

**APLIKASI ArcSWAT UNTUK PENDUGAAN SEBARAN EROSI DAN
SEDIMENTASI DI DAS KALI KONTO HULU KABUPATEN MALANG
JAWA TIMUR**

SKRIPSI

Oleh :

ZAIDNUN ILZAM ZAMZAMI

0710430001



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
PROGRAM STUDI ILMU TANAH
MALANG
2013**

RINGKASAN

Zaidnun Ilzam Zamzami. 0710430001-43. **Aplikasi ArcSWAT Untuk Pendugaan Sebaran Erosi Dan Sedimentasi Di DAS Kali Konto Hulu Kabupaten Malang, Jawa Timur.** Di bawah Bimbingan (1) Soemarno dan (2) Kurniawan Sigit Wicaksono.

Perubahan kondisi hidrologi DAS sebagai dampak pengelolaan lahan yang tidak memperhatikan kaedah konservasi tanah dan air seringkali mengarah pada peningkatan erosi dan sedimentasi. Peningkatan erosi dan sedimentasi mengakibatkan penurunan produktivitas lahan dan percepatan degradasi lahan. Pendugaan nilai erosi dan sedimentasi sangat diperlukan dalam menjaga kelestarian biofisik hidrologis di DAS Kali Konto Hulu.

Tujuan dari penelitian ini adalah; (1) menentukan besarnya erosi dan sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu; (2) mengklasifikasikan wilayah berdasarkan erosi dan sedimentasi; (3) mengetahui pengaruh perbedaan penggunaan lahan terhadap erosi dan sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu. Hipotesa penelitian yang diajukan adalah: (1) parameter kelereng merupakan faktor yang paling sensitif dalam terjadinya proses erosi di DAS Kali Konto Hulu; (2) perbedaan penggunaan lahan mempengaruhi besarnya erosi dan sedimentasi.

Pendugaan sebaran erosi dan sedimentasi dihasilkan dari model SWAT melalui aplikasi ArcSWAT. Perlakuan simulasi penggunaan lahan dilakukan dengan membandingkan hasil erosi pada penggunaan lahan aktual 2012, penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan dan penggunaan lahan sesuai RTRW.

Hasil-hasil analisis yang diperoleh meliputi: 1) rata-rata kehilangan tanah akibat erosi di DAS Kali Konto Hulu sebesar 100,02 ton/ha/thn dengan klasifikasi kelas erosi adalah: Erosi Sangat Ringan (0-15 ton/ha/thn) seluas 9769.95 ha, Erosi Ringan (15-60 ton/ha/thn) seluas 4084.56 ha, Erosi Sedang (60-180 ton/ha/thn) seluas 2949.21 ha, Erosi Berat (180-480 ton/ha/thn) seluas 3107.07 ha dan Erosi Sangat Berat (>480 ton/ha/thn) seluas 3707.28 ha; 2) daerah yang erosinya sangat ringan (18,57 ton/ha/thn) berada di Desa Banturejo, Ngantang. Daerah yang erosinya berat berada di Kecamatan Pujon Desa Wiyurejo (232,70 ton/ha/thn), Tawang Sari (213,30 ton/ha/thn), Madirejo (208,77 ton/ha/thn) dan Ngabab (198,14 ton/ha/thn); 3) rata-rata kehilangan tanah akibat erosi pada penggunaan lahan sesuai RTRW adalah sebesar 118,70 ton/ha/thn, penggunaan lahan aktual sebesar 100,02 ton/ha/thn dan penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan sebesar 77,32 ton/ha/thn; 4) pengelolaan lahan (faktor P) paling sensitif terhadap erosi (nilai mean 3.4622), diikuti oleh kemiringan lahan (faktor LS) dengan nilai mean 0.0104, penggunaan lahan (faktor C) dengan nilai mean 0.000478 dan erodibilitas tanah (faktor K) dengan nilai mean 0.0000.

SUMMARY

Zaidnun Ilzam Zamzami. 0710430001-43. **ArcSWAT Application to Estimation Erosion And Sedimentation in Kali Konto Hulu Watershed Area Malang District, East Java.** Supervisor: (1) Soemarno and (2) Kurniawan Sigit Wicaksono.

Changes in watershed hydrological as a result of expansion often leads to increased erosion and sedimentation. Increased erosion and sedimentation resulting in reduced productivity, and accelerate land degradation. Erosion and sedimentation value estimation is indispensable in preserving the hydrological biophysical Kali Konto Hulu Watershed Area.

The purpose of this study are: (1) determine the amount of erosion and sedimentation in the Kali Konto Hulu Watershed Area; (2) classify areas based on erosion and sedimentation; (3) determine the effect of different land use on erosion and sedimentation in Kali Konto Hulu Watershed Area. Hypothesis of this research were; (1) parameter of slope is the most sensitive factor in the erosion process in Kali Konto Hulu Watershed Area; (2) differences in land use affect the amount of erosion and sedimentation.

Estimation the distribution of erosion and sedimentation resulting from SWAT models application ArcSWAT through. Treatment of land use simulation done by comparing the actual erosion on land use in 2012, according to the capability of land use and land use spatial land.

The results of the analysis showed that; 1) average soil losses erosion in Kali Konto Hulu Watershed Area of 100.02 ton/ha/yr with erosion level classification are: Very Light has great soil erosion between (0-15 ton/ha/yr) area of 9769.95 ha; Lightweight erosion level has (15-60 ton/ha/yr) area of 4084.56 ha; Medium (60-180 ton/ha/yr) area of 2949.21 ha; Heavy (180-480 ton/ha/yr) area of 3107.07 ha and Very Heavy (> 480 tons/ha/yr) covering an area of 3707.28 ha. 2) average soil loss due to erosion of the land use is appropriate spatial planning at 118.70 ton/ha/yr, the actual land use of 100.02 ton/ha/yr and appropriate land use land capability of 77.32 ton/ha/yr; 3) Land management (factor P) most sensitive to erosion (mean 3.4622), followed by a slope factor (LS) with a mean of 0.0104, land use (factor C) with a mean value of 0.000478 and soil erodibility (K factor) with a mean of 0.0000.

KATA PENGANTAR

Puja dan Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi penelitian dengan judul **“Aplikasi ArcSWAT Untuk Pendugaan Sebaran Erosi dan Sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu Jawa Timur”**, yang 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. Allah SWT atas segala rahmat, nikmat dan hidayah-Nya;
2. Kedua orang tua dan semua keluarga atas kasih sayang, doa dan dukungannya baik material maupun nonmaterial;
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Soemarno.MS selaku dosen pembimbing utama, dan Bapak Kurniawan Sigit Wicaksono, SP. M.Sc selaku dosen pembimbing kedua yang telah membimbing, memotivasi dan mengarahkan penulis dalam menyusun penelitian ini hingga selesai;
4. Dosen-dosen di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama kuliah.
5. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang, atas bantuan dan informasi yang diberikan; dan
6. Saudara, sahabat, teman-teman, kakak-kakak, adik-adik seperjuangan di Tanah, terutama Soiler 2007, terima kasih atas dukungan, perhatian, bantuan, serta kenangan indah selama ini, serta semua pihak yang tidak mungkin disebutkan satu persatu yang turut berpartisipasi atas terselesaikan penelitian ini.

Dalam segala kekurangan dan keterbatasan, penulis berharap penelitian ini memberikan manfaat bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya. Demikian skripsi ini disusun semoga bermanfaat.

Malang, Juli 2013

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Pacitan, Jawa Timur pada tanggal 22 Nopember 1988 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis merupakan putra dari pasangan Bapak Ali Arifin dan Ibu Umi Malikhah.

Pendidikan Sekolah Dasar diselesaikan di SDN Sironoboyo II pada tahun 2002, pendidikan Sekolah Menengah Pertama diselesaikan di SLTP Negeri 1 Pacitan pada tahun 2004 dan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Pacitan pada tahun 2007. Pada tahun yang sama penulis menjadi mahasiswa Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Jurusan Tanah, program studi Ilmu Tanah melalui program Penerimaan Siswa Berprestasi. Selama mengikuti perkuliahan penulis pernah menjadi asisten praktikum beberapa mata kuliah yaitu Kesuburan Tanah, Pertanian Berlanjut, Teknologi Konservasi Sumberdaya Lahan, Survey Tanah Evaluasi Lahan, Sistem Informasi Sumberdaya Lahan, Dasar Penginderaan Jauh, Analisis Lansekap, Interpretasi Foto Udara dan Tanah Utama di Indonesia. Selain itu, penulis juga aktif dalam kegiatan kemahasiswaan dengan menjabat sebagai Divisi Minat dan Bakat Himpunan Mahasiswa Ilmu Tanah pada periode 2009/2010 dan juga aktif dalam kepanitiaan yang diadakan oleh Himpunan Mahasiswa Ilmu Tanah (HMIT).



DAFTAR ISI

Halaman

RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	3
1.3 Hipotesis.....	3
1.4 Manfaat	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Umum Daerah Aliran Sungai (DAS).....	5
2.2 Erosi dan Sedimentasi.....	6
2.3 Penggunaan Lahan	9
2.4 Kemiringan Lahan.....	11
2.5 Model Hidrologi SWAT	12
2.6 Pengertian Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis	15
2.6.1 Penginderaan Jauh	15
2.6.2 Citra Google Earth.....	16
2.6.3 Sistem Informasi Geografi.....	16
2.6.4 Keterkaitan Sistem Informasi Geografis dengan Penginderaan Jauh	17
2.7 Analisis Penginderaan Jauh untuk Hidrologi.....	18
2.8 Sistem Informasi Geografi untuk Hidrologi	19
III. METODE PENELITIAN	20
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	20
3.2 Alat dan Bahan.....	21
3.2.1 Alat.....	21
3.2.2 Bahan	21
3.3 Metode Penelitian	22
3.4 Tahapan Penelitian.....	23
3.4.1 Persiapan.....	23
3.4.2 Pengolahan Data Atribut.....	24
3.4.2.1 Data Iklim	24
3.4.2.2 Data Penggunaan Lahan.....	24
3.4.2.3 Data Jenis Tanah	25
3.4.2.4 Karakteristik Saluran atau Sungai.....	26

3.4.3 Pengolahan Basis Data.....	26
3.4.3.1 Pengolahan Data Citra Google Earth.....	27
3.4.3.2 Pengolahan Data Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI)	28
3.4.3.3 Pengolahan Data Iklim.....	29
3.4.4 Pembangunan Model Hidrologi pada Aplikasi ArcSWAT	29
IV. KONDISI UMUM WILAYAH.....	34
4.1 Geologi.....	34
4.2 Bentuk Lahan.....	38
4.3 Elevasi.....	39
4.4 Lereng dan Relief.....	39
4.5 Tanah.....	45
4.6 Penggunaan Lahan.....	42
4.7 Iklim.....	44
4.8 Hidrologi.....	44
V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	48
5.1 Pendugaan Erosi dan Sedimentasi Menggunakan Aplikasi ArcSWAT....	48
5.1.1 Verifikasi <i>Inflow</i> dan Sedimentasi.....	49
5.1.2 Pengujian Model.....	54
5.1.2.1 Koefisien Deterministik.....	54
5.1.2.2 Uji Statistik.....	55
5.1.3 Analisis Sensitifitas Model Terhadap Hasil Erosi dan Sedimentasi..	56
5.1.4 Hasil Pendugaan Erosi dan Sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu Menggunakan Aplikasi ArcSWAT.....	58
5.1.5 Simulasi Penggunaan Lahan.....	62
5.1.5.1 Skenario Penggunaan Lahan Sesuai Kemampuan Lahan.....	62
5.1.5.2 Skenario Penggunaan Lahan RTRW.....	65
5.2 Perbandingan Hasil Pendugaan Erosi dan Sedimentasi pada Berbagai Penggunaan Lahan.....	68
5.3 Sebaran Wilayah Erosi dan Sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu	70
VI. KESIMPULAN DAN SARAN.....	73
6.1 Kesimpulan.....	73
6.2 Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA.....	75

DAFTAR TABEL

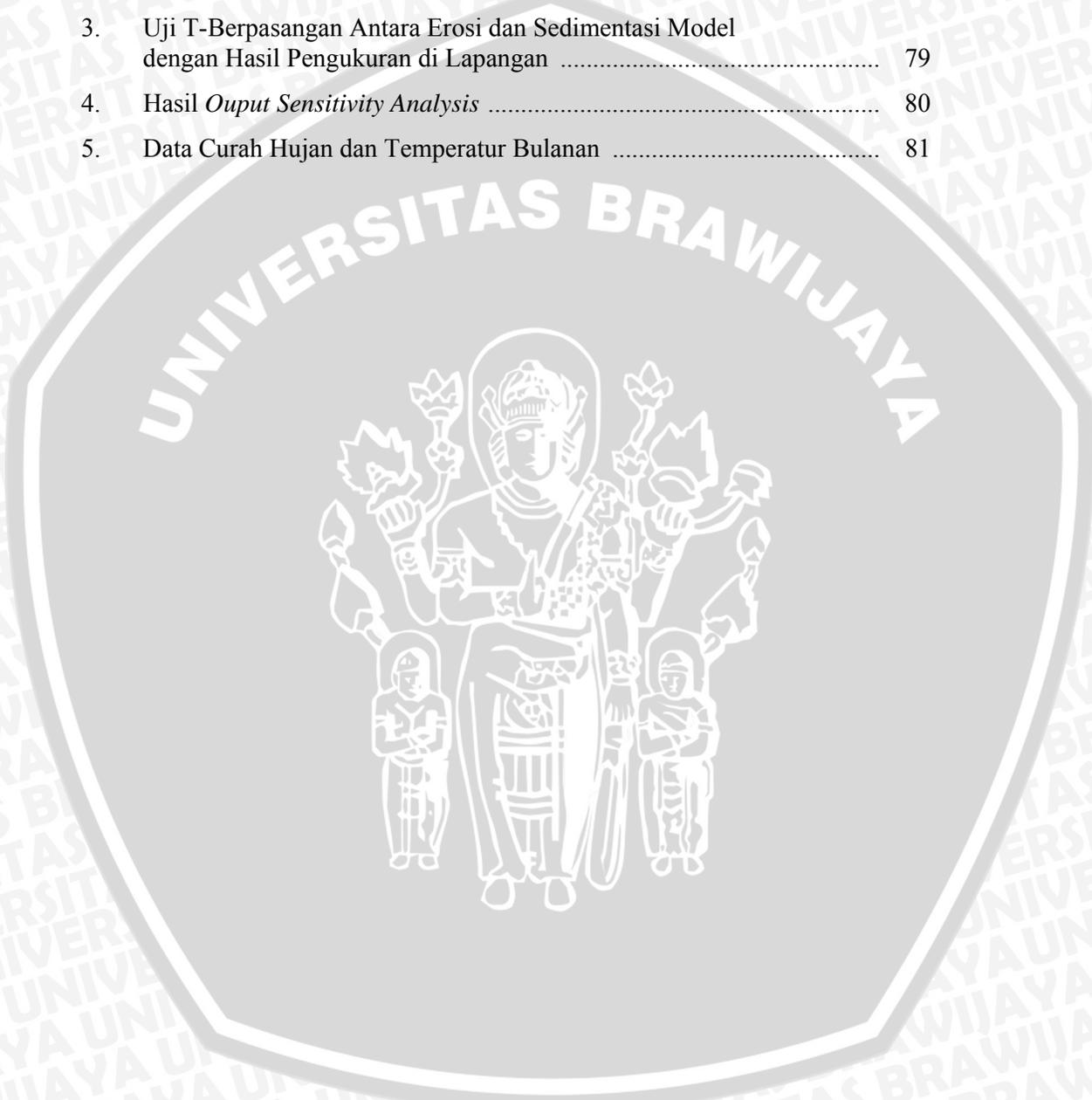
No	Teks	Hal
1.	Tabel 2.1 Klasifikasi Kemiringan Lahan.....	11
2.	Tabel 3.1 Alat	21
3.	Tabel 3.2 <i>Input</i> ArcSWAT	23
4.	Tabel 3.4 Data dalam <i>file</i> ArcSWAT	33
5.	Tabel 4.1 Perbandingan <i>Inflow</i> Terukur dan <i>Inflow</i> Model Bulanan Sebelum Verifikasi di Subbasin 40 Tahun 2012	50
6.	Tabel 4.2 Parameter <i>Input</i> pada Tahap Verifikasi <i>Inflow</i>	52
7.	Tabel 4.3 Perbandingan <i>Inflow</i> Terukur dengan <i>Inflow</i> Model Setelah Verifikasi di Sub-basin 40 Tahun 2012	53
8.	Tabel 4.4 Parameter <i>Input</i> pada Tahap Verifikasi Sedimen	54
9.	Tabel 4.5 Perbandingan sedimentasi sebelum verifikasi dan setelah verifikasi pada subbasin 40 tahun 2012	54
10.	Tabel 4.6 Hasil Uji T-Berpasangan <i>Inflow</i> Model dengan <i>Inflow</i> Terukur	56
11.	Tabel 4.7 Hasil Uji T-Berpasangan Erosi Model dengan Pengukuran di Lapangan	56
12.	Tabel 4.8 Hasil Pendugaan Erosi dan Sedimentasi pada Penggunaan Lahan Aktual	60
13.	Tabel 4.9 Hasil Pendugaan Erosi Berdasarkan Penggunaan Lahan Sesuai Kemampuan Lahan	65
14.	Tabel 4.10 Hasil Pendugaan Erosi Pada Penggunaan Lahan Sesuai Rencana Tata Ruang Wilayah	68
15.	Tabel 4.11 Sebaran Wilayah Erosi di Das Kali Konto Hulu	71

