan jatuh (Utomo, 1994). Sedimen yang terangkut oleh suatu aliran air berdasarkan cara pengangkutannya diklasifikasikan menjadi 3 kelompok, yaitu: muatan permukaan (*wash load*), muatan layang (*suspended load*), dan muatan dasar (*bed load*).

#### a. Muatan permukaan (*wash load*)

Muatan permukaan merupakan butir-butir tanah yang sangat halus bergerak dalam aliran air. Bahan *wash load* berasal dari pelapukan lapisan permukaan tanah yang berupa debu-debu halus. Debu halus ini selanjutnya dibawa masuk ke saluran atau sungai baik oleh angin maupun oleh air hujan.

#### b. Muatan layang (*suspended load*)

Muatan layang merupakan butir-butir tanah yang bergerak melayang pada aliran air. Bahan *suspended load* berasal dari pasir halus yang bergerak akibat pengaruh turbulensi aliran, debit, dan kecepatan aliran. Semakin besar debit, maka semakin besar pula angkutan *suspended load*. Muatan layang dapat dihitung dengan menggunakan metode USBR (*United State Beureu of Reclamation*) dimana untuk menghitung angkutan muatan layang diperlukan pengukuran debit air ( $Q_w$ ) dalam  $m^3$ / detik, yang dikombinasikan dengan konsentrasi sedimen ( $C$ ) dalam mg/l, sehingga menghasilkan debit sedimen ( $Q_s$ ) dalam ton/ hari dihitung dengan persamaan Strand (1982) yang disajikan pada Persamaan 5.

$$Q_s = 0,0864 \times C \times Q_w \dots\dots\dots (5)$$

#### c. Muatan dasar (*Bed Load*)

Muatan dasar adalah partikel yang bergerak pada dasar sungai. Dari hasil beberapa percobaan yang diketahui bahwa hubungan antara angkutan sedimentasi dengan keadaan aliran di dasar sungai adalah gaya seret dasar. Angkutan butir-butir tanah berupa pasir kasar (*coarse sand*) yang bergerak secara menggelinding

(rolling), mendorong dan menggeser (*pushing and sliding*) terus menerus pada dasar aliran yang pergerakannya dipengaruhi oleh adanya gaya seret (*drag force*) aliran yang bekerja di atas butir-butir tanah yang bergerak. Intensitas ( $K_p$ ) total dari suatu angkutan dianggap sebagai penjumlahan antara angkutan *bed load* ( $K_{pb}$ ) dan *suspended load* ( $K_{ps}$ ).

$$K_{p_{total}} = K_{pb} + K_{ps} \dots\dots\dots (6)$$

Besarnya nilai muatan sedimen dasar dapat diperoleh dengan cara memperkirakan posisi gugus pasir yang dihitung dengan cara pemetaan dasar sungai secara berkala. Pemetaan dapat dilakukan dengan cara: a) teknik perahu bergerak, untuk pemetaan profil penampang longitudinal, b) dengan menggunakan *echo sounding*, untuk pengukuran kedalaman di suatu titik tetap atau beberapa titik di suatu penampang untuk memantau kedalaman dan pergerakan gugus pasir, dan c) perkiraan muatan sedimen dasar dengan rumus empiris. Untuk perhitungan volume sedimen dapat digunakan rumus yang tersaji pada Persamaan 7.

$$P_s = R_s \times \frac{A}{F} \dots\dots\dots (7)$$

Di mana : P = angka sedimentasi tahunan suatu waduk ( $m^3$ /tahun)

$R_s$  = V/F (sedimentasi tahun-tahun yang telah lalu)

F = kapasitas waduk ( $m^3$ )

A = luas daerah pengaliran ( $km^2$ )

### 2.2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Sedimentasi

#### *Cakupan Areal Daerah Pengaliran*

Besarnya sedimen yang terangkut oleh suatu aliran sungai dipengaruhi oleh luas Daerah Aliran Sungai (DAS). Semakin luas DAS, maka semakin besar jumlah sedimentasi yang terangkut. Oleh sebab itu, volume sedimentasi yang terangkut dinyatakan dalam satuan  $km^2$  per tahun ( $m^3/km^2$ /tahun).



*Kondisi Geologi Daerah Pengaliran*

Geologi merupakan struktur batuan bumi yang membentuk daerah pengaliran. Geologi menentukan jenis-jenis batuan, tingkat pelapukan serta daya tahan batuan. Geologi mempengaruhi intensitas proses erosi dan sedimentasi pada suatu aliran sungai.

*Kondisi Topografi*

Kondisi topografi dari suatu bentang lahan baik dataran maupun pegunungan serta tingkat kemiringan suatu lereng mempengaruhi besarnya sedimentasi di daerah aliran sungai. Semakin curam tingkat kemiringan suatu daerah maka semakin besar pula erosi yang terjadi sehingga meningkatkan besarnya nilai sedimentasi pada suatu daerah aliran sungai.

*Kondisi Iklim*

Karakteristik dari suatu curah hujan yang jatuh di daerah aliran sungai mempengaruhi besarnya erosi. Laju air hujan yang mengalir di atas tanah akan dengan mudah mengikis lapisan tanah atas dan menghanyutkannya ke sungai. Curah hujan yang relatif tinggi mengakibatkan erosi yang terjadi juga semakin tinggi.

**2.3 Waduk**

**2.3.1 Distribusi Sedimen pada Waduk**

Besarnya distribusi yang terangkut hingga ke waduk dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor yang saling berhubungan, yaitu: ukuran dan bentuk waduk, debit aliran sungai, serta pola operasi waduk. Faktor tersebut mempengaruhi jenis muatan sedimen, ukuran serta *outlet* waduk. Priyantoro, 1987 (dalam Saputra, 2006) mengemukakan, distribusi sedimen dapat ditentukan dengan rumus persamaan *United State Bureau of Reclamation* (USBR) yang disajikan pada Persamaan 8.

$$m = \log \left( \frac{C}{D} \right) \dots\dots\dots (8)$$

- Dimana: C = Kapasitas tampungan waduk (acre/ft)
- D = Kedalaman waduk (ft)
- m = Distribusi sedimen



### 2.3.2 Kapasitas Tampungan Waduk

Kapasitas tampungan pada suatu waduk dapat diketahui dengan menghitung luas genangan pada waduk tersebut. Persamaan perhitungan tersebut disajikan pada rumus Persamaan 9.

$$A = a \times H^b \dots\dots\dots (9)$$

Dimana: A = Luas genangan (km<sup>2</sup>)

H = Tinggi air (m)

a, b = Konstanta

### 2.3.3 Umur Waduk

Permukaan genangan minimum adalah elevasi terendah pada suatu waduk. Sedangkan permukaan genangan normal adalah elevasi maksimum yang dicapai oleh kenaikan permukaan waduk pada saat elevasi konstan. Pada umumnya penentuan umur waduk dilakukan dengan menghitung berapa lama tampungan mati terisi penuh oleh sedimen. Menurut Soewarno, 1991 (*dalam Saputra, 2006*), yang dimaksud tampungan mati adalah tampungan yang terletak di bawah permukaan minimum. Perhitungan umur waduk disajikan pada Persamaan 10.

$$T = \frac{V}{V_s} \times E \dots\dots\dots (10)$$

Dimana: T = Umur waduk (tahun)

V = Kapasitas tampungan waduk (m<sup>3</sup>)

V<sub>s</sub> = Volume *inflow* sedimen yang masuk (m<sup>3</sup>)

E = Efisiensi (%)

### 2.4 Metode RUSLE

Metode RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) merupakan suatu model parametrik untuk memprediksi erosi dari suatu bidang tanah. Metode RUSLE memungkinkan perencanaan menduga laju rata-rata erosi suatu tanah tertentu pada suatu kecuraman lereng dengan pola hujan tertentu untuk setiap macam pertanaman dan tindakan pengelolaan (tindakan konservasi tanah) yang mungkin dilakukan atau yang sedang dipergunakan (Arsyad, 2006).



Metode RUSLE merupakan pengembangan dari metode USLE yang hanya dapat memprediksi rata-rata kehilangan tanah dari erosi lembar dan erosi alur. Metode USLE tidak mampu memprediksi pengendapan sedimen pada suatu *landscape* dan tidak menghitung hasil sedimen dari erosi parit, tebing sungai dan dasar sungai (Wischmeier 1976).

Hasil penelitian pengujian metode USLE, baik yang dilakukan di Indonesia maupun di luar negeri seperti: Afrika, Eropa, negara Asia dan di Amerika Serikat itu sendiri, menunjukkan bahwa metode USLE tidak dapat digunakan secara universal dan memberikan hasil pendugaan yang bias jika digunakan untuk memprediksi erosi DAS. Hal tersebut disebabkan karena ekstrapolasi hasil penelitian dari areal yang sempit ke areal yang lebih luas (DAS) akan memberikan hasil yang keliru (Lal, 1988).

Kelemahan dari metode USLE adalah model tersebut tidak efektif jika diaplikasikan di luar kisaran kondisi dimana model dikembangkan. Perbaikan dari metode USLE yaitu metode RUSLE juga merupakan model empiris yang memprediksi erosi lembar dan erosi alur yang dihubungkan dengan aliran permukaan. Meskipun terdapat beberapa kelemahan dari metode RUSLE, sampai saat metode tersebut masih diaplikasikan secara luas karena metode tersebut mudah dikelola, relatif sederhana dan jumlah masukan atau parameter yang dibutuhkan relatif sedikit dibandingkan dengan model lainnya yang bersifat kompleks.

Pada tingkat lapangan RUSLE sangat berguna untuk merumuskan rekomendasi atau perencanaan yang berkaitan dengan bidang pertanian karena dapat digunakan sebagai dasar tindakan konservasi tanah yang bertujuan untuk menurunkan jumlah erosi.

Analisis TBE menggunakan metode RUSLE yang dikembangkan oleh Snyder, 1980 (*dalam* Arsyad, 2006) dari persamaan USLE oleh Wischmeier dan Smith, 1978 (*dalam* Utomo, 1994). Formulasi RUSLE disajikan pada Persamaan 1.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi erosi adalah erosivitas, erodibilitas, panjang dan kemiringan lereng serta faktor tanaman dan pengelolaan lahan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor-faktor yang Digunakan dalam Perhitungan TBE

Faktor-faktor yang digunakan dalam perhitungan TBE	Simbol	Sumber Data
Indeks erosivitas	R	Data curah hujan
Indeks erodibilitas tanah	K	Peta Jenis Tanah
Indeks nilai panjang dan kemiringan lereng	LS	Peta Topografi
Indeks penutupan vegetasi dan pengolahan lahan	CP	Peta Penggunaan Lahan

Sumber: Departemen Kehutanan (1998)

### 2.5 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (DAS) memiliki beberapa pengertian yang secara umum dapat diartikan suatu hamparan wilayah daratan yang dibatasi oleh topografi (punggung bukit) yang dapat menyimpan air hujan dengan membawa sedimentasi serta mengalirkannya melalui anak-anak sungai dan keluar pada satu titik. Menurut Asdak (2007), Daerah Aliran Sungai (DAS) ialah suatu wilayah daratan yang secara topografik dibatasi oleh punggung-punggung gunung yang menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian menyalurkannya ke laut melalui sungai utama. Suripin (2002), mengungkapkan secara umum Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat didefinisikan sebagai suatu wilayah yang dibatasi oleh batas alam seperti: punggung bukit atau gunung-gunung maupun batas buatan seperti jalan atau tanggul, daerah dimana air hujan yang turun di wilayah tersebut memberi kontribusi aliran ke titik kontrol (*outlet*). Definisi yang tersebut menunjukkan bahwa daerah aliran sungai sebagai tempat air hujan jatuh yang selanjutnya melalui sungai dan aliran air bawah tanah hingga bermuara ke laut atau danau. Kondisi tersebut merupakan satu kesatuan hidrologis di daerah aliran sungai.

DAS memiliki faktor-faktor yang mempengaruhi dalam daur hidrologi. Faktor-faktor yang mempengaruhi dibagi menjadi tiga kategori, yaitu: a) faktor iklim meliputi: presipitasi (tipe, intensitas, lama presipitasi, arah gerak hujan), dan meteorologi (radiasi matahari, suhu, kelembaban, kecepatan angin, dan tekanan atmosfer); b) faktor fisik meliputi: topografi (bentuk DAS, kemiringan DAS, dan Gatra DAS), geologi (permeabilitas dan kapasitas akifer), tipe tanah, vegetasi

(penutupan vegetasi di atas permukaan lahan, penutupan tanaman pada saluran), dan jaringan drainase; dan c) faktor keluaran meliputi: aliran permukaan (*run off*), evapotranspirasi, angkutan sedimen, erosi angkutan unsur hara, pestisida dan polutan (Seyhan, 1990 dalam Asdak; 2007). Menurut Syarief, 1986 (dalam Asdak, 2007), tingkat kualitas DAS atau Sub DAS dapat diukur dengan dua parameter, yaitu: secara teoritis dan secara praktis. Parameter tersebut merupakan besar erosi yang dialami yang menunjukkan jumlah sedimen yang terkandung pada air sungai yang mengalir pada sungai yang berada di dalam DAS atau Sub DAS pada kondisi curah hujan berbeda. Jika jumlah air yang meresap ke dalam tanah berkurang, maka jumlah air yang mengalir menjadi aliran permukaan akan meningkat. Air yang mengalir pada aliran permukaan akan mengakibatkan terjadinya erosi. Kondisi DAS atau Sub DAS dari segi teknis maupun ekologis merupakan faktor penting yang terkait dengan banjir, erosi, dan kekeringan.

## **2.6 Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh**

### **2.6.1 Sistem Informasi Geografis**

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sebuah perangkat lunak berupa sistem komputer yang dapat memasukan, menyimpan, memanipulasi, menampilkan, dan mengeluarkan informasi geografis obyek-obyek di permukaan bumi beserta atributnya (Prahasta, 2002).

Sistem informasi geografis merupakan kumpulan beberapa komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, informasi geografis dan sumberdaya manusia yang secara efektif bekerja untuk menyimpan, memperbaiki, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa, dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis (Puntodewo, 2003).

Sistem informasi geografis memiliki kemampuan untuk menyimpan semua informasi deskriptif unsur sebagai atribut-atribut di dalam basis data yang berupa tabel. Sistem informasi geografis menghubungkan sekumpulan unsur-unsur peta dengan atributnya di dalam satuan yang disebut *layer*. Beberapa contoh *layer* adalah sungai, bangunan, jalan, laut, batas administrasi, perkebunan, dan hutan. Kumpulan *layer* membentuk basis data yang esensial di dalam sistem informasi

geografis. Rancangan basis data akan menentukan efektifitas dan efisiensi proses masukan, pengelolaan, dan keluaran sistem informasi geografis (Prahasta, 2002).

### 2.6.2 Analisis Sistem Informasi Geografis untuk Erosi dan Sedimentasi

Analisis sistem informasi geografis memberi kemudahan untuk memodelkan fenomena yang ada di permukaan lahan. Selain itu, mempermudah penyajian informasi spasial khususnya yang terkait dengan penentuan tingkat bahaya erosi dan estimasi besarnya sedimentasi. Analisis sistem informasi geografis dilakukan dengan mengkombinasikan data *Digital Elevation Model* (DEM), Peta Rupa Bumi, interpretasi citra satelit, Peta Jenis Tanah, dan data curah hujan.

Bedasarkan penelitian Poerbandono (2006) mengenai evaluasi perubahan perilaku erosi Daerah Aliran Sungai Citarum Hulu dengan pemodelan spasial menunjukkan bahwa distribusi spasial perubahan laju ekspor sedimen melebihi 100 ton/km<sup>2</sup> selama tujuh tahun. Implementasi model perilaku erosi DAS dilakukan dengan perhitungan erosi dan SDR. Pemodelan laju erosi tahunan menggunakan persamaan USLE. Pemodelan SDR dilakukan dengan pendefinisian unit spasial dan penghitungan waktu tempuh aliran air yang melalui lereng bukit dan jaringan sungai pada unit spasial yang telah ditentukan. Implementasi pemodelan spasial tersebut dilakukan menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) ESRI Arc-Info.

Perkiraan tingkat erosi tanah di Sub DAS Besai Lampung Barat yang telah dilakukan Mulyono (2009) menggunakan pendekatan metode *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE). Besar erosi diperoleh dari nilai erosivitas hujan (R), erodibilitas tanah (K), panjang lereng (L), kemiringan lereng (S), sistem penanaman (C), dan faktor konservasi (P). Dari hasil penelitian diketahui bahwa wilayah Sub DAS Besai telah mengalami tingkat erosi sebesar 76,38%.

Sedangkan Sutapa (2010) mengaplikasikan sistem informasi geografis untuk menganalisis potensi erosi di Sulawesi Tengah. Penyusunan data spasial dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Arc-View GIS versi 3.3. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder, yaitu: Peta Rupa Bumi skala 1:5.000 digunakan untuk mengetahui batas setiap DAS, data curah hujan

berasal dari Kantor Balai Wilayah Sungai Sulawesi III di Palu digunakan untuk menghitung nilai erosivitas hujan (R), Peta Penggunaan Lahan yang dikeluarkan oleh Dinas Kehutanan Sulawesi Tengah digunakan untuk mendapatkan nilai indeks CP, Peta Jenis Tanah dari Balai Penelitian Tanaman Pangan (BPTP) Sulawesi Tengah digunakan untuk mendapatkan faktor erodibilitas (K), dan Peta Topografi digunakan untuk menentukan nilai LS. Keempat parameter, yaitu: data curah hujan, Peta Topografi, Peta Jenis Tanah, dan Peta Penggunaan Lahan di tumpang susun (*overlay*). Hasil *overlay* dilakukan analisis erosi dengan menggunakan metode USLE. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut diketahui bahwa rata-rata potensi erosi yang terjadi di DAS Sulawesi Tengah sangat bervariasi, mulai klasifikasi sangat ringan sampai sangat berat.

### 2.6.3 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh merupakan teknik pengumpulan informasi objek dan lingkungan dari jarak jauh tanpa harus mendatangi lokasi di permukaan bumi. Penginderaan jauh menggunakan sensor untuk mengumpulkan data. Sensor pengumpul data dipasang secara jarak jauh pada pesawat terbang, balon udara, satelit atau wahana lainnya. Tujuan penginderaan jauh adalah mengumpulkan data sumberdaya alam dan lingkungan yang diinterpretasikan dalam bentuk citra. Hasil interpretasi citra diproses untuk mendapatkan data yang berguna untuk aplikasi pertanian, arkeologi, kehutanan, geografi, geologi, perencanaan dan bidang-bidang lainnya yang terkait dengan ilmu kebumihuan (Lo, 1996).

Penginderaan jauh menangkap objek yang ada dipermukaan bumi dan antariksa. Pemanfaatan data spasial yang diperoleh dari interpretasi citra diolah menjadi data yang menghasilkan informasi yang berguna. Dalam mendeteksi penggunaan lahan, citra satelit memiliki tingkat ketelitian cukup tinggi, yaitu: 94%. Sehingga citra satelit umumnya dimanfaatkan untuk mendapatkan informasi mengenai penggunaan lahan (Wahyunto, 2004).

### 2.6.4 Analisis Penginderaan Jauh untuk Erosi dan Sedimentasi

Penginderaan jauh digunakan untuk pengukuran data dari sebuah objek atau fenomena yang tidak kontak langsung secara fisik dengan objek tersebut

(Wikipedia, 2013). Hasil penginderaan jauh berupa citra yang wujud dan letaknya mirip dengan keadaan sebenarnya dengan lokasi yang terekam. Penggunaan data penginderaan jauh dapat digunakan untuk memprediksi tingkat erosi pada suatu wilayah sehingga dapat digunakan dalam pengelolaan DAS (Puguh, 2008).

Penginderaan jauh digunakan oleh Witanto (2004) untuk mendeteksi sedimentasi di Pantai Utara Subang Jawa Barat. Peneliti menggunakan citra satelit landsat 5 TM dan landsat 7 ETM<sup>+</sup> yang selanjutnya dilakukan koreksi geometri dan radiometri. Penajaman citra dilakukan untuk memudahkan interpretasi obyek-obyek yang terdapat pada citra. Citra landsat 5 TM dan landsat 7 ETM<sup>+</sup> multispektral secara multiwaktu diklasifikasikan ke dalam kelas penutup lahan dan strata sedimentasi menggunakan metode klasifikasi terbimbing, yaitu: Klasifikasi Kemungkinan Maksimum (MLC). Klasifikasi dilakukan dengan acuan daerah contoh (*training area*) yang dibuat berdasarkan kesamaan kenampakan jenis penutup lahan yang terdapat pada citra. Penentuan daerah contoh, terlebih dahulu dilakukan pengecekan di lapangan pada obyek-obyek yang akan diklasifikasikan. Hasil klasifikasi citra landsat 5 TM dan landsat 7 ETM<sup>+</sup> dinilai ketelitiannya menggunakan matriks konfusi dan nilai kappa. Dari data citra digital landsat diketahui bahwa garis pantai daerah pesisir Pantai Utara Subang di sebelah barat Sungai Ciasem cenderung bertambah maju dari tahun 1995 hingga tahun 2003, tetapi pada pantai bagian timur Sungai Ciasem cenderung bertambah mundur karena adanya proses abrasi. Sedimentasi yang besar terjadi di daerah sekitar muara sungai. Hal tersebut dapat dilihat dari data citra digital Landsat TM tahun 1995 dan Landsat ETM<sup>+</sup> tahun 2003 dimana terjadi penambahan daratan di sekitar muara sungai.

Setiawan (2010) memanfaatkan citra Landsat ALOS, SPOT, IKONOS, QUICK BIRD untuk menganalisa bencana alam yang memiliki efek kawasan, yaitu: gelombang pasang, kebakaran hutan, longsor, banjir, gempa bumi, letusan gunung berapi. Analisa pra bencana dengan merumuskan kriteria resiko terjadinya bencana alam dan kerusakan lingkungan.

Sedangkan Susiati (2008) menggunakan citra satelit untuk identifikasi distribusi sedimen di Perairan Semenanjung Muria. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah citra Landsat TM. Pada citra satelit dilakukan koreksi

geometrik dengan menggunakan perangkat lunak Erdas Image 8.3. Koreksi radiometrik dan atmosferik dilakukan untuk menghilangkan distorsi yang disebabkan oleh kondisi atmosfer, posisi sensor terhadap obyek dan posisi matahari. Untuk mendapatkan hasil yang optimal, maka bagian daratan dari lokasi penelitian harus ditutup (*masking*), artinya DN bagian daratan dibuat menjadi nol, sedangkan bagian air tetap memiliki DN air. Fusi multispektral dilakukan dengan mengkombinasikan filter merah, hijau dan biru pada 3 band citra yang telah dikomposit supaya menyajikan keragaman warna dengan informasi optimal. Hasil interpretasi citra memperlihatkan sebaran sedimentasi banyak terdapat di sepanjang Pesisir Semenanjung Muria, terutama di wilayah sebelah timur. Hal tersebut disebabkan daerah pesisir memiliki tutupan lahan berupa hutan mangrove, tambak, pertanian musiman, dan pemukiman yang berpotensi menghasilkan sedimen sehingga meningkatkan konsentrasi *Total Suspended Material* (TSM) di perairan.

### **2.7 Hubungan Penggunaan Lahan dengan Erosi**

Sistem penggunaan lahan yang tepat dan sesuai dengan kaidah konservasi mempunyai peranan mengurangi tingkat erosi dan meningkatkan produksi tanaman. Perubahan penggunaan lahan dari hutan menjadi sistem pertanian intensif atau pembukaan hutan secara *illegal* sehingga hutan menjadi gundul yang ditumbuhi oleh alang-alang. Menurut hasil pengamatan Fakhruddin (2004), kondisi tersebut banyak ditemukan di DAS Kahala bagian hulu yang mengakibatkan nilai indeks CP meningkat. Pada penggunaan lahan hutan yang memiliki penutupan daun 45 – 70% nilai indeks CP antara 0,002 sampai dengan 0,004, sedangkan penggunaan lahan yang dialihfungsikan menjadi semak nilai indeks CP meningkat menjadi 0,01. Nilai indeks CP meningkat apabila pada suatu lahan tidak ditanami tanaman yang memiliki kerapatan tutupan lahan yang tinggi. Kenaikan indeks nilai CP secara langsung meningkatkan laju terjadinya erosi pada suatu kawasan.

Tanaman dengan sistem perakaran luas akan mampu menjerat tanah sehingga tanah tidak mudah tererosi. Peranan penting dari tanaman adalah melindungi tanah dari pukulan air hujan dan intersepsi melalui kanopi, ranting dan batangnya. Tanaman yang tumbuh akan menghasilkan seresah membentuk humus

yang berguna untuk menaikkan kapasitas infiltrasi tanah dan menurunkan volume limpasan air. Setiap tanaman yang menutupi tanah adalah penghambat aliran permukaan. Adanya distribusi partikel yang baik dalam menutup tanah tidak hanya akan menghambat laju aliran, tetapi juga cenderung akan mencegah kecepatan konsentrasi air. Dengan terhambatnya aliran permukaan, maka akan memberi kesempatan pada air untuk masuk ke dalam tanah (infiltrasi) sehingga aliran permukaan menurun (Seta, 1987 dalam Utomo; 1994).

Kondisi permukaan tanah yang tertutup oleh vegetasi dapat menaikkan kapasitas infiltrasi tanah dan menurunkan volume limpasan sehingga mencegah terjadinya erosi.

### **2.8 Hubungan Erosi Terhadap Sedimentasi**

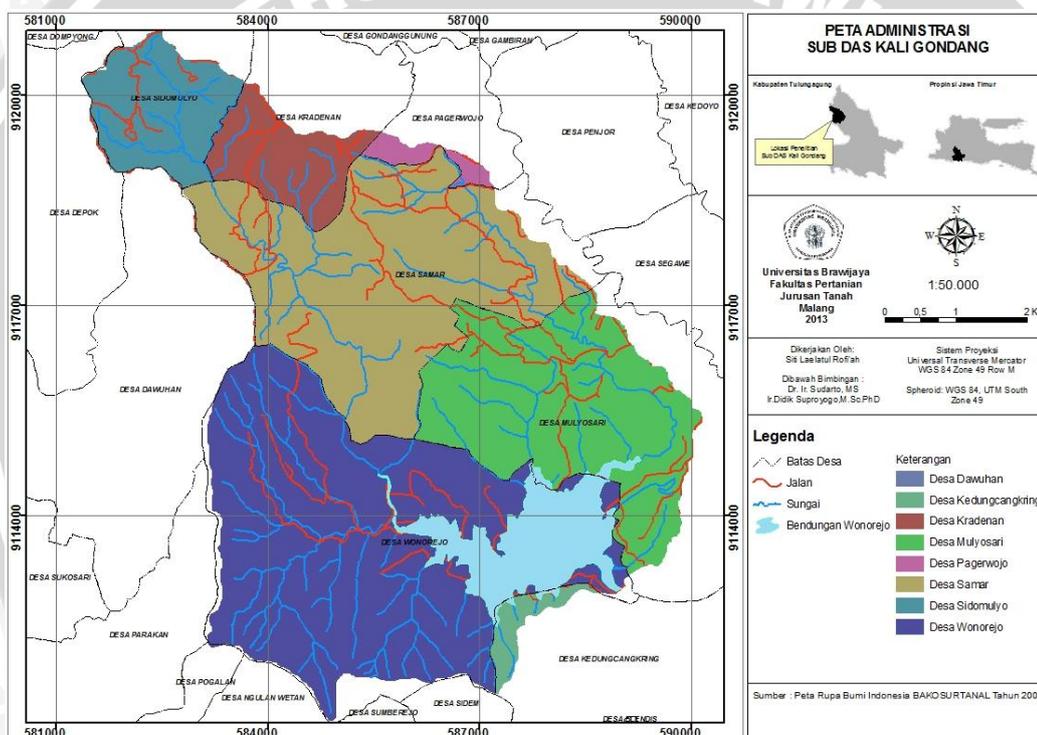
Erosi menyebabkan hilangnya lapisan tanah atas serta mengurangi kemampuan tanah menyerap dan menahan air. Lapisan tanah atas yang tererosi akan terangkut oleh aliran air yang kemudian diendapkan di dasar sungai, waduk, bendungan, danau, dan saluran irigasi. Hasil endapan atau lebih dikenal dengan sedimen tergantung pada besarnya erosi total di DAS atau Sub DAS serta jumlah partikel-partikel tanah yang tererosi (Wicaksono, 2009).

Produksi sedimen umumnya mengacu kepada besarnya laju sedimen yang mengalir melewati satu titik pengamatan tertentu dalam suatu sistem DAS. Sedimen merupakan hasil dari berbagai macam jenis proses erosi. Nisbah jumlah sedimen yang terbawa oleh sungai dari suatu daerah terhadap jumlah tanah yang tererosi dari daerah tersebut, disebut Nisbah Pelepasan Sedimen (NPS) atau disebut *Sediment Delivery Ratio* (SDR). Hubungan nisbah pelepasan sedimentasi dengan laju erosi dan sedimentasi berbanding lurus. Jika laju erosi dan sedimentasi meningkat maka nisbah pelepasan sedimentasi juga meningkat (Arsyad, 2006).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Sub DAS Kali Gondang, Kabupaten Tulungagung, Propinsi Jawa Timur (Gambar 2). Analisa sampel penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika dan Laboratorium Kimia, sedangkan analisa spasial dan pemetaan dilaksanakan di Laboratorium Pedologi dan Sistem Informasi Sumberdaya Lahan Jurusan Tanah Universitas Brawijaya. Penelitian dilaksanakan pada Bulan Juni 2013 hingga Oktober 2013.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

#### 3.2 Alat Dan Bahan

##### 3.2.1 Alat

Penelitian ini menggunakan alat untuk kegiatan survei di lapangan dan kegiatan pengolahan data.

Pertama, untuk kegiatan survei di lapangan, meliputi: *Global Positioning System* (GPS) untuk mengetahui titik koordinat posisi di lapangan, kamera untuk dokumentasi kondisi di lapangan, alat tulis untuk mencatat informasi yang didapat

dari lapangan, botol dan plastik untuk tempat menyimpan sampel penelitian, serta ring untuk mengambil sampel tanah utuh.