DAFTAR GAMBAR

No	Teks	Hal
1.	Gambar 1.1 Alur Pikir	4
2.	Gambar 2.1 Skema Siklus Hidrologi SWAT	13
3.	Gambar 3.1 Peta Lokasi DAS Kali Konto Hulu	20
3.	Gambar 3.2 Diagram Pembuatan Peta Satuan Unit Lahan	22
4.	Gambar 3.3 Pengolahan Data RBI	29
5.	Gambar 3.4 Diagram Alir Metode Penelitian.....	33
6.	Gambar 4.1 Peta Administrasi DAS Kali Konto Hulu	36
7.	Gambar 4.2 Peta Geologi DAS Kali Konto Hulu	37
8.	Gambar 4.3 Peta Elevasi DAS Kali Konto Hulu	40
9.	Gambar 4.4 Peta Kemiringan Lahan DAS Kali Konto Hulu	41
10.	Gambar 4.5 Peta Penggunaan Lahan DAS Kali Konto Hulu	43
11.	Gambar 4.6 Peta Jenis Tanah DAS Kali Konto Hulu	47
13.	Gambar 5.1 Peta Sub-basin hasil Simulasi ArcSWAT	48
12.	Gambar 5.2 Grafik Regresi <i>Inflow</i> Model dengan <i>Inflow</i> Terukur	54
13.	Gambar 5.3 Deskripsi Luasan Daerah Erosi dan Sedimentasi Pada Penggunaan Lahan Aktual DAS Kali Konto Hulu	58
14.	Gambar 5.4 Peta Sebaran Erosi dan Sedimentasi pada Penggunaan Lahan Aktul DAS Kali Konto Hulu	60
15.	Gambar 5.5 Erosi dan Sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu	61
16.	Gambar 5.6 Deskripsi Luasan Daerah Erosi dan Sedimentasi Pada Penggunaan Lahan Sesuai Kemampuan Lahan DAS Kali Konto Hulu	62
17.	Gambar 5.13 Peta penggunaan Lahan Sesuai Kemampuan Lahan DAS Kali Konto Hulu Deskripsi Luasan Daerah Erosi dan Sedimentasi Pada RTRW DAS Kali Konto Hulu	67
18.	Gambar 5.14 Deskripsi Luasan Daerah Erosi dan Sedimentasi Pada Penggunaan Lahan Sesuai RTRW DAS Kali Konto Hulu	69
19.	Gambar 5.15 Peta RTRW DAS Kali Konto Hulu	70
20.	Gambar 5.16 Peta Sebaran Erosi dan Sedimentasi pada Berbagai Penggunaan Lahan di DAS Kali Konto Hulu	70
21.	Gambar 5.17 Peta Sebaran Wilayah Erosi dan Sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu	73

DAFTAR LAMPIRAN

No	Teks	Hal
1.	Foto Penggunaan Lahan di Lokasi Penelitian	78
2.	Uji T-Berpasangan Antara <i>Inflow</i> Model dengan <i>Inflow</i> Terukur	79
3.	Uji T-Berpasangan Antara Erosi dan Sedimentasi Model dengan Hasil Pengukuran di Lapangan	79
4.	Hasil <i>Ouput Sensitivity Analysis</i>	80
5.	Data Curah Hujan dan Temperatur Bulanan	81



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

DAS merupakan 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 (Asdak, 2002). Daerah aliran sungai dapat dipandang sebagai sistem alami yang menjadi tempat berlangsungnya proses-proses biofisik hidrologis maupun kegiatan sosial, ekonomi dan budaya masyarakat yang kompleks.

Proses-proses biofisik hidrologis DAS merupakan proses alami sebagai bagian dari suatu daur hidrologi atau yang dikenal sebagai siklus air. Sedangkan kegiatan sosial, ekonomi dan budaya masyarakat merupakan bentuk intervensi manusia terhadap sistem alami DAS, seperti pengembangan lahan kawasan budidaya. Hal ini tidak lepas dari semakin meningkatnya pertumbuhan penduduk diiringi dengan meningkatnya tuntutan atas sumberdaya alam (air, tanah dan hutan) yang membawa akibat pada perubahan kondisi tata air DAS. Perubahan kondisi hidrologi DAS tidak hanya berdampak nyata secara biofisik berupa peningkatan luas lahan kritis dan penurunan daya dukung lahan, namun juga secara sosial ekonomi menyebabkan masyarakat menjadi semakin kehilangan kemampuan untuk berusaha di lahannya (Dirjen Rehabilitasi Lahan & Perhutanan, 2009). Sehubungan dengan hal tersebut, maka dalam menjaga kelestarian biofisik hidrologis DAS perlu adanya monitoring dan evaluasi kinerja DAS .

Berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Rehabilitasi Lahan Dan Perhutanan Sosial Tentang Pedoman Monitoring dan Evaluasi Daerah Aliran Sungai no: P.04/V-SET/2009, dalam mengelola DAS secara lestari maka diperlukan kegiatan monitoring dan evaluasi kinerja DAS yang ditekankan pada aspek tata air, penggunaan lahan, sosial, ekonomi dan kelembagaan. Program monitoring dan evaluasi kinerja DAS memerlukan perencanaan terpadu agar tujuan dan sasaran pengelolaan DAS tercapai, seperti; 1) erosi tanah terkendali, 2) hasil air optimal dan 3) produktivitas dan daya dukung lahan terjaga. Dengan demikian degradasi lahan dapat terkendali dan kesejahteraan masyarakat dapat terjamin.

DAS Kali Konto Hulu merupakan salah satu daerah hulu dari Sungai Brantas di Kabupaten Malang yang secara administratif terletak di Provinsi Jawa Timur. Kawasan DAS Kali Konto Hulu memiliki luasan sekitar 23.618,07 ha, termasuk dalam dua daerah Kecamatan yaitu Pujon dan Ngantang. Kecamatan Pujon merupakan bagian dari wilayah timur DAS Kali Konto Hulu. Luasan yang tergolong DAS Kali Konto Hulu di daerah Kecamatan Pujon adalah sekitar 12.505 ha. Sedangkan untuk wilayah barat DAS Kali Konto Hulu meliputi luasan 11.113,07 ha di Kecamatan Ngantang. Peningkatan kepadatan penduduk di DAS Konto disinyalir mendorong peningkatan aktivitas manusia dalam menggunakan lahan yang membawa akibat pada perubahan kondisi tata air DAS.

Perubahan kondisi hidrologi DAS sebagai dampak perluasan lahan kawasan budidaya yang tidak memperhatikan kaidah-kaidah konservasi tanah dan air, seringkali mengarah pada peningkatan erosi dan sedimentasi. Utomo (1994) mengemukakan bahwa peningkatan erosi dan sedimentasi mengakibatkan penurunan produktivitas lahan dan percepatan degradasi lahan. Sehingga pendugaan nilai erosi dan sedimentasi sangat diperlukan dalam menjaga kelestarian biofisik hidrologis di DAS Kali Konto Hulu.

Salah satu metode yang digunakan untuk menduga besarnya nilai erosi dan sedimentasi dalam skala lanskap yaitu melalui pendekatan model hidrologi. Bakhtiar & Hadihardaja (2010) melakukan penelitian tentang hubungan antara tingkat kekritisian umur waduk dengan inflow sedimen menggunakan *Model Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) versi 2005. Dari hasil verifikasi dan validasi terhadap data bulanan kinerja model dinilai cukup baik.

Model hidrologi *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) dikembangkan untuk identifikasi biofisik dalam memprediksi pengaruh pengelolaan lahan terhadap hasil air, erosi, sedimentasi, muatan pestisida dan kimia hasil pertanian. Dalam identifikasi biofisik hidrologis DAS tersebut membutuhkan suatu metode yang dapat diaplikasikan ke dalam model hidrologi SWAT, metode yang dimaksud adalah *Sistem Informasi Geografis* (SIG). Model hidrologi SWAT dalam SIG/ArcGIS berupa *tools* ArcSWAT. ArcSWAT merupakan *tools* simulasi dari model hidrologi SWAT (Neitsch *et al.*, 2004).

Aplikasi ArcSWAT merupakan salah satu bagian yang digunakan untuk menilai program monitoring dan evaluasi kinerja DAS dalam aspek erosi dan sedimentasi (tata air dan penggunaan lahan). Identifikasi berbagai komponen biofisik hidrologis merupakan kunci dalam program monitoring dan evaluasi (monev) kinerja DAS, yaitu dalam rangka tercapainya tujuan dan sasaran pengelolaan di DAS Kali Konto Hulu.

Pendugaan erosi dan sedimentasi menggunakan ArcSWAT sangat bermanfaat terutama dalam membantu memetakan wilayah penyebaran kelas erosi dan sedimentasi karena ditampilkan dalam bentuk data spatial (keruangan). Dengan kata lain ArcSWAT sangat efektif dan efisien dalam memberikan gambaran mengenai kondisi DAS sehingga diharapkan dapat membantu menentukan tindakan pengelolaan bagi kegiatan rehabilitasi lahan dalam upaya meningkatkan kelestarian biofisik hidrologis di DAS Kali Konto Hulu.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

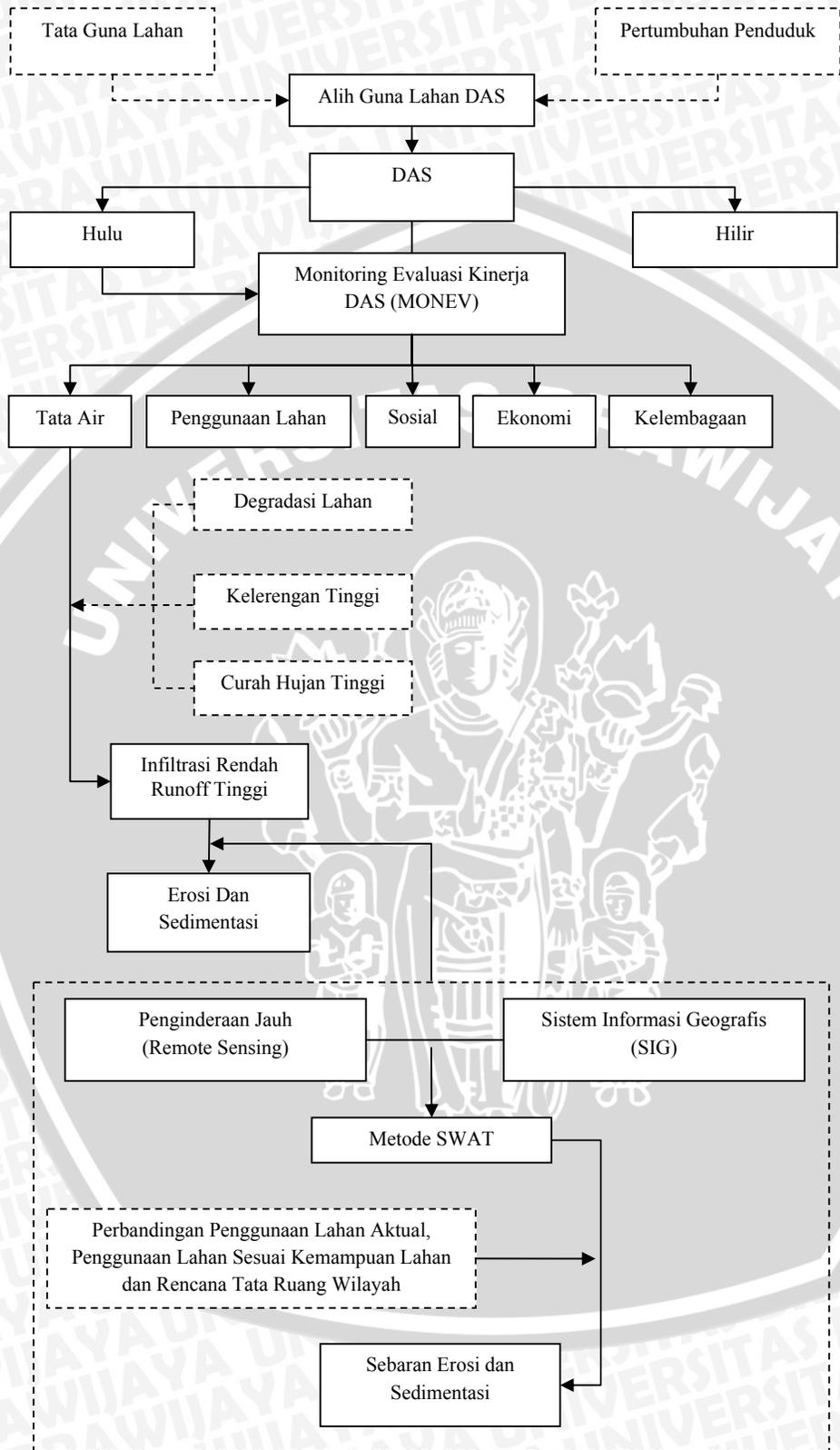
1. Menentukan besarnya erosi dan sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu,
2. Memetakan wilayah berdasarkan kelas erosi dan sedimentasi, serta
3. Mengetahui pengaruh perbedaan komposisi penggunaan lahan terhadap erosi dan sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu.

1.3 Hipotesis

1. Faktor kelerengan merupakan faktor yang paling sensitif dalam terjadinya proses erosi di DAS Kali Konto Hulu, dan
2. Perbedaan komposisi penggunaan lahan mempengaruhi besarnya erosi dan sedimentasi.

1.4 Manfaat

1. Memberikan informasi mengenai kondisi daerah yang berkaitan dengan perencanaan tata guna lahan pada komoditas pertanian yang berdayaguna tinggi untuk peningkatan ekonomi para petani.
2. Sebagai pertimbangan perencanaan lahan dalam menentukan tindakan pengelolaan selanjutnya, terutama bagi kegiatan rehabilitasi di DAS Kali Konto Hulu.



Gambar 1.1 Alur Pikir

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (*Watershed*) didefinisikan sebagai suatu wilayah daratan yang menerima air hujan, menampung dan mengalirkannya melalui satu sungai utama ke laut dan atau ke danau. Satu DAS, biasanya dipisahkan dari wilayah lain di sekitarnya oleh pemisah alam topografi seperti punggung bukit dan gunung. Suatu DAS terbagi lagi ke dalam sub DAS yang merupakan bagian DAS yang menerima air hujan dan mengalirkannya melalui anak sungai ke sungai utamanya (Dirjen Rehabilitasi Lahan & Perhutanan, 2009).

Asdak (2002) menyatakan pengertian DAS sebagai 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. Wilayah daratan tersebut dinamakan Daerah Tangkapan Air (DTA) atau *Water Catchment Area* yang merupakan suatu ekosistem dengan unsur utamanya terdiri atas sumberdaya alam tanah, air, vegetasi dan sumberdaya manusia sebagai pemanfaat sumberdaya alam.

DAS merupakan suatu wilayah tertentu yang bentuk dan sifat alamnya merupakan satu kesatuan ekosistem, termasuk di dalamnya hidrologi dengan sungai dan anak-anak sungainya yang berfungsi sebagai penerima, penampung dan penyimpan air yang berasal dari hujan dan sumber lainnya. Sungai atau aliran sungai sebagai komponen utama DAS didefinisikan sebagai suatu jumlah air yang mengalir sepanjang lintasan di darat menuju ke laut sehingga sungai merupakan suatu lintasan dimana air yang berasal dari hulu bergabung menuju ke satu arah yaitu hilir. Haslam (1992) mengemukakan bahwa sungai merupakan bagian dari siklus hidrologi yang terdiri dari beberapa proses yaitu evaporasi atau penguapan air, kondensasi dan presipitasi.

Dalam mempelajari ekosistem DAS, biasanya terbagi atas daerah hulu, tengah dan hilir. Secara biogeofisik Asdak (2002) membagi daerah hulu, hilir dan tengah berdasarkan hal-hal sebagai berikut;

- a. Daerah hulu dicirikan sebagai daerah konservasi, memiliki kerapatan drainase tinggi, kemiringan lereng besar ($> 15\%$), bukan merupakan daerah banjir,

- pemakaian air ditentukan oleh pola drainase dan jenis vegetasi umumnya merupakan tegakan hutan;
- b. Daerah hilir dicirikan sebagai daerah pemanfaatan, memiliki kerapatan drainase kecil, kemiringan lereng sangat kecil ($< 8\%$), di beberapa tempat merupakan daerah banjir (genangan), pemakaian air ditentukan oleh bangunan irigasi, jenis vegetasi didominasi oleh tanaman pertanian kecuali daerah estuaria yang didominasi oleh hutan bakau atau gambut; dan
 - c. Daerah tengah merupakan daerah transisi dari kedua karakteristik biogeofisik DAS yang berbeda antara hulu dan hilir.

Dalam pengelolaannya, DAS Kali Konto Hulu memerlukan konsep pengelolaan yang tidak hanya terbatas pada batasan wilayah pembangunan atau administrasi, melainkan berdasarkan pada batasan wilayah ekologi. Namun dalam kenyataannya, kegiatan pengelolaan DAS Kali Konto Hulu seringkali dibatasi oleh batasan-batasan politis atau administrasi (negara, provinsi, kabupaten) dan kurang dimanfaatkannya batas-batas ekosistem alamiah. Asdak (2002) menyatakan bahwa beberapa aktivitas pengelolaan DAS yang diselenggarakan di daerah hulu seperti kegiatan pengelolaan lahan yang mendorong terjadinya erosi, pada gilirannya akan menimbulkan dampak di daerah hilir (dalam bentuk pendangkalan sungai atau saluran irigasi karena pengendapan sedimen yang berasal dari erosi di daerah hulu). Peristiwa degradasi lingkungan seperti di atas jelas akan mengabaikan penetapan batas-batas politis sebagai batas pengelolaan sumberdaya alam.

2.2 Erosi dan Sedimentasi

Proses erosi bermula dengan terjadinya penghancuran agregat-agregat tanah sebagai akibat pukulan air hujan yang mempunyai energi lebih besar dari pada daya tahan tanah. Hancuran dari tanah ini akan menyumbat pori-pori tanah, maka kapasitas infiltrasi akan menurun dan mengakibatkan air mengalir di permukaan tanah yang disebut limpasan permukaan. Limpasan permukaan mempunyai energi untuk mengikis dan mengangkut partikel-partikel tanah yang telah dihancurkan. Selanjutnya jika tenaga limpasan permukaan tidak mampu lagi mengangkut bahan-bahan hancuran tersebut, maka bahan-bahan ini akan diendapkan (Utomo,1994).

Purwowidodo (1999) mengemukakan bahwa proses-proses utama dalam peristiwa erosi tanah oleh air dapat berupa pemecahan agregat tanah, pengangkutan dan pengendapan masa tanah hasil pemecahan. Di daerah iklim tropis, erosi tanah sebagian besar terjadi karena hujan dan besar kecilnya erosi tergantung pada faktor-faktor iklim, tanah, topografi, tanaman dan manusia.

a. Iklim

Iklim dapat mempengaruhi erosi oleh karena menentukan indeks erosifitas hujan. Selain itu, komponen iklim yaitu curah hujan dapat mempengaruhi laju erosifitas secara terus-menerus sesuai intensitas hujan yang terjadi.

b. Tanah

Tanah dengan sifat-sifatnya dapat menentukan besar kecilnya laju pengikisan (erosi) dan dinyatakan sebagai faktor erodibilitas tanah (kepekaan tanah terhadap erosi atau ketahanan tanah terhadap adanya erosi).

c. Topografi

Kemampuan tanah terbawa air erosi dipengaruhi oleh topografi suatu wilayah. Kondisi wilayah yang dapat menghanyutkan tanah cepat adalah wilayah yang memiliki kemiringan lereng yang cukup besar. Sedangkan pada wilayah yang landai akan kurang intensif laju erosifitasnya, karena lebih cenderung untuk terjadi penggenangan.

d. Tanaman penutup lahan

Tanaman penutup lahan (vegetasi) berperan untuk menjaga agar tanah lebih aman dari percikan-percikan yang terjadi akibat jatuhnya air hujan ke permukaan tanah. Selain melindungi dari tumpukan titik-titik hujan, vegetasi juga berfungsi untuk memperbaiki susunan tanah dengan bantuan akar-akar yang menyebar.

e. Manusia

Manusia dapat berperan sebagai penyebab cepatnya laju erosi maupun menekan laju erosi. Dalam proses mempercepat erosi, manusia banyak melakukan kesalahan dalam pengolahan lingkungan yang tidak memperhatikan kaidah-kaidah konservasi tanah dan air. Sedangkan dalam penanggulangan laju erosi, manusia dapat melakukan evaluasi konservasi lahan dengan cara reboisasi, pembuatan terasiring pada areal pertanian dan lain-lain.

Menurut Utomo (1994) erosi yang dapat ditoleransikan memiliki arti bahwa erosi dapat diabaikan sepanjang area lahan produktif. Nilai toleransi erosi dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya iklim, kedalaman tanah, kondisi substrata, permeabilitas lapisan tanah dangkal dan karakteristik pertumbuhan tanaman. Dampak dari erosi tanah dapat diklasifikasikan dalam dua kategori yaitu menurunnya produktifitas lahan seiring dengan kehilangan lapisan tanah bagian atas yang subur serta terjadinya sedimentasi di sungai yang menyebabkan kerusakan saluran dan berkurangnya kapasitas tampungan.

Arsyad (2010) menjelaskan bahwa sedimentasi merupakan proses terangkutnya atau terbawanya sedimen oleh suatu limpasan atau aliran air yang diendapkan pada suatu tempat yang kecepatan airnya melambat atau terhenti seperti pada saluran sungai, waduk, danau maupun kawasan tepi teluk/laut. Erosi berkaitan erat dengan sedimentasi, dimana sedimentasi merupakan hasil dari proses erosi yang mengendap di bagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, di saluran air, sungai dan waduk. Sedimentasi merupakan perpindahan dan pengendapan erosi tanah, khususnya sebagai hasil dari percepatan erosi lembar dan alur.

Wischmeier (1997) menyatakan bahwa berdasarkan mekanisme pergerakannya, sedimen dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu *suspended load* dimana partikel sedimen bergerak tersuspensi dalam aliran air dan *bed load* dimana partikel sedimen bergerak secara menggelinding dan melompat. Sedangkan menurut kondisi asalnya sedimen dapat dibagi menjadi dua macam yaitu *bed materials transport*, dimana material berasal dari saluran itu sendiri dan *wash load* dimana material tidak sama dengan sedimen *bed load* dan ditambah oleh material dari luar saluran.

2.3 Penggunaan Lahan

Selama ini pengertian lahan sering diartikan sama dengan istilah tanah, dalam kenyataannya lahan memiliki pengertian yang jauh lebih luas dibandingkan dengan tanah. Tanah merupakan benda alami yang heterogen dan dinamis, merupakan interaksi hasil kerja antara iklim dan jasad hidup terhadap suatu bahan induk yang dipengaruhi oleh relief dan waktu (Arsyad, 2010).

Aldrich (1987) mengemukakan lahan sebagai material dasar dari suatu lingkungan (situs) yang diartikan berkaitan dengan sejumlah karakteristik alami yaitu iklim, geologi, tanah, topografi, hidrologi dan biologi. Berdasarkan Hardjowigeno (1987) lahan adalah suatu lingkungan fisik yang meliputi tanah, iklim, relief, hidrologi dan vegetasi, dimana faktor-faktor tersebut mempengaruhi potensi penggunaannya, termasuk di dalamnya adalah akibat-akibat kegiatan manusia baik masa lalu maupun sekarang seperti reklamasi di daerah pantai, penebangan hutan dan akibat-akibat lain yang merugikan seperti erosi dan akumulasi garam.

Pengetahuan mengenai penggunaan dan penutupan lahan sangat dibutuhkan terutama dalam kegiatan perencanaan dan pengelolaan yang melibatkan sumberdaya alam. Istilah penutupan lahan (*land cover*) berkaitan erat dengan jenis kenampakan yang ada di permukaan bumi sedangkan penggunaan lahan (*land use*) lebih berkaitan erat dengan kegiatan manusia pada bidang lahan tertentu. Hal yang sama dikemukakan oleh Arsyad (2000) mengartikan penggunaan lahan sebagai setiap bentuk campur tangan manusia terhadap lahan dalam rangka memenuhi kebutuhan hidupnya.

Lo (1996) menjelaskan penutupan lahan sebagai konstruksi vegetasi dan buatan yang menutup permukaan lahan. Konstruksi tersebut seluruhnya tampak secara langsung dari citra penginderaan jauh. Terdapat tiga kelas yang tercakup dalam penutupan lahan yaitu; (1) struktur fisik yang dibangun oleh manusia, (2) fenomena biotik seperti vegetasi alami, tanaman pertanian dan kehidupan binatang dan (3) tipe pembangunan.

Berdasarkan standar klasifikasi penggunaan lahan UNFAO, kelas penggunaan lahan dibagi menjadi dua bagian besar yaitu daerah bervegetasi dan daerah tak bervegetasi. Semua kelas penggunaan lahan dalam kategori daerah bervegetasi diturunkan dari pendekatan konseptual struktur fisiognomi yang konsisten dari bentuk tumbuhan, bentuk tutupan, tinggi tumbuhan dan distribusi spasialnya. Sedangkan dalam kategori daerah tak bervegetasi, pendetailan kelas mengacu pada aspek permukaan tutupan, distribusi atau kepadatan dan ketinggian atau kedalaman objek. Interpretasi data spasial di daerah penelitian tidak sampai pada kategori penutupan lahan. Hasil interpretasi citra *google earth* 2012 hanya sebatas penggunaan lahan. Terdapat 9 penggunaan lahan di DAS Kali Konto Hulu yaitu; hutan, agroforestri multistrata, agroforestri, perkebunan, pemukiman, sawah, semak, tegalan dan waduk.

- a. Hutan merupakan kawasan yang ditumbuhi berbagai jenis vegetasi dengan tajuk yang saling menutup atau sekurang-kurangnya menutup 30% permukaan tanah.
- b. Agroforestri Multistrata merupakan system pertanian dengan tajuk bertingkat, terdiri dari tanaman bertajuk tinggi (seperti mangga, durian), sedang (seperti lamtoro, gamal, kopi) dan rendah (tanaman semusim, rumput) yang ditanam dalam satu kebun.
- c. Agroforestri merupakan penggunaan lahan dengan populasi pohon lebih dari 2 jenis. Pada penggunaan lahan ini biasanya juga dicampur dengan tanaman semusim seperti jagung, tanaman hortikultura, ataupun rumput gajah.
- d. Perkebunan merupakan penggunaan lahan dengan sistem monokultur yang berbasis pohon.
- e. Sawah merupakan area yang diusahakan untuk kegiatan pertanian tanah basah atau tanah kering.
- f. Tegalan merupakan area yang diusahakan untuk kegiatan pertanian dengan tanaman semusim sebagai tanaman utamanya.
- g. Pemukiman merupakan merupakan tempat penduduk tinggal atau bermukim. Penggunaan lahan ini berupa gedung perkantoran, rumah dan pabrik.
- h. Perairan merupakan area yang digenangi air secara permanen yang biasanya berupa waduk dan sungai.

2.4 Kemiringan Lahan

Topografi diartikan sebagai tinggi rendahnya permukaan bumi yang menyebabkan terjadi perbedaan lereng. Faktor lereng berpengaruh terhadap erosi yang terjadi, semakin besar persentase kemiringan pada suatu lereng akan memberikan daya erosivitas pada hujan yang semakin besar (Utomo, 1994). Berdasarkan Arsyad (2010) selain memperbesar jumlah aliran permukaan, makin curamnya lereng juga memperbesar kecepatan aliran permukaan, dengan demikian memperbesar energi angkut air.

Menurut Arsyad (2010) panjang lereng, bentuk dan arah lereng dapat mempengaruhi terjadinya erosi yang merupakan cikal bakal terjadinya lahan kritis. Panjang lereng dihitung mulai dari titik pangkal aliran permukaan sampai pada suatu titik dimana air masuk kedalam saluran atau sungai, atau kemiringan lereng yang berkurang sedemikian rupa sehingga kecepatan aliran air berubah. Kemiringan lahan sangat erat hubungannya dengan besarnya erosi. Semakin besar kemiringan lahan, peresapan air hujan ke dalam tanah menjadi lebih kecil sehingga limpasan permukaan dan erosi menjadi lebih besar. Klasifikasi kemiringan lahan menurut Pedoman Penyusunan Pola Rehabilitasi Lahan & Konservasi Tanah tahun 1986 disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Kemiringan Lahan

Kemiringan (%)	Klasifikasi
0 – 8	Datar
8 – 15	Landai
15 – 25	Agak Curam
25 – 45	Curam
> 45	Sangat Curam

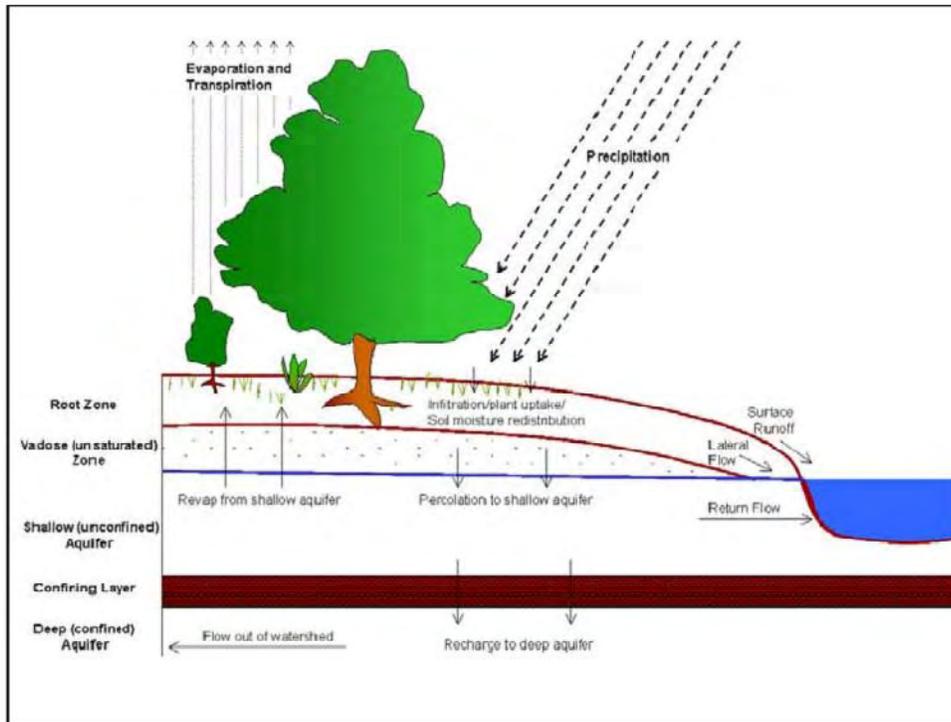
Sumber : Pedoman Penyusunan Pola Rehabilitasi Lahan & Konservasi Tanah, 1986

2.5 Model Hidrologi SWAT

Pendekatan model hidrologi umumnya bertujuan untuk mempelajari fungsi dan respon suatu DAS dari berbagai masukan. Model hidrologi merupakan salah satu pendekatan yang disimulasikan dalam kegiatan pengelolaan DAS yang diformulasikan dari masing-masing perubahan tata guna lahan. Contoh beberapa model hidrologi yang berkembang saat ini diantaranya adalah SWAT.

SWAT adalah singkatan dari *Soil and Water Assessment Tool*, merupakan suatu model analisis sungai atau DAS yang dikembangkan oleh Dr Jeff Arnold untuk USDA, Agricultural Research Service (ARS). SWAT dikembangkan untuk memprediksi dampak praktek pengelolaan lahan terhadap air, sedimen dan hasil kimia pertanian di daerah aliran sungai besar dengan tipe tanah bervariasi, penggunaan lahan dan manajemennya selama jangka waktu yang lama (Neitsch *et al.*, 2004).

Menurut Neitsch *et al.* (2005), model SWAT berbasis fisik dengan memasukkan persamaan regresi untuk menggambarkan hubungan antara variable *input* dan *output*. SWAT membutuhkan informasi spesifik tentang cuaca, sifat tanah, topografi, vegetasi dan praktek-praktek pengelolaan lahan yang terjadi di DAS. Proses secara fisik terkait dengan pergerakan air, transpor sedimen dan lainnya. SWAT dapat digunakan untuk studi proses yang lebih khusus seperti transportasi bakteri, sedimen, dan unsur hara. Simulasi untuk DAS yang sangat besar atau berbagai strategi pengelolaannya dapat dilakukan tanpa investasi waktu atau uang yang besar, serta memungkinkan pengguna untuk mempelajari dampak jangka panjang.



Gambar 2.1 Skema Siklus Hidrologi dalam SWAT (Neitsch *et al.*, 2004)

Siklus hidrologi yang disimulasikan dalam SWAT berdasarkan pada persamaan *water balance* :

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana :

- SW_t = Kandungan air tanah akhir pada hari ke-i (mm H₂O)
- SW₀ = Kandungan air tanah mula-mula pada hari ke-i (mm H₂O)
- T = Waktu (hari)
- R_{day} = Jumlah presipitasi pada hari ke- i (mm H₂O)
- Q_{surf} = Jumlah *surface runoff* pada hari ke-i (mm H₂O)
- E_a = Jumlah evapotranspirasi pada hari ke-i (mm H₂O)
- W_{seep} = Jumlah air yang masuk ke dalam *vadose zone* dari profil tanah pada hari ke-i (mm H₂O)
- Q_{gw} = Jumlah air yang kembali menjadi aliran pada hari ke-i (mm H₂O)

Struktur model SWAT didasarkan pada hipotesis bahwa laju aliran di setiap titik di dalam DAS memiliki hubungan fungsional dengan parameter-parameter hidrologi yang mengendalikannya seperti intensitas hujan, topografi, jenis tanah dan penggunaan lahan. Oleh sebab itu didalam permodelan SWAT, suatu DAS diekspresikan sebagai kumpulan dari setiap elemen bujur sangkar yang disebut *grid* yang diasumsikan homogen yang memiliki parameter hidrologi dan erosi yang sama, sehingga variabilitas ruang di dalam DAS dapat diperhitungkan (Beasley dan Huggins, 1991).