Kedua, untuk pengolahan data, baik data spasial maupun data non-spasial digunakan 2 jenis alat yaitu: perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras (*hardware*) yang digunakan dalam penelitian ini adalah Komputer Intel(R) Pentium(R) Dual Processor E2160 1.80GHz, Ram 0,99 GB yang berfungsi untuk mengolah bahan, data, dan membuat laporan. Mesin cetak (*Printer*) Canon iP1880 yang berfungsi untuk mencetak laporan dan peta yang digunakan. Sedangkan perangkat lunak yang digunakan adalah PCI Geomatica 9.1 berfungsi dalam pengolahan citra satelit. ArcGIS 9.3 digunakan untuk mengolah peta dan estimasi erosi menggunakan rumus RUSLE. ArcHydro Tool9 digunakan untuk membuat batas DAS atau Sub DAS. Internet dan software Google Earth sebagai alat download citra. Microsoft Office 2007 berfungsi untuk mengetik laporan dan pengolahan data lapangan.

### **3.2.2 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Citra Satelit Landsat 7 ETM<sup>+</sup> path/row 119/66 Tahun 2003, Citra Satelit ASTER Tahun 2006, dan Citra Google Earth Tahun 2010 yang digunakan untuk mendapatkan sebaran penggunaan lahan. Peta Rupa Bumi BAKOSURTANAL tahun 2002 skala 1:25.000 Lembar Sendang, Bendungan, Trenggalek, dan Kalangbret yang digunakan sebagai peta acuan. Data Sekunder hasil pengukuran sedimentasi di Bendungan Wonorejo Tahun 2003, 2006, 2009 dan 2012 yang digunakan dalam validasi estimasi erosi dan sedimentasi. Data curah hujan tahun 2003, 2006, 2009, dan 2012 dari dua Stasiun Klimatologi di sekitar wilayah penelitian.

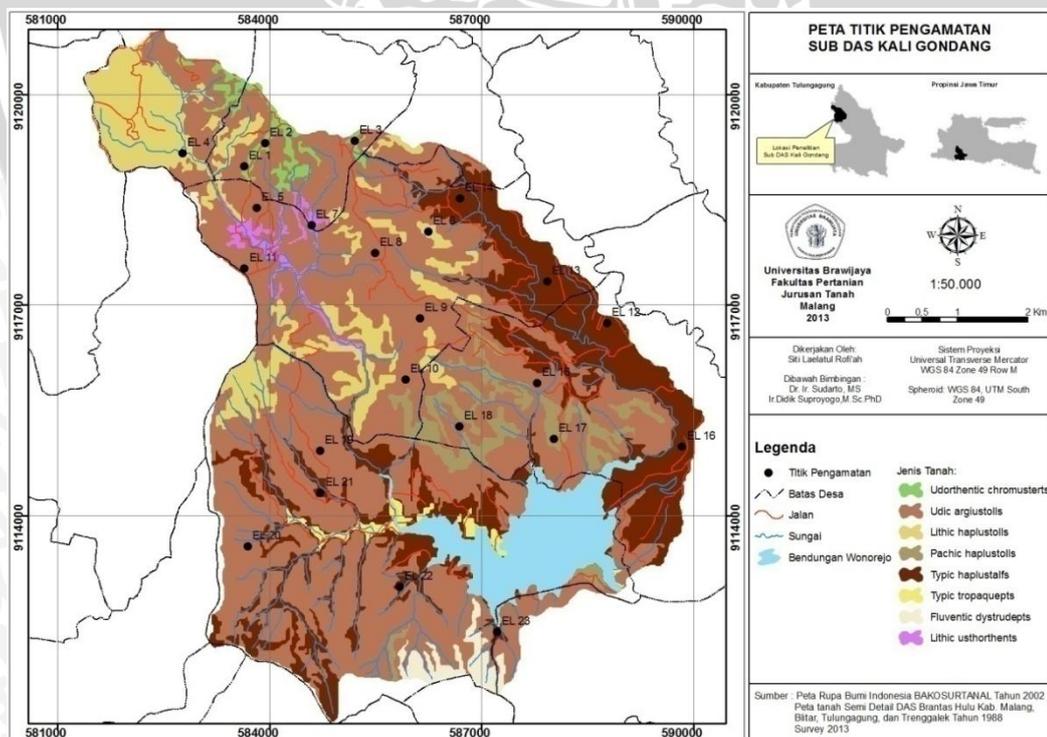
## **3.3 Tahapan Penelitian**

### **3.3.1 Persiapan**

Tahapan persiapan dalam penelitian ini berupa pengumpulan pustaka yang berkaitan dengan penelitian. Pustaka tersebut diperoleh dari buku, jurnal, dan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Selanjutnya membuat batas Sub DAS Kali Gondang dengan menggunakan *software* ArcGIS 9.3 yang dilengkapi *ArcHydro Tools* (Lampiran 2). Selain itu, pada penelitian ini

dibutuhkan beberapa data, seperti: data curah hujan, luasan DAS, penggunaan lahan, karakteristik tanah yang meliputi tekstur, struktur, permeabilitas, C-organik tanah, dan sedimentasi. Ketersediaan alat dan bahan penunjang penelitian dapat membantu dalam tabulasi data untuk hasil penelitian. Penelitian ini memerlukan beberapa data yang digunakan sebagai penunjang dan acuan. Penyediaan data penelitian tersebut tersaji dalam Tabel 3.

Lokasi titik pengamatan di lapangan (Gambar 3) ditentukan berdasarkan perbedaan jenis tanah. Informasi jenis tanah diperoleh dari Peta Jenis Tanah Semi Detail DAS Brantas Hulu tahun 1998. Peta tersebut masih berskala terlalu besar jika dipergunakan dalam penelitian ini, sehingga perlu dilakukan pengecilan skala peta. Semakin kecil skala peta maka semakin detail informasi yang ditampilkan. Proses pendetailan skala Peta Jenis Tanah dilakukan dengan cara membatasi (*delineasi*) peta berdasarkan bentuklahan (*landform*) yang telah di detailkan skalanya berdasarkan lereng dan relief. Hasil pengolahan kedua data tersebut akan digunakan sebagai lokasi penentuan titik pengambilan sampel untuk mendapatkan sebaran nilai erodibilitas. Lokasi pengambilan sampel dilakukan secara sengaja pada setiap perbedaan informasi jenis tanah dan *landform*.



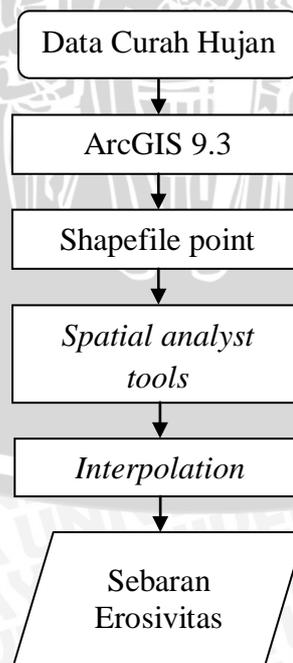
Gambar 3. Peta Titik Pengamatan

### 3.3.2 Penyediaan Data Sebaran Hujan

Data sebaran curah hujan diperoleh dari Perusahaan Umum Jasa Tirta I yang masih berupa data sekunder non spasial. Data tersebut kemudian diolah menjadi data spasial berdasarkan posisi koordinat dari masing-masing stasiun curah hujan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui sebaran curah hujan pada Sub DAS Kali Gondang. Dari data ini akan diperoleh besar erositivitas yang terdapat di daerah tersebut.

Data hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan adalah data curah hujan pada satu tempat atau titik. Curah hujan yang bervariasi pada kawasan yang luas menyebabkan satu penakar hujan belum dapat menggambarkan hujan yang ada di wilayah tersebut. Dalam hal ini diperlukan hujan kawasan yang diperoleh dari harga rata-rata curah hujan beberapa stasiun penakar hujan yang ada di dalam/atau disekitar lokasi. Pada lokasi penelitian terdapat 2 stasiun pengukur curah hujan yang digunakan untuk mengetahui sebaran curah hujan.

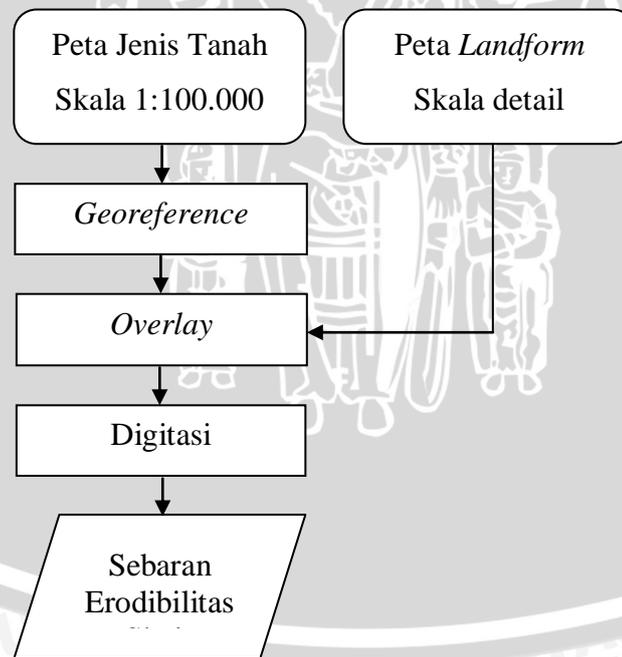
Metode yang dipilih untuk mengetahui sebaran curah hujan adalah metode interpolasi spasial. Metode tersebut merupakan suatu metode yang digunakan untuk memprediksi dan merepresentasikan sebaran curah hujan di suatu wilayah dengan banyak varian. Pembuatan interpolasi curah hujan (Gambar 4) dapat dilakukan dengan memanfaatkan *tools* pada *software* ArcGIS 9.3.



Gambar 4. Alur Pembuatan Sebaran Curah Hujan

### 3.3.3 Penyediaan Data Sebaran Jenis Tanah

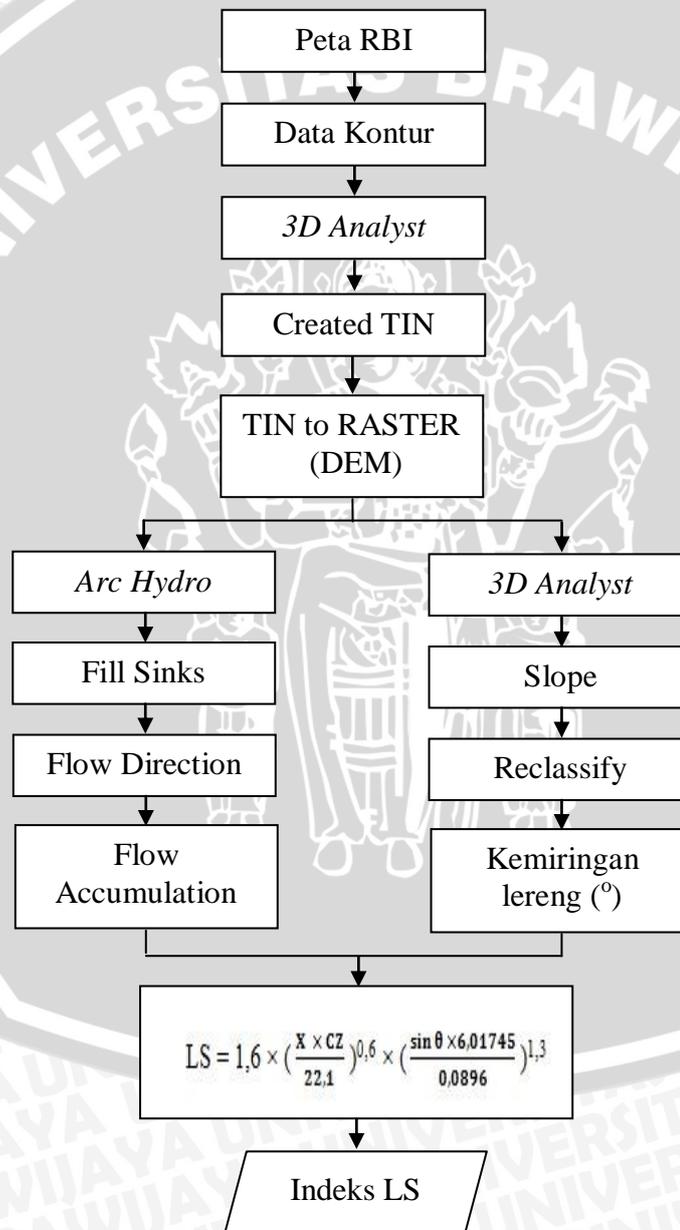
Sebaran jenis tanah yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari pemetaan tanah semi detail DAS Brantas Hulu Kabupaten Malang, Blitar, Tulungagung, dan Trenggalek proyek pertanian lahan kering dan konservasi tanah (Tim Survei, 1987). Peta tersebut masih dalam bentuk peta analog yang kemudian *discan*. Setelah proses *scan* peta tersebut diolah menggunakan *tools* georeference di *software* ArcGIS. Peta tersebut harus direktifikasi supaya peta hasil *scan* tersebut menjadi peta digital dan memiliki titik koordinat. Selanjutnya membuat shapefile baru yang difungsikan untuk digitasi sebaran peta jenis tanah. Data hasil digitasi ini kemudian di *overlay* terhadap peta bentuklahan (*landform*). Hal ini bertujuan untuk koreksi terhadap batas sebaran jenis tanah pada Sub DAS Kali Gondang supaya informasi yang dihasilkan lebih detail. Kemudian dari peta sebaran jenis tanah yang telah dikoreksi diketahui luasan masing-masing jenis tanah. Secara garis besar alur pengolahan peta jenis tanah yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Alur Pembuatan Peta Jenis Tanah

### 3.3.4 Penyediaan Data Kemiringan dan Panjang Lereng

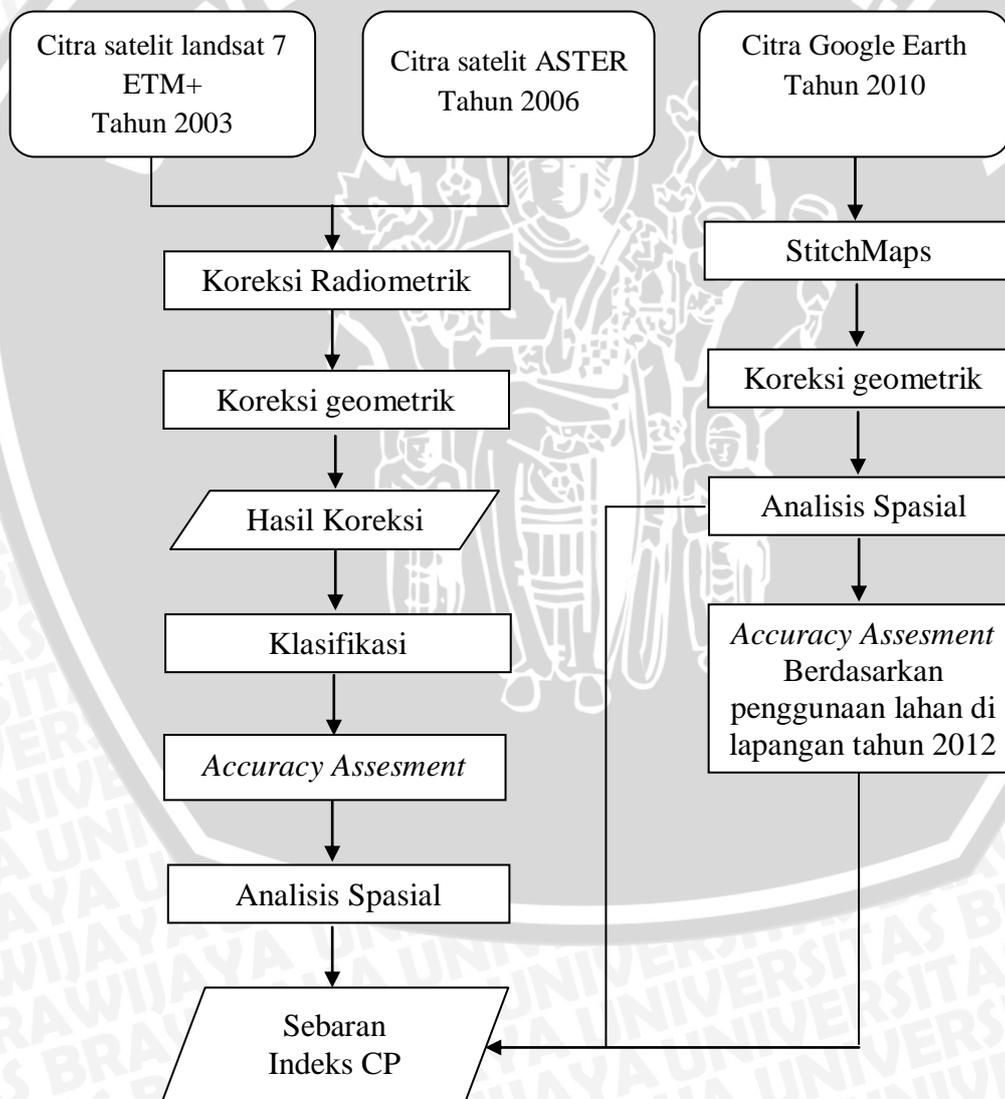
Data kemiringan dan panjang lereng didapat dari pengolahan Peta Topografi dalam bentuk kontur (Lampiran 1). Data tersebut berfungsi untuk mengetahui keadaan sebaran indeks LS pada lokasi penelitian. Sebelum diolah menjadi data kelerengan, kontur dari peta RBI diperbaiki terlebih dahulu. Data kontur diolah menggunakan *software* AcrGIS 9.3 hingga menjadi data yang menginformasikan topografi dan indeks LS lokasi penelitian (Gambar 6).



Gambar 6. Alur Pembuatan Kemiringan dan Panjang Lereng

### 3.3.5 Penyediaan Data Penggunaan Lahan

Data penggunaan lahan diperoleh dari interpretasi citra satelit. Data citra satelit yang digunakan adalah citra satelit Landsat 7 ETM<sup>+</sup> tahun 2003, ASTER tahun 2006, Google Earth tahun 2010 dan survei penggunaan lahan tahun 2012. Dari hasil interpretasi dapat diketahui sebaran masing-masing penggunaan lahan yang akan digunakan sebagai data sebaran penggunaan lahan, sehingga dapat dimasukkan nilai Indek CP pada masing-masing penggunaan lahan. Secara sederhana alur klasifikasi penggunaan lahan disajikan pada Gambar 7. Informasi mengenai sumber data, macam data, hasil pengolahan, dan fungsi data masing-masing disajikan pada Tabel 3.



Gambar 7. Alur Klasifikasi Penggunaan Lahan

Tabel 3. Penyediaan Data Penelitian

No	Sumber Data	Penyediaan Data	Hasil Data	Fungsi Data
1.	Peta Topografi Lembar Kalangbret dan Sendang	Sekunder	Kontur	Untuk membuat <i>Digital Elevation Model</i> (DEM), Lereng, dan Batas DAS
2.	Citra Satelit Landsat 7 ETM <sup>+</sup> Path 119 Row 066 Tahun 2003	Sekunder	Penggunaan Lahan 2003	Untuk mengetahui indeks CP
3.	Citra Satelit ASTER Tahun 2006	Sekunder	Penggunaan Lahan 2006	Untuk mengetahui indeks CP
4.	Citra Google Earth Tahun 2010	Sekunder	Penggunaan Lahan 2009 dan 2012	Untuk mengetahui indeks CP
5.	Peta Tanah Semi Detail DAS Brantas Hulu Kabupaten Malang, Blitar, Tulungagung, dan Trenggalek Propinsi Jawa Timur Tahun 1988 Skala 1:50.000	Sekunder	SPT, Penentuan Titik Pengamatan	Untuk menentukan lokasi titik pengamatan
6.	Data curah hujan Stasiun Pagerwojo dan Tugu berasal dari PT. Jasa Tirta 1	Sekunder	Data erosivitas (R)	Untuk menghitung indeks erosivitas
7.	Data Sedimentasi tahun 2003, 2006, 2009, dan 2012 berasal dari PT. Jasa Tirta 1	Sekunder	Mengetahui kapasitas efektif waduk	Digunakan dalam validasi estimasi erosi
8.	Persentase pasir, debu, liat pada masing-masing SPT	Primer	Persentase pasir, debu, liat	Untuk menghitung nilai erodibilitas
9.	Karakteristik struktur tanah pada masing-masing SPT	Primer	Kelas struktur	Untuk menghitung nilai erodibilitas
10.	Permeabilitas tanah pada masing-masing SPT	Primer	Data nilai permeabilitas	Untuk menghitung nilai erodibilitas
11.	C-organik tanah pada masing-masing SPT	Primer	Persentase C-organik	Untuk menghitung nilai erodibilitas

### 3.4 Analisa Data

#### 3.4.1 Analisa Tingkat Bahaya Erosi

Metode perkiraan besarnya erosi menggunakan *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE). Persamaan matematis metode RUSLE ditunjukkan pada Persamaan 1.

Berdasarkan rumus yang dikembangkan oleh Snyder, 1980 (*dalam* Arsyad, 2006) dari persamaan USLE oleh Wischmeier dan Smith, 1978 (*dalam* Utomo, 1994), dalam perhitungan Tingkat Bahaya Erosi (TBE) diperlukan empat jenis peta, yaitu: peta curah hujan, peta jenis tanah, kemiringan, dan peta tutupan lahan.

Hasil perhitungan Tingkat Bahaya Erosi yang diperoleh dari persamaan RUSLE di atas, menurut Departemen Kehutanan (1998) dikelompokkan menjadi lima kelas, yaitu: sangat ringan, ringan, sedang, berat, dan sangat berat. Tabel 4 menunjukkan klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi.

Tabel 4. Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi

No	Kelas TBE	Kehilangan Tanah (ton/ha/tahun)	Keterangan
1	I	< 15	Sangat ringan
2	II	15 – 60	Ringan
3	III	60 – 180	Sedang
4	IV	180 – 480	Berat
5	V	> 480	Sangat berat

#### *Indeks Erosivitas (R)*

Erosivitas hujan merupakan kemampuan hujan untuk menimbulkan erosi sedangkan indeks erosivitas merupakan parameter yang menunjukkan besarnya curah hujan yang dapat menyebabkan terjadinya erosi. Oleh karena itu, nilai R harus berasosiasi dengan besarnya pukulan jatuh hujan (energi hujan) dan jumlah aliran permukaan akibat hujan (energi transportasi limpasan). Data curah hujan yang diperlukan adalah data curah hujan bulanan. Erosivitas hujan bulanan dihitung dengan Persamaan Utomo dan Mahmud, 1984 (*dalam* Utomo, 1994) yang disajikan pada Persamaan 2.

Dari hasil perhitungan Persamaan 2 didapat nilai erosivitas per bulan yang kemudian diakumulasi hingga didapat nilai erosivitas per tahun. Data nilai

erosivitas per tahun kemudian diolah menggunakan *software* ArcGIS untuk di interpolasi supaya didapat sebaran erosivitas di daerah tersebut. Proses interpolasi dilakukan karena stasiun curah hujan terletak pada daerah tertentu. Sehingga untuk mendapatkan data sebaran pada daerah yang tidak terdapat stasiun curah hujan peneliti menggunakan proses interpolasi.

#### *Indeks Erodibilitas (K)*

Indeks erodibilitas tanah merupakan parameter yang menunjukkan resistensi partikel tanah terhadap pengelupasan dan transportasi partikel-partikel tanah yang disebabkan oleh energi kinetik dari air hujan. Besar indeks erodibilitas ditentukan oleh persentase partikel tanah, kandungan bahan organik, struktur tanah, dan permeabilitas tanah. Nilai erodibilitas tanah dihitung dengan persamaan yang dikembangkan Wischemeir, 1971 (*dalam* Utomo, 1994) yang disajikan pada Persamaan 3.

Penentuan luas daerah yang memiliki indeks erodibilitas ditentukan berdasarkan Satuan Peta Tanah (SPT). Sebaran SPT diperoleh dari hasil survei Peta Tanah Semi Detail DAS Brantas Hulu oleh Tim Survei Tanah dari Pusat Penelitian Tanah pada tahun 1988.

#### *Parameter Topografi (LS)*

Panjang dan kecuraman lereng suatu lahan mempengaruhi laju erosi. Pengaruh faktor ini dievaluasi secara terpisah pada rumus RUSLE. Masing-masing dinyatakan dalam L untuk panjang lereng dan S untuk kecuraman lereng. LS merupakan nisbah tanah hilang per satuan luas dari suatu lahan dengan kondisi kemiringan seragam. Parameter panjang lereng (L) dan kemiringan lereng (S) dihitung berdasarkan rumus Frederick dan Donal (2005) yang disajikan pada Persamaan 4.

Penerapan Persamaan 4 pada SIG berbasis pixel sulit diterapkan, karena variabilitas panjang lereng yang sangat kompleks. Pada beberapa penelitian telah dikembangkan suatu persamaan untuk mencari nilai LS dengan memanfaatkan data DEM pada SIG (Ekinci, 2010). Adapun persamaan tersebut disajikan pada Persamaan 11.

$$LS = 1,6 \times \left( \frac{X \times CZ}{22,1} \right)^{0,6} \times \left( \frac{\sin \theta \times 6,01745}{0,0896} \right)^{1,3} \dots\dots\dots(11)$$

Dimana: LS = Faktor panjang dan kemiringan lereng

X = Akumulasi aliran

CZ = Ukuran pixel (m)

$\theta$  = Kemiringan lereng ( $^{\circ}$ )

Akumulasi aliran merupakan nilai pixel yang dipengaruhi oleh aliran dari pixel di lereng atas. Pengolahan data DEM untuk mendapatkan nilai LS di dalam penelitian ini menggunakan *software* ArcGIS 9.3 dengan bantuan *Archydro Tools* (Lampiran 3).

*Parameter Penggunaan Lahan (CP)*

Faktor tanaman (C) merupakan angka perbandingan erosi lahan yang ditanami suatu jenis tanaman tertentu. Besarnya angka ini ditentukan oleh kemampuan tanaman untuk menutup tanah. Faktor pengolahan tanah (P) adalah perbandingan antara besarnya erosi atau tanah yang hilang pada lahan dengan tindakan pengelolaan tertentu. Nilai parameter CP untuk menyederhanaan berdasarkan kriteria Asdak (1995) disajikan dalam Tabel 1.

**3.4.2 Analisa Laju Sedimentasi**

Sedimen akan terpindahkan oleh aliran air melalui lereng DAS menuju sistem saluran. Sebagian massa sedimen akan terendapkan baik di lereng DAS maupun sistem saluran. Jumlah sedimen yang terekspor keluar dari DAS akan jauh lebih kecil dari massa sedimen yang tererosi. Perbandingan hasil sedimen yang terangkut dibagi erosi tanah pada lahan disebut *Sediment Delivery Ratio* (SDR). Rumus nisbah pelepasan sedimen ditulis pada persamaan 12.

$$SDR = \frac{Y}{E} \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan: SDR = Nisbah pelepasan sedimen

Y = Sedimen yang terekspor keluar DAS atau sedimen yang ada di bendungan

E = Sedimen yang tererosi atau besar erosi hasil perhitungan  
RUSLE



Laju hasil sedimentasi untuk skala DAS yang lebih luas Williams dan Berndt (1972) mengembangkan bahwa hasil sedimen pada keluaran DAS dipengaruhi oleh proses pengangkutan sedimen. Wischmeir dan Smith (1978) menganjurkan menggunakan persamaan yang dikembangkan Neibling dan Foster (1977) untuk menghitung laju sedimentasi yang disajikan pada persamaan 13.

$$S_y = \frac{E(SDR)}{A} \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:  $S_y$  = Laju hasil sedimentasi

$E$  = Erosi total diperoleh dari perhitungan rumus RUSLE

$SDR$  = Nisbah pengantaran sedimen

$A$  = Luas Daerah Aliran Sungai (DAS)

Analisa laju sedimentasi di lokasi penelitian didapatkan dari formula analisa statistik. Analisa statistik berfungsi untuk mencari validasi data antara sebaran erosi menggunakan sistem informasi geografis dengan pengukuran besar sedimentasi di Bendungan Wonorejo. Analisa yang digunakan adalah analisa regresi linier. Analisa ini berguna untuk menentukan persamaan model sebaran erosi dan sedimentasi di Sub DAS Kali Gondang. Untuk mendapatkan hasil terbaik, analisa dilakukan dengan menggunakan *software* Genstat 14th. Selain itu, analisa statistik diperlukan untuk mengetahui hubungan pengaruh perubahan laju erosi terhadap besarnya sedimentasi di bendungan. Tahapan penelitian secara keseluruhan pada karya tulis ini disajikan pada Gambar 8.

### 3.4.3 Skenario Penggunaan Lahan

Pada penelitian ini, untuk mengetahui pengurangan bahaya erosi dan sedimentasi diperlukan perubahan terhadap penggunaan lahan. Oleh karena itu, dilakukan simulasi dengan beberapa skenario perubahan penggunaan lahan dan melakukan tindakan konservasi.

#### *Skenario Penggunaan Lahan Aktual*

Skenario ini mensimulasikan kondisi saat ini berdasarkan penggunaan lahan tahun 2012 yang didapatkan dari hasil interpretasi citra Google Earth. Perlakuan ini sebagai kontrol atau pembanding terhadap perlakuan yang lain. Suatu skenario

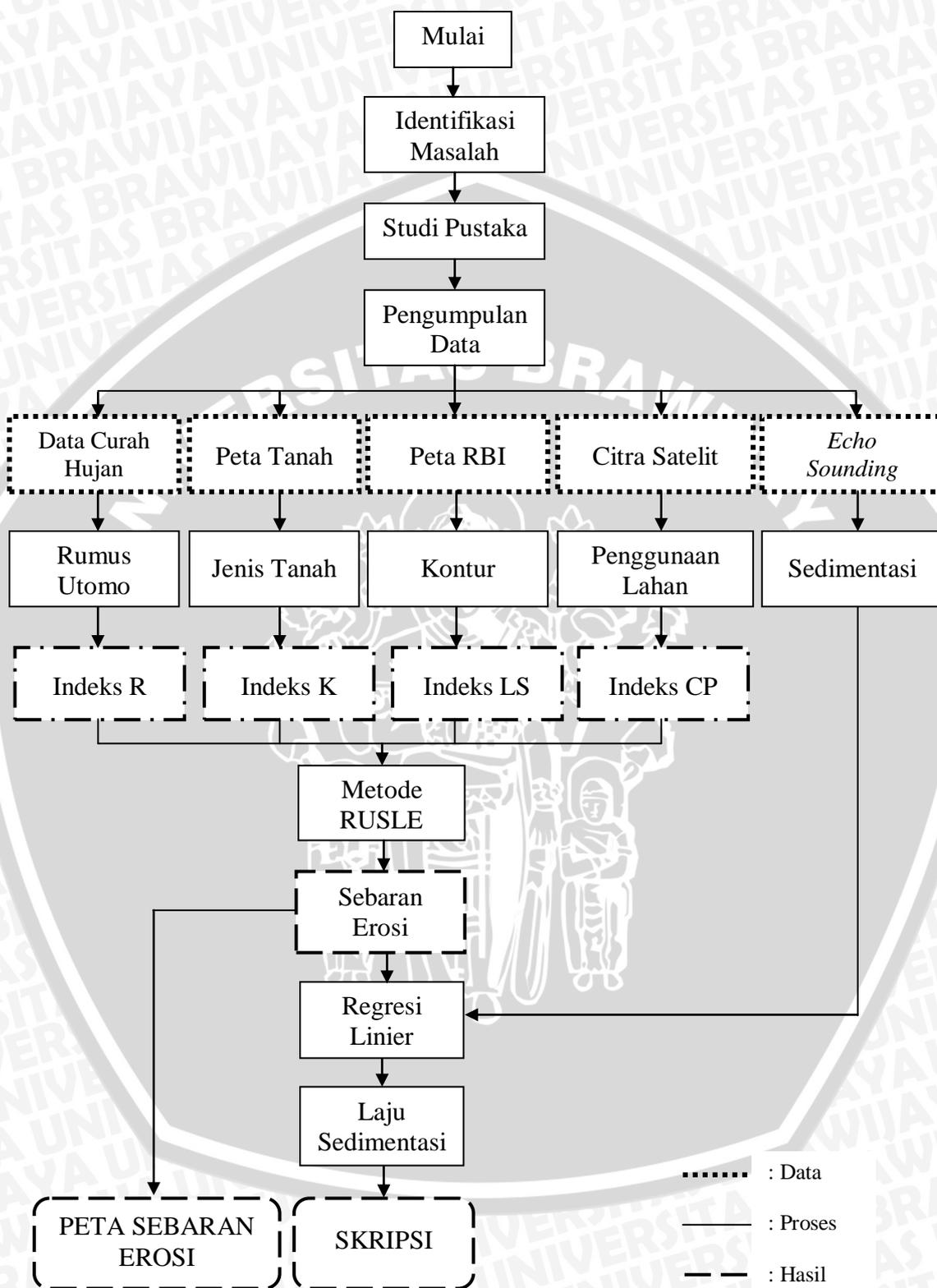
dapat dikatakan mampu mengurangi resiko erosi dan sedimentasi yang terjadi apabila nilai yang dihasilkan lebih kecil dari pada skenario kontrol.

#### *Skenario Penggunaan Lahan Sesuai Kemampuan Lahan*

Skenario ini mensimulasikan kondisi penggunaan lahan berdasarkan kelas kemampuan lahan. Perubahan dilakukan dengan merubah kondisi penggunaan lahan aktual 2012 yang memiliki kelas kemampuan lahan V, VI, VII, dan VIII. Dikarenakan pada lahan dengan kelas kemampuan lahan tersebut memiliki pengaruh yang sangat besar apabila lahan tersebut bukan hutan. Penggunaan lahan tegalan dan pemukiman pada kelas kemampuan lahan V dan VI dirubah menjadi penggunaan lahan perkebunan campuran, sedangkan pada kelas kemampuan lahan VII dan VIII dirubah menjadi penggunaan lahan hutan. Perlakuan ini sebagai pembandingan terhadap perlakuan yang lain.

#### *Skenario Penggunaan Lahan Sesuai Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW)*

Skenario ini mensimulasikan penggunaan lahan sesuai rencana tata ruang wilayah yang diduga mampu mengurangi erosi dan sedimentasi di Sub DAS Kali Gondang. Penggunaan lahan yang digunakan adalah rencana penggunaan lahan yang sudah ditetapkan atau dirancang dan sesuai dengan tata ruang wilayah daerah tersebut. Dengan tata ruang yang sesuai dengan karakteristik daerah tersebut, berkemungkinan akan dapat mengurangi nilai erosi dan sedimentasi yang terjadi pada Sub DAS Kali Gondang.



Gambar 8. Tahapan Penelitian

## IV. KONDISI UMUM WILAYAH

### 4.1 Lokasi

Sub Daerah Aliran Sungai (Sub DAS) Kali Gondang merupakan Sub DAS yang ada pada DAS Ngasinan sebagai DAS utamanya. Sub DAS Kali Gondang membentang pada Kecamatan Pagerwojo, Kabupaten Tulungagung sepanjang  $111^{\circ}44'17''$  sampai dengan  $111^{\circ}49'5''$  Bujur Timur dan  $7^{\circ}57'8''$  sampai dengan  $8^{\circ}2'29''$  Lintang Selatan. Secara administrasi berada pada sebagian Kecamatan Pagerwojo yang meliputi: Desa Dawuhan, Desa Kedungcangkring, Desa Kradenan, Desa Mulyosari, Desa Pagerwojo, Desa Samar, Desa Sidomulyo, dan Desa Wonorejo. Batas sebelah timur berbatasan dengan Desa Penjor, Desa Segawe, dan Desa Pucangan, sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Trenggalek, sebelah utara berbatasan dengan Desa Gondanggunung dan Desa Gambiran, sebelah selatan berbatasan dengan Kecamatan Gondang.

Sub DAS Kali Gondang memiliki luasan  $\pm 4.524$  ha. Terletak  $\pm 16$  Km sebelah barat dari pusat Kota Tulungagung yang dapat ditempuh dengan menggunakan angkutan umum jalur Tulungagung-Trenggalek  $\pm 45$  menit perjalanan. Jalur ini sangat mudah untuk diakses karena sarana dan prasarana transportasi sangat banyak dan memadai. Jalan antar desa umumnya sudah beraspal yang dapat dilalui kendaraan beroda empat, sisanya berupa jalan tanah yang cukup dilalui kendaraan roda dua. Gambar lokasi Sub DAS Kali Gondang dapat dilihat pada bab metode penelitian (Gambar 2).

### 4.2 Geologi dan Geomorfologi

#### 4.2.1 Geologi

Lokasi daerah penelitian tersusun tiga satuan geologi yaitu: 1). Qpww Morfofer Argokalangan, 2). Tomm Formasi Mandalika, 3). Toma Formasi Arjosari (Gambar 9).

Morfofer Argokalangan (Qpww) memiliki komposisi kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung dan lumpur. Aluvium ini merupakan endapan dari Sungai Ngrowo. Bahan tersebut umumnya lepas, tetapi sebagian lumpur dan pasir halus sedikit mampat. Sebagian besar satuan terbentuk dari luapan air sungai. Kerikil,

kerakal, dan bongkah menguasai daerah sepanjang sungai, berbentuk membulat tanggung sampai membulat. Tebal satuan ini berkisar dari 0,5 m sampai lebih dari 10 m (Hartono, 1992).

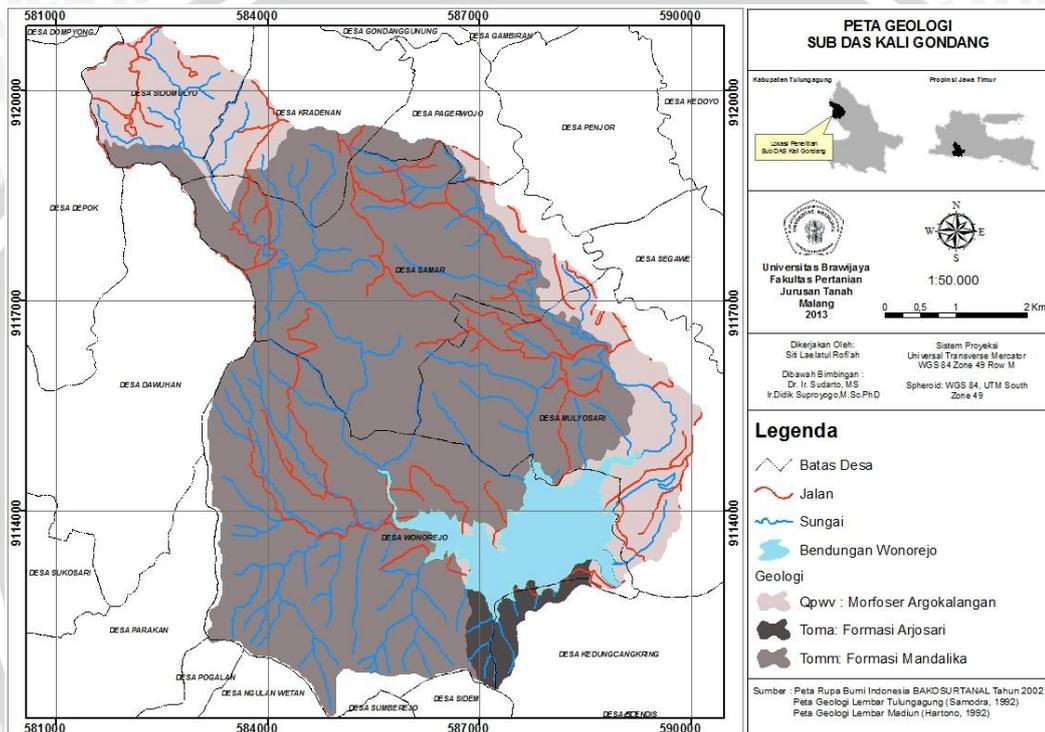
Formasi Mandalika (Tomm) tersusun dari breksi gunungapi berwarna kelabu kecoklatan hingga kelabu kehijauan terdiri dari komponen andesit, dasit, diorit dan basal. Sebagian besar batuanya terubah dan terkarsikan sehingga berwarna kehijauan. Lava dan tuf berwarna kelabu kehitaman dan coklat kekuningan yang tersusun oleh plagioklas dan piroksin bermasa dasar mikrolit plagioklas umumnya terpropilitkan dan terkarsikan. Sebaran satuan ini mendominasi pada sebagian wilayah Sub DAS Kali Gondang. Satuan ini membentuk morfologi perbukitan yang berjalur lebih dari 500 mdpl (Samodra, 1992).

Formasi Arjosari (Toma) tersusun dari breksi aneka bahan, batu pasir, batu lanau, batu lempung dan konglomerat, bersisipan batuan gunungapi. Sebagian besar formasi ini berupa runtunan endapan turbidit yang ke arah mendatar berangsur berubah menjadi batuan gunungapi Formasi Mandalika (Tomm). Struktur perlapisan bersusun dijumpai pada breksi aneka bahan dan konglomerat yang memiliki batu pasir berbutir sangat kasar. Perulangan batu pasir dan batu lempung serta adanya endapan saluran yang dikuasai oleh breksi yang menggambarkan adanya runtunan endapan turbidit proksimal. Bagian atas satuan yang berselingan dengan batuan gunungapi menunjukkan adanya perubahan fasies satuan ini ke satuan batuan gunungapi yang nisbi lebih muda. Satuan ini tersebar di bagian selatan wilayah Sub DAS Kali Gondang (Samodra, 1992).

Sebaran geologi yang bervariasi menyebabkan terjadinya keragaman jenis bahan induk tanah. Bahan induk tanah merupakan faktor yang mempengaruhi pembentukan *landform* dan jenis tanah. Selain itu, keragaman bahan induk juga mempengaruhi besarnya erosi dan sedimentasi. Formasi Tomm yang tersusun dari plagioklas dan piroksin membentuk partikel tanah yang berukuran kecil dan mudah tererosi. Berbeda dengan formasi qpww yang memiliki batu pasir yang sangat kasar sehingga tidak mudah terbawa aliran permukaan. Secara umum formasi Tomm (Tabel 5) memiliki luasan yang lebih luas daripada formasi lainnya.

Tabel 5. Luasan Geologi Lokasi Penelitian

Kode Geologi	Keterangan	Luas (ha)	Persentase (%)
Tomm	Formasi Mandalika	3315	73,27
Toma	Formasi Arjosari	171	3,78
Qpww	Morfoser Argokalangan	1038	22,94
		4524	100,00



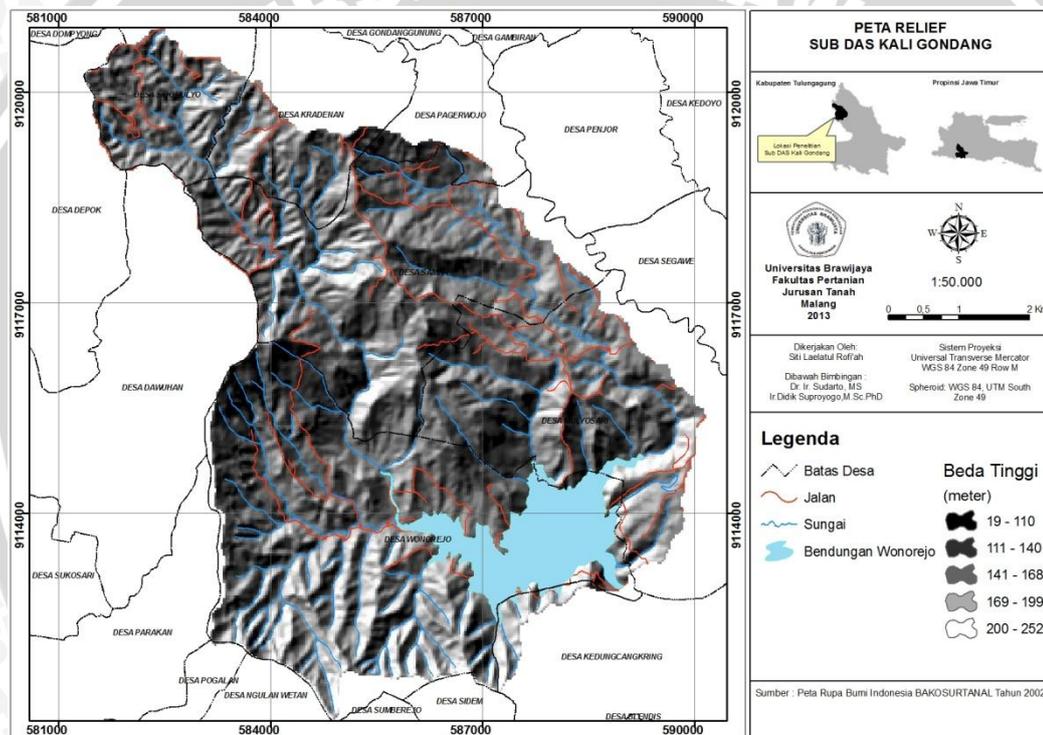
Gambar 9. Peta Geologi Sub DAS Kali Gondang

#### 4.2.2 Relief

Ketinggian tempat Sub DAS Kali Gondang pada umumnya berkisar antara 112 sampai dengan 900 m dpl. Pada daerah datar terdapat pada kisaran ketinggian 112-195 m dpl yang berada pada daerah kaki pegunungan sehingga daerah tersebut menjadi *outlet* air dari hasil aliran sungai. Daerah dataran tersebut sekarang dibangun menjadi Bendungan Wonorejo. Daerah pegunungan terdapat pada kisaran ketinggian 195-900 m dpl yang berada pada lereng dari Gunung Wilis. Informasi ketinggian tempat diperoleh dari data kontur Peta RBI BAKOSURTANAL tahun 2002.

Keadaan relief (Gambar 10) di Sub DAS Kali Gondang sangat bervariasi mulai dari dataran, berbukit sampai bergunung. Keragaman relief dikarenakan lokasi penelitian berada pada lereng Gunung Wilis. Relief datar ditemui di daerah lembah yang sekarang dijadikan sebagai Bendungan Wonorejo. Pada pegunungan vulkanik maupun perbukitan vulkanik didominasi punggung dan lereng.

Variasi relief yang dijumpai pada lokasi penelitian memiliki pengaruh terhadap tingkat erosi yang terjadi. Pada relief dengan beda tinggi >10 m umumnya dijumpai erosi. Erosi yang dijumpai didominasi dalam klasifikasi sedang hingga sangat berat.



Gambar 10. Peta Relief Sub DAS Kali Gondang

#### 4.2.3 Lereng

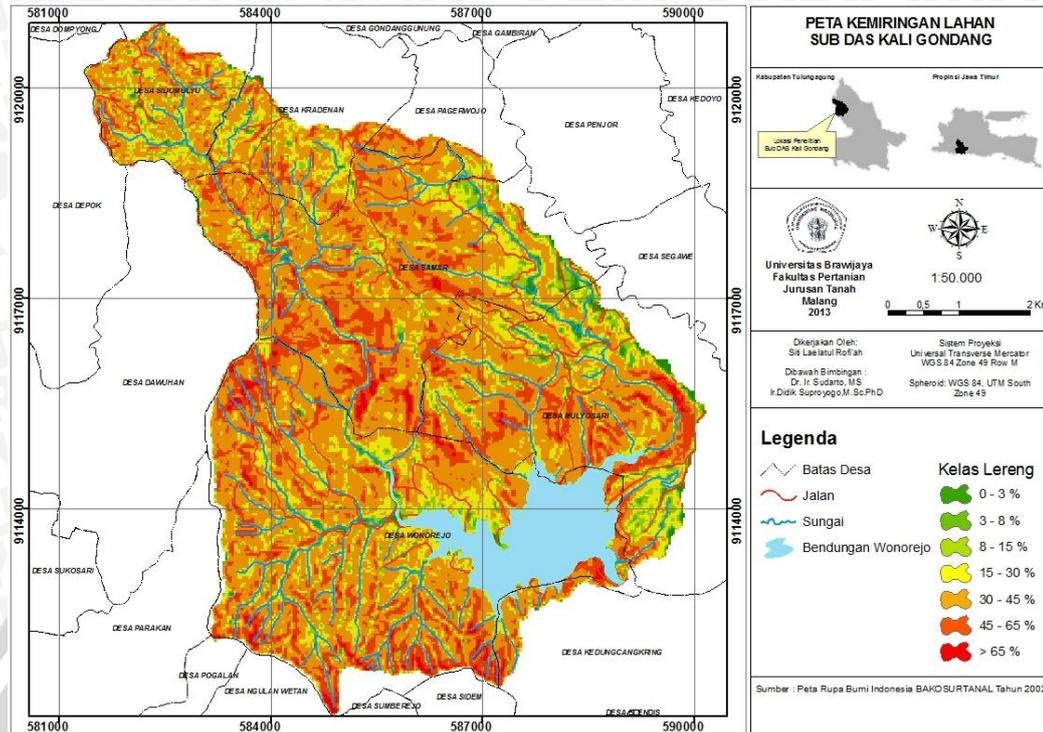
Pada kawasan Sub DAS Kali Gondang banyak ditemui keragaman lereng. Tepatnya pada daerah dataran antar pegunungan dan perbukitan. Kisaran bervariasi dengan sebaran kelas kelerengan yang didominasi agak landai, agak curam, curam, dan sangat curam. Kondisi seperti inilah yang menggambarkan bahwa di Sub DAS Kali Gondang sangat berpotensi terjadi erosi yang dapat memicu terjadinya sedimentasi di lereng bagian bawah. Variasi lereng ini dapat

dilihat pada lereng perbukitan Gunung Wilis sedangkan daerah-daerah yang tergolong datar ada di antara lembah pegunungan dan perbukitan. Faktor lereng sangat berpengaruh terhadap terjadinya erosi. Tingkat kemiringan dan panjang lereng yang bervariasi (Gambar 11) dengan penggunaan lahan yang tidak berpedoman pada konservasi tanah dan air mengakibatkan tingginya tingkat bahaya erosi di Sub DAS Kali Gondang. Informasi mengenai luas lereng disajikan pada Tabel 6.

Kondisi lereng dari suatu bentang lahan dengan tingkat kemiringan suatu lereng mempengaruhi besarnya sedimentasi di daerah aliran sungai. Semakin curam tingkat kemiringan suatu daerah maka semakin besar pula erosi yang terjadi sehingga meningkatkan besarnya nilai sedimentasi pada suatu daerah aliran sungai.

Tabel 6. Luas Sebaran Lereng Lokasi Penelitian

Klasifikasi Lereng (%)	Keterangan	Luas (ha)	Persentase (%)
0 – 3	Datar	124	2,73
3 – 8	Agak landai	138	3,04
8 – 15	Landai	380	8,41
15 – 25	Agak uram	921	20,36
25 – 40	Curam	1782	39,40
40 – 60	Sangat curam	1116	24,67
> 60	Terjal	63	1,40
		4524	100,00



Gambar 11. Peta Kelerengan Lahan Sub DAS Kali Gondang

#### 4.2.4 Bentuklahan

Bentuklahan (*landform*) secara garis besar di Sub DAS Kali Gondang dibagi menjadi 2 *landform* besar (Gambar 12), yaitu: perbukitan vulkanik tua, dan pegunungan vulkanik tua. *Landform* didominasi oleh hasil aktifitas vulkanik, sehingga daerah penelitian ini masih tergolong *landform* vulkan.

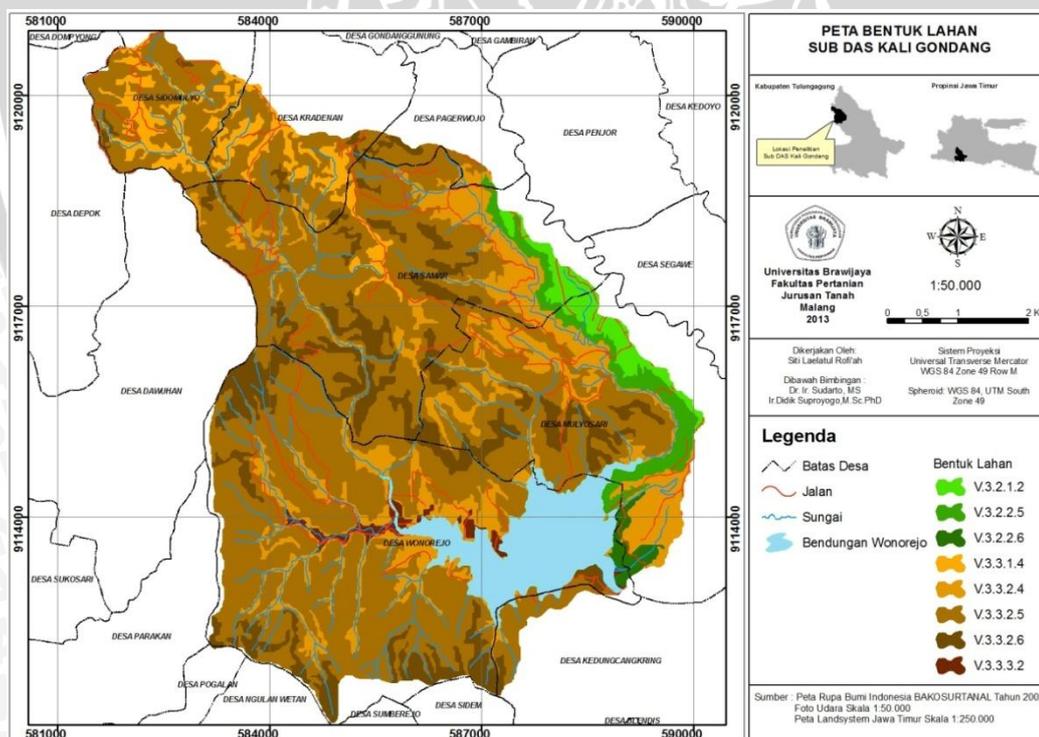
Daerah yang relatif agak curam hingga agak landai yang dikategorikan sebagai perbukitan vulkanik tua dan pegunungan vulkanik tua. Berdasarkan tataan fisiografi Van Bemmelen, 1949 (*dalam* Nahrowi, 1978), daerah Kabupaten Tulungagung termasuk dalam Lajur Pegunungan Selatan Jawa Timur yang bagian utaranya berbatasan dengan Lajur Depresi yang ditempati oleh Gunung Wilis (Nahrowi, 1978).

*Landform* pegunungan vulkanik tua merupakan wilayah vulkanik tua dengan relief pegunungan vulkanik tua dengan lereng  $>15\%$  dan perbedaan tinggi  $>300$  m. *Landform* tersebut dapat ditemui pada bagian atas, tengah dan kiri dari DAS yang dibedakan berdasarkan punggung, lereng, lembah, dan kelerengan. Sedangkan *landform* perbukitan vulkanik tua merupakan perbukitan vulkanik tua dengan lereng  $>15\%$  dan perbedaan tinggi 50-300 m. *Landform* tersebut dapat

ditemui pada bagian kanan dari DAS yang dibedakan berdasarkan punggung, lereng, lembah, dan kelerengan. Sebaran luas bentuklahan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Luas Sebaran Bentuklahan Lokasi Penelitian

Kode	Bentuklahan	Luas (ha)	Persentase (%)
V.3.2.1.2	Punggung perbukitan vulkanik tua, agak landai	95	2,10
V.3.2.2.5	Lereng Perbukitan vulkanik tua, curam	130	2,87
V.3.2.2.6	Lereng perbukitan vulkanik tua, sangat curam	39	0,87
V.3.3.1.4	Punggung pegunungan vulkanik tua, agak curam	207	4,59
V.3.3.2.4	Lereng pegunungan vulkanik tua, agak curam	812	17,95
V.3.3.2.5	Lereng pegunungan vulkanik tua, curam	2540	56,16
V.3.3.2.6	Lereng pegunungan vulkanik tua, sangat curam	505	11,17
V.3.3.3.2	Lembah pegunungan vulkanik tua, agak landai	194	4,30
		4524	100,00



Gambar 12. Peta Bentuklahan Sub DAS Kali Gondang



### 4.3 Tanah

Wilayah pada Sub DAS Kali Gondang dipengaruhi bentuklahan vulkanik yang disebabkan dari aktifitas Gunung Wilis. Tanah yang ada di kawasan tersebut umumnya berkembang dari bahan endapan permukaan yang berasal dari kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan lumpur. Bahan piroklastik berbahan breksi aneka bahan, batu pasir, batu lanau, batu lempung, dan bersisipan batuan gunungapi serta perulangan batu lempung, batu pasir, dan tuf bersisipan konglomerat dan breksi. Berdasarkan hasil laporan Peta Tanah Semi Detail DAS Brantas Hulu Kabupaten Malang, Blitar, Tulungagung, dan Trenggalek Propinsi Jawa Timur oleh Tim Survei (1988) tanah-tanah di daerah penelitian tergolong tanah-tanah muda, antara lain: Vertisols, Mollisols, Alfisols, Inceptisols, dan Entisols.

Pada bentuklahan lereng dan punggung perbukitan volkanik tua dengan lereng curam dan agak landai ditemukan tanah yang termasuk dalam kategori ordo Alfisols. Alfisols merupakan tanah yang memiliki kandungan liat tinggi dan endopedon argilik. Tanah ini subur sehingga digunakan untuk pertanian dan mempunyai kejenuhan basa tinggi, kapasitas tukar kation tinggi, cadangan unsur hara tinggi. Pada bentuklahan lereng pegunungan volkanik tua dengan lereng agak curam ditemukan tanah yang termasuk dalam kategori ordo Entisol. Entisol merupakan tanah yang baru berkembang. Tanah ini tidak hanya berupa bahan induk, tetapi sudah terjadi proses pembentukan tanah yang menghasilkan epipedon okrik. Tanah tersebut umumnya berasal dari bahan aluvium yang memiliki tingkat kesuburan tinggi sehingga cocok untuk usaha pertanian khususnya area budidaya padi sawah (Hardjowigeno, 1993).

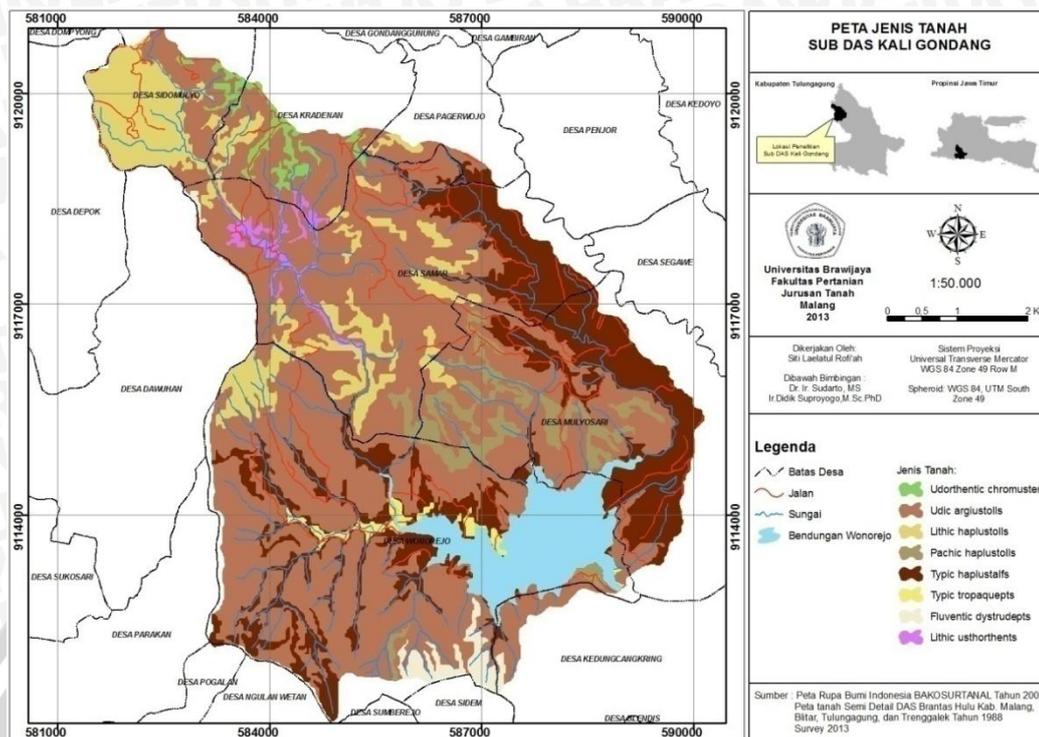
Pada bentuklahan lereng pegunungan volkanik tua dengan lereng curam ditemukan tanah yang termasuk dalam kategori ordo Inceptisols. Inceptisols merupakan tanah mineral yang masih muda dan memiliki perkembangan profil yang lebih lemah dibandingkan dengan tanah matang serta masih menyerupai sifat bahan induknya dan secara berangsur memperlihatkan horizon pedogenik. Pada bentuklahan lereng perbukitan volkanik tua dengan lereng curam ditemukan tanah yang termasuk dalam kategori ordo Vertisols. Vertisols merupakan tanah dengan kandungan liat tinggi lebih dari 30% mempunyai sifat mengembang dan

mengerut, kapasitas tukar kation dan kejenuhan basa yang tinggi, nilai pH antara 6,0 sampai dengan 8,0, dan reaksi tanah bervariasi dari asam lemah hingga alkaline lemah (Munir, 1996).