Edi dan Surya (2011) melakukan penelitian mengenai penggunaan model hidrologi SWAT dalam pengelolaan DAS Cisadane. Penelitian ini mensimulasikan proses-proses hidrologi yang terjadi pada sub DAS yang dikategorikan sebagai sub DAS yang berpotensi menyebabkan masalah tata air pada DAS Cisadane. Dari hasil penelitian model hidrologi SWAT dapat digunakan sebagai salah satu alternatif alat dalam perencanaan pengelolaan DAS. Penggunaan model hidrologi SWAT dalam perencanaan pengelolaan DAS dapat digunakan sebagai alat untuk memilih tindakan pengelolaan dalam mengendalikan permasalahan tata air.

Berdasarkan penelitian Bakhtiar dan Hadihardaja (2010) mengenai hubungan antara tingkat kekritisitas umur waduk dengan *inflow* sedimen menggunakan *Model Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) versi 2005, keandalan model SWAT sangat bergantung pada ketersediaan data dan penyesuaian beberapa parameter. Penelitian ini mensimulasikan proses-proses hidrologi yang terjadi di daerah tangkapan. Dari hasil verifikasi dan validasi terhadap data bulanan, kinerja model dinilai cukup baik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sedimen yield rata-rata sebesar 235,86 ton/ha/tahun, serta *inflow* sedimen rata-rata yang masuk ke waduk sebesar 5.102.000 ton per tahun yang ekuivalen dengan 3.836.090 m³ per tahun yang menghasilkan umur waduk sebesar 43,66 tahun (21,66 sisa umur waduk).

2.6 Pengertian Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis

2.6.1 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh adalah suatu cara pemantauan tentang sifat dan kondisi suatu obyek atau fenomena alam di permukaan bumi untuk mendapatkan informasi tentang obyek itu sendiri ataupun sekitarnya tanpa harus kontak langsung dengan obyek tersebut melalui suatu alat sensor (Kartasasmita, 2001).

Penginderaan jauh memiliki kemampuan dalam melakukan pemantauan untuk mendapatkan informasi. Informasi yang diperoleh adalah merupakan kenampakan suatu obyek yang dapat dilihat melalui foto udara atau citra satelit. Informasi-informasi tersebut diantaranya bentuk topografi (mencakup pola bentuk wilayah dan aspek lereng), pola drainase (yang mempunyai hubungan erat dengan tipe batuan dan berbagai proses tektonik di permukaan bumi dan sifat erosi yang terjadi), kenampakan proses dinamik (seperti keadaan erosi, longsor dan proses dinamik lainnya) tipe bentuk lahan dan distribusinya, pola distribusi dan penutupan lahan atau vegetasi, pola penggunaan lahan dan distribusinya. Informasi-informasi tersebut diperoleh karena masing-masing obyek mempunyai kekhasan dalam memantulkan, menyerap, meneruskan atau memancarkan energi gelombang elektromagnetik yang datang padanya sehingga energi pantulan atau pancaran yang diterima oleh sensor dapat dipergunakan sebagai ciri pengenalan obyek, daerah atau fenomena yang dikaji (Lillesand & Kiefer, 1990).

Berdasarkan penelitian Puguh (2010) mengenai analisa hidrologi permukaan dalam hubungannya dengan debit Banjir DAS Lukulo Hulu, penggunaan data-data penginderaan jauh sangat baik digunakan dalam aplikasi di bidang hidrologi permukaan yaitu dengan mengkaitkan karakteristik lahan permukaan dengan proses hidrologi permukaan yang berlangsung. Aplikasi penginderaan jauh dalam bidang hidrologi ditujukan untuk mendeteksi, mengidentifikasi dan memetakan pada permukaan bumi, dibawah permukaan, dan untuk menduga melalui proses kerja.

Penggunaan data penginderaan jauh semakin populer dalam berbagai aplikasinya. Ada enam alasan yang dikemukakan oleh Sutanto (*dalam* Pratondo, 2001) mengapa penginderaan jauh semakin populer yaitu;

- a. Citra menggambarkan obyek dan daerah yang mirip wujudnya dengan yang ada di permukaan bumi
- b. Dari jenis citra tertentu dapat ditimbulkan gambaran tiga dimensi
- c. Karakteristik obyek yang tampak oleh mata dapat diwujudkan dalam bentuk citra
- d. Citra dapat dibuat secara cepat meskipun untuk daerah yang sulit dijelajahi secara terestrial
- e. Citra merupakan satu-satunya cara untuk pemetaan daerah bencana
- f. Citra sering dibuat dengan periode ulang yang pendek sehingga memungkinkan untuk pemantauan suatu daerah.

2.6.2 Citra Google Earth

Google Earth adalah suatu perangkat lunak digunakan untuk melihat permukaan bumi menggunakan citra beresolusi spasial tinggi. *Google Earth* banyak dimanfaatkan untuk kepentingan dalam bidang pemetaan, penyajian informasi pada saat perencanaan, sosial ekonomi dan pariwisata. Di bidang pemetaan, fitur-fitur *Google Earth* mampu melakukan pengukuran jarak, luas, digitasi *on screen*, *import data text* koordinat dan keperluan pemetaan lainnya.

Pembuatan peta dasar dengan memanfaatkan citra dari *Google Earth* merupakan suatu kemajuan teknologi dalam penyediaan peta dibandingkan dengan pembuatan cara konvensional yaitu terestrial dan fotogrametri. Citra *Google Earth* memiliki keterbatasan diantaranya tidak ada informasi metadata mengenai perolehan citra yang digunakan dan tidak diketahui berapa besar akurasi citra yang diberikan (Anonymous, 2012).

2.6.3 Sistem Informasi Geografi

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan suatu sistem yang mampu mengumpulkan, menyimpan, mentransformasikan (mengedit, memanipulasi, menyetarakan format, dan lain sebagainya) (Kartasmita, 2001). Definisi lain yang dikemukakan oleh Jaya (2002) menjelaskan SIG sebagai sebuah sistem yang berbasis komputer, terdiri dari perangkat keras berupa komputer (*hardware*), perangkat lunak (*software*), data geografis dan sumber daya manusia (*brainware*), yang mampu merekam, menyimpan, memperbaharui, menganalisis dan menampilkan informasi yang berreferensi geografis. Widjoyo (*dalam Bagja*, 2000) menyatakan SIG sebagai suatu sistem yang mampu mendeskripsikan

obyek-obyek di permukaan bumi dalam tiga hal yaitu; data spasial yang berkaitan dengan koordinat geografi (contoh: lintang, bujur, ketinggian), data atribut yang tidak berkaitan dengan koordinat geografi (contoh; iklim, jenis tanah), serta hubungan data spasial, data atribut dan waktu.

Aplikasi SIG diberbagai bidang sampai saat ini semakin jauh berkembang. Prahasta (2002) menjelaskan beberapa hal yang menjadi alasan bahwa konsep dan aplikasi SIG sangat menarik untuk digunakan dalam berbagai bidang ilmu yaitu SIG sangat efektif, dapat digunakan sebagai alat bantu, mampu menguraikan unsur-unsur yang terdapat di permukaan bumi ke dalam bentuk beberapa *layer* atau *coverage* data spasial, memiliki kemampuan yang sangat baik dalam memvisualisasikan data spasial dan bentuk atribut-atributnya serta dapat menurunkan data-data secara otomatis tanpa keharusan untuk melakukan interpretasi secara manual.

SIG dapat diterapkan dalam berbagai bidang ilmu diantaranya yaitu dalam bidang perencanaan (perencanaan pemukiman, transmigrasi, perencanaan tata ruang wilayah, perencanaan kota), bidang kependudukan atau demografi, bidang lingkungan dan pemantauannya (pencemaran sungai, evaluasi pengendapan lumpur atau sedimen baik di sekitar danau), bidang sumberdaya alam (inventarisasi manajemen dan kesesuaian lahan untuk pertanian, perkebunan, kehutanan, perencanaan, tata guna lahan, analisis daerah rawan bencana alam) dan lain sebagainya.

2.6.4 Keterkaitan Sistem Informasi Geografis dengan Penginderaan Jauh

Howard (1996) menyatakan keterkaitan SIG dan penginderaan jauh adalah sebagai informasi yang diturunkan dari analisis citra penginderaan jauh dilakukan untuk diintegrasikan dengan data yang disimpan dalam bank data SIG. Biasanya masukkan dari data penginderaan jauh (datarekaman) pada sistem SIG harus dilengkapi dengan intervensi manusia pada analisisnya.

Dalam klasifikasi dan ketepatan letak, analisis data penginderaan jauh lebih kasar dibandingkan klasifikasi yang dibutuhkan oleh para pengguna SIG. Hal ini disebabkan ukuran piksel dari data penginderaan jauh lebih kasar dari yang dibutuhkan di dalam sistem informasi geografis. Meskipun pengenalan pola dengan komputer memenuhi persyaratan beberapa kategori tematik, masalah dasar

untuk sistem integrasi otomatis terletak pada perbedaan-perbedaan yang ada antara konteks spasial citra yang diperlukan interpretasi visual. Sehingga dapat disimpulkan, bahwa dalam perkembangan integrasi penginderaan jauh dan SIG adalah estimasi bahwa aliran data memiliki arah (dari sistem analisis penginderaan jauh ke sistem informasi geografis) yang sama. Hambatan utama terhadap pendekatan ini adalah biaya untuk membuat basis data digital SIG, tetapi hal tersebut dapat ditekan dengan cara peningkatan dan perbaikan tersedianya perangkat keras dan perangkat lunak serta peta-peta digital yang telah tersedia dalam bentuk digital.

Dari hasil penginderaan jauh dapat diketahui kenampakan bumi, dapat dilakukan klasifikasi sesuai dengan data yang sebenarnya kemudian dirubah dalam format SIG menjadi vektor dan diintegrasikan dengan data-data vektor lainnya hasil digitasi dari informasi-informasi geografis lainnya. Arini (2005) melakukan penelitian mengenai aplikasi SIG dan penginderaan jauh untuk model hidrologi ANSWER dalam memprediksi erosi dan sedimentasi di das Cisadane. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa aplikasi SIG dan inderaja dapat dikombinasikan ke dalam model hidrologi dan sangat membantu dalam kegiatan perolehan data spasial dan atribut.

2.7 Analisis Penginderaan Jauh untuk Hidrologi

Menurut Gunawan (1992) interpretasi hidrologi pada teknik penginderaan jauh diarahkan untuk menduga hubungan/interaksi kenampakan bentang lahan (*landscape features*) dengan proses-proses hidrologi. Penggunaan citra penginderaan jauh untuk pemetaan hidrologi permukaan cukup didekati dengan mendasarkan pada elemen-elemen lahan dan karakteristik citra.

Berdasarkan penelitian Raharjo (2005) penggunaan data penginderaan jauh dan pemodelan dengan menggunakan SIG (sistem Informasi Geografis) dapat digunakan untuk prediksi tingkat erosi suatu wilayah sehingga dapat digunakan dalam pengelolaan DAS. Analisis tingkat bahaya erosi dilakukan dengan cara memperkirakan (memprediksi) laju erosi tanah pada satuan-satuan lahan. Sedangkan untuk menghitung laju erosi tanah digunakan pendekatan persamaan *Universal Soil Loss Equation* (USLE) yang dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith (1978).

2.8 Sistem Informasi Geografi untuk Hidrologi

Aplikasi SIG diharapkan akan sangat bermanfaat untuk diterapkan dalam model hidrologi ArcSWAT terutama untuk membantu dalam memperoleh masukan atau *input* data serta dapat memetakan penyebaran kelas erosi dan sedimentasi. Dengan kata lain teknologi SIG akan sangat efektif dan efisien dalam membantu memberikan gambaran mengenai kondisi DAS sehingga diharapkan dapat membantu dalam menentukan tindakan pengelolaan bagi kegiatan rehabilitasi lahan.

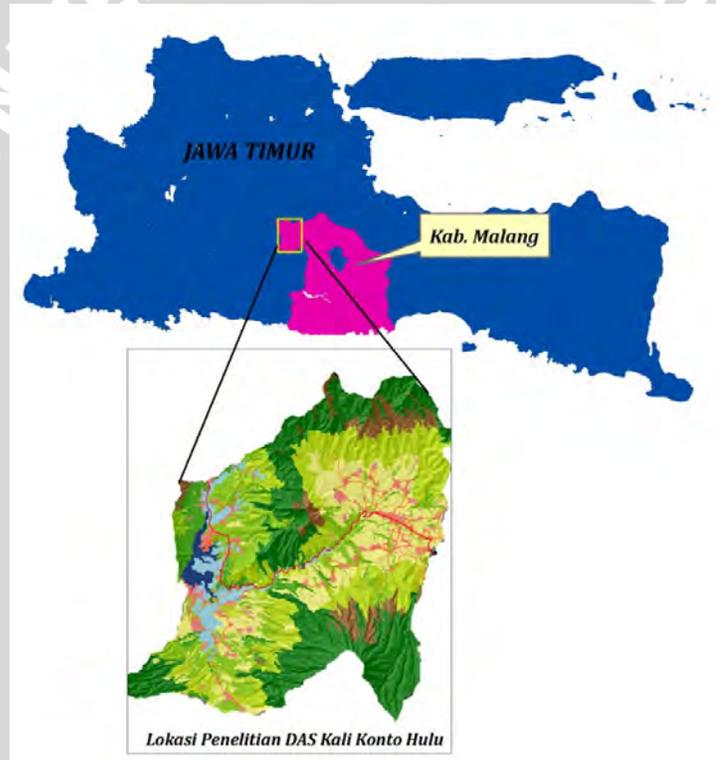
Berdasarkan penelitian Sukrisno (2007) mengenai pemanfaatan sistem informasi geografi dalam aplikasi model hidrologi untuk memprediksi debit (Q) dan debit puncak, dengan aplikasi SIG parameter-parameter *input* data pendukung model untuk memprediksi data hidrologi (Q dan q_p) DAS dapat dilakukan dengan mudah. Informasi hasil olahan SIG dapat dimanfaatkan untuk mendukung kegiatan-kegiatan pengelolaan DAS, khususnya untuk mengevaluasi kondisi tingkat kekritisitas DAS/sub-DAS dan kondisi tingkat daerah resapan air.



III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah Kecamatan Ngantang dan Kecamatan Pujon Kabupaten Malang. Penyiapan peta, pengolahan data dan analisis spasial dilaksanakan di Laboratorium Pedologi dan Sistem Informasi Sumberdaya Lahan (PSISDL) Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya Malang. Analisis sampel tanah dilaksanakan di Laboratorium Fisika Tanah. Penelitian di lapangan pengambilan sampel tanah dan sampel erosi dilaksanakan pada bulan September 2012 sampai bulan Januari 2013. Lokasi daerah penelitian disajikan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Lokasi DAS Kali Konto Hulu

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah beberapa alat untuk kegiatan survei di lapangan dan alat untuk pengolahan data, baik data spasial maupun data non-spasial. Jenis alat yang digunakan dan penggunaannya disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Alat

Alat	Kegiatan
ArcGis 9	Pengolahan data spasial
ArcSWAT	Simulasi erosi dan sedimentasi
GPS Garmin	Survey dalam mencari titik pengamatan
Global Mapper 11	Georeferensi citra
Google Earth	Pengunduhan citra
Map Source	Pemindahan data survei lapangan
Microsoft Excel	Pengolahan data atribut
Survey Set	Deskripsi tanah di lapangan
Stich Map	Pengunduhan/scaning citra
Ring Sampel	Pengambilan sampel tanah
<i>Rainfall Simulator</i>	Pengukuran erosi di lapangan

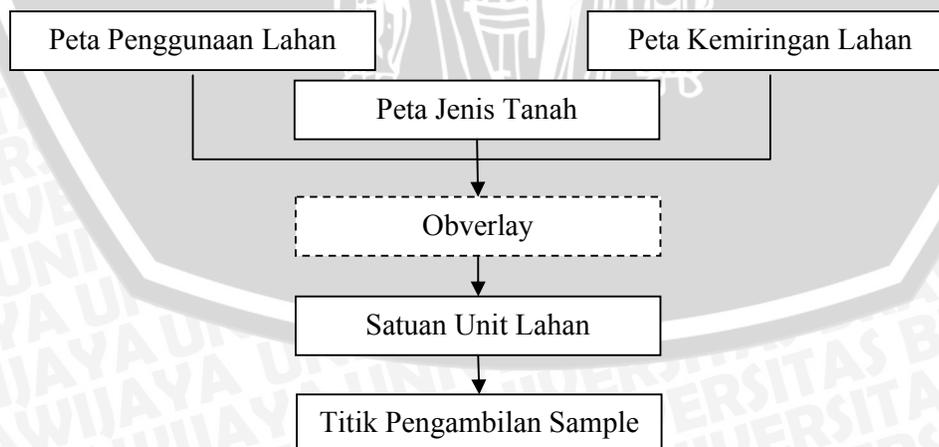
3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra *Google Earth* Tahun 2010 yang digunakan untuk mendapatkan peta penggunaan lahan. Peta Rencana Tata Ruang & Wilayah dan Peta Penggunaan Lahan Sesuai Kemampuan Lahan digunakan sebagai pembanding dengan penggunaan lahan aktual. Peta Topografi tahun 2009 indeks 12,5 meter digunakan dalam pembuatan DEM. Peta jenis tanah, data curah hujan, data suhu dari 5 stasiun penakar hujan dan data iklim dari 3 stasiun klimatologi.