Pada bentuklahan lereng perbukitan vulkanik tua dengan lereng agak curam, sangat curam, dan agak landai ditemukan tanah yang termasuk dalam kategori ordo Mollisols. Mollisols merupakan tanah yang mempunyai horison (lapisan) permukaan berwarna gelap yang mengandung bahan organik tinggi lebih dari 1%, memiliki kejenuhan basa lebih dari 50%, dan memiliki agregasi tanah baik sehingga tanah tidak keras bila kering. Tingkat perkembangan tanah yang masih relatif muda dan belum banyak berkembang menyebabkan karakteristik tanah di Sub DAS Kali Gondang secara umum rentan terhadap erosi jika penggunaan lahan pada daerah tersebut tidak didasarkan kaidah konservasi. Peta Jenis Tanah Sub DAS Kali Gondang disajikan pada Gambar 13 dan sebaran luas jenis tanah disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Luas Sebaran Jenis Tanah Lokasi Penelitian

No	Jenis Tanah	Luas	Persentase
		(ha)	(%)
1	Udorthentic chromusterts	58	1,29
2	Udic argiustolls	2532	55,98
3	Lithic haplustolls	464	10,26
4	Pachic haplustolls	185	4,09
5	Typic haplustalfs	975	21,55
6	Typic tropaquepts	194	4,3
7	Fluventic dystrodepts	63	1,39
8	Lithic ustorthents	52	1,14
		4524	100,00



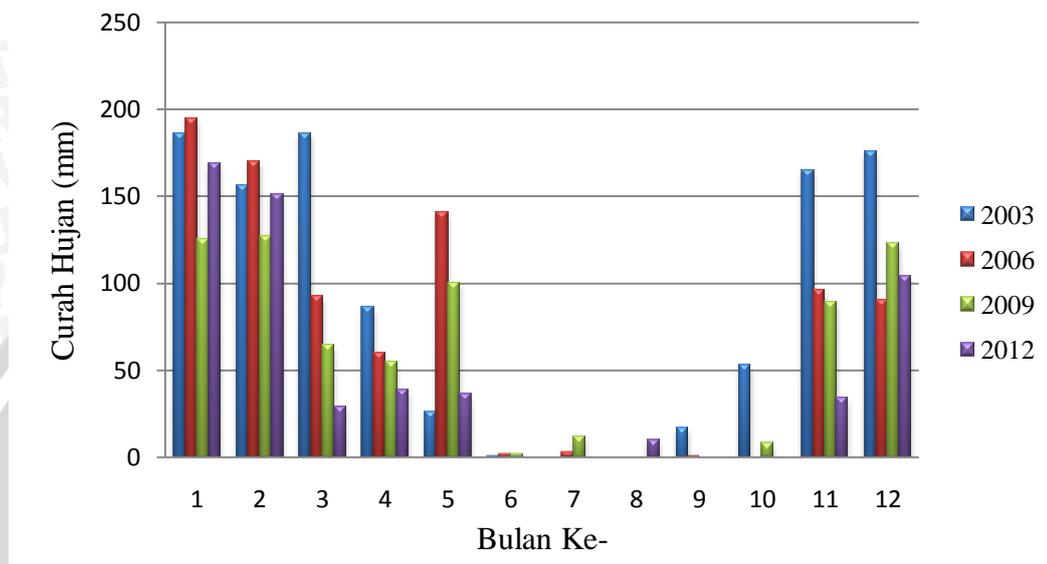
Gambar 13. Peta Jenis Tanah Sub DAS Kali Gondang

## 4.4 Iklim dan Hidrologi

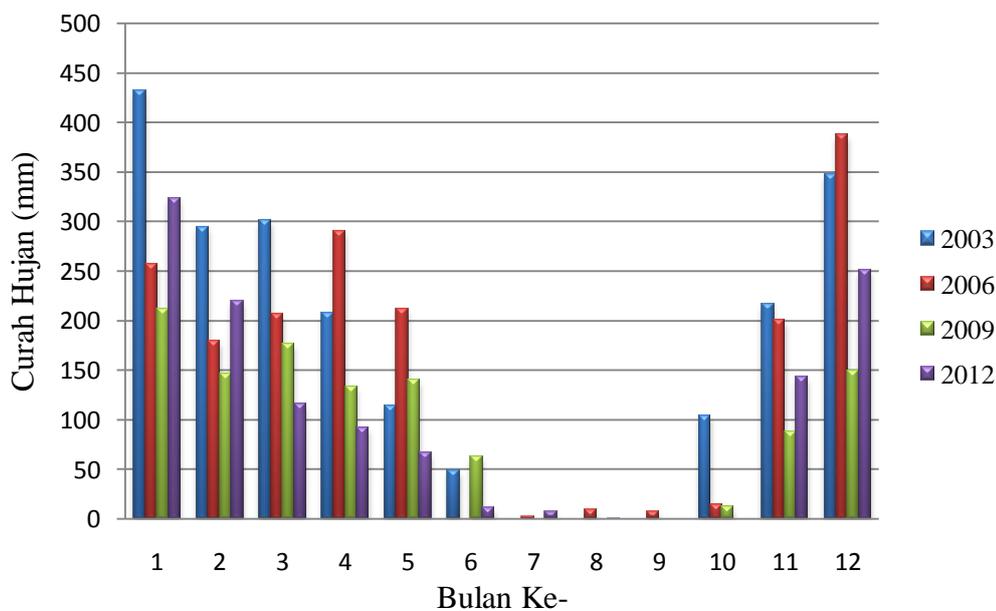
### 4.4.1 Iklim

Kondisi iklim pada wilayah penelitian Sub DAS Kali Gondang menurut klasifikasi iklim (Koppen, 1918 dalam Jasa Tirta; 2013) termasuk beriklim muson tropis yang dicirikan adanya dua musim, yaitu: musim hujan dan musim kemarau, memiliki suhu rata-rata tahunan  $20^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$ , dan curah hujan rata-rata lebih dari 700 mm/tahun. Daerah penelitian termasuk kawasan sedang dengan curah hujan tahunan berkisar antara 1274 mm sampai dengan 2339 mm. Berdasarkan urutan bulan basah dan bulan kering dengan ketentuan Klasifikasi iklim Oldeman, rata-rata setiap stasiun penakar hujan terjadi bulan basah sebanyak 5 kali dalam setahun, bulan lembab rata-rata sebanyak 1 kali dalam setahun dan bulan kering rata-rata sebanyak 6 kali dalam setahun. Menurut klasifikasi iklim Oldeman daerah Sub DAS Kali Gondang termasuk dalam tipe iklim C, yaitu: memiliki rata-rata 5-6 kali bulan basah secara berturut-turut. Curah hujan diperoleh dari 2 stasiun curah hujan yang terletak di sekitar wilayah Sub DAS Kali Gondang, yaitu: Stasiun Tugu (135 m dpl), dan Stasiun Pagerwojo (221 m dpl). Data curah

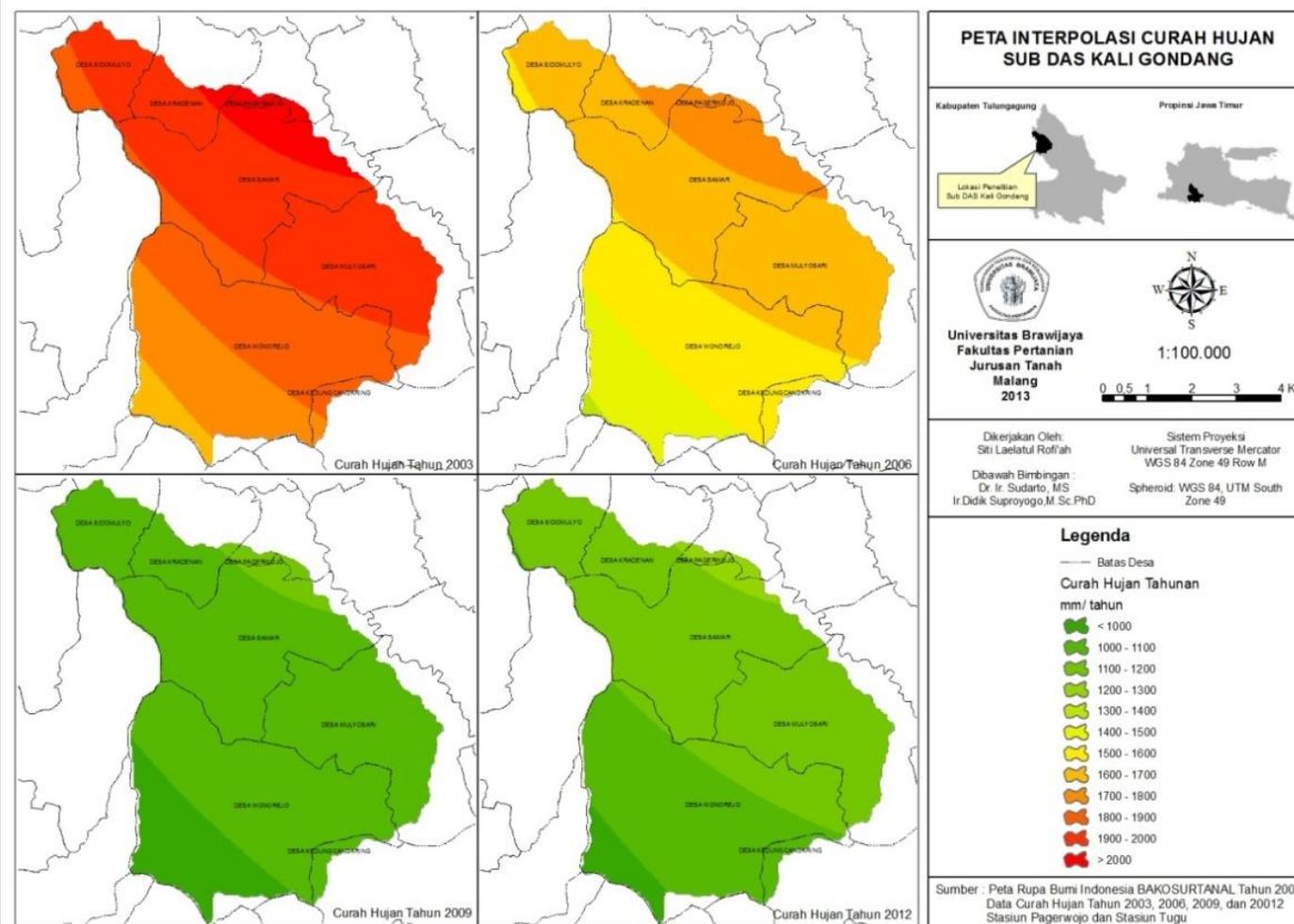
hujan diinventarisir selama 4 tahun dimulai dari tahun 2003, 2006, 2009, dan 2012 dan kemudian dihitung hujan rata-rata tahunan. Gambar 14 dan 15 menunjukkan curah hujan bulanan yang terjadi pada masing-masing stasiun curah hujan, sedangkan sebaran curah hujan disajikan pada Gambar 16.



Gambar 14. Grafik Curah Hujan Bulanan Stasiun Tugu



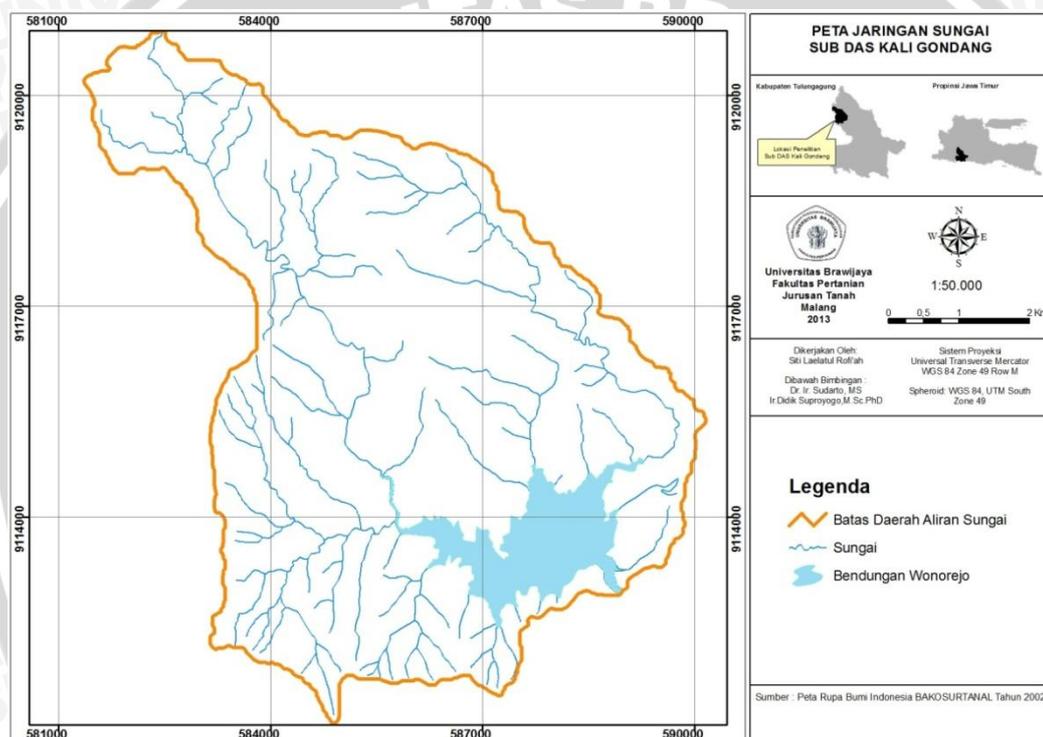
Gambar 15. Grafik Curah Hujan Bulanan Stasiun Pagerwojo



Gambar 16. Peta Sebaran Curah Hujan Sub DAS Kali Gondang

#### 4.4.2 Hidrologi

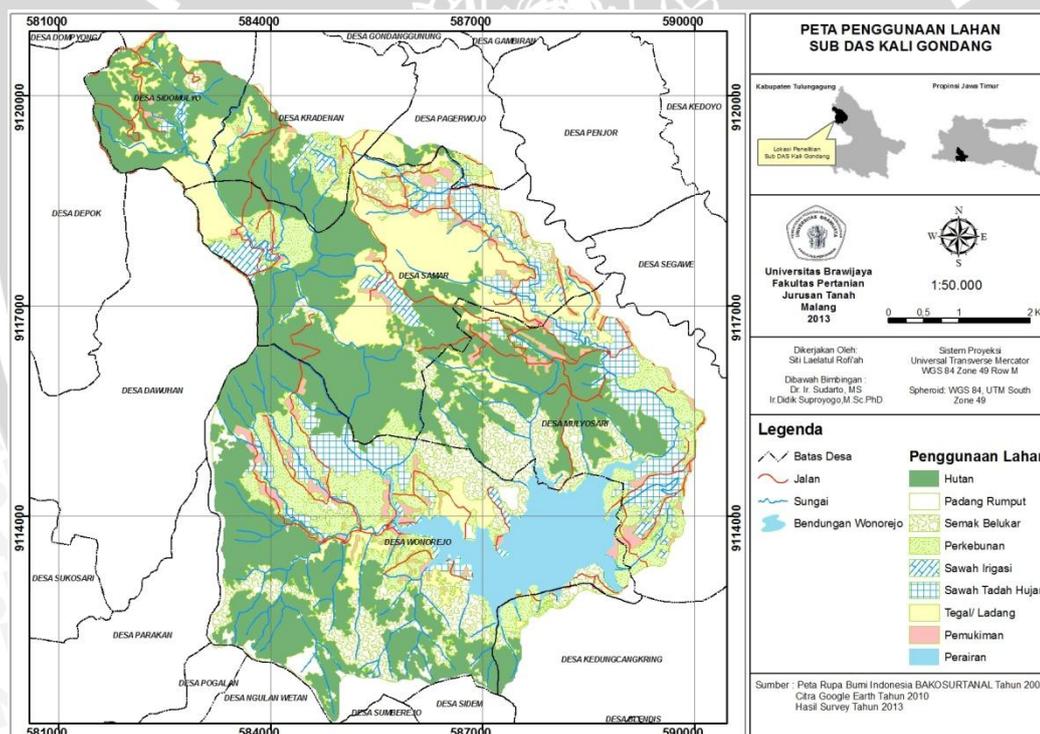
Sub DAS Kali Gondang merupakan bagian dari wilayah DAS Ngasinan. Wilayah Sub DAS Kali Gondang berada pada lereng Gunung Wilis. Kondisi tersebut menyebabkan keragaman kelas kelerengan mulai dari yang sangat curam sampai yang paling datar. Dengan kondisi demikian sehingga ditemukan pola drainase dendritik dan paralel yang diperoleh informasi berdasarkan Peta Jaringan Sungai (Gambar 17). Pola drainase yang demikian meningkatkan kecepatan aliran sungai dan sangat rentan terjadi longsor.



Gambar 17. Peta Jaringan Sungai Sub DAS Kali Gondang

### 4.5 Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan di kawasan Sub DAS Kali Gondang dikategorikan menjadi 9 jenis penggunaan lahan yaitu: hutan, padang rumput, pemukiman, perairan, perkebunan, sawah irigasi, sawah tadah hujan, semak belukar, dan tegal/ladang. Jenis penggunaan lahan terluas adalah hutan, luas hutan pada wilayah penelitian adalah 1.737 ha, luas padang rumput mencapai 58 ha, semak belukar 569 ha, perkebunan 495 ha, sawah irigasi 124 ha, sawah tadah hujan 382 ha, tegal/ladang 670 ha, pemukiman 194 ha, dan perairan 295 ha. Total luasan wilayah Sub DAS Kali Gondang adalah 4524 ha. Peta Penggunaan Lahan Aktual Sub DAS Kali Gondang disajikan pada Gambar 18 dan kondisi actual beberapa penggunaan lahan di lapangan dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 18. Peta Penggunaan Lahan Aktual Sub DAS Kali Gondang



Gambar 19. Kondisi Aktual Beberapa Penggunaan Lahan Sub DAS Kali Gondang Kabupaten Tulungagung. (a) Perairan (Bendungan Wonorejo); (b) Sawah Tadah Hujan; (c) Semak Belukar; (d) Tegal; (e) Kebun; (f) Sawah irigasi; (g) Pemukiman; (h) Hutan;

## V. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Analisis Data Spasial

Laju erosi dan sedimentasi pada suatu DAS pada penelitian ini didasarkan pada Persamaan RUSLE. Hal pertama yang harus dilakukan adalah pengumpulan dan pengolahan data. Data tersebut berupa data primer maupun sekunder yang diambil dari berbagai sumber berfungsi sebagai penunjang informasi peneliti. Data yang diperlukan antara lain berupa: data curah hujan (erosivitas), Peta Jenis Tanah (erodibilitas), Peta Topografi (indeks panjang dan kemiringan lereng), data penggunaan lahan tahun 2003, 2006, 2009, dan 2012 (indeks tutupan lahan dan pengelolaan lahan).

#### 5.1.1 Erosivitas Hujan

Erosivitas adalah kemampuan hujan untuk menimbulkan erosi. Hujan merupakan unsur utama yang sangat berpengaruh dalam penelitian ini. Besarnya curah hujan yang terjadi menentukan seberapa besar laju erosi pada suatu daerah. Pada penelitian ini data curah hujan didapat dari hasil perekaman 2 Stasiun Klimatologi, yaitu: Stasiun Pagerwojo dan Stasiun Tugu. Data curah hujan bulanan tersebut terjadi selama tahun 2003, 2006, 2009, dan 2012.

Berdasarkan data curah hujan periode tahun 2003, 2006, 2009, dan 2012 yang diperoleh dari Stasiun Tugu, menunjukkan bahwa curah hujan yang paling tinggi secara berturut-turut terjadi sebesar 186 mm/bulan, 195 mm/bulan, 127 mm/bulan, dan 169 mm/bulan yang terjadi pada Bulan Maret, Januari, Februari, dan Januari. Sedangkan untuk curah hujan rata-rata yang paling rendah sebesar 0 mm/bulan terjadi pada setiap tahun perekaman curah hujan (Gambar 14).

Berdasarkan data curah hujan periode tahun 2003, 2006, 2009, dan 2012 yang diperoleh dari Stasiun Pagerwojo, menunjukkan bahwa curah hujan yang paling tinggi secara berturut-turut terjadi sebesar 432 mm/bulan, 387 mm/bulan, 212 mm/bulan, dan 324 mm/bulan yang terjadi pada Bulan Januari, Desember, Januari dan Januari. Sedangkan untuk curah hujan rata-rata yang paling rendah sebesar 0 mm/bulan terjadi pada setiap tahun perekaman curah hujan (Gambar 15).

Dari data pengamatan curah hujan bulanan kedua stasiun di atas selanjutnya akan dimasukkan kedalam Persamaan 1, yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Persamaan 1 berfungsi untuk menghitung besarnya nilai erosivitas hujan pada wilayah penelitian. Hasil dari perhitungan Persamaan 1 dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Nilai Erosivitas Hujan

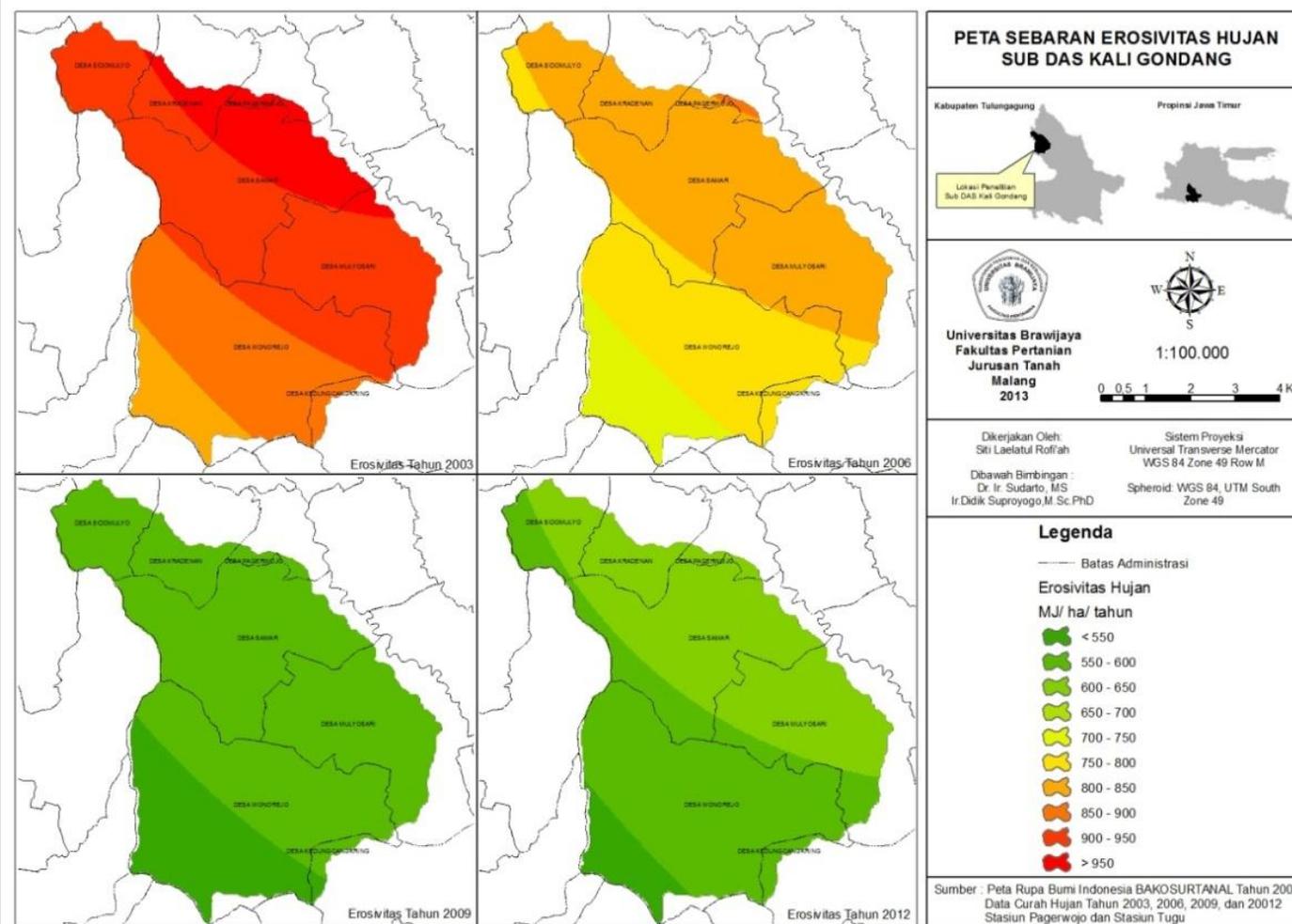
Tahun	Erosivitas (MJ/ha/tahun)	
	Stasiun Tugu	Stasiun Pagerwojo
2003	565,97	987,20
2006	482,77	864,57
2009	422,28	595,65
2012	366,85	641,50

Sumber: hasil perhitungan

Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan yang dapat mewakili DAS yang ada pada daerah penelitian ini. Data curah hujan yang diperoleh merupakan hujan yang terjadi pada lokasi pengukuran stasiun hujan. Untuk mendapatkan nilai hujan pada luasan DAS maka dilakukan analisa data hujan dengan mempertimbangkan data dari kedua stasiun hujan dengan luas daerah tangkapan yang dipengaruhi oleh masing-masing stasiun hujan. Analisa dilakukan dengan menggunakan metode isohyet.

Metode isohyet adalah metode geostatistika yang menggunakan nilai yang sudah diketahui dan semivariogram sebagai pembobotannya untuk memprediksi nilai pada lokasi lain yang belum diukur. Nilai prediksi pada metode isohyet tidak sama dengan data asal, tetapi bervariasi dan bergantung pada kedekatan terhadap lokasi data asal (Tatalovich, 2005).

Cara pengolahan metode isohyet, yaitu: a) menentukan lokasi titik pengamatan stasiun curah hujan dalam format point.shp, b) memasukkan nilai hasil perhitungan erosivitas menggunakan persamaan 1 (Utomo, 1984) pada *attribute field*, dan c) mengolah data tersebut dengan menggunakan *Spatial Analyst Tools* yang ada pada *software* ArcGIS 9.3, sehingga diperoleh data sebaran erosivitas (Gambar 20) pada setiap daerah lokasi penelitian dalam format raster.



Gambar 20. Peta Sebaran Erosivitas Hujan Sub DAS Kali Gondang

### 5.1.2 Erodibilitas Tanah

Erodibilitas adalah ketidakmampuan tanah untuk menahan tumbukan butir-butir hujan. Nilai erodibilitas diperoleh dari perhitungan data persentase fraksi liat, debu, pasir, struktur tanah, permeabilitas, dan C-organik yang kemudian diolah menggunakan Rumus Wischmeier (1971). Data-data tersebut didapat dari hasil analisis laboratorium sampel tanah dari lokasi penelitian.

#### 5.1.2.1 Tekstur Tanah

Tekstur tanah memiliki pengaruh dalam menyebabkan terjadinya erosi sehingga meningkatkan besarnya sedimentasi. Tanah yang didominasi oleh partikel-partikel yang berukuran halus atau tanah yang memiliki dominan persentase fraksi debu akan mudah mengalami erosi. Tanah dengan tekstur halus apabila terjadi limpasan permukaan butir-butir halus tersebut akan mudah terangkut (Santoso, 1994 *dalam* Arsyad; 2006).

Berdasarkan hasil analisis dapat diketahui bahwa kelas tekstur tanah pada masing-masing titik pengamatan antara lain: lempung, lempung berdebu, lempung berliat, lempung berpasir, liat, dan liat berdebu. Pada lokasi titik pengamatan tekstur yang ditemukan didominasi tekstur lempung berdebu. Hasil analisis tekstur tanah pada setiap titik pengamatan dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Persentase Fraksi Tanah di Lokasi Penelitian

Titik Pengamatan	%Pasir	%Debu	%Liat	Keterangan
EL 1	18	41	41	Liat Berdebu
EL 2	14	37	49	Liat
EL 3	33	45	22	Lempung
EL 4	29	53	19	Lempung Berdebu
EL 5	23	44	34	Lempung Berliat
EL 6	23	40	37	Lempung Berliat
EL 7	11	33	56	Liat
EL 8	10	37	54	Liat
EL 9	34	60	6	Lempung Berdebu
EL 10	23	47	30	Lempung Berliat
EL 11	49	37	14	Lempung
EL 12	23	53	23	Lempung Berdebu
EL 13	34	43	23	Lempung
EL 14	26	44	30	Lempung Berliat
EL 15	30	54	17	Lempung Berdebu
EL 16	61	30	9	Lempung Berpasir
EL 17	62	35	3	Lempung Berpasir
EL 18	32	55	14	Lempung Berdebu
EL 19	25	57	18	Lempung Berdebu
EL 20	30	55	15	Lempung Berdebu
EL 21	26	44	30	Lempung Berliat
EL 22	48	31	22	Lempung
EL 23	57	34	9	Lempung Berpasir

### 5.1.2.2 Bahan Organik Tanah

Bahan organik tanah terbentuk dari akumulasi sisa-sisa tanaman dan organisme yang telah mengalami proses dekomposisi. Proses dekomposisi meningkatkan aktifitas dan populasi organisme yang membantu pengikatan partikel-partikel tanah sehingga menambah kemampuan tanah untuk menahan air. Thien *et al.* (2003) menyatakan bahwa, bahan organik tanah berperan dalam pembentukan agregat dari partikel-partikel tanah.

Dari hasil analisa kandungan C-organik pada lokasi titik pengamatan menunjukkan nilai C-organik yang paling tinggi ada pada EL14 1,00% dan nilai paling rendah pada EL23 dengan nilai 0,29%. Variasi kandungan C-organik dipengaruhi oleh penggunaan lahan yang berbeda atau jenis tanaman yang

ditanam berbeda. Hasil analisis C-organik pada setiap titik pengamatan dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. C-organik dan Bahan Organik Tanah di Lokasi Penelitian

Titik Pengamatan	%C-organik	%Bahan Organik Tanah
EL 1	0,80	1,39
EL 2	0,97	1,68
EL 3	0,78	1,34
EL 4	0,73	1,26
EL 5	0,91	1,56
EL 6	0,55	0,95
EL 7	0,69	1,19
EL 8	0,83	1,43
EL 9	0,72	1,24
EL 10	0,64	1,10
EL 11	0,61	1,06
EL 12	0,79	1,36
EL 13	0,75	1,29
EL 14	1,00	1,72
EL 15	0,83	1,43
EL 16	0,44	0,76
EL 17	0,76	1,32
EL 18	0,78	1,34
EL 19	0,42	0,72
EL 20	0,43	0,75
EL 21	0,31	0,54
EL 22	0,47	0,82
EL 23	0,29	0,51

### 5.1.2.3 Struktur Tanah

Struktur merupakan gambaran secara garis besar keseluruhan agregasi atau susunan butir-butir tanah. Struktur tanah berpengaruh terhadap kemampuan tanah untuk mengalirkan air dan udara ke dalam tanah. Menurut Eavis, 1972 (*dalam Williams and Weil, 2004*) menyatakan bahwa, peningkatan kemampuan tanah sejalan dengan pemadatan tanah.

Pembukaan lahan untuk pertanian dengan pengolahan lahan yang intensif menyebabkan ketahanan tanah atau agregat tanah menjadi lebih mudah dihancurkan oleh air, baik oleh energi hujan maupun limpasan permukaan. Secara

umum pada lokasi penelitian memiliki struktur granuler berukuran sedang hingga kasar dan gumpal berukuran halus hingga kasar. Hasil analisis struktur di lapangan pada setiap titik pengamatan dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Kelas Struktur di Lokasi Penelitian

Titik Pengamatan	Jenis Struktur	Kelas Struktur
EL 1	Granuler halus	2
EL 2	Granuler halus	2
EL 3	Granuler sedang - kasar	3
EL 4	Granuler sedang - kasar	3
EL 5	Granuler sedang - kasar	3
EL 6	Granuler halus	2
EL 7	Granuler halus	2
EL 8	Granuler sangat halus	1
EL 9	Granuler sedang - kasar	3
EL 10	Granuler sedang - kasar	3
EL 11	Granuler sedang - kasar	3
EL 12	Granuler sedang - kasar	3
EL 13	Granuler sedang - kasar	3
EL 14	Granuler sedang - kasar	3
EL 15	Granuler sedang - kasar	3
EL 16	Granuler sangat halus	1
EL 17	Granuler sangat halus	1
EL 18	Granuler halus	2
EL 19	Granuler halus	2
EL 20	Granuler sedang - kasar	3
EL 21	Granuler halus	2
EL 22	Granuler halus	2
EL 23	Granuler sangat halus	1

#### 5.1.2.4 Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah menggambarkan pergerakan air dalam tanah pada kondisi tanah jenuh. Curah hujan yang tinggi dengan tidak didukung oleh permeabilitas tanah yang baik dapat menyebabkan terjadinya limpasan permukaan yang mengikis lapisan tanah atas. Apabila tanah semakin jenuh maka pengikisan dan penghanyutan tanah semakin besar pula (Santoso, 1994 *dalam* Arsyad; 2006). Hasil analisis permeabilitas pada setiap titik pengamatan dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Nilai Permeabilitas di Lokasi Penelitian

Titik Pengamatan	Permeabilitas (cm/jam)	Kelas Permeabilitas
EL 1	60,41	1
EL 2	178,27	1
EL 3	51,49	1
EL 4	12,62	1
EL 5	2,67	3
EL 6	1,83	4
EL 7	15,91	1
EL 8	11,83	2
EL 9	1,31	4
EL 10	62,01	1
EL 11	5,13	3
EL 12	18,67	1
EL 13	105,64	1
EL 14	1241,27	1
EL 15	261,40	1
EL 16	4,72	3
EL 17	90,41	1
EL 18	3,57	3
EL 19	37,08	1
EL 20	284,62	1
EL 21	6,11	3
EL 22	7,47	2
EL 23	73,45	1

Secara umum dari hasil analisa permeabilitas pada lokasi penelitian memiliki permeabilitas cepat. Hal tersebut dikarenakan sebagian besar lahan lokasi penelitian tanah lapisan atas telah mengalami pengolahan. Nilai kelas permeabilitas pada Tabel 14. diperoleh dari klasifikasi permeabilitas tanah berdasarkan penelitian Wischmeier, 1971 (*dalam Utomo, 1994*).

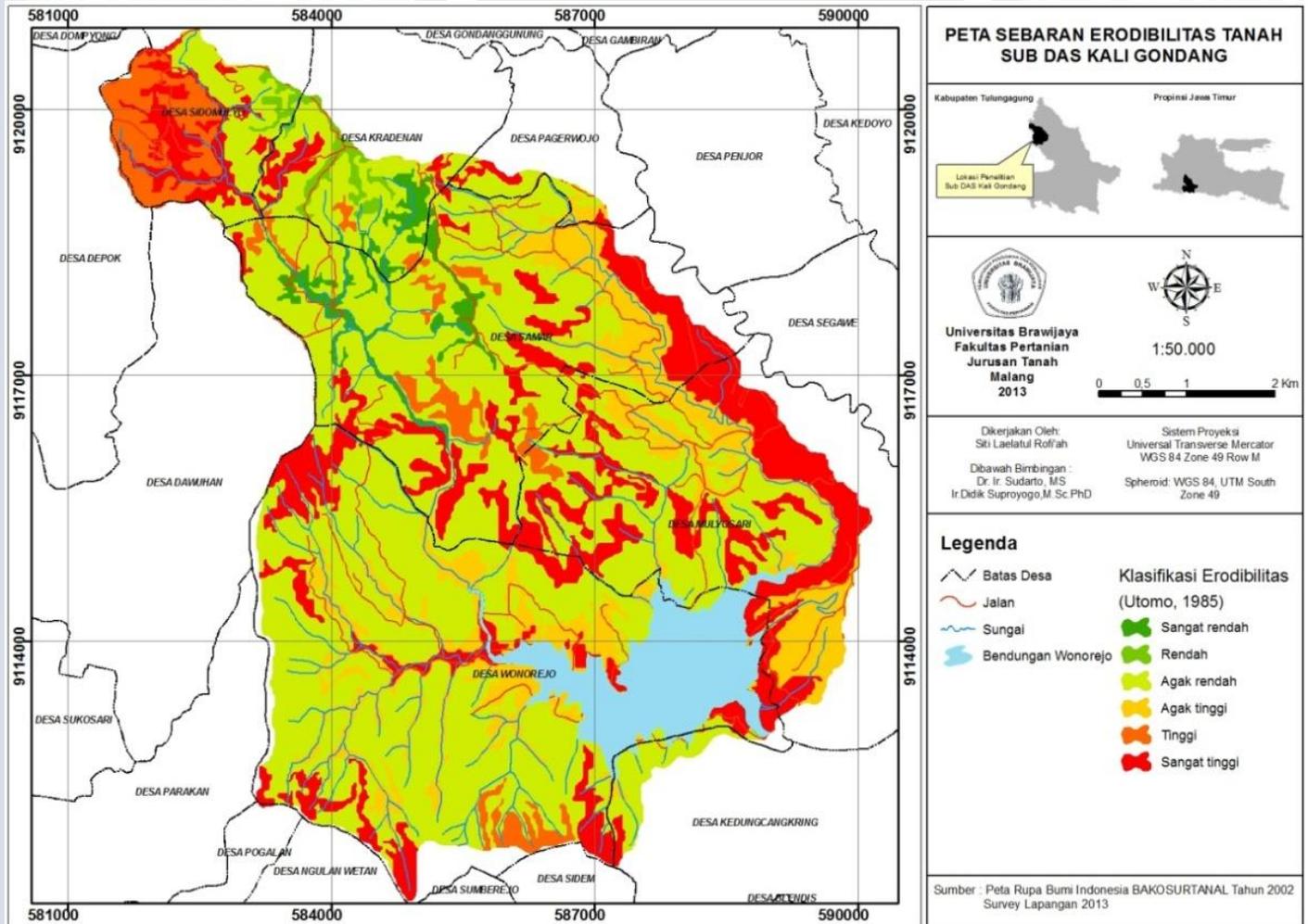
Tabel 14. Klasifikasi Permeabilitas menurut Wischmeier (1971)

Keterangan	Tingkat Aliran (cm/jam)	Kelas
Cepat	> 12,5	1
Agak cepat	6,25 – 12,50	2
Sedang	2,00 – 6,25	3
Agak lambat	0,50 – 2,00	4
Lambat	0,12 – 0,50	5
Sangat lambat	< 0,12	6

Data-data yang digunakan untuk menghitung erodibilitas diperoleh dari survei lapangan. Masukkan data erodibilitas tanah terdiri dari: tekstur, struktur, permeabilitas, dan bahan organik. Semua parameter tersebut kemudian dimasukkan pada Persamaan 3 Wischmeier (1978) untuk perhitungan nilai erodibilitas yang telah dijelaskan bab sebelumnya. Hasil dari perhitungan erodibilitas pada setiap titik pengamatan dapat dilihat pada Tabel 15 dan sebaran nilai erodibilitas dapat dilihat pada Gambar 21.

Tabel 15. Nilai Erodibilitas Tanah di Lokasi Penelitian

Titik Pengamatan	Erodibilitas (ton/MJ)	Titik Pengamatan	Erodibilitas (ton/MJ)
EL 1	0,174	EL 13	0,358
EL 2	0,111	EL 14	0,293
EL 3	0,372	EL 15	0,472
EL 4	0,457	EL 16	0,392
EL 5	0,338	EL 17	0,396
EL 6	0,306	EL 18	0,535
EL 7	0,066	EL 19	0,476
EL 8	0,077	EL 20	0,528
EL 9	0,733	EL 21	0,351
EL 10	0,329	EL 22	0,305
EL 11	0,468	EL 23	0,372
EL 12	0,412		



Gambar 21. Peta Sebaran Erodibilitas Tanah

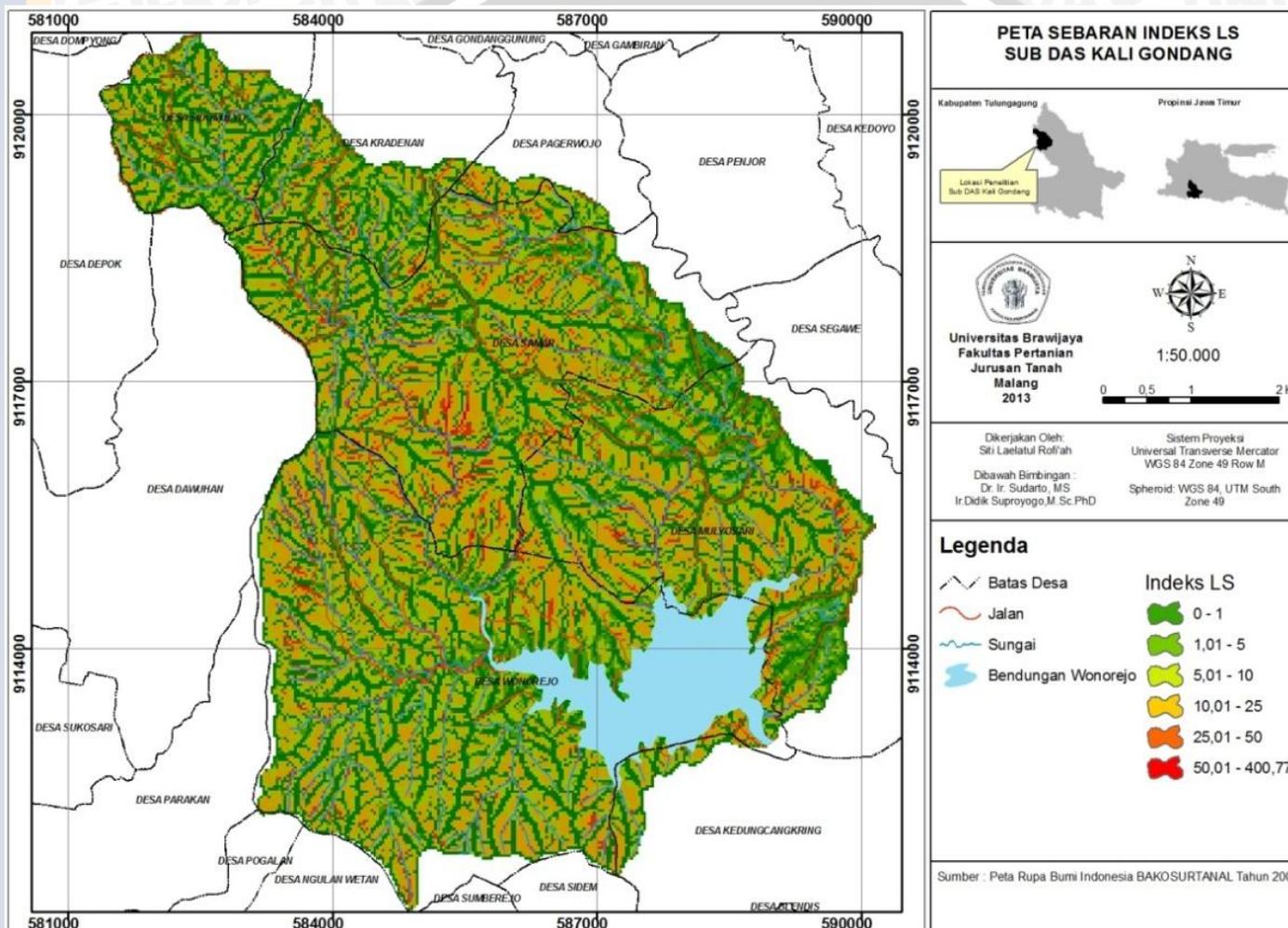
### 5.1.3 Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng

Dalam menentukan faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) data yang digunakan adalah Peta Topografi yang meliputi wilayah Sub DAS Kali Gondang. Panjang dan kemiringan lereng merupakan salah satu faktor utama dalam menentukan luas dan intensitas erosi. Bertambah atau berkurang besarnya nilai faktor tersebut berpengaruh dalam menentukan erosi (Desmet, 1996).

Perhitungan nilai LS sangat sulit diterapkan, karena variabilitas panjang lereng yang sangat kompleks. Pada beberapa penelitian telah dikembangkan suatu persamaan untuk mencari nilai LS dengan memanfaatkan data DEM pada SIG (Ekinci, 2010).

Data DEM diperoleh dari hasil pengolahan Peta Topografi. Data DEM tersebut diolah secara spasial dengan bantuan *ArcHydro Tools* sehingga diperoleh data “flow accumulation”. Selain itu, data DEM tersebut juga diolah menggunakan *Spatial Analyst Tools* untuk memperoleh data kemiringan lereng dalam satuan derajat ( $^{\circ}$ ). Setelah data-data tersebut diperoleh maka dilanjutkan dengan memasukkan data-data tersebut ke dalam suatu rumus. Perhitungan LS dapat memanfaatkan *tools* yang ada pada *software* ArcGIS 9.3 yaitu: *raster calculator* pada *Spatial Analyst Tools*. Rumus untuk perhitungan nilai LS menggunakan Persamaan 11. Besar nilai resolusi pada penelitian ini adalah 30 m.

Nilai LS yang diperoleh berdasarkan analisis SIG (Gambar 22) menunjukkan bahwa sebaran nilai LS yang ditampilkan dengan warna merah memiliki LS yang lebih tinggi, sedangkan sebaran nilai LS yang ditampilkan dengan warna hijau memiliki LS yang lebih rendah.



Gambar 22. Sebaran Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng

#### 5.1.4 Faktor Pengelolaan dan Penggunaan Lahan

Faktor pengelolaan dan penggunaan lahan (CP), yaitu nisbah antara besarnya erosi dari suatu areal dengan vegetasi dan pengelolaan tanaman tertentu terhadap besarnya erosi dari tanah yang identik dan tanpa tanaman. Penentuan penggunaan lahan pada lokasi penelitian berdasarkan interpretasi citra satelit. Jenis citra satelit yang digunakan dalam interpretasi, yaitu: Landsat 7 ETM<sup>+</sup>, ASTER, dan Google Earth. Selain itu, Peta RBI tahun 2002 juga digunakan sebagai acuan penentuan kelas penggunaan lahan. Terdapat 9 kelas penggunaan lahan, yaitu: hutan, padang rumput, pemukiman, perairan, perkebunan, sawah irigasi, sawah tadah hujan, semak belukar, dan tegal/ ladang.

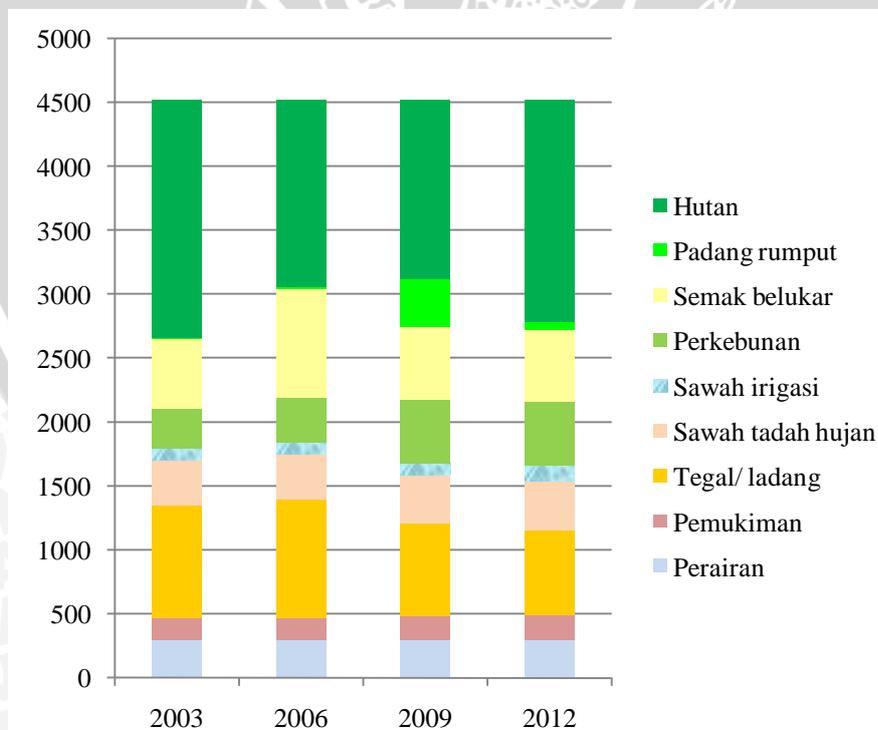
Penggunaan lahan pada lokasi penelitian secara umum terbagi menjadi kawasan hutan, kawasan pertanian, kawasan perkebunan, areal pemukiman, dan areal perairan. Pada kawasan hutan didominasi pohon pinus dan jati yang dikelola oleh pihak PERHUTANI. Kawasan pertanian pada lokasi penelitian didominasi oleh persawahan dan tegalan/ladang. Berdasarkan kenampakan di citra kawasan pertanian ini banyak terdapat pada daerah sekitar pemukiman. Daerah pertanian dengan luas areal yang besar terdapat pada Desa Samar dan Desa Wonorejo. Kawasan perkebunan banyak terdapat pada Desa Mulyosari dan Desa Sidomulyo. Jenis perkebunan yang ditemukan adalah Kebun Bibit Rakyat (KBR) dan perkebunan tebu. Areal pemukiman pada daerah penelitian cenderung menyebar dan berada di sepanjang jalan, baik jalan lokal maupun jalan setapak. Pola pemukiman pedesaan yang dekat dengan areal persawahan, tegal/ladang, dan kebun banyak ditemukan pada lokasi penelitian. Areal perairan yang terbesar merupakan kawasan Bendungan Wonorejo.

Informasi tentang penggunaan lahan diperoleh dari berbagai informasi. Data sebaran penggunaan lahan pada tahun 2003 diperoleh dari Peta RBI tahun 2002 dan citra satelit Landsat 7 ETM<sup>+</sup> tahun 2003. Sedangkan data sebaran penggunaan lahan pada tahun 2006 didapatkan dari hasil interpretasi citra ASTER tahun 2006. Selain itu, data penggunaan lahan untuk tahun 2009 dan tahun 2012 didapat dari interpretasi citra Google Earth tahun 2010. Untuk interpretasi pada tahun 2012 didasarkan data keberadaan penggunaan yang sesuai dengan kondisi sekarang di lokasi penelitian. Berdasarkan hasil interpretasi sebaran penggunaan lahan

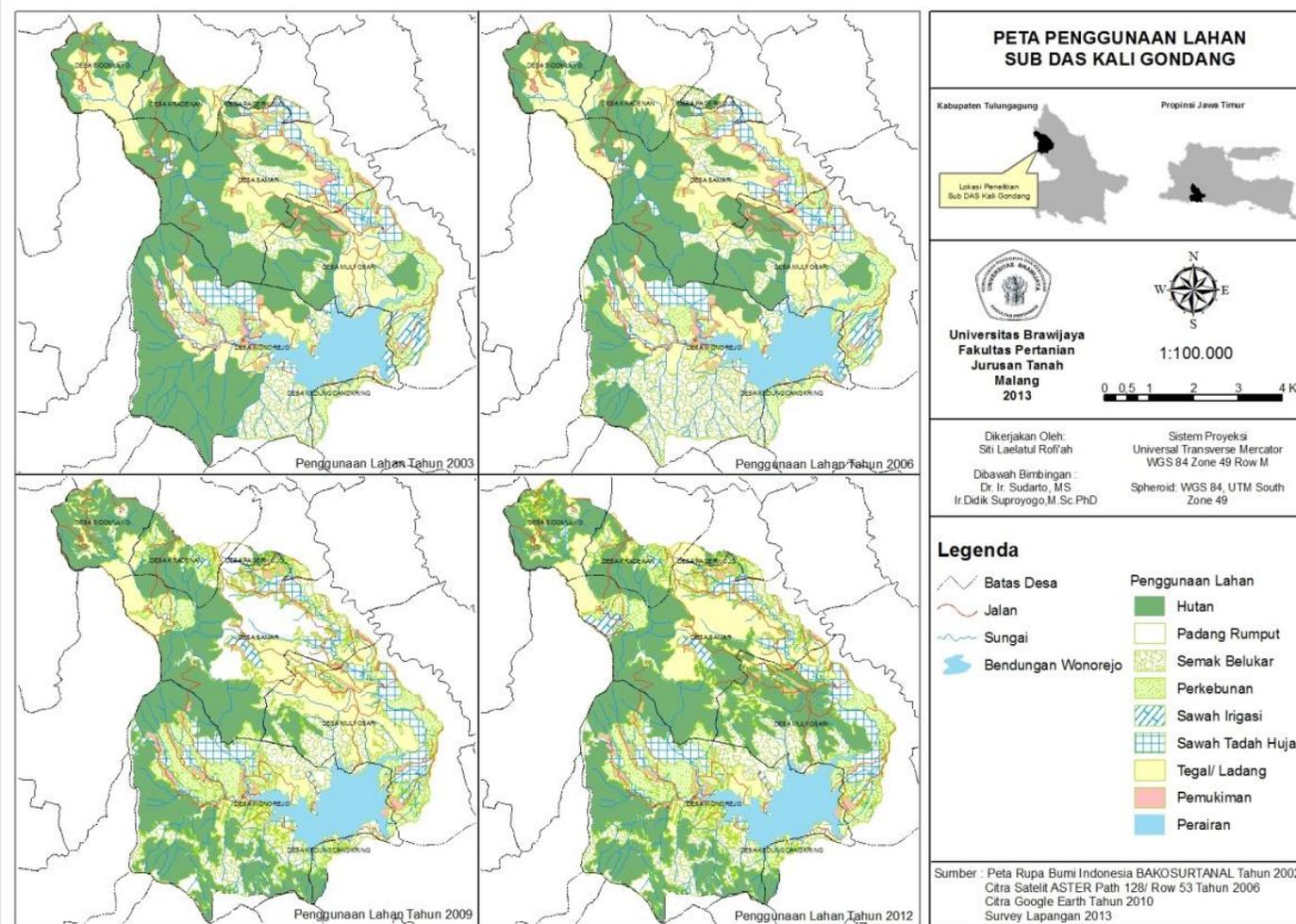
(Gambar 24) dapat diketahui luasan setiap kelas penggunaan lahan. Persentase luasan penggunaan lahan yang paling besar adalah hutan yang mencapai lebih dari 35% (Tabel 16). Adapun hasil interpretasi foto citra satelit didapatkan kriteria beberapa penggunaan lahan yang luasannya disajikan dalam bentuk diagram batang (Gambar 23).

Tabel 16. Jenis Penggunaan Lahan di Lokasi Penelitian

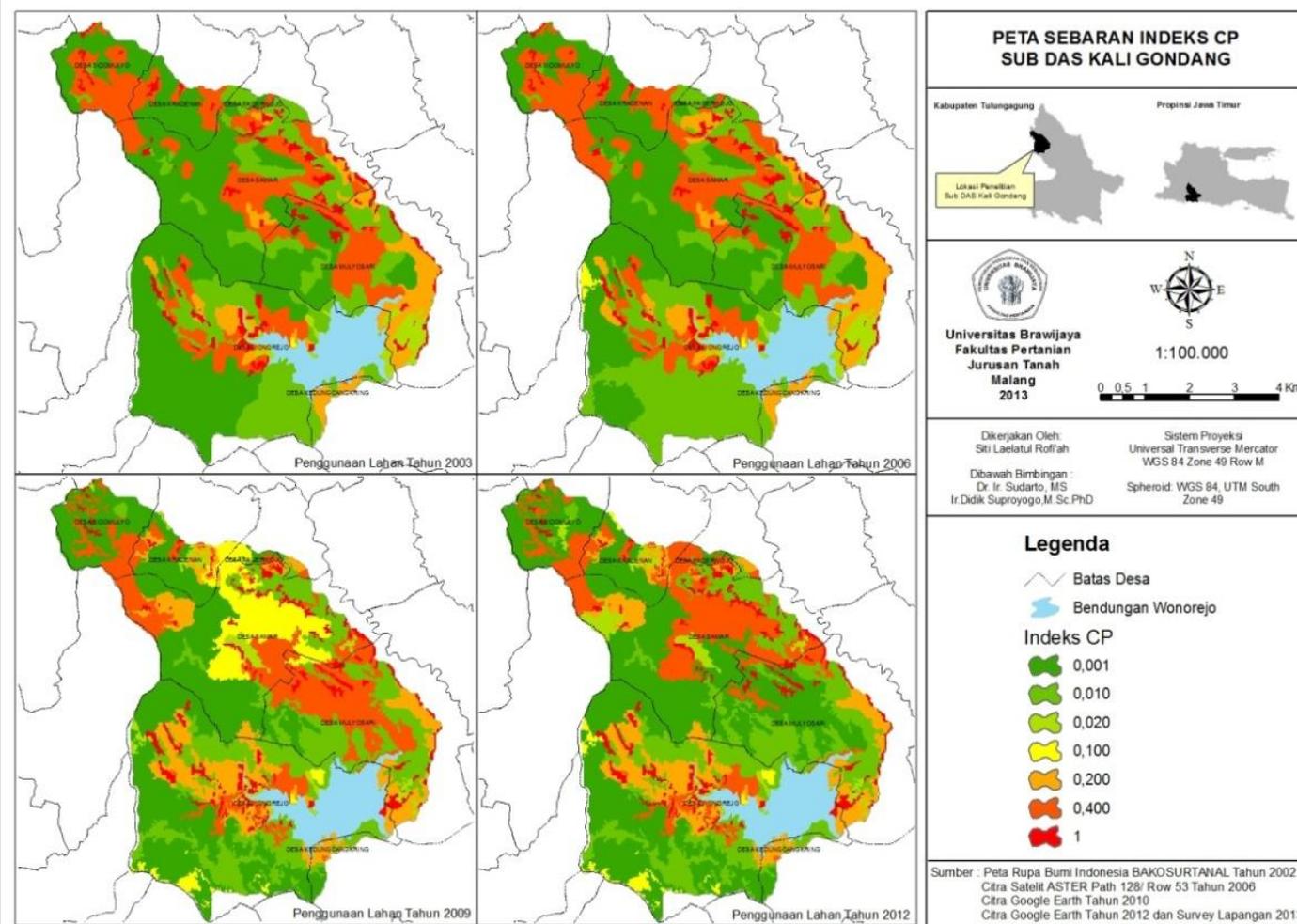
No	Penggunaan lahan	Luas (ha)			
		2003	2006	2009	2012
1.	Hutan	1861	1459	1403	1737
2.	Padang rumput	3	19	373	58
3.	Semak belukar	551	853	570	569
4.	Perkebunan	312	348	495	495
5.	Sawah irigasi	93	94	95	124
6.	Sawah tadah hujan	355	354	378	382
7.	Tegal/ ladang	877	925	723	670
8.	Pemukiman	176	177	192	194
9.	Perairan	295	295	295	295
Total Luas		4524	4524	4524	4524



Gambar 23. Diagram Luasan Penggunaan Lahan



Gambar 24. Peta Sebaran Penggunaan Lahan



Gambar 25. Peta Sebaran Indeks CP

## 5.2 Hasil Pendugaan Erosi Metode RUSLE

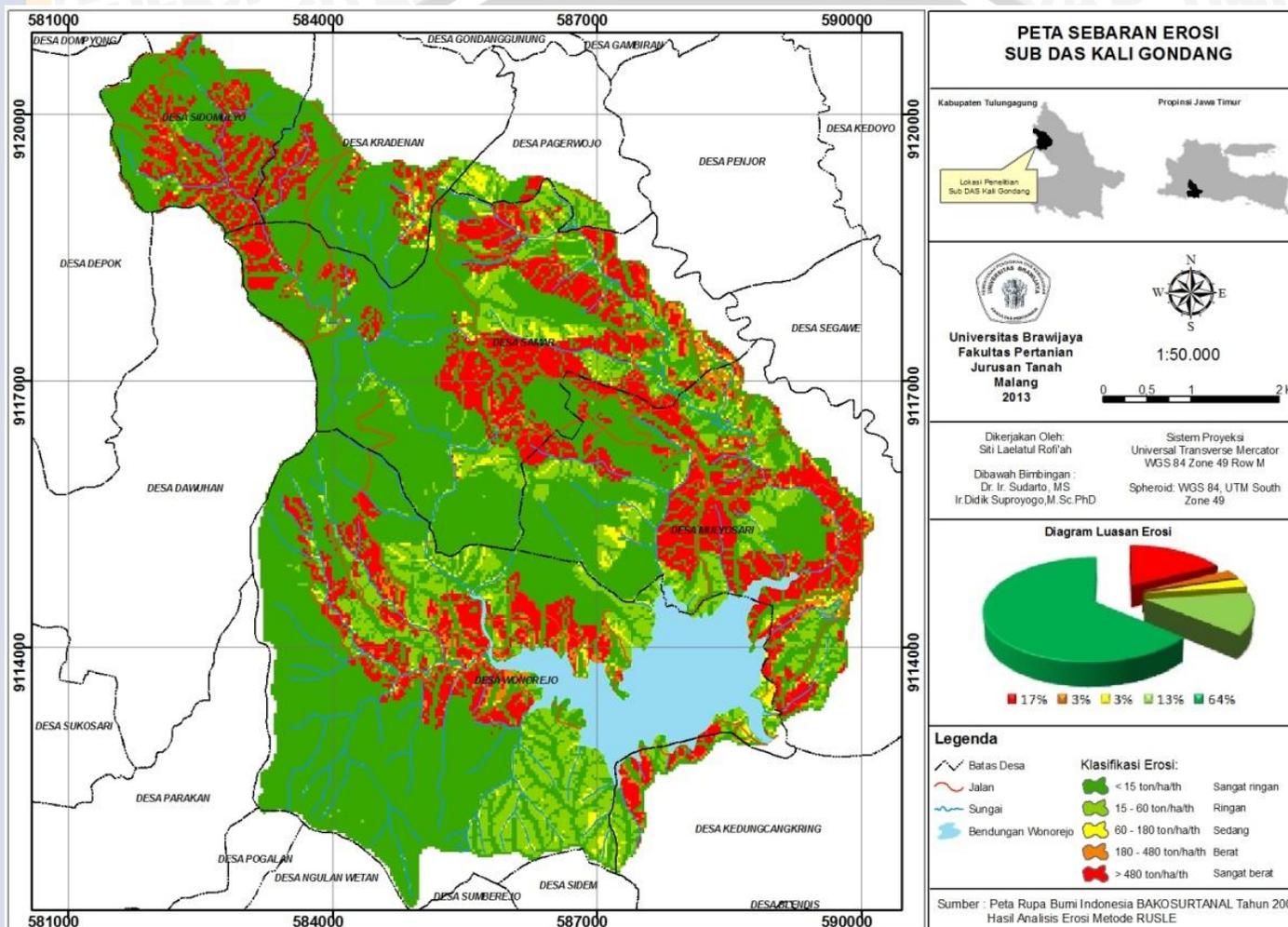
Klasifikasi erosi ditentukan berdasarkan Metode Tingkat Erosi menurut Departemen Kehutanan (1998) yang dibagi menjadi lima kelas, yaitu: kelas sangat ringan ( $< 15$  ton/ha/ tahun), kelas ringan (15 - 60 ton/ha/tahun), kelas sedang (60 – 180 ton/ha/ tahun), kelas berat (180 – 480 ton/ha/ tahun), dan kelas sangat berat ( $> 480$  ton/ha/ tahun). Pengkelasan erosi dan sedimentasi pada setiap SPL bertujuan untuk mempermudah dalam proses perbaikan lahan.