3.3 Metode Penelitian

Secara umum metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah melakukan analisis terhadap faktor hidrologi di DAS Kali Konto Hulu melalui pendekatan model hidrologi SWAT dengan menggunakan aplikasi ArcSWAT untuk mengetahui sebaran erosi dan sedimentasi. Pengaruh penggunaan lahan terhadap hasil erosi dan sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu dilakukan dengan simulasi perubahan komposisi penggunaan lahan yaitu penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan dan penggunaan lahan sesuai RTRW. Klasifikasi wilayah kelas erosi dilakukan dengan mengelaskan nilai erosi dan sedimentasi berdasarkan metode Tingkat Erosi Finney dan Morgan (Finney & Morgan, 1984 dalam Prawijiwuri, 2011) yang dibagi kedalam 5 kelas yaitu; kelas sangat ringan (< 15 ton/ha/thn), kelas ringan (15-60 ton/ha/thn), kelas sedang (60-180 ton/ha/thn), kelas berat (180-480 ton/ha/thn) dan kelas sangat berat (>480 ton/ha/thn). Sebaran wilayah erosi dan sedimentasi dilakukan dengan *obverlay* peta erosi hasil model SWAT dengan peta administrasi DAS Kali Konto Hulu.

Satuan unit lahan dijadikan sebagai titik pengambilan sampel erosi di lapangan yang digunakan untuk validasi hasil erosi terukur dengan erosi hasil model SWAT. Satuan unit lahan diperoleh berdasarkan hasil *obverlay* peta jenis tanah, kemiringan lahan dan penggunaan lahan. Nilai sedimentasi dalam hal ini adalah sama dengan erosi. Diagram pembuatan satuan unit lahan disajikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Pembuatan Satuan Unit Lahan

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi; 1) persiapan, 2) pengolahan data atribut, 3) pengolahan basis data, dan 4) pembangunan model hidrologi SWAT. Diagram alir tahapan penelitian disajikan pada Gambar 3.4.

3.4.1 Persiapan

Tahap persiapan berupa pengumpulan data-data yang berkaitan dengan penelitian. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer (observasi) dan sekunder. Data-data tersebut terdiri dari dua jenis data yaitu data atribut dan data spasial.

- a. Data atribut, yaitu data dalam bentuk tulisan ataupun angka-angka, diantaranya adalah data iklim. Data iklim yang merupakan masukan dalam ArcSWAT adalah curah hujan, temperatur udara maksimum dan minimum harian (0C), radiasi sinar matahari harian (MJ/m²/hari) dan kecepatan angin. Data pendukung diantaranya parameter penggunaan lahan, data parameter jenis tanah, data parameter karakteristik saluran atau sungai dan data *inflow* harian waduk Selorejo (m³/dtk).
- b. Data spasial merupakan data yang bersifat keruangan atau diperoleh dari pengolahan peta-peta tematik dan penginderaan jauh. Data spasial yang diperlukan diantaranya peta batas DAS Kali Konto Hulu, peta jenis tanah, peta DEM, peta arah aliran, peta ketinggian tempat atau elevasi dan peta penggunaan lahan. Jenis dan fungsi data spasial *input* ArcSWAT disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 *Input* ArcSWAT

No	Data	Jenis Data	Fungsi
1.	Kontur.Resolusi 12,5 m DAS Kali Konto Hulu Proyeksi : UTM/WGS84 Zona 49 S	Shapefile	<i>Input</i> dalam proses deleniasi DAS Kalikonto (dalam bentuk DEM)
2.	Peta Jenis Tanah DAS Kali Konto Hulu Proyeksi : UTM/WGS84 Zona 49 S	Raster	<i>Input</i> dalam proses HRU
3.	Peta Penggunaan Lahan DAS Kali Konto Hulu Proyeksi : UTM/WGS84 Zona 49 S	Raster	<i>Input</i> dalam proses HRU
4.	Peta DEM DAS Kali Konto Hulu Proyeksi : UTM/WGS84 Zona 49 S	Raster	<i>Input</i> dalam proses HRU
5.	Data Iklim 5 Stasiun Klimatologi	Text	<i>Input</i> dalam proses WGN

3.4.2 Pengolahan Data Atribut

Pengolahan data atribut masukan aplikasi ArcSWAT terdiri dari data iklim, penggunaan lahan, jenis tanah dan karakteristik saluran atau sungai. Data atribut diatur dan diolah berdasarkan format masukan data dalam ArcSWAT.

3.4.2.1 Data Iklim

Data iklim yang merupakan masukan dalam ArcSWAT adalah curah hujan, temperatur udara maksimum harian rerata bulanan (TMPX) dan temperatur udara minimum harian rerata bulanan (TMPMN), simpangan baku suhu udara maksimum dan minimum bulanan (TMPSTDMX dan TMPSTDMN), radiasi sinar matahari harian (SOLARAV), kecepatan angin harian rerata bulanan WNDAY), data-data tersebut dikumpulkan dalam *file* WGN. Data yang digunakan berasal dari pengukuran stasiun BMKG Karang Ploso, Tretes, Selorejo dan harus diketahui letak koordinat dan elevasi.

Input data hujan dalam *file* WGN antara lain; rata-rata presipitasi bulanan (PCPMM), *standart deviasi* presipitasi bulanan (PCPSTD), kepencengan presipitasi bulanan (PCPSKW), probabilitas hari basah terhadap hari kering (PR_W1), probabilitas hari basah terhadap hari basah (PR_W2), rata-rata jumlah hari hujan bulanan (PCPD) dan curah hujan maksimum (RAINHHMX).

Selain data iklim pada penelitian ini juga menggunakan data curah hujan harian, temperatur udara maksimum dan minimum harian dari 5 stasiun penakar hujan yaitu; Pos Hujan Selorejo, Pujon, Kedungrejo, Punten dan Ngaglik. Data ini dikumpulkan dalam *file* PCP dan TMP.

3.4.2.2 Data Penggunaan Lahan

Jenis penggunaan lahan diperoleh dari hasil klasifikasi citra *google earth* tahun 2010. Jenis penggunaan lahan di DAS Kali Konto Hulu terbagi ke dalam sembilan kelas meliputi; hutan, agroforestri multistrata, agroforestri, perkebunan, pertanian lahan kering (tegalan), sawah, semak/belukar, pemukiman dan waduk. Sedangkan untuk nilai parameter masing-masing penggunaan lahan diperoleh dari data sekunder buku manual ArcSWAT. Parameter penggunaan lahan terdiri dari Tampilan Intersepsi Potensial (PIT), Persen Penutupan Permukaan Tanah (PER), Kekasaran Permukaan (N, RC, HU) dan Faktor Pengelolaan Tanaman (C).

3.4.2.3 Data Jenis Tanah

Data jenis tanah DAS Kali Konto Hulu diperoleh dari survei Tanah dan Keadaan Tanah DAS Kali Konto Hulu tahun 1984 dan beberapa pembaharuan berdasarkan survey di lapangan. Masukan data tanah terdiri dari simbol, nama atau nomor jenis tanah, sedangkan masukan untuk parameter tanah yang diamati sebagian besar adalah sifat fisik tanah. Data parameter tanah yang dibutuhkan untuk *input* aplikasi ArcSWAT terdiri dari grup hidrologi (HYDGRP), kedalaman efektif (SOL_ZMX), kedalaman tiap horizon tanah (SOL_Z), berat isi tanah (SOL_BD), *Available water capacity* (SOL_AWC), permeabilitas (SOL_K), C-organik (SOL_CBN) presentase liat (CLAY), presentase debu (SILT), presentase pasir (SAND), fraksi batuan (ROCK), albedo tanah (SOL_ALB) dan erodibilitas tanah (USLE_K). Semua parameter tersebut diisi pada tiap horizon/lapisan tanah.

Perhitungan nilai K_{usle} , Wischmeier *et al.* (1978) mengembangkan persamaan matematis yang menghubungkan karakteristik tanah dengan tingkat erodibilitas tanah sebagai berikut :

$$K_{usle} = \frac{0.00021.M^{1.14}(12-OM)+3.25.(C_{soilstr}-2)+2.5.(C_{perm}-3)}{100} \dots\dots\dots (3-1)$$

Dimana K_{usle} adalah faktor erodibilitas tanah, M adalah presentase ukuran partikel (% debu + pasir halus) × (100 - % liat), OM merupakan presentase unsur organik, $C_{soilstr}$ adalah kode klasifikasi struktur tanah dan C_{perm} adalah permeabilitas tanah. Perhitungan nilai M dan OM dirumuskan sebagai berikut :

$$M = (m_{silt} + m_{vfs}).(100 - m_c) \dots\dots\dots (3-2)$$

$$OM = 1.72.orgC \dots\dots\dots (3-3)$$

Dimana m_{silt} merupakan presentase debu, m_{vfs} adalah presentase pasir sangat halus, m_c adalah presentase liat dan $orgC$ merupakan presentase carbon organik.

3.4.2.4 Karakteristik Saluran atau Sungai

Karakteristik sungai terdiri dari jumlah sungai atau saluran, lebar masing-masing saluran dan koefisien kekasaran saluran. Jumlah sungai atau saluran diketahui dari peta sungai, sedangkan lebar sungai dan nilai koefisien sungai diperoleh dari hasil pengamatan di lapangan. Angka kekasaran *Manning* di anak sungai dimasukkan melalui *menu interface* “*Write Subbasin General Data (sub)*” pada *toolbar input*, sedangkan kekasaran *Manning* di sungai utama dimasukkan melalui menu “*Write Main Channel Data (rte)*”.

Tabel 3.3 Karakteristik saluran terbuka untuk menentukan nilai kekasaran manning berdasarkan Chow (1959).

No	Karakteristik Saluran	Nilai Kekasaran Manning	
		Rata-rata	Range
1	Sudah dikeruk atau digali		
	a) Terpelihara, lurus dan seragam	0.025	0.016-0.023
	b) Terpelihara, berkelok dan tidak seragam	0.035	0.023-0.05
	c) Tidak terpelihara dan banyak tanaman liar	0.075	0.04-0.14
2	a) Sedikit tanaman dan berbatu	0.05	0.025-0.065
	b) Banyak pohon dan berbatu	0.1	0.05-0.15

Sumber : Neitsch *et al.*, 2005

3.4.3 Pengolahan Basis Data

Pembangunan basis data merupakan suatu proses untuk memperoleh data masukan model ArcSWAT. Hasil keluaran dari pembangunan basis data adalah peta dalam bentuk raster. Data raster merupakan data dimana semua obyek disajikan pada kolom dan baris dalam bentuk sel-sel atau yang sering disebut dengan piksel. Masing-masing sel mewakili suatu areal yang berbentuk bujur sangkar, memiliki koordinat dan informasi (atribut keruangan dan waktu). Informasi inilah yang nantinya digunakan menjadi *input* atau masukan data untuk model ArcSWAT. Tahap pembangunan basis data terdiri dari 3 kegiatan yaitu pembuatan peta penggunaan lahan, pembuatan DEM dan kemiringan lahan serta pembuatan peta jenis tanah.

3.4.3.1 Pengolahan Data Citra Google Earth

Pengolahan citra merupakan suatu cara untuk memperoleh data mengenai penggunaan lahan melalui digitasi yang dilakukan dengan menggunakan *software* ArcGis 9. Penggunaan lahan (*land use*) merupakan suatu upaya untuk menyajikan informasi tentang pola penggunaan lahan atau tutupan lahan di suatu wilayah secara spasial.

Penggunaan lahan di DAS Kali Konto Hulu diperoleh dari peengolahan citra *google earth* 2012. Proses pengolahan citra *google earth* untuk memperoleh peta penggunaan lahan adalah; a) pengunduhan citra, b) *Georeferensi*, c) pemotongan citra, d) pengecekan lapangan, e) digitasi dan f) akurasi.

a. Pengunduhan Citra

Pengunduhan Citra *Google earth* 2012 menjadi *image* menggunakan *software* Stitch Maps.

b. *Georeferensi*

Georeferensi merupakan proses menentukan sistem koordinat dan proyeksi ke dalam suatu peta raster (*image*) dengan menggunakan *software* Global Mapper 11. Proyeksi yang digunakan adalah sistem koordinat *Universal Transverse Mercator* (UTM) 1984 Zona 49 S.

c. Pemotongan Citra (*Subset Image*)

Subset image atau pemotongan citra lokasi penelitian dilakukan setelah citra terkoreksi secara benar. Pemotongan citra bertujuan untuk mempermudah dalam melakukan kegiatan analisis pada citra yang akan diklasifikasi. Pemotongan citra dilakukan dengan cara membatasi citra dengan luasan wilayah penelitian dalam hal ini adalah peta batas DAS Kali Konto Hulu.

d. Pengecekan Lapangan (*Ground Truth*)

Ground truth atau pengambilan titik di lapangan merupakan suatu kegiatan yang dilakukan untuk membantu dalam proses pengklasifikasian serta untuk meningkatkan kualitas dan ketelitian hasil penafsiran citra (akurasi). Pengambilan titik di lapangan dilakukan dengan menggunakan alat bantu berupa *Global Positioning System* (GPS), pengambilan titik di lapangan dilakukan sebanyak mungkin dan menyebar merata serta mampu mewakili dari setiap kelas penutupan lahan yang akan dibuat.

e. Digitasi

Tahap awal dalam proses digitasi adalah pengenalan pola-pola spektral yang ditampilkan oleh citra dengan berpedoman pada titik hasil *ground truth* di lapangan. Digitasi merupakan kombinasi antara interpretasi digital dan visual, pengetahuan mengenai kondisi fisik lapangan akan sangat membantu dalam melakukan interpretasi secara tepat dengan tingkat akurasi tinggi.

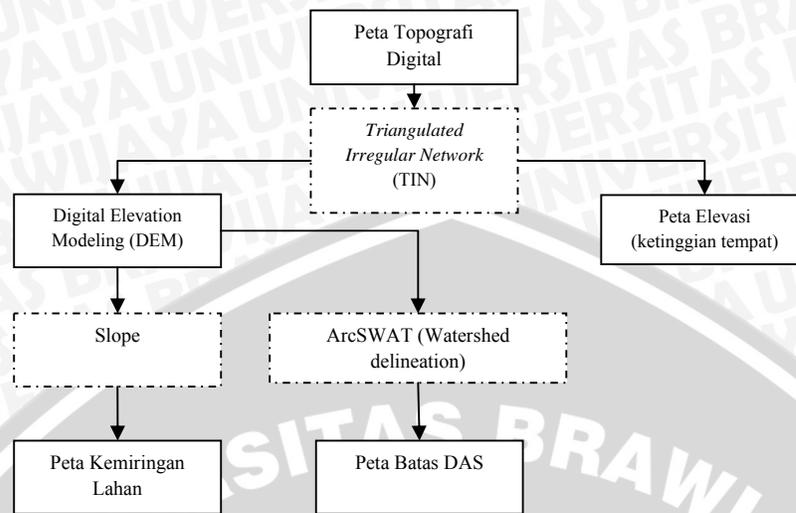
f. Akurasi

Akurasi adalah suatu cara untuk mengevaluasi tingkat keakurasian hasil klasifikasi yang telah dilakukan dengan kondisi aktual di lapangan. Penilaian tingkat akurasi dilakukan dengan cara membandingkan data yang diperoleh dari hasil pengecekan di lapangan (*ground truth*) dengan hasil klasifikasi yang diperoleh.

3.4.3.2 Pengolahan Data Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI)

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data kontur pada peta RBI yang berfungsi untuk mengetahui keadaan topografi pada wilayah penelitian. Kontur dari peta RBI diperbaiki terlebih dahulu dari kerusakan data ketinggian yang tidak sesuai dengan interval kontur (12,5 m) pada peta RBI sebelum dimanfaatkan untuk pembuatan peta-peta turunan yang menunjang penelitian. Data kontur dari peta RBI digunakan untuk pembuatan data TIN (*Triangulated Irregular Network*).