### 5.2.1 Pendugaan erosi pada tahun 2003

Hasil pendugaan erosi yang dianalisis secara spasial di Sub DAS Kali Gondang disajikan dalam bentuk Peta Sebaran Erosi yang dilengkapi dengan diagram persentase erosi. Hal tersebut bertujuan untuk mempermudah peneliti untuk mengetahui persentase tingkat bahaya erosi yang terjadi pada lokasi penelitian.

Berdasarkan luasan daerah erosi di Sub DAS Kali Gondang (Gambar 26) menunjukkan bahwa sebesar 64% dari total wilayah termasuk dalam kelas erosi sangat ringan, 13% termasuk dalam kelas ringan, 3% termasuk dalam kelas sedang, 3% termasuk dalam kelas berat, dan 17% termasuk dalam kelas sangat berat. Erosi di Sub DAS Kali Gondang secara umum didominasi oleh kelas erosi sangat ringan. Sebaran kelas erosi sangat ringan sebagian besar dipengaruhi oleh penggunaan lahan yang merupakan area hutan.

Hasil prediksi erosi dengan metode RUSLE menggunakan aplikasi SIG berbasis pixel didapatkan keseluruhan hasil erosi di Sub DAS Kali Gondang yang terjadi pada tahun 2003 kurang lebih sebesar 1.190.339 ton/tahun sedangkan rata-rata erosi tiap tahunnya sebesar 263 ton/ha/tahun. Erosi yang terjadi pada lokasi penelitian sangat bervariasi. Berdasarkan penggunaan lahan yang ada erosi yang terjadi berada pada kriteria dari sangat ringan sampai sangat berat.



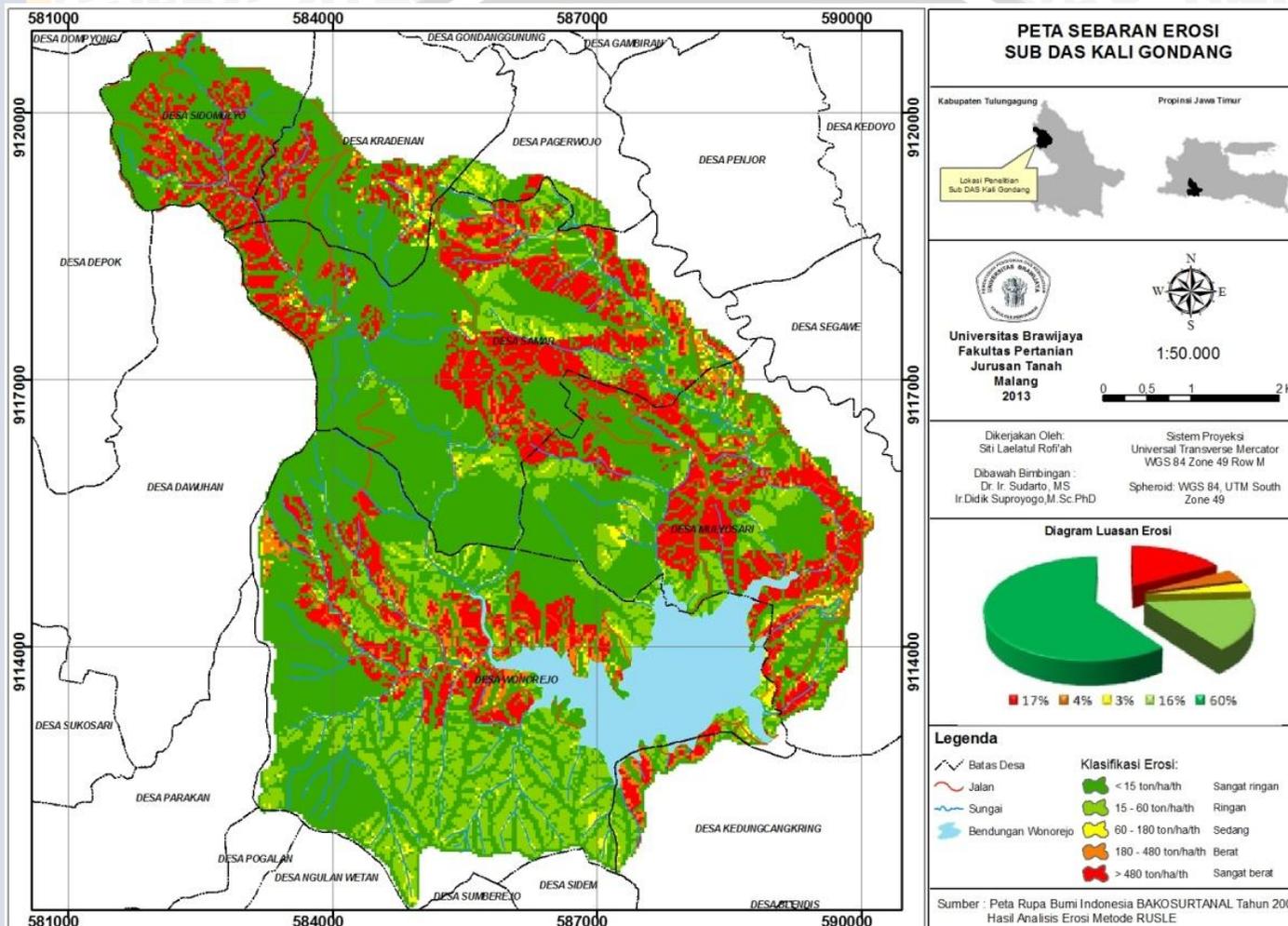
Gambar 26. Peta Sebaran Erosi Tahun 2003

### 5.2.2 Pendugaan erosi pada tahun 2006

Hasil pendugaan erosi yang dianalisis secara spasial di Sub DAS Kali Gondang disajikan dalam bentuk Peta Sebaran Erosi yang dilengkapi dengan diagram persentase erosi. Hal tersebut bertujuan untuk mempermudah peneliti untuk mengetahui persentase tingkat bahaya erosi yang terjadi pada lokasi penelitian.

Berdasarkan luasan daerah erosi di Sub DAS Kali Gondang (Gambar 27) menunjukkan bahwa sebesar 60% dari total wilayah termasuk dalam kelas erosi sangat ringan, 16% termasuk dalam kelas ringan, 3% termasuk dalam kelas sedang, 4% termasuk dalam kelas berat, dan 17% termasuk dalam kelas sangat berat. Erosi di Sub DAS Kali Gondang secara umum didominasi oleh kelas erosi sangat ringan. Sebaran kelas erosi sangat ringan sebagian besar dipengaruhi oleh penggunaan lahan yang merupakan area hutan.

Hasil prediksi erosi dengan metode RUSLE menggunakan aplikasi SIG berbasis pixel didapatkan keseluruhan hasil erosi di Sub DAS Kali Gondang yang terjadi pada tahun 2006 kurang lebih sebesar 1.081.531 ton/tahun sedangkan rata-rata erosi tiap tahunnya sebesar 239 ton/ha/tahun. Erosi yang terjadi pada lokasi penelitian sangat bervariasi. Berdasarkan penggunaan lahan yang ada erosi yang terjadi berada pada kriteria dari sangat ringan sampai sangat berat.



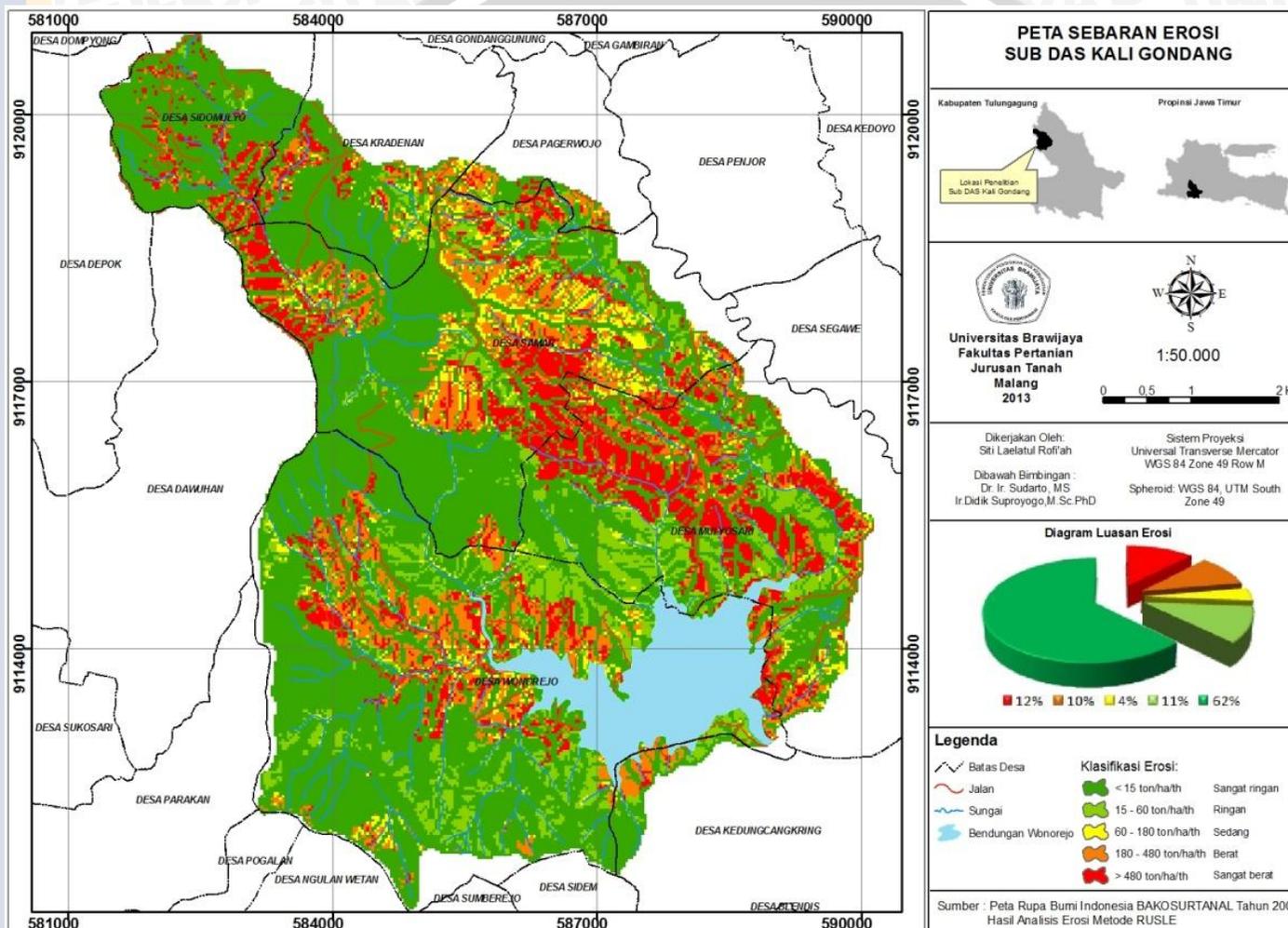
Gambar 27. Peta Sebaran Erosi Tahun 2006

### 5.2.3 Pendugaan erosi pada tahun 2009

Hasil pendugaan erosi yang dianalisis secara spasial di Sub DAS Kali Gondang disajikan dalam bentuk Peta Sebaran Erosi yang dilengkapi dengan diagram persentase erosi. Hal tersebut bertujuan untuk mempermudah peneliti untuk mengetahui persentase tingkat bahaya erosi yang terjadi pada lokasi penelitian.

Berdasarkan luasan daerah erosi di Sub DAS Kali Gondang (Gambar 28) menunjukkan bahwa sebesar 62% dari total wilayah termasuk dalam kelas erosi sangat ringan, 11% termasuk dalam kelas kelas ringan, 4% termasuk dalam kelas sedang, 10% termasuk dalam kelas berat, dan 12% termasuk dalam kelas sangat berat. Erosi di Sub DAS Kali Gondang secara umum didominasi oleh kelas erosi sangat ringan. Sebaran kelas erosi sangat ringan sebagian besar dipengaruhi oleh penggunaan lahan yang merupakan area hutan.

Hasil prediksi erosi dengan metode RUSLE menggunakan aplikasi SIG berbasis pixel didapatkan keseluruhan hasil erosi di Sub DAS Kali Gondang yang terjadi pada tahun 2009 kurang lebih sebesar 760.582 ton/tahun sedangkan rata-rata erosi tiap tahunnya sebesar 168 ton/ha/tahun. Erosi yang terjadi pada lokasi penelitian sangat bervariasi. Berdasarkan penggunaan lahan yang ada erosi yang terjadi berada pada kriteria dari sangat ringan sampai sangat berat.



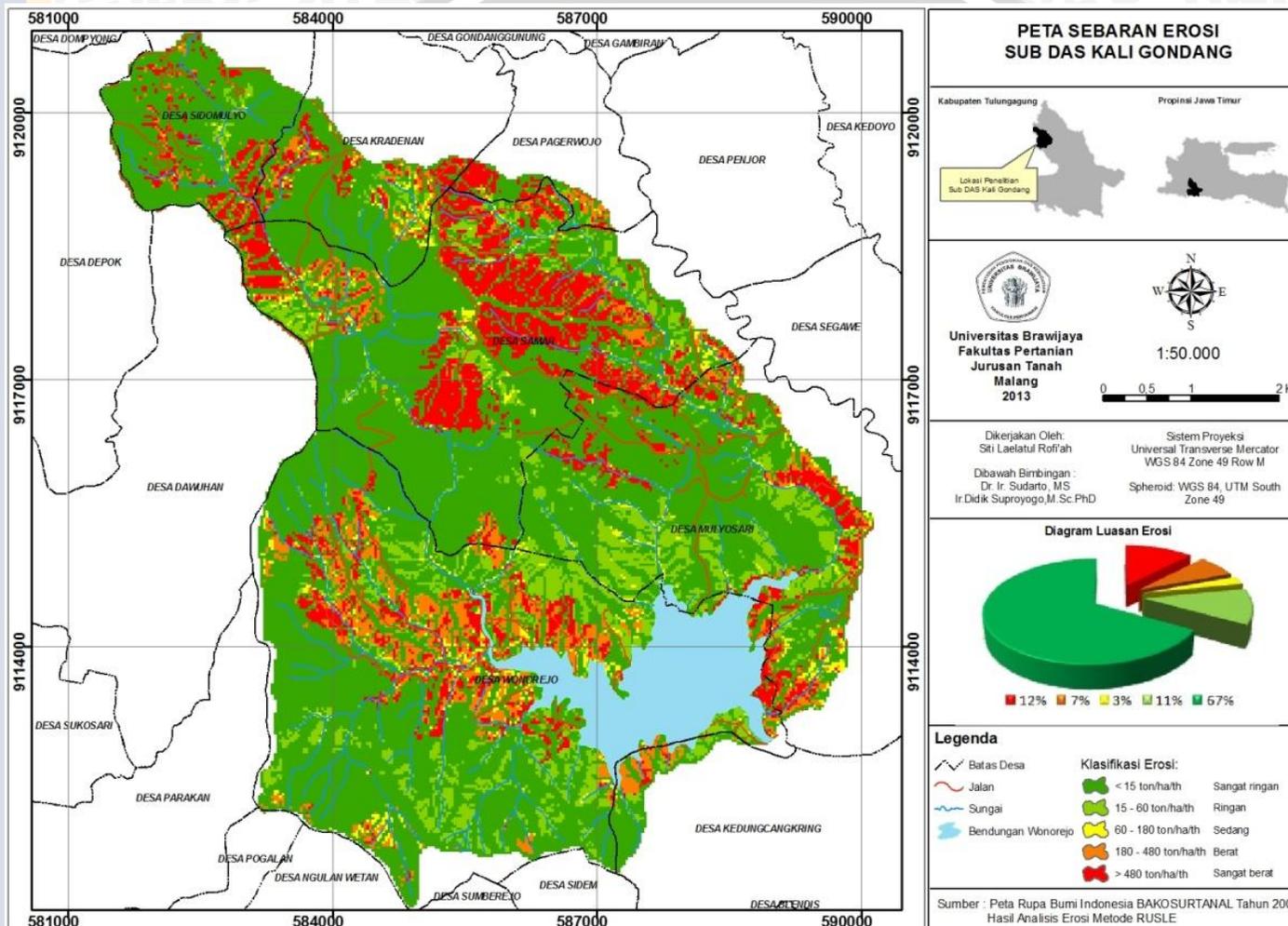
Gambar 28. Peta Sebaran Erosi Tahun 2009

#### 5.2.4 Pendugaan erosi pada tahun 2012

Hasil pendugaan erosi yang dianalisis secara spasial di Sub DAS Kali Gondang disajikan dalam bentuk Peta Sebaran Erosi yang dilengkapi dengan diagram persentase erosi. Hal tersebut bertujuan untuk mempermudah peneliti untuk mengetahui persentase tingkat bahaya erosi yang terjadi pada lokasi penelitian.

Berdasarkan luasan daerah erosi di Sub DAS Kali Gondang (Gambar 29) menunjukkan bahwa sebesar 67% dari total wilayah termasuk dalam kelas erosi sangat ringan, 11% termasuk dalam kelas ringan, 3% termasuk dalam kelas sedang, 7% termasuk dalam kelas berat, dan 12% termasuk dalam kelas sangat berat. Erosi di Sub DAS Kali Gondang secara umum didominasi oleh kelas erosi sangat ringan. Sebaran kelas erosi sangat ringan sebagian besar dipengaruhi oleh penggunaan lahan yang merupakan area hutan.

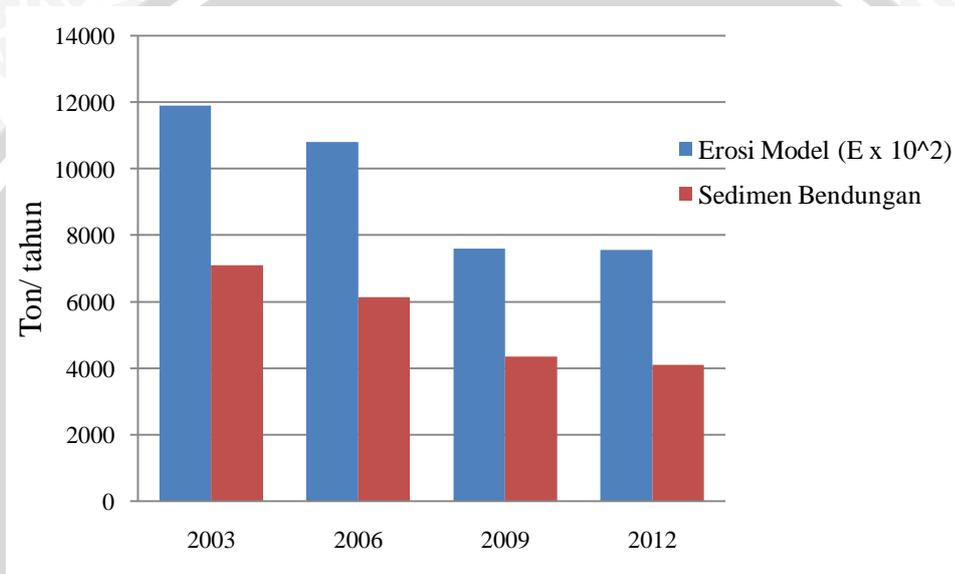
Hasil prediksi erosi dengan metode RUSLE menggunakan aplikasi SIG berbasis pixel didapatkan keseluruhan hasil erosi di Sub DAS Kali Gondang yang terjadi pada tahun 2012 kurang lebih sebesar 756.157 ton/tahun sedangkan rata-rata erosi tiap tahunnya sebesar 167 ton/ha/tahun. Erosi yang terjadi pada lokasi penelitian sangat bervariasi. Berdasarkan penggunaan lahan yang ada erosi yang terjadi berada pada kriteria dari sangat ringan sampai sangat berat.



Gambar 29. Peta Sebaran Erosi Tahun 2012

### 5.3 Pembahasan Pendugaan Erosi dan Sedimentasi

Perbandingan hasil pendugaan erosi dan sedimentasi bertujuan untuk mengetahui adanya perubahan nilai erosi dan sedimentasi yang terjadi dalam kurun waktu tertentu. Hasil prediksi erosi dengan memanfaatkan Metode RUSLE menggunakan aplikasi SIG berbasis pixel didapatkan keseluruhan hasil erosi di Sub DAS Kali Gondang yang terjadi pada tahun 2003, 2006, 2009, dan 2012 secara berturut sebesar 1.190.339 ton/tahun, 1.081.531 ton/tahun, 760.582 ton/tahun, dan 756.157 ton/tahun (Gambar 30).

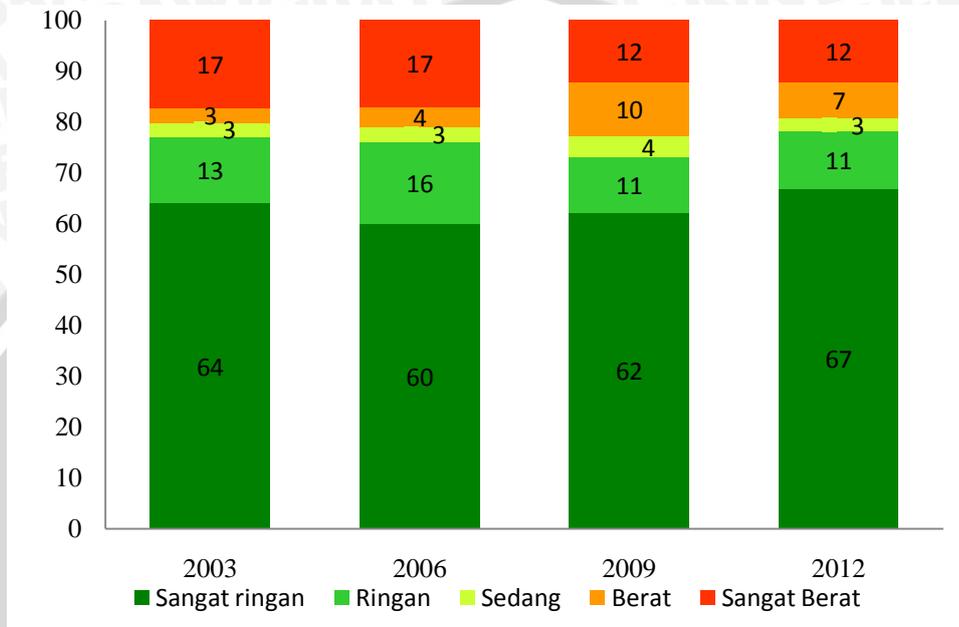


Gambar 30. Grafik Erosi dan Sedimentasi pada Lokasi Penelitian

Berdasarkan data tersebut, telah terjadi penurunan besarnya nilai erosi dan sedimentasi. Sebagian besar yang menyebabkan terjadinya perbedaan total erosi pada tiap tahunnya di lokasi penelitian diakibatkan adanya perubahan penggunaan lahan (Tabel 16) dan besarnya intensitas hujan (Gambar 14 dan 15). Pada Tabel 16 dapat dilihat bahwa setiap tahunnya luas penggunaan lahan di lokasi penelitian mengalami perubahan, contohnya: lahan hutan yang semula pada tahun 2003 memiliki luasan 1861 ha menjadi 1459 ha di tahun 2006, dan pada tahun 2009 menjadi 1403 ha hingga tahun 2012 luasan hutan sebesar 1737 ha. Perubahan luas penggunaan lahan ini mempengaruhi besarnya nilai erosi dan sedimentasi.

Selain penggunaan lahan, besarnya nilai curah hujan juga mempengaruhi besarnya erosi dan sedimentasi. Dari Gambar 14 dan 15 yang tercantum dalam

bab empat, dapat dilihat bahwa pada setiap tahunnya nilai curah hujan tahunan berbeda. Besarnya nilai curah hujan yang berbeda-beda pada tiap tahunnya mempengaruhi besarnya nilai indeks erosivitas hujan pada lokasi penelitian. Besarnya nilai indeks erosivitas hujan yang berubah mengakibatkan perubahan pada besarnya erosi dan sedimentasi.



Gambar 31. Perbandingan Erosi Pada Setiap Tahun di Lokasi Penelitian

Perbandingan pendugaan erosi yang diklasifikasikan berdasarkan metode Tingkat Bahaya Erosi Finney dan Morgan (1984), (Gambar 31) berdasarkan luasan daerah erosi dan sedimentasi di lokasi penelitian diketahui bahwa erosi yang tergolong pada kategori sangat ringan pada tahun 2003, 2006, 2009, dan 2012 secara berturut-turut sebesar 64%, 60%, 62%, dan 67%. Kontribusi terbesar yang mendorong erosi sangat ringan pada lokasi tersebut adalah penggunaan lahan yang didominasi hutan. Luasan lahan hutan pada tahun 2003 mencapai 1860 ha atau 41% dari luas keseluruhan Sub DAS Kali Gondang. Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan pemenuhan kebutuhan ekonomi mengakibatkan terjadinya alih fungsi lahan dan penebangan hutan. Tanaman pinus yang telah mencapai umur yang cukup untuk dipanen menarik perhatian masyarakat untuk menebang dan menjual secara *ilegal*. Hal tersebut menyebabkan luas hutan mengalami penurunan pada tahun 2006. Pada tahun 2006 luasan lahan

hutan menjadi 1458 ha atau 32% dari luas keseluruhan Sub DAS Kali Gondang. Sehingga besarnya erosi yang termasuk kedalam kategori sangat ringan turun sebanyak 4% atau menjadi 60%. Pada tahun 2009 dengan luasan yang tetap, besarnya erosi yang termasuk kedalam kategori sangat ringan berubah menjadi 62% dikarenakan adanya lahan kebun dan tegalan yang didominasi tanaman buah yang sekarang dikenal dengan istilah Kebun Bibit Rakyat (KBR) yang mampu meningkatkan luasan erosi sangat ringan menjadi 67% pada tahun 2012.

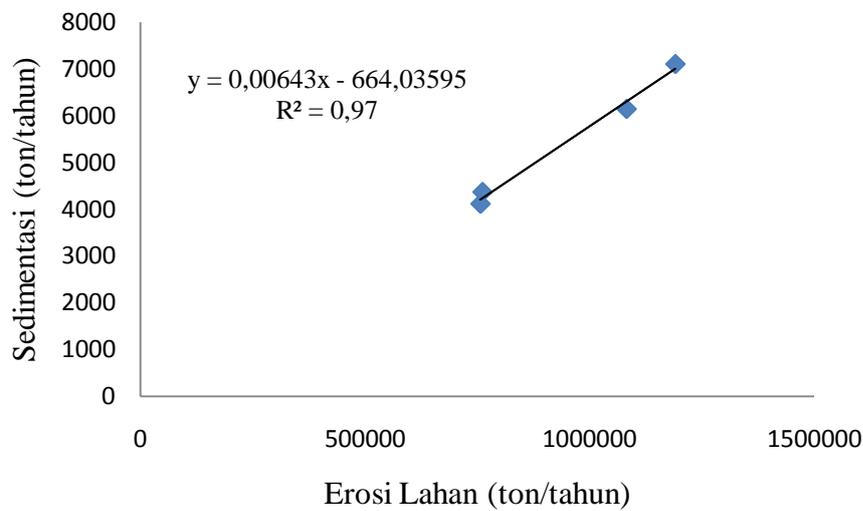
Berdasarkan histogram pada Gambar 30, erosi dan sedimentasi yang terjadi di lokasi penelitian mengalami penurunan yang sangat ekstrim pada klasifikasi erosi kategori sangat berat. Selain disebabkan oleh alih fungsi lahan, erosi dan sedimentasi juga disebabkan oleh intensitas curah hujan. Curah hujan yang tinggi menyebabkan erosivitas hujan menjadi tinggi sehingga proses penghancuran tanah yang memiliki tutupan vegetasi jarang semakin cepat hancur. Total curah hujan tahunan (Gambar 14 dan 15) di lokasi penelitian pada tahun 2003, 2006, 2009, dan 2012 secara berturut-turut sebesar 2067 mm; 1771 mm; 1123 mm; dan 1234 mm (Stasiun Pagerwojo), dan 1052 mm; 851 mm; 705 mm; dan 572 mm (Stasiun Tugu). Besarnya curah hujan mempengaruhi besarnya nilai erosivitas. Besarnya nilai erosivitas di lokasi penelitian selang waktu 2003 hingga 2012 bervariasi (Tabel 1). Hal tersebut yang mempengaruhi besarnya total erosi dan sedimentasi.

#### **5.4 Hubungan Erosi Metode RUSLE dengan Sedimen Bendungan**

Berdasarkan grafik sub bab sebelumnya (Gambar 30) menunjukkan bahwa telah terjadi erosi pada tahun 2003, 2006, 2009, dan 2012 secara berturut-turut kurang lebih sebesar 1.190.339 ton/tahun, 1.081.531 ton/tahun, 760.582 ton/tahun, dan 756.157 ton/tahun. Sedangkan hasil pengukuran sedimen dengan metode *echo sounding* pada tahun 2003, 2006, 2009, dan 2012 secara berturut-turut sebesar 7.106 ton/tahun, 6.142 ton/tahun, 4.361 ton/tahun, dan 4.108 ton/tahun.

Perhitungan menggunakan metode RUSLE hanya menyatakan laju erosi tahunan yang merupakan massa partikel tanah yang terangkut dari sumbernya. Sedimen yang tererosi akan dipindahkan oleh aliran air melalui lereng DAS dan menuju sistem saluran air yaitu sungai. Sebagian massa sedimen akan terendapkan baik di lereng DAS maupun sistem saluran, sehingga sedimen yang terekspor

keluar dari sebuah DAS biasanya akan jauh lebih kecil dari massa sedimen yang tererosi (Poerbandono, 2006).



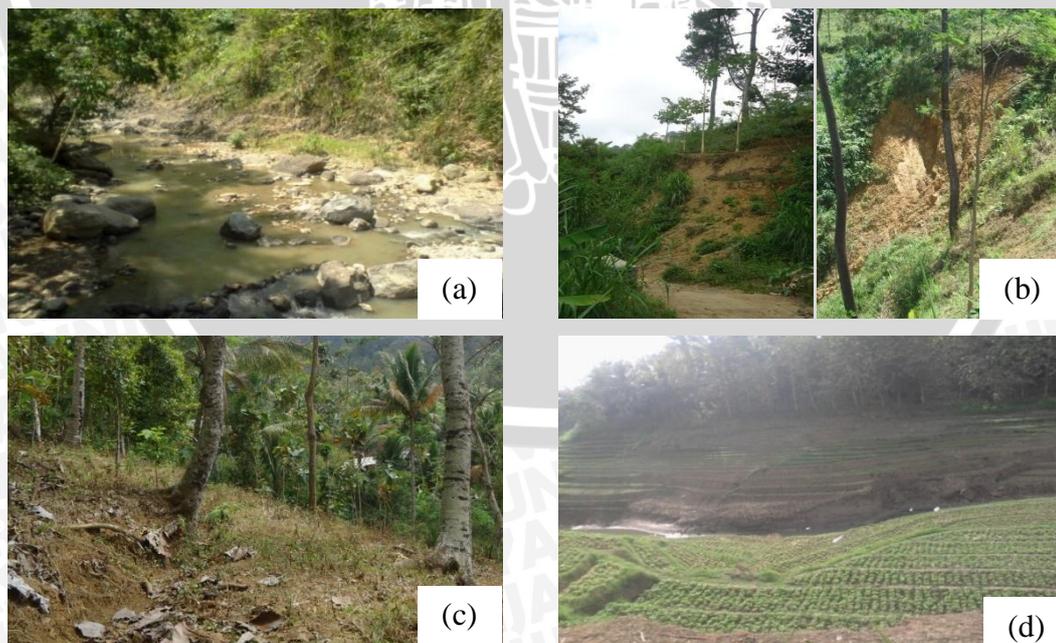
Gambar 32. Hubungan Erosi Model dengan Sedimen Lapangan

Dari analisis regresi pendugaan erosi menggunakan metode RUSLE dengan pengukuran sedimen bendungan diperoleh persamaan  $y = 0,00643x - 664,03595$  dengan nilai koefisien determinasi  $R^2 = 0,97$  (Gambar 32). Persamaan regresi tersebut menunjukkan bahwa sebesar 97% dari nilai sedimentasi bendungan dipengaruhi oleh erosi yang terjadi di lahan. Selain itu, grafik erosi pada lahan mempengaruhi besarnya sedimen bendungan secara linier positif, artinya semakin tinggi besarnya nilai erosi tanah menyebabkan semakin meningkatnya besar sedimen bendungan di lokasi penelitian.

Dari hasil tersebut terlihat bahwa hasil sedimen bendungan tidak hanya dipengaruhi oleh erosi, terdapat 3% faktor lain yang menyebabkan terjadinya sedimen bendungan. Beberapa faktor yang mempengaruhi dalam proses pengangkutan bahan sedimen hasil erosi, yaitu: erosi tebing sungai, erosi samping jalan, dan longsor. Di lokasi penelitian tidak ditemukan erosi tebing sungai dan erosi samping jalan, tetapi terdapat longsor pada beberapa lahan yang diamati peneliti. Kondisi sungai yang berbatuan dan dinding sungai yang ditumbuhi tanaman rerumputan dan pepohonan membantu mencegah terjadinya erosi tebing sungai. Vegetasi mampu mengikat dan mempertahankan material tanah serta

mampu menghambat limpasan permukaan yang berpotensi mengikis permukaan tanah.

Sedimentasi yang terjadi di Bendungan Wonorejo, selain dipengaruhi oleh erosi juga diakibatkan dari pengelolaan lahan pada bagian tepi bendungan. Sedimen yang terbawa dari hulu merupakan partikel-partikel yang berada pada lapisan tanah atas yang kaya akan unsur hara. Pada saat musim kemarau air di dalam bendungan surut sehingga sedimen yang masih tertinggal di pintu masuk bendungan dimanfaatkan masyarakat sekitar sebagai lahan bercocok tanam. Informasi yang diperoleh dari masyarakat sekitar didapatkan bahwa, tanaman yang ditanam pada area sedimen tumbuh subur dan tidak memerlukan pupuk tambahan. Kondisi yang demikian pada waktu tertentu menguntungkan masyarakat, tetapi pada saat musim penghujan dengan ketinggian air mampu menenggelamkan lahan pertanian tersebut menyebabkan peningkatan sedimentasi. Selain itu, pengelolaan lahan yang intensif memperkecil ukuran partikel-partikel tanah sehingga memperkecil massa jenis tanah. Massa jenis tanah yang lebih kecil dibandingkan dengan massa jenis air mempermudah proses pemindahan tanah yang semula berada pada bagian atas bendungan berpindah ke tengah hingga ke dasar bendungan. Hal tersebut yang mengakibatkan hubungan erosi dan sedimentasi di lokasi penelitian memiliki hubungan yang sangat erat sekali. Kondisi aktual di lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 33.



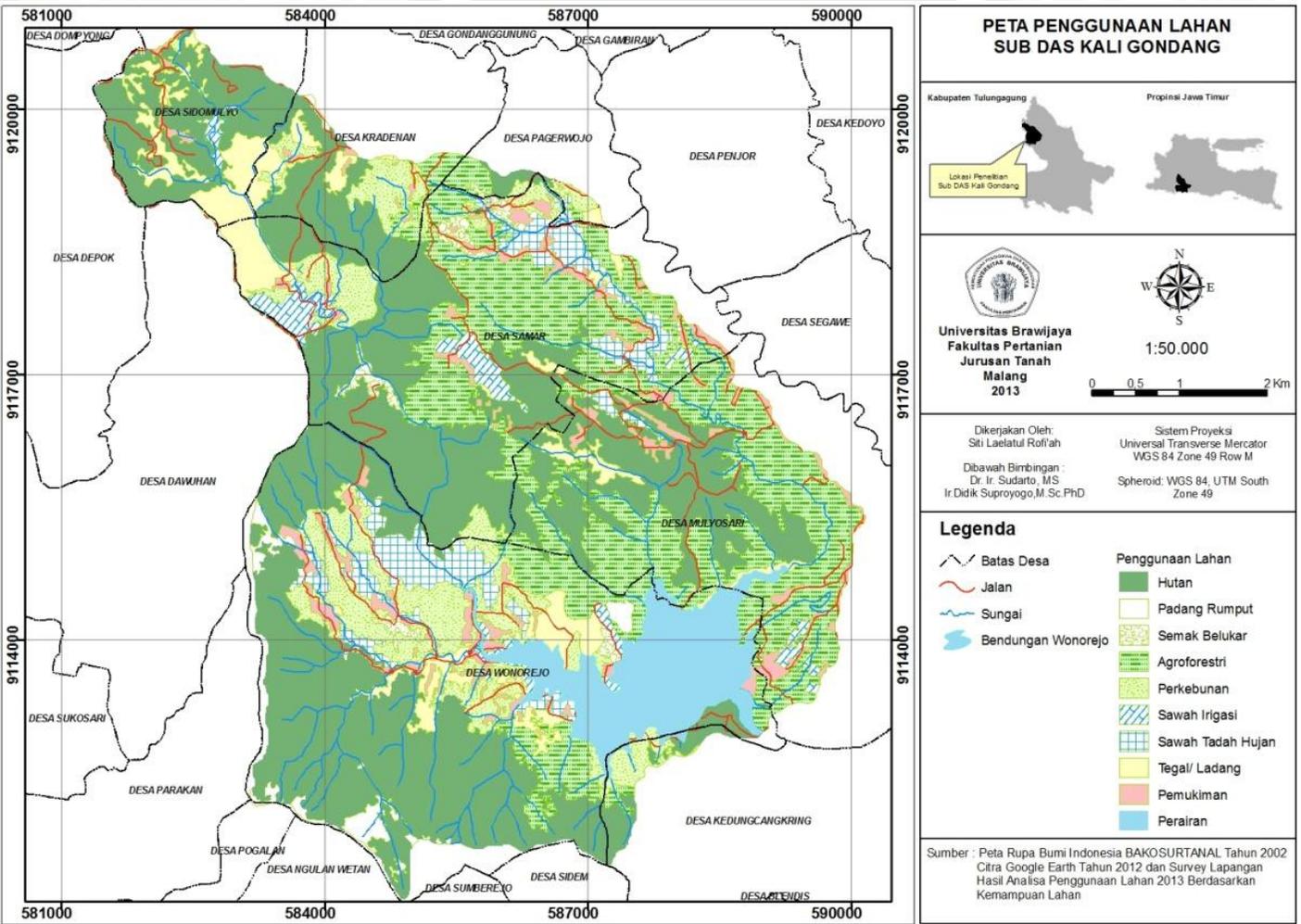
Gambar 33. Keadaan Aktual di Lokasi Penelitian: (a) tebing sungai, (b) longsor, (c) erosi permukaan dan (d) area pertemuan aliran sungai dan bendungan

## 5.5 Analisis Simulasi

Simulasi dilakukan untuk memberikan alternatif dalam pemanfaatan lahan yang lebih optimal dalam mengurangi besarnya erosi dan sedimentasi. Salah satu alternatif tersebut yaitu dengan melakukan perubahan penggunaan lahan. Berdasarkan hasil erosi aktual yang terjadi pada Sub DAS Kali Gondang, maka pada penelitian ini dilakukan dua skenario penggunaan lahan. Pada skenario tersebut dilakukan perubahan pada parameter penggunaan lahan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai erosi dan sedimentasi yang dihasilkan pada masing-masing penggunaan lahan. Selain itu, simulasi dilakukan untuk mengetahui skenario mana yang memiliki nilai erosi dan sedimentasi yang paling rendah.

### 5.5.1 Skenario Penggunaan Lahan Sesuai Kemampuan Lahan

Skenario perubahan penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan dilakukan berdasarkan kelas kemampuan lahan yang dikembangkan oleh Hockensmith dan Steele (1943) dalam Rayes (2007). Perubahan dilakukan dengan merubah kondisi penggunaan lahan aktual 2012 yang memiliki kelas kemampuan lahan V, VI, VII, dan VIII. Dikarenakan pada lahan dengan kelas kemampuan lahan tersebut memiliki pengaruh yang sangat besar apabila lahan tersebut bukan hutan. Penggunaan lahan tegalan dan pemukiman pada kelas kemampuan lahan V dan VI dirubah menjadi penggunaan lahan perkebunan campuran, sedangkan pada kelas kemampuan lahan VII dan VIII dirubah menjadi penggunaan lahan hutan. Peta Penggunaan Lahan Sesuai Kemampuan Lahan disajikan pada Gambar 34.



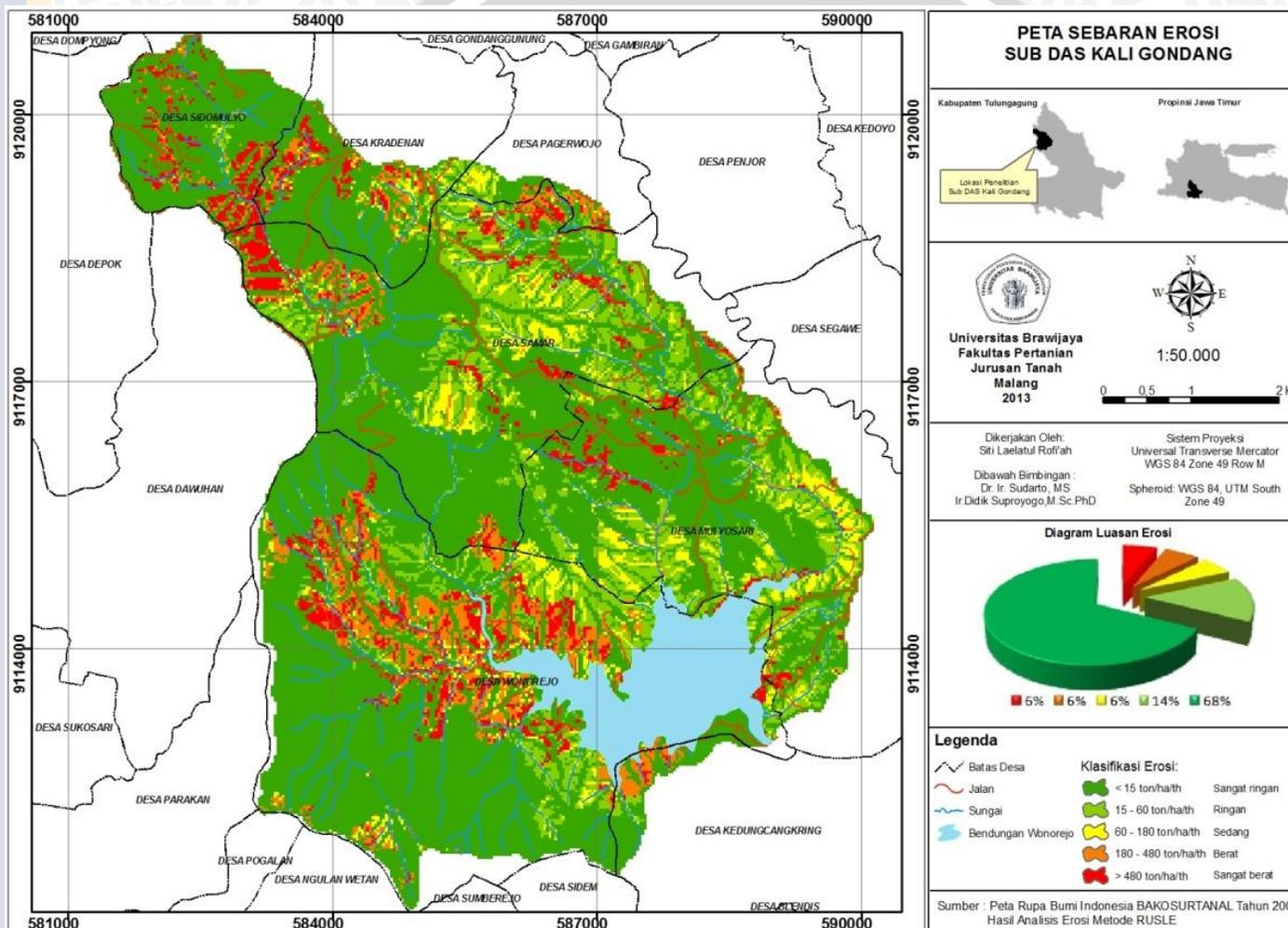
Gambar 35. Peta Penggunaan Lahan Sesuai Kemampuan Lahan

Hasil simulasi sesuai kemampuan lahan berdasarkan luasan daerah erosi di Sub DAS Kali Gondang (Gambar 35) menunjukkan bahwa sebesar 68% dari total wilayah termasuk dalam kelas erosi sangat ringan, 14% termasuk dalam kelas ringan, 6% termasuk dalam kelas sedang, 6% termasuk dalam kelas berat, dan 6% termasuk dalam kelas sangat berat.

Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa perubahan penggunaan lahan dapat merubah kelas erosi. Besarnya erosi yang terjadi adalah 435.816 ton/tahun yang selanjutnya dapat diketahui besarnya sedimentasi dengan persamaan linier pada bab sebelumnya. Dari hasil perhitungan menggunakan persamaan tersebut diperoleh sedimentasi di Bendungan Wonorejo sebesar 2.138 ton/tahun.

Hutan alami yang tidak terganggu oleh manusia untuk dijadikan lahan pertanian yang intensif memiliki fungsi yang jauh lebih baik. Sehingga hutan dijadikan kawasan lindung khususnya untuk mengatur tata air, mencegah banjir, mengendalikan erosi, dan sebagai sistem penyangga kehidupan manusia. Selain itu, hutan merupakan salah satu yang memiliki vegetasi penutup sangat rapat. Sehingga dapat melindungi permukaan tanah dari tumbukan air hujan karena mampu memecah energi hujan, menurunkan kecepatan dan volume air yang melimpas, menahan partikel-partikel tanah pada tempatnya melalui sistem seresah dan perakaran.



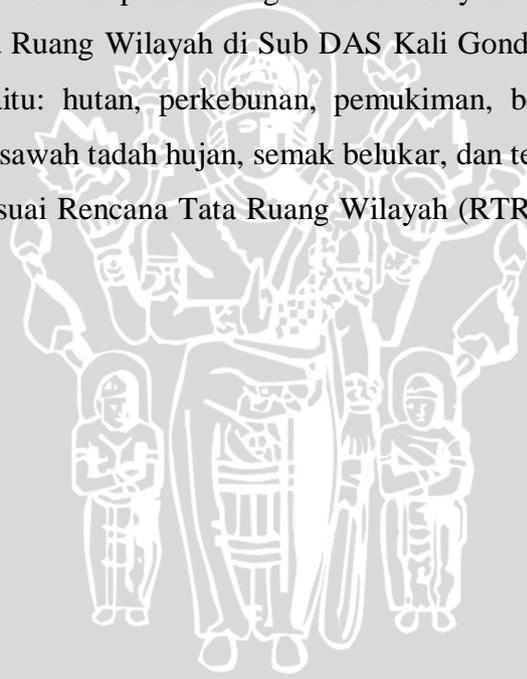


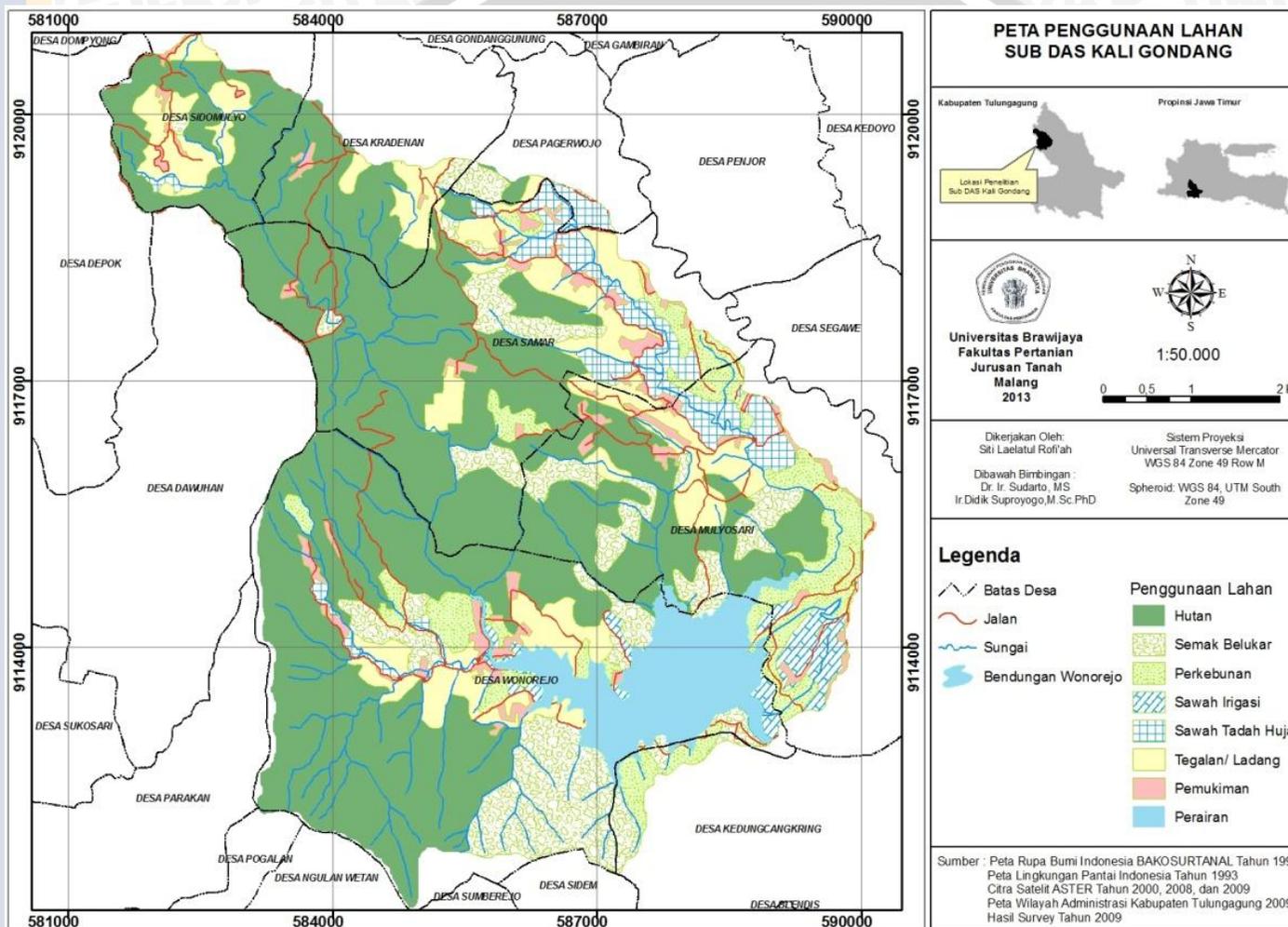
Gambar 36. Peta Potensi Erosi Sesuai Kemampuan Lahan

### 5.5.2 Skenario Penggunaan Lahan Sesuai RTRW

Skenario perubahan penggunaan lahan sesuai Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Pemerintah Kabupaten Tulungagung. Penggunaan lahan yang digunakan adalah rencana penggunaan lahan yang sudah ditetapkan atau dirancang dan disesuaikan dengan tata ruang wilayah di lokasi penelitian yang bertujuan untuk perkembangan daerah tersebut.

Sesuai dengan Undang-Undang No.26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang menyebutkan bahwa, kegiatan pemanfaatan ruang harus mengacu pada rencana tata ruang. Rencana tata ruang perlu dibuat sebagai pedoman dalam pelaksanaan pembangunan yang berkaitan dengan pengendalian pemanfaatan sumberdaya alam secara berkelanjutan bagi peningkatan kesejahteraan masyarakat, keseimbangan, dan keserasian perkembangan antar wilayah. Penggunaan lahan menurut Rencana Tata Ruang Wilayah di Sub DAS Kali Gondang ada 9 macam penggunaan lahan, yaitu: hutan, perkebunan, pemukiman, bendungan, padang rumput, sawah irigasi, sawah tadah hujan, semak belukar, dan tegalan/ladang. Peta Penggunaan Lahan Sesuai Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) disajikan pada Gambar 36.



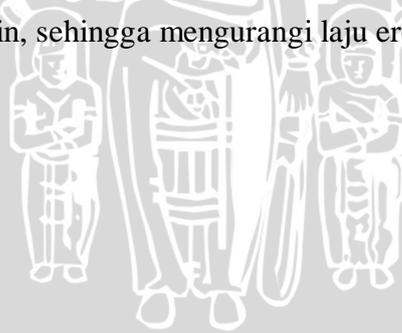


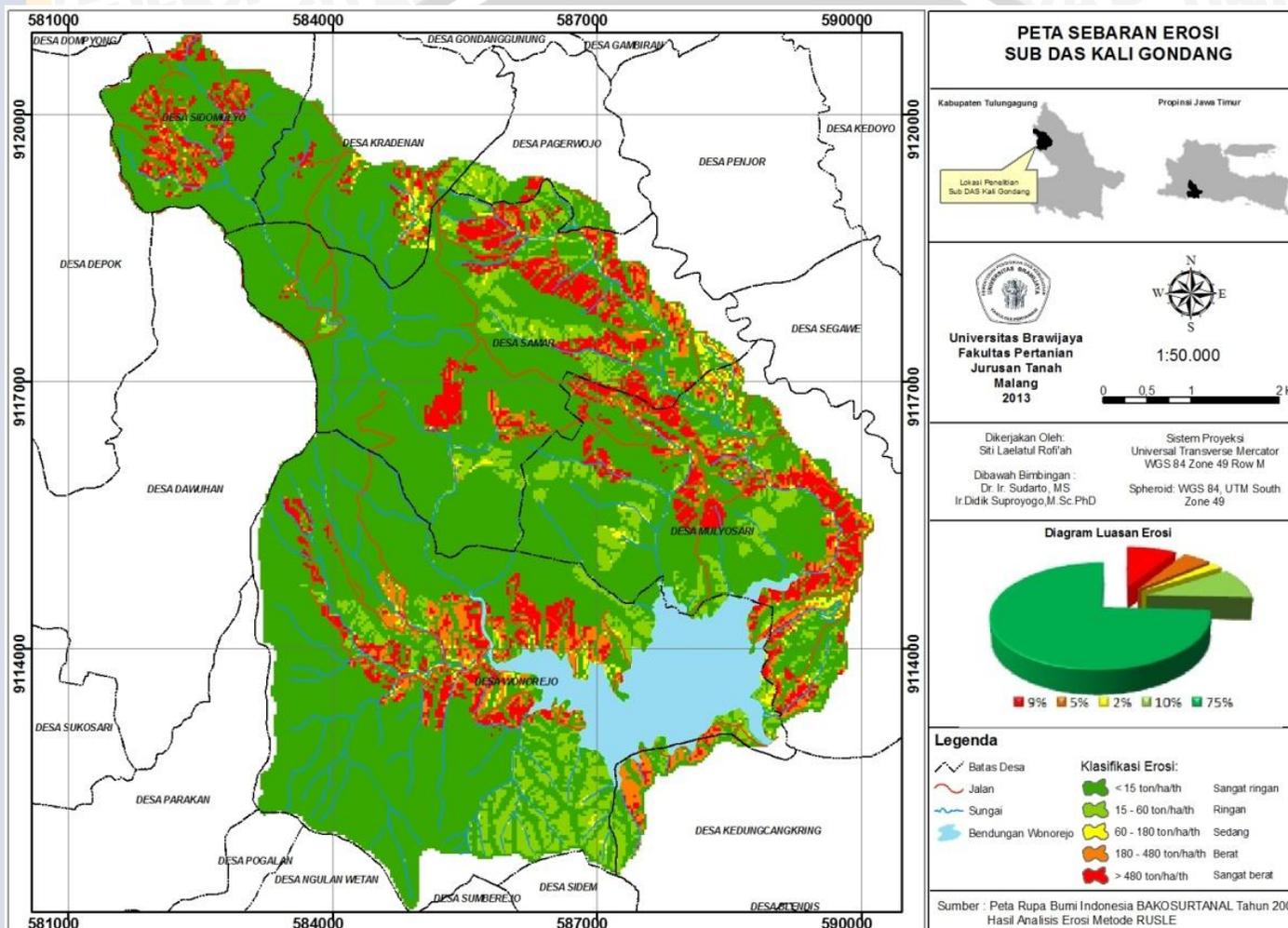
Gambar 37. Peta Penggunaan Lahan Sesuai RTRW

Hasil simulasi sesuai RTRW berdasarkan luasan daerah erosi di Sub DAS Kali Gondang (Gambar 37) menunjukkan bahwa sebesar 75% dari total wilayah termasuk dalam kelas erosi sangat ringan, 10% termasuk dalam kelas ringan, 2% termasuk dalam kelas sedang, 5% termasuk dalam kelas berat, dan 9% termasuk dalam kelas sangat berat.

Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa perubahan penggunaan lahan dapat merubah kelas erosi. Besarnya erosi yang terjadi adalah 515.159 ton/tahun yang selanjutnya dapat diketahui besarnya sedimentasi dengan persamaan linier pada bab sebelumnya. Dari hasil perhitungan menggunakan persamaan tersebut diperoleh sedimentasi di Bendungan Wonorejo sebesar 2.648 ton/tahun.

Penggunaan lahan sesuai RTRW sangat efektif untuk diterapkan di lokasi penelitian. Pada prinsipnya, RTRW merupakan rumusan keinginan dan harapan pemerintah dan masyarakat Kabupaten Tulungagung terhadap situasi dan kondisi sosial, ekonomi dan fisik yang terjadi dan berkembang di dalam wilayahnya sampai dengan tahun 2031. Untuk mencapai situasi dan kondisi penggunaan lahan yang diinginkan tersebut, diperlukan kerja keras dan pengerahan seluruh sumber daya yang dimiliki. Sesuai dengan program pemerintah penggunaan lahan sesuai RTRW yang lebih dari 50% luasannya merupakan kawasan hutan dapat diwujudkan secepat mungkin, sehingga mengurangi laju erosi dan sedimentasi.