TIN merupakan model data topologi berbasis vektor yang digunakan untuk mempresentasikan bentuk permukaan bumi. TIN mempresentasikan bentuk permukaan bumi yang diperoleh dari titik-titik contoh yang tersebar secara tidak teratur dan *feature break line* serta membentuk jaringan segitiga tidak beraturan yang saling berhubungan. Masing-masing segitiga terdiri dari 3 vertex yang mempunyai koordinat lokasi X, Y dan elevasi (Z). Data TIN digunakan untuk pembuatan DEM (*digital elevation model*) dan peta elevasi. DEM berfungsi untuk pembuatan peta kelerengan pada lokasi penelitian serta berfungsi untuk operasi-operasi hidrologi dalam analisis spasial ArcSWAT seperti arah aliran dan batas DAS Kali Konto Hulu. Diagram pengolahan data RBI disajikan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Pengolahan Data RBI

3.4.3.3 Pengolahan Data Iklim

Pada tahap ini data iklim yang diperoleh dari stasiun Klimatologi Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) diolah sehingga menjadi data-data tabular yang memiliki koordinat dan ketinggian pada setiap stasiun klimatologi. Data iklim yang merupakan masukan dalam ArcSWAT adalah curah hujan, temperatur udara maksimum dan minimum harian (OC), radiasi sinar matahari harian (MJ/m²/hari), kelembaban udara harian (%) dan kecepatan angin harian. Data iklim dimasukkan koordinat-koordinat tiap stasiun yang ada pada lokasi penelitian menjadi point sebagai *input* ArcSWAT.

3.4.4 Pembangunan Model Hidrologi pada Aplikasi ArcSWAT

Analisis hidrologi DAS Kali Konto Hulu dilakukan dengan bantuan ArcSWAT. Respon hidrologi yang dianalisis adalah *inflow* waduk Selorejo, erosi dan sedimen di DAS Kali Konto Hulu. Pada analisis hidrologi ini disediakan data sebagai *input* dalam model ArcSWAT adalah data iklim, data tanah, data penggunaan lahan dan data hidrologi.

a) Deliniasi Areal Penelitian

Deliniasi areal penelitian merupakan langkah awal dalam menjalankan ArcSWAT. Deliniasi daerah penelitian dilakukan dengan menggunakan data DEM. Dalam ArcSWAT, daerah penelitian termasuk jaringan hidrologi dapat

didelineasi otomatis. Pada tahap ini DAS akan dibagi menjadi beberapa sub-basin dan ditentukan juga ukuran threshold dalam km². Selain itu, ditentukan juga posisi outlet sungai sebagai akhir dari aliran sungai.

Untuk melakukan deliniasi dibutuhkan peta batas sub DAS Kali Konto Hulu dan DEM ukuran 12,5 m x 12,5 m. Sebelum melakukan kegiatan *watershed delineation* pada ArcSWAT semua peta harus pada satuan yang sama seperti UTM dan *watershed delineation* harus telah di plugin ke program ArcSWAT. *Output* dari tahap ini adalah bentuk aliran sungai menuju *outlet* dan batas dari beberapa sub-basin. Sub-basin terbentuk dari batas-batas yang dipengaruhi oleh bentuk topografi pada wilayah tersebut.

b) Pembentukan *Hidrologi Respons Unit* (HRU)

HRU merupakan unit analisis hidrologi yang mempunyai karakteristik tanah dan penggunaan lahan yang spesifik, sehingga dapat dipisahkan antara satu HRU dengan lainnya. HRU diperoleh melalui overlay peta kemiringan lahan, peta tanah dan peta penggunaan lahan yang ketiganya telah di *reprojected*.

HRU yang terbentuk oleh model dengan menggunakan *metode threshold by percentage*, untuk penggunaan lahan, jenis tanah serta kemiringan lereng menggunakan *threshold 0 %*. HRU yang diperoleh dari model SWAT adalah 3491 unit dengan 73 sub-bassin.

c) Pembangkit Data Iklim

Data WGN dibangun oleh data curah hujan, temperatur, kecepatan angin, radisasi matahari dalam kurun waktu 5 tahun (2008-2012). Data iklim digunakan untuk membangun *generator* cuaca. WGN berfungsi untuk mengisi kekosongan data curah hujan yang digunakan pada masing-masing penakar hujan.

d) Simulasi

Proses simulasi dijalankan setelah proses penggabungan HRU dengan data iklim selesai dilakukan. Simulasi hidrologi dijalankan berdasarkan periode harian. Siklus hidrologi yang disimulasikan dalam SWAT berdasarkan persamaan *water balance* yang disajikan pada persamaan 2-1.

Persamaan yang digunakan di dalam SWAT untuk memprediksi aliran permukaan adalah metode SCS *Curve Number*.

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \dots\dots\dots (3-4)$$

Dimana Q_{surf} adalah jumlah aliran permukaan pada hari I (mm). R_{day} adalah jumlah curah hujan pada hari ke I (mm). I_a adalah kehilangan akibat resapan permukaan, intersepsi dan infiltrasi (mm) dan S adalah parameter retensi (mm).

Parameter retensi dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \dots\dots\dots (3-5)$$

$$I_a = 0,2 S \dots\dots\dots (3-6)$$

Dimana CN *curve number* (bilangan kurva), *Curve Number* (CN) diturunkan dari analisis spasial dimana peta tanah dikonversi menjadi *Hydrology Soil Group* dan dioverlay dengan peta penutupan lahan masing-masing tahun. CN digunakan untuk memprediksi nilai *runoff* atau infiltrasi dan I_a adalah 0.2 S (berdasarkan hasil penelitian), sehingga persamaan perhitungan aliran menjadi :

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0,2S)^2}{(R_{day} + 0,8S)} \dots\dots\dots (3-7)$$

Aliran bawah tanah atau base flow (Q_{gw}) dihitung dari persamaan :

$$Q_{gw} = \frac{8000 \cdot K_{sat}}{L^2_{gw}} \times h_{wtbl} \dots\dots\dots (3-8)$$

Dimana K_{sat} adalah *hydraulic conductivity* (mm/hari), L^2_{gw} adalah jarak sub DAS ke saluran utama (m) dan h_{wtbl} adalah tinggi muka air tanah (m).

Perhitungan debit puncak limpasan menggunakan modifikasi metode rasional dengan persamaan sebagai berikut :

$$q_{peak} = \frac{C \cdot I \cdot Area}{3,6} \dots\dots\dots (3-9)$$

Dimana q_{peak} adalah debit puncak limpasan (m^3/dtk), I adalah intensitas hujan (mm/jam), Area adalah luas Sub DAS (km^2), C adalah koefisien aliran dan 3,6 adalah faktor konversi.

Perhitungan erosi dan sedimentasi dalam SWAT adalah sebagai berikut :

$$sed = 11,8 \cdot (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot Area_{hru})^{0,56} \cdot K_{usle} \cdot C_{usle} \cdot P_{usle} \cdot LS_{usle} \cdot CRFG \dots\dots (3-10)$$

Dimana Q_{surf} adalah jumlah aliran permukaan pada hari I (mm), q_{peak} adalah debit puncak limpasan (m^3/dtk), $Area_{hru}$ adalah luas area *hru*, K_{usle} adalah faktor erodibilitas, C_{usle} adalah factor vegetasi, P_{usle} adalah faktor konservasi

tanah, LS_{usle} adalah factor topografi dan CFRG adalah faktor pecahan batuan kasar.

e) Visualisasi hasil

Pada tahap ini, visualisasi hasil yang diinginkan dapat dilihat. Misalnya dengan memilih parameter *output* debit aliran bulanan atau sedimentasi bulanan/tahunan.

f) Verifikasi dan validasi

Verifikasi dan validasi bertujuan agar *input* dari model yang digunakan hasilnya mendekati *input* dari DAS yang sebenarnya. Verifikasi dilakukan dengan cara merubah beberapa nilai parameter sensitif yang berpengaruh terhadap nilai *inflow* dan sedimen hasil simulasi.

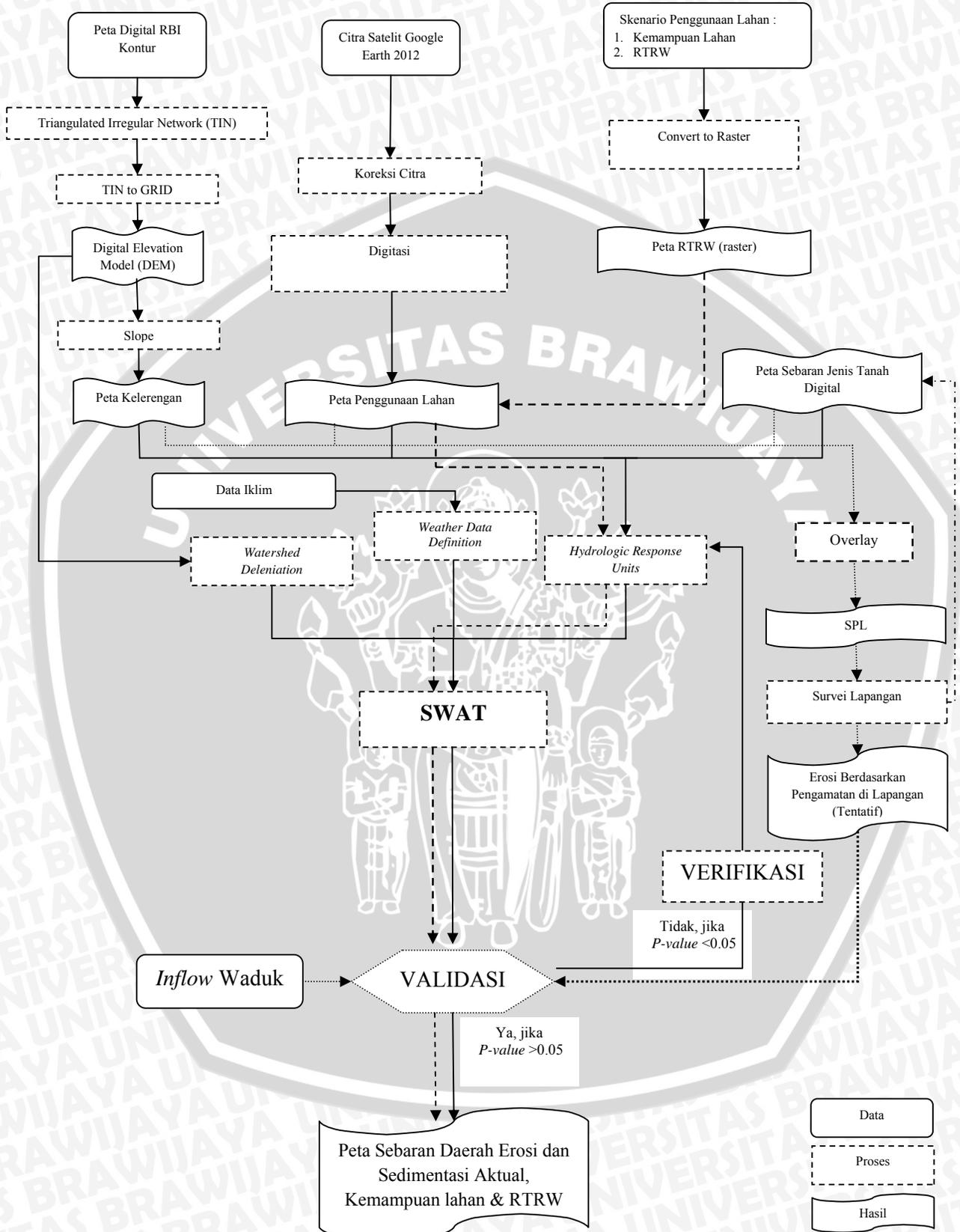
Rentang nilai parameter-parameter yang digunakan pada proses verifikasi adalah rentang nilai parameter-parameter pada proses validasi yang nilai *P-value* lebih besar dari 0.05

Output ArcSWAT terangkum dalam *file-file output* yang terdiri dari *file* HRU, SUB dan RCH. *File* SUB informasi pada masing-masing Sub DAS, HRU berisikan informasi pada masing-masing HRU sedangkan RCH berisikan informasi pada masing-masing sungai utama dalam Sub DAS. Informasi pada masing-masing sungai utama di dalam RCH adalah jumlah aliran yang masuk ke sungai (*FLOW_IN*) dan aliran keluar (*FLOW_OUT*).

Tabel 3.4 Data dalam *file* ArcSWAT

Nama File	Fungsi
SUB	Mengontrol keragaman parameter di tingkat Sub DAS
HRU	Mengontrol keragaman parameter di tingkat HRU
RTE	<i>File</i> pergerakan air, sedimen, hara dan pestisida
CROP	<i>File</i> parameter tumbuh tanaman
URBAN	<i>File</i> data terbangun atau urban area
PCP	<i>File</i> data curah hujan harian
TMP	<i>File</i> temperature udara maksimum dan minimum harian
SLR	<i>File</i> radiasi matahari harian
HMD	<i>File</i> kelembaban udara harian
WGN	<i>File</i> data generator iklim
SOL	<i>File</i> data tanah
MGT	<i>File</i> scenario pengelolaan dan penutupan lahan

Sumber : Neitsch et. al.,2004



Gambar 3.4 Diagram Alir Metode Penelitian

IV. KONDISI UMUM WILAYAH

DAS Kali Konto Hulu merupakan salah satu daerah hulu dari Sungai Brantas di Kabupaten Malang yang secara administratif terletak di Provinsi Jawa Timur. Secara geografis, wilayah penelitian terletak pada posisi 645789 mT-665101 mT dan 9141292 mU – 9121226 mU. Kawasan DAS Kali Konto Hulu memiliki luasan sekitar $\pm 23.618,07$ ha, termasuk dalam dua daerah Kecamatan Pujon dan Ngantang. Kecamatan Pujon merupakan bagian dari wilayah timur DAS Kali Konto Hulu dengan luasan sekitar ± 12.505 ha. Wilayah barat DAS Kali Konto Hulu meliputi luasan $\pm 11.113,07$ ha di Kecamatan Ngantang. Kondisi perhubungan umumnya sudah memadai dengan adanya jalan raya yang menghubungkan Kabupaten Malang dengan Kabupaten Jombang. Sarana jalan desa sudah dilakukan pengaspalan dan beberapa desa jalannya berupa beton yang cukup lebar yang dapat dilalui kendaraan beroda empat. Peta administrasi daerah penelitian disajikan pada Gambar 4.1.

4.1 Geologi

Secara umum geologi yang membentuk wilayah DAS Kali Konto hulu adalah vulkanik, namun secara spesifik terdapat beberapa keragaman (Gambar 4.2), misalnya terdapat bahan dominan yang terkandung di dalam batuan induknya, atau dapat juga berupa jenis bahan piroklastis tertentu dari hasil letusan (Team-Nuffic Unibraw, 1984).

Sebaran bahan induk yang terluas di kawasan DAS Kali Konto Hulu adalah Qpat (11.978,5 ha) dan Qpkb (7.880,65 ha), yaitu batuan gunung api Anjasmoro Tua dan endapan gunung api Butak. Keduanya memiliki kondisi yang berbeda meski sama-sama merupakan bahan induk vulkanik. Batuan gunung api Anjasmara Tua (Qpat), tersusun atas bahan breksi gunung api, tuf breksi, tuf dan lava. Satuan ini diduga sebagai alas dari batuan gunung api Kuartar Bawah dan diperkirakan berumur Plistosen Awal-Tengah. Hal itu berdasarkan adanya singkapan dari batuan gunung api Anjasmara Tua yang tertindih tak selaras langsung oleh batuan gunung api Arjuna-Welirang yang berumur Plistosen Akhir. Batuan gunung api ini tertindih oleh batuan gunung api Anjasmara Muda dan batuan gunung api Panderman.