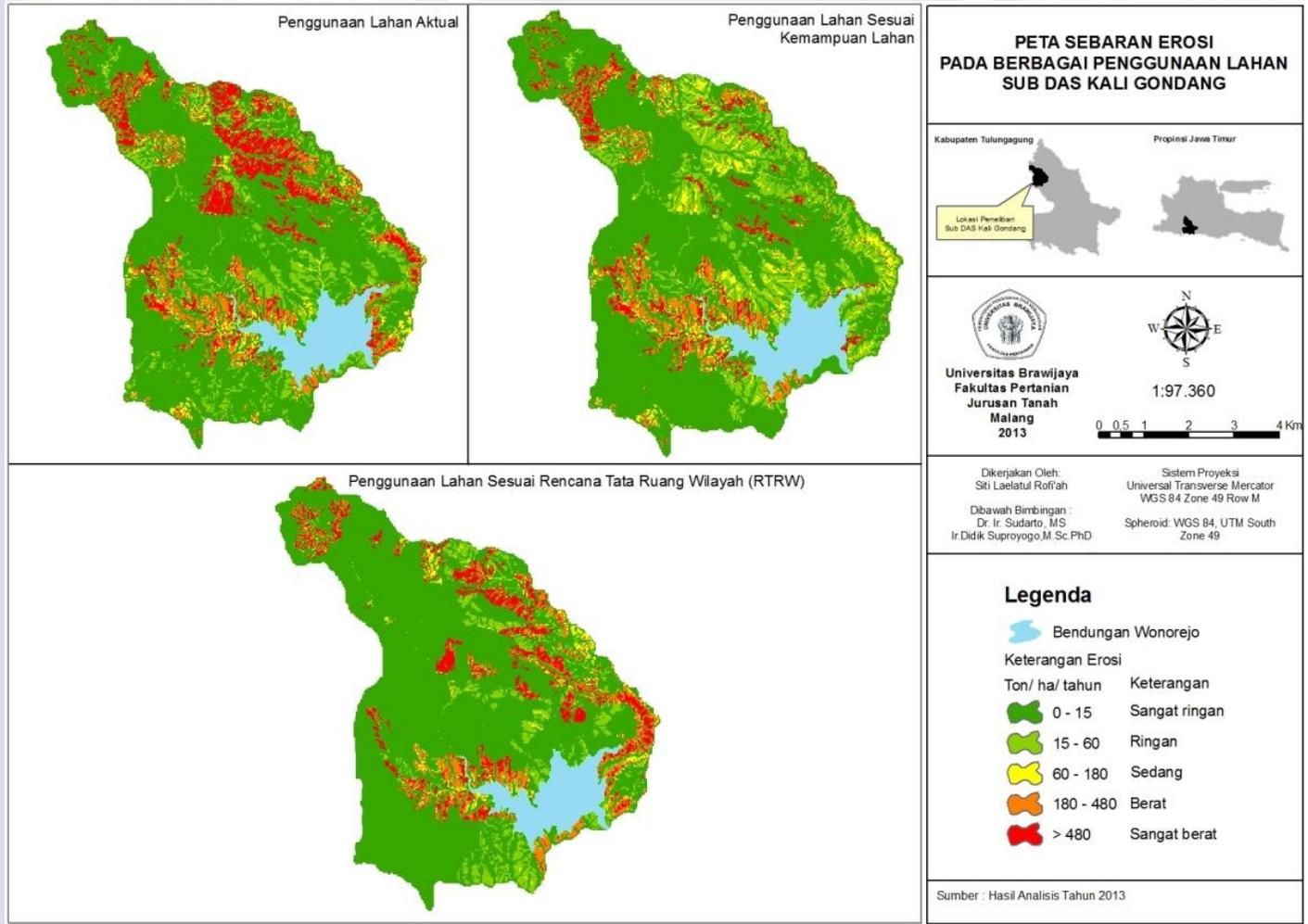
Gambar 38. Peta Potensi Erosi Sesuai RTRW

## 5.6 Pembahasan Umum dan Arahan Konservasi

### 5.6.1 Pembahasan Umum

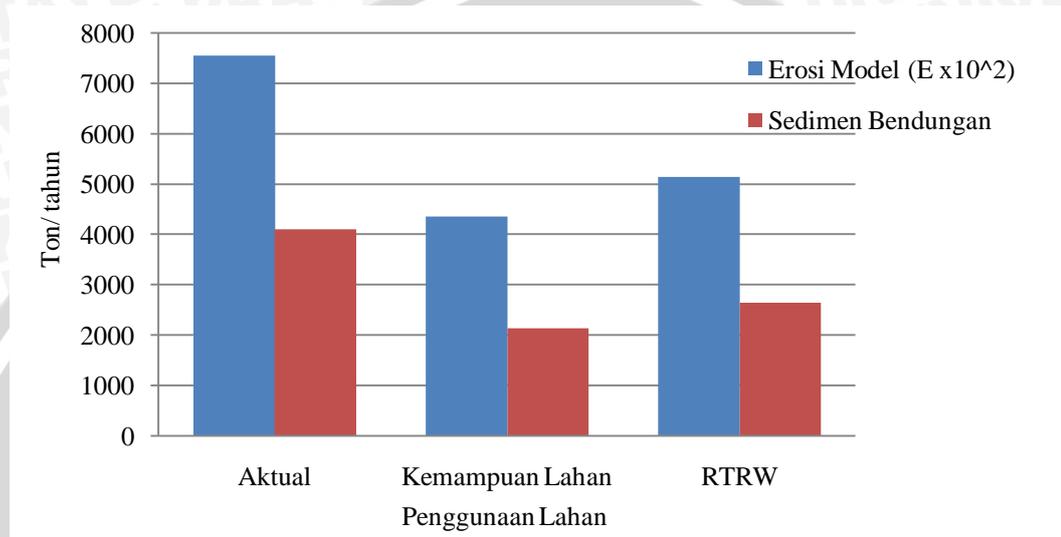
Perhitungan nilai erosi untuk setiap unit spasial diperoleh dari tumpang tindih pembobotan empat komponen, yaitu: erosivitas, erodibilitas, panjang dan kemiringan lereng, serta pengelolaan dan penggunaan lahan. Pada simulasi skenario penggunaan lahan faktor erosivitas, erodibilitas serta panjang dan kemiringan lereng dianggap tetap atau tidak terjadi perubahan. Sehingga pada simulasi faktor yang paling mempengaruhi perubahan nilai erosi pada setiap tahunnya adalah penggunaan lahan. Sebaran spasial erosi pada daerah penelitian akan dihubungkan dengan sebaran spasial perubahan tata guna lahan. Hal tersebut dikarenakan faktor vegetasi penutup atau penggunaan lahan memiliki pengaruh besar dalam menyumbangkan besarnya laju erosi dan sedimentasi. Vegetasi penutup tanah yang tidak sesuai dengan kaidah konservasi akan meningkatkan besarnya laju erosi begitu pula sebaliknya vegetasi penutup tanah yang sesuai dengan kaidah konservasi akan memperkecil besarnya laju erosi. Peta Sebaran Erosi Pada Berbagai Penggunaan Lahan (penggunaan lahan aktual, penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan, dan penggunaan lahan sesuai RTRW) disajikan pada Gambar 38.

Besarnya nilai erosi dan sedimentasi pada penggunaan lahan aktual, penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan, dan penggunaan lahan sesuai RTRW bervariasi. Berdasarkan hasil simulasi, penerapan penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan mampu menurunkan erosi sebesar 320.340 ton/tahun dan sedimen sebesar 1.970 ton/tahun. Sehingga erosi dan sedimen menurun sebesar 48% pada penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan. Sedangkan penerapan penggunaan lahan sesuai RTRW mampu menurunkan erosi sebesar 240.998 ton/tahun dan sedimen sebesar 1.459 ton/tahun. Sehingga erosi dan sedimen menurun sebesar 36% pada penggunaan lahan sesuai RTRW.



Gambar 39. Peta Erosi pada Berbagai Penggunaan Lahan

Dengan demikian, penerapan penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan memiliki hasil erosi dan sedimentasi paling rendah dibandingkan dengan penggunaan lahan lainnya. Penerapan penggunaan lahan yang mengikuti kelas kemampuan lahan dan kaidah konservasi dapat menekan laju erosi dan sedimentasi. Secara lebih jelas informasi disajikan dalam bentuk diagram batang pada Gambar 39.



Gambar 40. Grafik Erosi dan Sedimentasi pada Berbagai Penggunaan Lahan

Besarnya nilai erosi dan sedimentasi disebabkan oleh perbedaan penggunaan lahan. Pada penggunaan lahan aktual erosi dan sedimentasi yang dihasilkan lebih tinggi dikarenakan penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan kelerengan contohnya, tegalan/ladang dan lahan pertanian berada pada kelerengan sangat tinggi. Pada penggunaan lahan sesuai kemampuan tegalan/ladang dan semak pada lereng agak curam hingga curam dirubah menjadi agroforestri, sedangkan pada lereng sangat curam dirubah menjadi hutan. Dengan jumlah penggunaan lahan agroforestri dan hutan yang lebih luas maka dapat mengurangi terjadinya erosi. Pada penggunaan lahan sesuai RTRW memiliki penggunaan lahan tegalan/ladang yang lebih luas dibandingkan perkebunan. Walaupun sebagian besar luasan lahan didominasi hutan, tetapi dengan adanya penggunaan lahan tegalan/ladang memberikan kontribusi erosi yang tinggi daripada penggunaan lahan lainnya.

Tegalan/ladang merupakan penampakan objek dengan persentase tajuk pohon jarang yang berada pada kawasan pertanian secara umum ditanami dengan

tanaman semusim atau siklus hidup pendek. Secara umum tegalan dapat dijumpai pada area dekat dengan pemukiman. Pembukaan lahan menjadi tegalan merupakan salah satu penyebab erosi karena lahan tersebut sering terbuka apabila ada kegiatan pengolahan tanah, penyiangan, dan panen yang dilakukan terus menerus.

Perubahan penggunaan lahan dari lahan dengan kondisi vegetasi penutup lahan yang sangat rapat menjadi lahan tanpa vegetasi penutup menyebabkan meningkatnya jumlah erosi. Utomo (1994) berpendapat bahwa, lahan yang intensif dikelola dengan tanah yang pada umumnya dalam keadaan terbuka sehingga tanah secara langsung dapat dipukul oleh tetesan air hujan atau dikikis oleh aliran permukaan. Penggunaan lahan merupakan salah satu yang terkait mengenai karakteristik suatu DAS. Dengan banyaknya alih guna lahan yang terjadi pada suatu DAS maka penggunaan lahan menjadi faktor yang sangat penting terhadap terjadinya erosi dan sedimentasi.

### **5.6.2 Arahan Konservasi**

Hasil dari simulasi penelitian ini menunjukkan bahwa, penggunaan lahan yang sesuai dengan kemampuan lahan mempunyai potensi erosi yang lebih rendah daripada penggunaan lahan sesuai RTRW maupun aktual. Arahan konservasi yang diharapkan pada penelitian ini disesuaikan dengan Undang-Undang No.26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang menyebutkan bahwa, kegiatan pemanfaatan ruang harus mengacu pada rencana tata ruang. Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Kabupaten Tulungagung tahun 2011 telah menyusun Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Tulungagung untuk jangka waktu tahun 2011 sampai dengan tahun 2031 dan telah diterbitkan dalam Peraturan Daerah No. 5 tahun 2004 (BAPPEDA, 2011).

Salah satu hal yang melatarbelakangi kegiatan Penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Tulungagung 2011-2031 adalah perubahan-perubahan yang terjadi di Kabupaten Tulungagung. Perubahan-perubahan tersebut disebabkan oleh faktor internal, seperti: perubahan penggunaan lahan, pergeseran kondisi sosial ekonomi penduduk maupun faktor eksternal, seperti: kebijakan pemerintah Kabupaten Tulungagung serta perkembangan kabupaten-kabupaten di

sekitarnya yang secara tidak langsung mempengaruhi perkembangan Kabupaten Tulungagung secara umum.

Penyusunan RTRW Kabupaten dilakukan dengan berazaskan kaidah-kaidah perencanaan, seperti: keselarasan, keserasian, keterpaduan, kelestarian dan kesinambungan dalam lingkup kabupaten dan kaitannya dengan propinsi dan kabupaten sekitarnya, dengan tidak mengesampingkan wawasan perlindungan lingkungan terhadap sumber daya yang dimiliki daerah. Selain itu, penggunaan lahan di Sub DAS Kali Gondang menurut rencana tata ruang wilayah secara keseluruhan telah mengikuti kaidah konservasi sehingga apabila diterapkan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan dan makhluk hidup yang tinggal di wilayah tersebut.

Tabel 17. Matrik Ketidaksesuaian Penggunaan Lahan

Penggunaan Lahan Aktual 2012	Penggunaan Lahan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW)								
	H	PR	SB	K	SI	STH	T	P	PA
H	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PR	482	0	125	26	6	0	0	0	0
SB	3351	0	0	348	2	70	383	0	0
K	1849	0	540	0	355	208	615	0	0
SI	773	0	46	36	0	46	150	0	0
STH	1285	0	135	628	218	0	618	0	0
T	2913	0	1095	396	15	584	0	0	0
P	312	0	54	312	121	113	272	0	0
PA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sub Total	10965	0	1860	708	497	951	272	0	0
	Total Cell			50283	Total Cell Ketidaksesuaian			15253	

Keterangan: H : Hutan  
 PR : Padang rumput  
 SB : Semak belukar  
 K : Perkebunan  
 SI : Sawah irigasi  
 STH : Sawah tadah hujan  
 T : Tegalan/ lading  
 P : Pemukiman  
 PA : Perairan

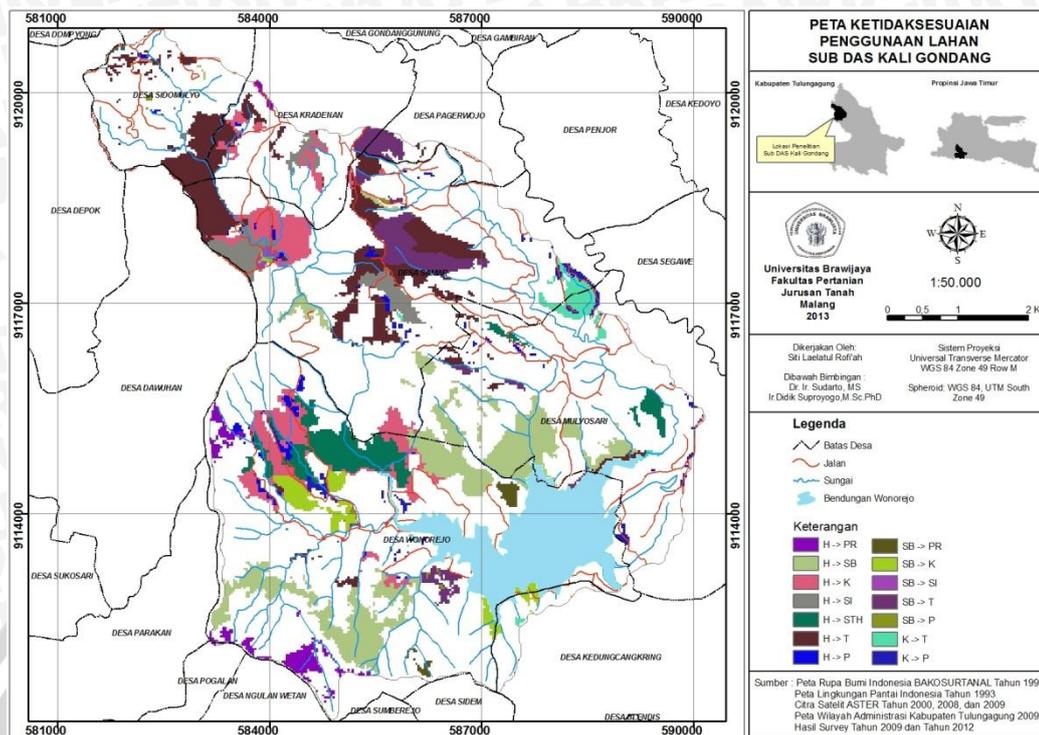
Sebagai pertimbangan kondisi penggunaan aktual dengan penggunaan lahan sesuai RTRW dibuatlah Tabel yang menginformasikan mengenai matrik ketidaksesuaian penggunaan lahan (Tabel 17). Tabel ini berfungsi untuk mengetahui seberapa besar persentase luas penggunaan lahan aktual yang belum sesuai dengan RTRW. Dari hasil perhitungan sebesar 30% atau 1.373 ha dari luas keseluruhan Sub DAS memiliki penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan kaidah konservasi. Pada tabel terdapat beberapa data yang ditandai, jika data pada

tabel di blok dengan warna hijau itu artinya lahan yang tidak sesuai RTRW, tetapi memiliki dampak erosi yang masih dapat ditoleransi. Sedangkan tabel di blok dengan warna merah itu artinya lahan yang tidak sesuai RTRW dan berdampak negatif atau dapat meningkatkan besarnya erosi dan sedimentasi.

Sebaran penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan penggunaan lahan RTRW tersebar pada setiap desa (Gambar 40). Sebaran tersebut memiliki luasan yang bervariasi. Pada lahan yang seharusnya menjadi hutan, ketika ditinjau ke lapangan lahan tersebut berubah menjadi padang rumput (43 ha), semak belukar (302 ha), sawah irigasi (70 ha), sawah tadah hujan (116 ha), tegalan/ladang (262 ha), dan pemukiman (28 ha). Jika keadaan tersebut dibiarkan saja tanpa adanya teknik pengendalian, maka akan terjadi beberapa dampak negatif terutama erosi dan sedimentasi.

Tabel 18. Luasan Ketidaksesuaian Penggunaan Lahan

Simbol	Keterangan	Luas (ha)
H → PR	Hutan berubah menjadi padang rumput	43
H → SB	Hutan berubah menjadi semak belukar	302
H → SI	Hutan berubah menjadi sawah irigasi	70
H → STH	Hutan berubah menjadi sawah tadah hujan	116
H → T	Hutan berubah menjadi tegalan/ladang	262
H → P	Hutan berubah menjadi pemukiman	28
SB → PR	Semak belukar berubah menjadi padang rumput	11
SB → K	Semak belukar berubah menjadi perkebunan	49
SB → SI	Semak belukar berubah menjadi sawah irigasi	4
SB → T	Semak belukar berubah menjadi tegalan/ladang	99
SB → P	Semak belukar berubah menjadi pemukiman	5
K → T	Perkebunan berubah menjadi tegalan/ladang	201
K → P	Perkebunan berubah menjadi pemukiman	24



Gambar 41. Sebaran Ketidaksesuaian Penggunaan Lahan

Berdasarkan data-data yang diperoleh pada bab sebelumnya menunjukkan bahwa daerah tersebut didominasi kemiringan lahan yang datar sampai terjal dengan pengelolaan lahan yang intensif. Sebagian besar penanaman dan pengelolaan lahan pada lahan di lokasi penelitian dilakukan dengan penanaman yang searah lereng. Arah konservasi lebih dikhususkan pada penggunaan lahan yang memiliki kontribusi tinggi dalam menyumbang erosi dan sedimentasi.

Rekomendasi yang disarankan pada penelitian ini, yaitu: pembuatan teras, penanaman secara berjalur, penanaman atau pengolahan tanah menurut kontur, perlindungan tanah dengan mulsa adalah kegiatan manusia yang dapat menurunkan erosi. Erosi dan degradasi lahan dapat diminimalisir dengan menerapkan sistem pertanian konservasi (*conservation farming system*), yaitu: mengintegrasikan teknik konservasi tanah dan air ke dalam sistem pertanian yang telah ada, dengan tujuan untuk meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan petani yang sekaligus menekan erosi, sehingga sistem pertanian tersebut dapat berkesinambungan (*sustainable*).

Sebagai contoh, perubahan penggunaan lahan tegalan/ladang dan semak belukar menjadi agroforestri atau penanaman tanaman semusim dan tahunan.

Tanaman semusim dan tahunan ditanam pada lahan dan dalam waktu yang sama, sehingga pada saat tertentu dapat mengarah pada terbentuknya formasi vegetasi layaknya hutan sekunder.

Selain penggunaan lahan tersebut, pada lokasi penelitian dijumpai penggunaan lahan sawah. Sawah yang memiliki bentuk kolam berpetak-petak dengan fungsi menampung air hujan dan air irigasi, sehingga disebut dengan sawah irigasi. Teknologi sawah irigasi dalam daur hidrologi berfungsi memperlambat laju limpasan aliran permukaan sehingga dapat dimanfaatkan lebih lama dan mengurangi sedimen yang terangkut ke bagian hilir. Kondisi topografi lokasi penelitian yang bervariasi mengakibatkan sawah dibangun dengan mengikuti kontur sehingga berbentuk teras. Sawah yang diterassing akan memperlambat kecepatan limpasan permukaan sehingga mengurangi laju erosi dan sedimentasi.



## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini meliputi:

1. Perubahan penggunaan lahan yang terjadi dari tahun 2003, 2006, 2009, dan 2012 mempengaruhi besarnya total erosi lahan di Sub DAS Kali Gondang secara berturut-turut yaitu: 1.190.339 ton/tahun, 1.081.531 ton/tahun, 760.582 ton/tahun, dan 756.157 ton/tahun,
2. Hasil pendugaan erosi model dianalisis regresi dengan pengukuran sedimen bendungan sehingga diperoleh persamaan  $y = 0,00643x - 664,03595$  didapat nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) = 0,97 yang artinya: pendugaan erosi menggunakan metode RUSLE memiliki hubungan yang erat dengan sedimentasi di Bendungan Wonorejo,
3. Berdasarkan simulasi dengan perubahan penggunaan lahan yang sesuai kemampuan lahan dan sesuai RTRW dihasilkan total erosi secara beturut sebesar 435.816 ton/tahun dan 515.159 ton/tahun yang apabila dimasukkan ke dalam persamaan yang tersebut pada butir 2, diperoleh sedimentasi sebesar 2.138 ton/tahun dan 2.648 ton/tahun,
4. Penerapan penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan mampu menurunkan erosi sebesar 320.340 ton/tahun dan sedimen sebesar 1.970 ton/tahun. Sehingga erosi dan sedimen menurun sebesar 48% pada penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan. Sedangkan penerapan penggunaan lahan sesuai RTRW mampu menurunkan erosi sebesar 240.998 ton/tahun dan sedimen sebesar 1.459 ton/tahun. Sehingga erosi dan sedimen menurun sebesar 36% pada penggunaan lahan sesuai RTRW, dan
5. Penerapan penggunaan lahan sesuai dengan kaidah konservasi (kemampuan lahan) memiliki hasil erosi dan sedimen paling rendah dibandingkan dengan penggunaan lahan lainnya sehingga dapat menekan laju erosi dan sedimen.

## 6.2 Saran

Supaya penelitian ini menghasilkan data yang akurat, peneliti menyarankan:

1. Untuk memperoleh pengukuran erosi yang memiliki tingkat validasi tinggi, perlu dilakukan penelitian menggunakan data curah hujan jangka pendek, dan parameter masukan berdasarkan hasil pengukuran lapangan secara detail,
2. Data pengukuran sedimen di Bendungan Wonorejo sebaiknya menggunakan data pengukuran bulanan, dan
3. Perlu diadakan pengukuran erosi di lapangan dengan menggunakan metode plot erosi dan pengukuran sedimen menggunakan *Chin-ong* Meter untuk mengetahui besarnya erosi di Sub DAS Kali Gondang secara berskala sehingga dapat diketahui besarnya erosi pada *multiperiode* dan dari hasil pengukuran erosi tersebut dapat diprediksi besarnya sedimen yang masuk ke Bendungan Wonorejo.



## DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2013. Spesifikasi Citra Google Earth. Available at [http://id.wikipedia.org/wiki/Google Earth](http://id.wikipedia.org/wiki/Google_Earth). Dikutip tanggal 23 Agustus 2013
- Arsyad Sitanala. 2006. Konservasi Tanah dan Air. Institut Pertanian Bogor. Institut Pertanian Bogor Press. Bogor.
- Asdak, C. 1995. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai jilid II. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Asdak, C. 2007. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- As-syakur, Abdul Rahman. 2008. Prediksi Erosi dengan Menggunakan Metode USLE dan Sistem Informasi Geografis (SIG) Berbasis Piksel di Daerah Tangkapan Air Danau Buyan. Denpasar: Pusat Penelitian Lingkungan Hidup- Universitas Udayana.
- Azdan, M. Donny, Candra R. Samekto. 2008. *Kritisnya Kondisi Bendungan di Indonesia*. Surabaya: Seminar Komite Nasional Indonesia untuk Bendungan Besar (KNI-BB) tanggal 2-3 Juli 2008.
- BAPPEDA, 2011. *Penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Tulungagung 2011-2031*. Tulungagung: Badan Perencanaan Pengembangan Daerah.
- Consortium, GIS Aceh Nias. 2007. *Modul Palatihan ArcGIS Tingkat Dasar*. Lueng Bata: BRR NAD-Nias.
- Cürebali, İ., Ekinci, D., 2007, Kızılköprü Deresi Havzasında CBS Tabanlı RUSLE (3D) Yöntemiyle Erozyon Analizi, *Türk Coğrafya Dergisi*, Sayı: 47, s.: 115–130, İstanbul.
- Departemen Kehutanan. 1998. Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Teknik Lapangan dan Kon-servasi Tanah Daerah Aliran Sungai. Departemen Kehutanan. Ja-karta.
- Desmet, P. J. J., Govers, G., 1996, A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of soil and water conservation*, 51, 427–433.
- Ekinci, Deniz. 2010. Erosion Analysis Of Zeytinli Creek Basin (NW of Turkey) With GIS Based On RUSLE (3D) Method, *Uluslararası Kazdağı ve Edremit Sempozyumu-Global Change in Mediterranean Region*, 22-24 Ekim 2010, Edremit-Balıkesir.
- Foster, G. R., Mc Cool, D. K., Renard, K. G., Moldenhauer, W. C., 1981, Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI Metric Units., *J. Soil and Water Cons.* 36–6, 355–359.

- Hanif, Abdul. 2008. Analisis Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Tingkat Bahaya Erosi. Tesis S2. Malang: Universitas Brawijaya.
- Hardjowigeno, Sarwono. 1993. *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Jakarta: Akademika Pressindo
- Jasa Tirta. 2013. *Laporan Tahunan Operasional Bendungan Wonorejo*. Malang: Jasa Tirta I.
- Karabulut, M., Küçükönder, M., 2008, Kahramanmaraş Ovası ve Çevresinde CBS Kullanılarak Erozyon Alanlarının Tespiti, KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 11(2), Kahramanmaraş.
- Lal R. 1988. Soil Erosion by Wind and Water : Problems and Prospects. Pp 1 –6. In R. Lal (ed). Soil Erosion Research Methods. Soil and Water Conservation Society, Ankeny. Iowa.
- Lo, C. P. 1996. *Penginderaan Jauh Terapan*. Jakarta: UI Press.
- Moore, I. D., Wilson, J. P., 1992, Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. Journal of Soil and Water Conservation, 47, 423–428.
- Mulyadi, D. 1971. *Produktivitas Tanah dan Konservasi Tanah dan Air*. Jakarta: Direktorat Penyuluhan Pertanian.
- Mulyono, Asep. 2009. *Perkiraan Tingkat Erosi Tanah di Sub DAS Besai Lampung Barat*. Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan Jilid 9 No. 1 Hal. 35-47
- Munir, Moch. 1996. *Tanah-tanah Utama Indonesia*. Jakarta: Pustaka Jaya.
- Noor dan E. Suhartanto. 2012. Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Sedimen Di Sungai Lesti. Jurnal. Jurusan Teknik Pengairan. Fakultas Teknik Pengairan. Universitas Brawijaya. Malang.
- Otto, Soemarwoto. 1978. *Aspek Ekologi dalam Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Dept. PUTL: Yayasan Penerbit Pekerjaan Umum
- Poerbandono, Ahmad Basyar, Agung B. Harto, Puteri Rallyanti. 2006. *Evaluasi Perubahan Perilaku Erosi Daerah Aliran Sungai Citarum Hulu dengan Pemodelan Spasial*. Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan Binaan. Vol. II No. 2 Hal. 21-28
- Prahasta, E. 2002. *Konsep-konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*. Bandung: Informatika.
- Rayes, M. Luthfi. 2007. *Metode Inventarisasi Sumber Daya Lahan*. Yogyakarta: CV Andi Offset.
- Renard, K. G., Foster G. R., Weesies G. A., McCool D. K., Yoder D. C. 1997. *Predicting Soil Erosion by Water a Guide to Conservation Planning*

with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA: Handbook No. 703. PP 404.

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C., 1997, Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703, USA.

Saputra, Feri. 2006. Skripsi: *Studi Evaluasi Perubahan Usia Guna Waduk Wonorejo Tulungagung Akibat Sedimentasi*. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Sarief, Saifuddin. 1985. *Konservasi Tanah dan Air*. Bandung: Pustaka Buana

Setiawan, Wawan. 2010. *Analisa Spasial Bencana Menggunakan Citra Penginderaan Jauh di Jawa Barat*. Ilmu Komputer FPMIPA UPI

Suripin, 2002. *Pelestarian Sumberdaya Tanah dan Air*. Yogyakarta: Andi Offset.

Susiati, Heni, Antonius B. Wijanarto. 2008. *Studi Awal Pemanfaatan Citra Satelit untuk Identifikasi Distribusi Sedimen di Perairan Semenanjung Muria*. Bandung: Prosiding Seminar Nasional ke-14 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir ISSN : 0854 – 2910.

Sutapa, I Wayan. 2010. *Analisis Potensi Erosi Pada Daerah Aliran Sungai (DAS) di Sulawesi Tengah*. Jurnal SMARTek Vol. 8 No. 3 Hal. 169-181

Tim Survei. 1988. *Laporan Peta Tanah Semi Detail DAS Brantas Hulu Kabupaten Malang, Blitar, Tulungagung, dan Trenggalek Propinsi Jawa Timur*. Bandung:

Utomo, Wani Hadi. 1989. *Mencegah Erosi*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Utomo, Wani Hadi. 1994. *Erosi dan Konservasi Tanah*. Malang: IKIP Press.

Widodo, Purwo. 1986. *Tanah dan Erosi*. Bandung: Jurusan Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan IPB.

Wikipedia. 2013. [http://id.wikipedia.org/wiki/Penginderaan\\_jauh](http://id.wikipedia.org/wiki/Penginderaan_jauh) diakses pada tanggal 7 April 2013

Wischmeier, W.H., dan Smith, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses; A Guide to Conservation Planning. USDA Agr. Handbook 537, Washington DC., US. Department of Agriculture.

Witanto, Beni Iriawan. 2004. Skripsi: *Penerapan Penginderaan Jauh Untuk Mendeteksi Sedimentasi Pantai Studi Kasus Pantai Utara Subang Jawa Barat*. Bogor: Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor.

Wulandari, Esti. 2000. Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Laju Sedimentasi Waduk Wonorejo Tulungagung. Tesis S2. Malang: Universitas Brawijaya.