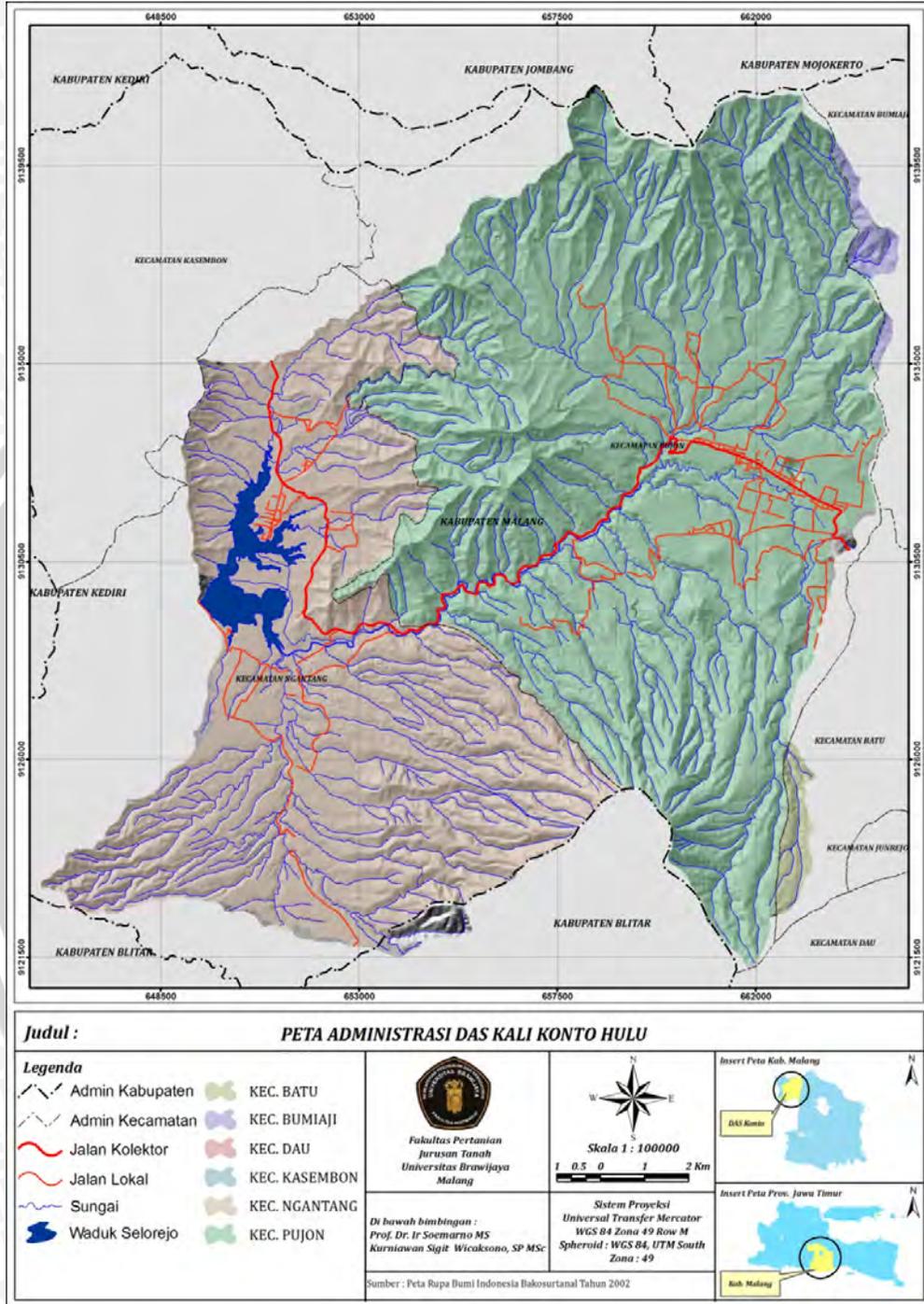
Batuan gunung api Kawi-Butak (Qpkb), satuan ini termasuk dalam batuan gunung api kuartar tengah yang tersusun atas bahan breksi gunung api, tuf lava, aglomerat dan lahar. Batuan gunung api ini diperkirakan berumur Plistosen Akhir bagian awal, tertindih oleh batuan gunung api Kuartar yang lebih muda dan tuf Malang.

Batuan gunung api Kelud Muda (Qvk) diduga berumur Plistosen Akhir-Holosen-Resen, dan masih giat sampai sekarang. Batuan gunung api ini menindih tak selaras semua batuan yang berumur lebih tua dan tersebar di sekitar G. Kelud dan terus menerus ke arah selatan pada Lembar Blitar. Batuan gunung api Kelud Muda tersusun atas lava, breksi tuf, aglomerat, tuf dan lahar.

Batuan gunung api Kelud Tua (Qpvk), satuan ini termasuk dalam batuan gunung api kuartar tengah yang tersusun atas bahan lava, breksi gunung api, tuf breksi, tuf dan lahar. Batuan gunung api Kelud Tua diduga menindih batuan dasar dari Lava Pegat atau Anggota Breksi Formasi Wuni, dan batuan gunung api Anjasmara Tua. Batuan gunung api Kelud ini diperkirakan berumur Plistosen Akhir dan tertindih oleh batuan gunung api Kelud Muda dan batuan gunung api Parasit Muda.

Batuan gunung api Anjasmara Muda (Qpva), dengan luasan 1.829,60 ha merupakan batuan gunung api kuartar bawah yang tersusun atas bahan breksi gunung api, tuf breksi, lava, tuf dan aglomerat. Lava yang menyusun merupakan sisipan melidah dalam breksi dengan tebal beberapa meter. Batuan gunung api ini diperkirakan berumur Plistosen Tengah, berdasarkan kedudukan stratigrafinya yang tertindih oleh batuan gunung api Kuartar Tengah.

Batuan gunung api Parasit Tua (Qpvp) diduga berumur agak lebih muda atau setara dengan batuan gunung api Kelud Tua, dan muncul pada lereng G. Kawi-Butak, di beberapa tempat, yaitu G. Kelet (± 1.477 m), G. Canggih (± 1.193 m) dan G. Pehmangun (± 1.243 m) juga pada lereng utara G. Kelud. Penyusun dari batuan gunung api ini adalah bahan breksi, tuf dan lava andesit. Informasi satuan geologi di DAS Kali Konto Hulu diperoleh dari peta geologi lembar Malang (Santoso dan Suwarti, 1992). Peta Geologi DAS Kali Konto Hulu disajikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Peta Administrasi DAS Kali Konto Hulu

4.2 Bentuk Lahan

Bentuk lahan pada daerah penelitian dipengaruhi oleh hasil aktifitas vulkanik gunung Anjasmara, Gunung Kawi dan Gunung Kelud. Menurut Sudarto *et al.* (2004) ada beberapa jenis bentuk lahan (*landforms*) pada daerah penelitian. Bentuk lahan yang terdapat di DAS Kali Konto Hulu meliputi perbukitan, pegunungan, dataran dan lembah alluvial atau lahar. Sebagian besar wilayah DAS Kali Konto Hulu memiliki *landforms* berbukit (11.554 ha atau 48.75 % luas wilayah) dan bergunung (4631 ha atau 19.54 %). *Landforms* dataran (termasuk yang tertoreh) seluas 6227 ha atau 26.27 %, sisanya 955 ha atau 4 % berupa lembah alluvial dan atau lahar.

- a. Bentuk lahan Aluvial meliputi lembah-lembah aluvial yang umumnya sempit dan lembah-lembah koluviial berbentuk-U atau cekung dan tanpa teras. Lembah-lembah lahar kering juga termasuk dalam bentang lahan DAS Kali Konto Hulu.
- b. Dataran intervulkanik dan plato (dataran tinggi). DAS Kali Konto Hulu terdapat dua dataran koluviial intervulkanik utama yaitu; (1) dataran Pujon, yang merupakan dataran yang melandai dan agak cekung, antara G. Kawi dan G. Anjasmoro dan (2) dataran Ngantang, antara G. Kawi, G. Kelud dan gugusan Anjasmoro. Dataran ini tidak berhubungan dan dipisahkan satu dengan lainnya oleh lereng-lereng yang rendah dari G. Kawi dan kaki bukit pegunungan Anjasmoro, dengan jurang sempit yang tertoreh dengan dalam dari sungai Kali Konto diantaranya.

Pada dataran Pujon dibedakan dua macam dataran berdasarkan elevasinya, yaitu; (1) dataran yang tinggi dan (2) dataran-sedang. Sistem sungai Kali Konto memotong dataran ke dalam beberapa plato yang lebih kecil dan terisolir. Proses erosi mengarah ke hulu. Lembah-lembah erosi yang lebih kecil ditemukan pada dataran Ngantang.

- c. Bentuk lahan berbukit. Sebagian besar daerah aliran sungai ini mempunyai bentuk lahan berbukit (kira-kira 50%). Ditemukan diantara dataran intervulkanik dan daerah bergunung. Berbukit-bukit menyembul sekitar 200-500 meter di atas dataran intervulkanik dengan batas atas sekitar 1400 dpl.

Kebanyakan daerah berbukit adalah denudasional. Meskipun demikian kaki bukit koluvial, kaki lereng dan kerucut vulkanik tunggal yang kecil juga termasuk. Kebanyakan daerah bukit, merupakan hutan buatan atau alami, atau mempunyai vegetasi semak kirinyu, sedang lahan-lahan yang agak landai umumnya digunakan sebagai tanah tegalan.

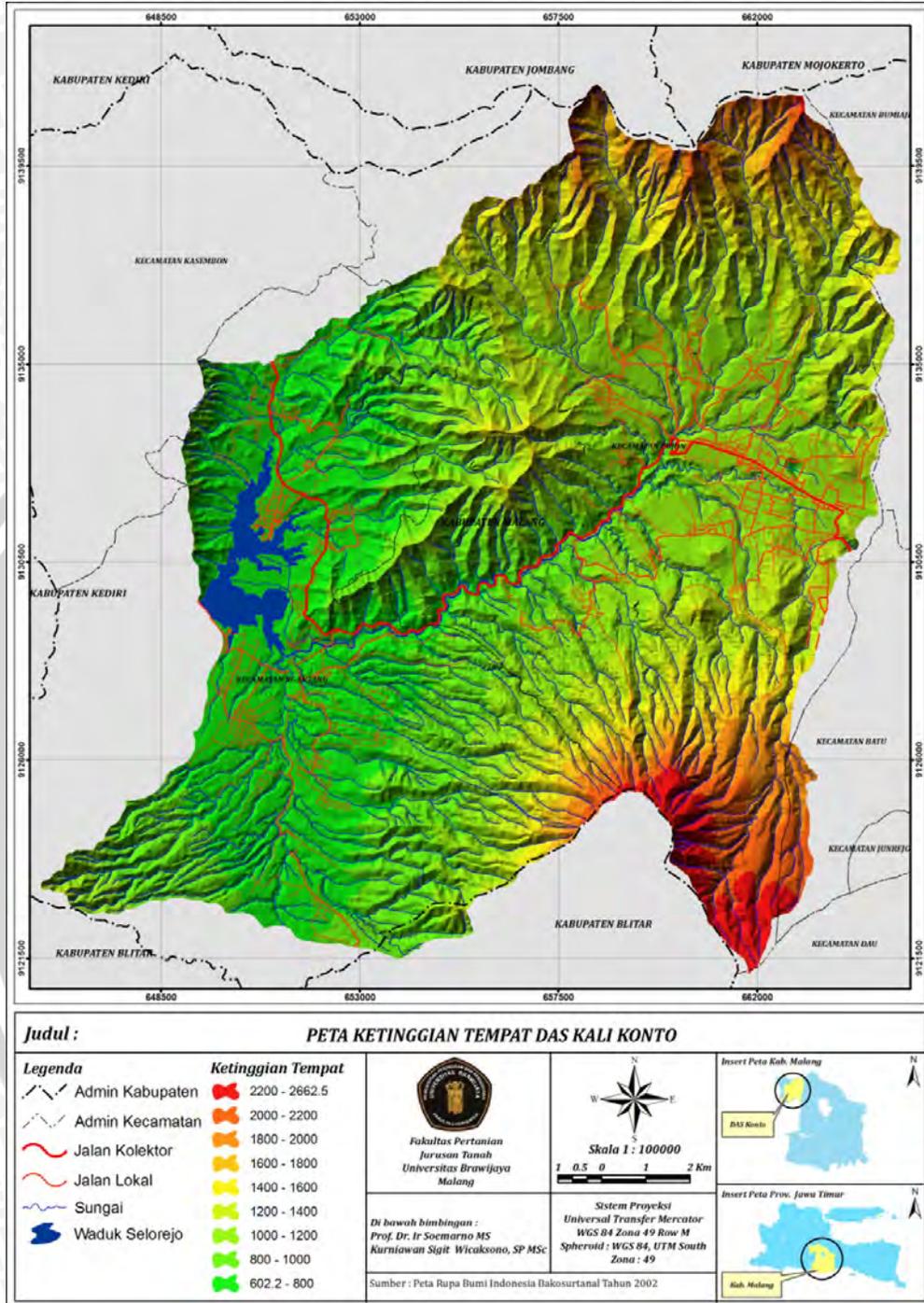
- d. Bentuk lahan bergunung. Lereng bagian atas dan lereng bagian tengah yang curam dari G. Kawi dan G. Kelud, serta puncak-puncak tertinggi dari pegunungan Anjasmoro merupakan bentuk lahan bergunung. Semua lahan di atas 1400–1500 m atau sekitar 20% di daerah aliran adalah bergunung. Sebagian besar tanah sangat tertoreh dengan jurang dalam berbentuk-V. Beberapa satuan bentuk lahan dapat dikenali; spurs, punggung, plato, lereng gunung yang terjal dan bekas-bekas longsoran tanah.

4.3 Elevasi

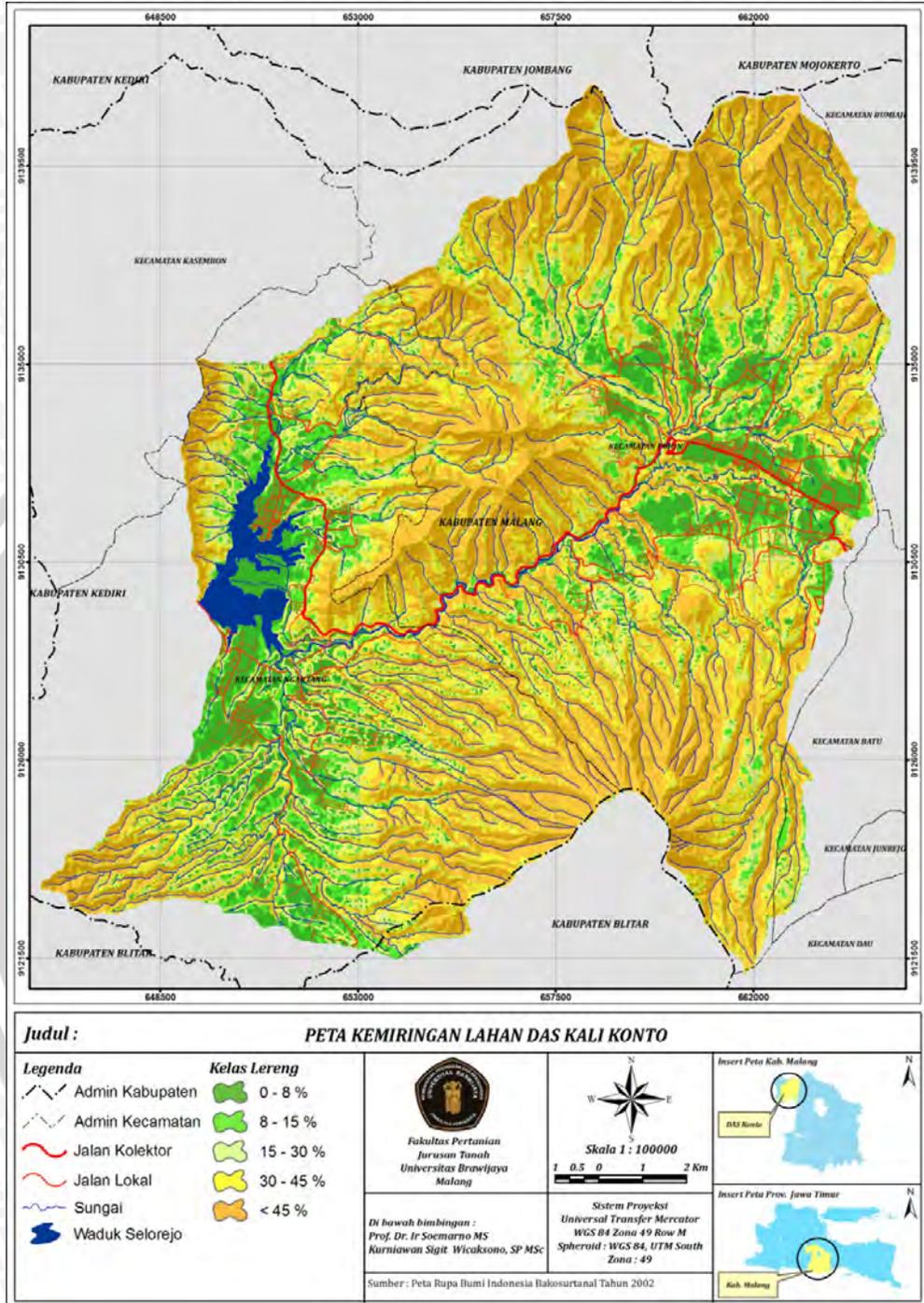
Ketinggian tempat DAS Kali Konto Hulu berkisar antara 602 – 2662 mdpl. Pada daerah pegunungan memiliki ketinggian lebih dari 1498 mdpl terdapat pada daerah kompleks Gunung Anjasmara, Gunung Arjuno dan Gunung Kawi. Daerah pemukiman dan Waduk Selorejo merupakan daerah yang memiliki ketinggian terendah berkisar antara 612 – 740 mdpl. Informasi ketinggian tempat diperoleh dari olahan data kontur Bakosurtanal 2009. Peta ketinggian tempat disajikan pada Gambar 4.3.

4.4 Lereng dan Relief

Kelerengan pada daerah penelitian sangat bervariasi mulai dari dataran sampai sangat curam dengan kisaran lereng 0% sampai lebih dari 45%. Variasi lereng ini dapat dilihat pada kompleks Gunung Arjuna, Gunung Anjasmara, Gunung Rawung, Gunung Preteng, Gunung Biru, Gunung Panderman dan sedikit lereng Gunung Kawi. Daerah yang berlereng datar banyak ditemui pada daerah pemukiman sekitar waduk Selorejo. Daerah pegunungan banyak ditemui lereng-lereng curam sampai sangat curam dengan kelerengan mencapai lebih dari 45%. Informasi ketinggian tempat diperoleh dari olahan data kontur Bakosurtanal 2009. Peta kemiringan lahan DAS Kali Konto Hulu disajikan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Peta Elevasi DAS Kali Konto Hulu



Gambar 4.4 Peta Kemiringan Lahan DAS Kali Konto Hulu

Berkaitan dengan faktor terjadinya erosi, faktor lereng sangat berpengaruh terhadap terjadinya erosi. Tingkat kemiringan dan panjang lereng di DAS Kali Konto Hulu yang bervariasi dan tergolong sangat curam dengan penggunaan lahan yang tidak berpedoman pada konservasi tanah dan air akan memicu pada besarnya tingkat erosi di DAS Kali Konto Hulu.

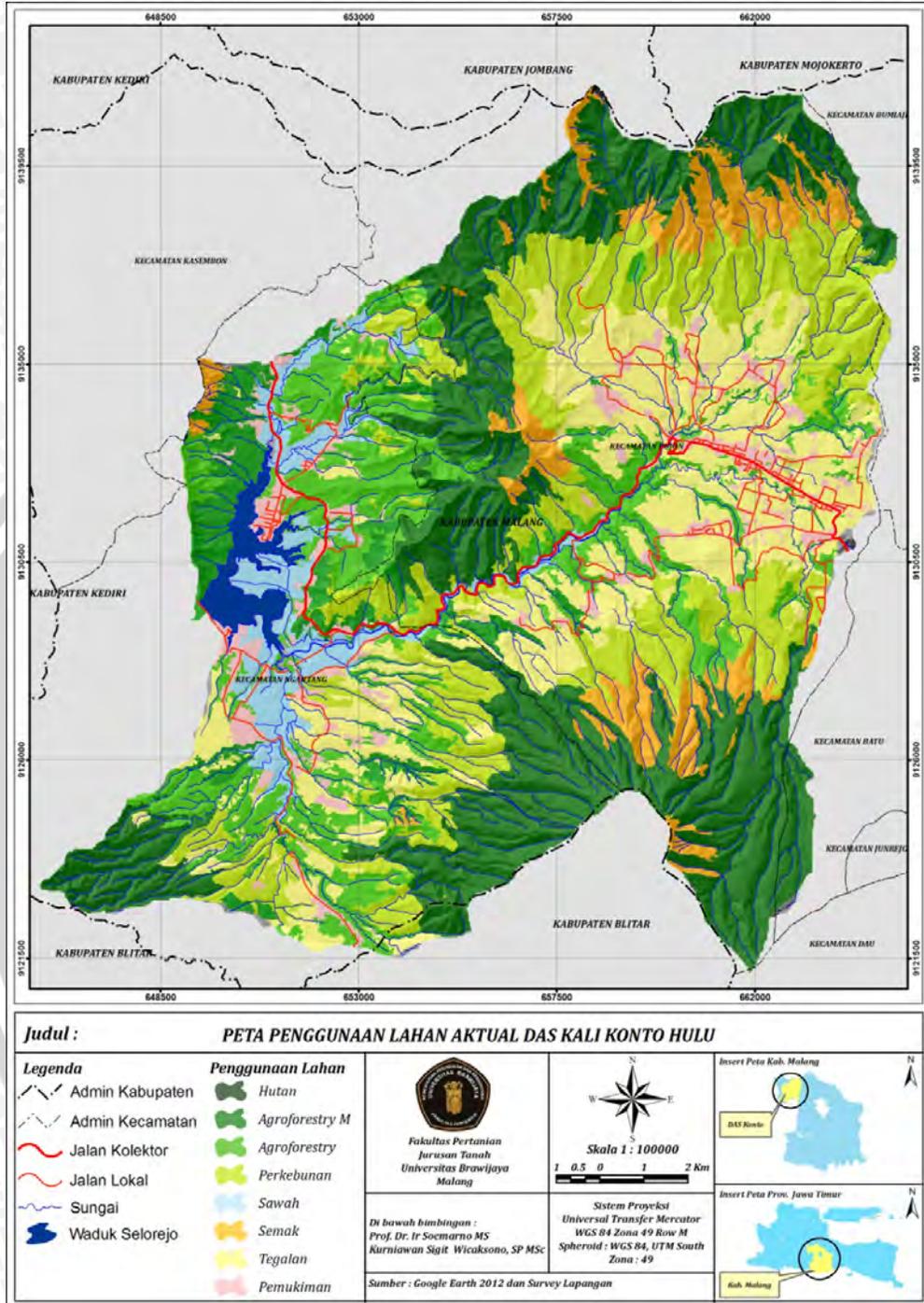
Keadaan relief di DAS Kali Konto Hulu sangat bervariasi mulai dari datar, berombak, bergelombang, berbukit sampai bergunung. Keragaman relief dikarenakan daerah DAS Kali Konto Hulu merupakan kompleks dari Gunung Arjuna, Gunung Anjasmara, Gunung Rawung, Gunung Preteng, Gunung Biru, Gunung Panderman dan Gunung Kawi. Relief datar ditemui di daerah pemukiman sekitar Pujon dan daerah dekat dengan Waduk Selorejo yang terletak pada ketinggian antara 612-720 mdpl. Daerah pegunungan vulkanik yang mendominasi daerah penelitian memiliki variasi relief dari berombak sampai bergunung. Sedangkan daerah punggung perbukitan vulkanik memiliki relief dari berombak sampai berbukit.

4.5 Penggunaan Lahan

Secara umum berdasarkan analisis Citra *Google Earth* tahun 2012 penggunaan lahan yang terdapat di DAS Kali Konto Hulu dikelompokkan menjadi; a) hutan, b) agroforestri multistrata, c) agroforestri, d) perkebunan, e) sawah, f) pemukiman, g) tegalan dan f) perairan. Sebagian besar penggunaan lahan didominasi hutan (6491 ha atau 27.49 %) dan perkebunan (4657 ha atau 19.72 %). Deskripsi luasan penggunaan lahan di DAS Kali Konto Hulu disajikan pada Tabel 4.1 dan peta penggunaan lahan disajikan pada Gambar 4.5.

Tabel 4.1 Penggunaan Lahan di DAS Kali Konto Hulu

Penggunaan Lahan	Luas (ha)	
	Ha	%
Hutan	6491.77	27.49
Agroforestry M	1052.02	4.45
Agroforestry	3558.82	15.07
Perkebunan	4657.64	19.72
Pemukiman	1111.6	4.71
Sawah	985.24	4.17
Semak	1425.35	6.03
Tegalan	4010.01	16.98
Waduk	325.62	1.38



Gambar 4.5 Peta Penggunaan Lahan DAS Kali Konto Hulu

Sumber : Citra Google Earth 2012, diolah

4.6 Iklim

Wilayah DAS Kali Konto Hulu termasuk beriklim muson tropis, yang dicirikan oleh adanya musim hujan dan musim kemarau dan suhu udara yang selalu panas sepanjang tahun. Sifat iklim tersebut dapat dipelajari dengan lebih baik melalui data unsur iklim yang dikumpulkan dari 5 stasiun penakar hujan.

Daerah penelitian termasuk kawasan basah dengan curah hujan tahunan berkisar antara 2.000 mm sampai 3.256 mm dan rata-rata 2353 mm per tahun. Berdasarkan urutan bulan basah dan bulan kering dengan ketentuan Klasifikasi iklim Oldeman, rata-rata setiap stasiun penakar hujan terjadi bulan basah (>200 mm) rata-rata sebanyak 6 kali dalam setahun, bulan lembab (100-200 mm) rata-rata sebanyak 2 kali dalam setahun dan bulan kering rata-rata sebanyak 4 kali dalam setahun. Rata-rata bulan basah terjadi pada bulan Januari sampai bulan April dan bulan Oktober sampai Desember. Bulan lembab terjadi pada bulan Mei dan bulan Oktober, sedangkan bulan kering rata-rata terjadi pada bulan Mei/Juni sampai bulan September. Menurut klasifikasi iklim Oldeman daerah DAS Kali Konto Hulu termasuk dalam tipe iklim C, yaitu memiliki rata-rata 5-6 kali bulan basah secara berturut-turut.

Suhu udara di kawasan DAS Kali Konto Hulu termasuk sedang dan sejuk, dengan rata-rata harian sebesar 23.0 °C yang hampir merata sepanjang tahun. Suhu terendah yang tercatat dalam lima tahun terakhir sebesar 14.1 °C dan suhu tertinggi 34 °C. Informasi iklim di DAS Kali Konto Hulu diperoleh dari stasiun Klimatologi Karang Ploso tahun 2008-2012.

4.7 Hidrologi

Kondisi hidrologi di DAS Kali Konto Hulu mempunyai pola drainase dendritik dan angular seperti menjarum mengikuti bentukan lahan yang ada, kerapatan drainase yang dibentuk adalah cukup. Kondisi kerapatan drainase ini menyebabkan pergerakan air dalam tanah berjalan cukup baik. Kali Konto merupakan suatu profil yang terganggu dengan adanya berbagai cabang aliran sepanjang aliran utama. Bagian atas masih muda dan aktif, dengan profil melintang berbentuk V dan membentang kearah daerah yang lebih tinggi. Bagian tengah mempunyai gradien aliran yang curam dan sungai ini telah pecah terpotong dalam sampai bahan vulkanik, dan mengalir deras di lembah sempit

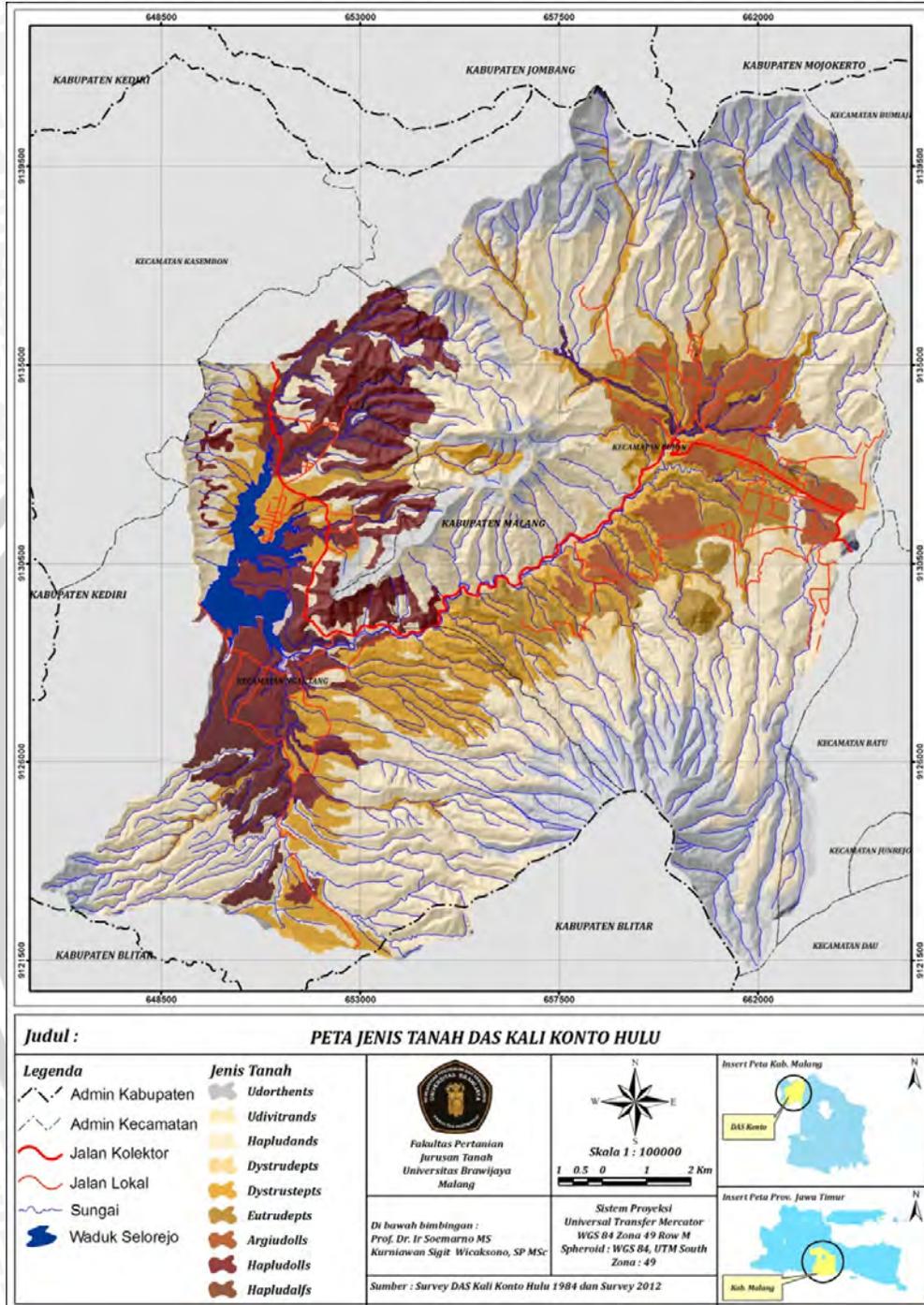
berbentuk U. Bagian yang lebih rendah mempunyai aliran yang tersusun dalam sistem yang hampir seimbang, mengalir pada lembah koluvial yang cekung. Resim Kali Pejal dan Kali Kwayangan berbeda dengan Kali Konto. Kedua daerah tangkapan air ini mempunyai bagian atas yang muda dan aktif, yang membentang lateral dan kearah depan serta bagian yang lebih bawah agak menurun. (Team Nuffic-Unibraw, 1984).

4.8 Tanah

Tanah yang ada di kawasan DAS Kali Konto Hulu umumnya berkembang dari bahan piroklastika (bahan jatuhan hasil erupsi gunung api) berupa abu dan pasir vulkanik. Bahan piroklastika berbahan kasar berupa *pumise* (batu apung) dijumpai di lereng Gunung Kelud. Batuan beku hasil pembekuan lava umumnya dijumpai pada kedalaman yang cukup dalam dan hanya dijumpai di dasar sungai dan atau tebing yang cukup tinggi (Sudarto *et al.*, 2004). Berdasarkan hasil survei Tanah dan Keadaan Tanah Di DAS Kali Konto Hulu (Team-Nuffic Unibraw, 1984) tanah-tanah di daerah penelitian tergolong tanah-tanah muda, antara lain; Entisols (Litosol), Andisols (Andosol), Inceptisols (Cambisol) Mollisols dan Alfisols.

- a. **Entisols.** Tanah-tanah yang termasuk dalam ordo Entisol merupakan tanah-tanah yang belum berkembang. Entisols dengan luasan 2.071 Ha (8.86 % dari luas wilayah) dijumpai pada lereng-lereng terjal dimana tanah tidak sempat terbentuk karena selalu terangkut oleh aliran air hujan. Entisols di DAS Kali Konto Hulu memiliki solum tanah yang dangkal (< 60 cm) hingga agak dalam (60 – 90 cm).
- b. **Andisols.** Tanah-tanah yang termasuk dalam ordo Andisols tersebar di daerah sekitar kawasan pegunungan dan perbukitan vulkanik di sekitar pegunungan. Tidak jarang sebaran tanah ini ditemukan juga pada daerah lembah dan dataran tinggi plato. Di DAS Kali Konto hulu, Andisols merupakan tanah yang paling dominan, dengan total luasan sekitar 11.314 Ha (48.42 % dari luas wilayah DAS Kali Konto Hulu) dan memiliki solum tanah yang dalam (> 120 cm) . Tanah ini berkembang dari bahan abu vulkanik yang terdapat di lereng Gunung Kawi, Anjasmara dan Kelud.

- c. **Inceptisols.** Inceptisols dengan luas 5.235 ha atau 22.4 % luas wilayah umumnya dijumpai pada kaki perbukitan dan dataran antar gunung api seperti di dataran Pujon dan Selorejo, dengan solum tanah bervariasi mulai agak dalam (60–90 cm) hingga dalam (90–120 cm). Inceptisols memiliki sifat dan karakter yang beragam, terutama berkaitan dengan bahan induk dan faktor perkembangan yang mempengaruhinya. Tingkat perkembangan yang berbeda juga mempengaruhi sifat dan karakter tanahnya, namun secara umum Inceptisols yang ditemukan telah mengalami perkembangan dengan penciri adanya horizon Kambik.
- d. **Mollisols dan Alfisols.** Mollisols dan Alfisols seluas 4747.08 ha atau 20.3 % luas wilayah dijumpai di kaki perbukitan dengan penggunaan berupa hutan dan dataran antar vulkanik. Tanah-tanah yang termasuk dalam ordo tanah Mollisols merupakan tanah-tanah yang lapisan atasnya memiliki epipedon Mollik (berwarna gelap karena mengandung bahan organik minimal 0,6%, dengan kejenuhan basa sama atau lebih dari 50%). Sedangkan tanah-tanah yang termasuk dalam ordo Alfisol adalah tanah yang telah mengalami proses *lessivage* sehingga terjadi peningkatan kandungan liat halus pada horizon bawah yang sering dicirikan oleh adanya selaput liat pada penampang tanah lapisan bawah, dan kejenuhan basa $> 35\%$. Pada umumnya, tanah yang diidentifikasi sebagai Alfisols di daerah survei memiliki kandungan liat yang cukup tinggi dan agak keras.



Gambar 4.6 Peta Jenis Tanah DAS Kali Konto Hulu

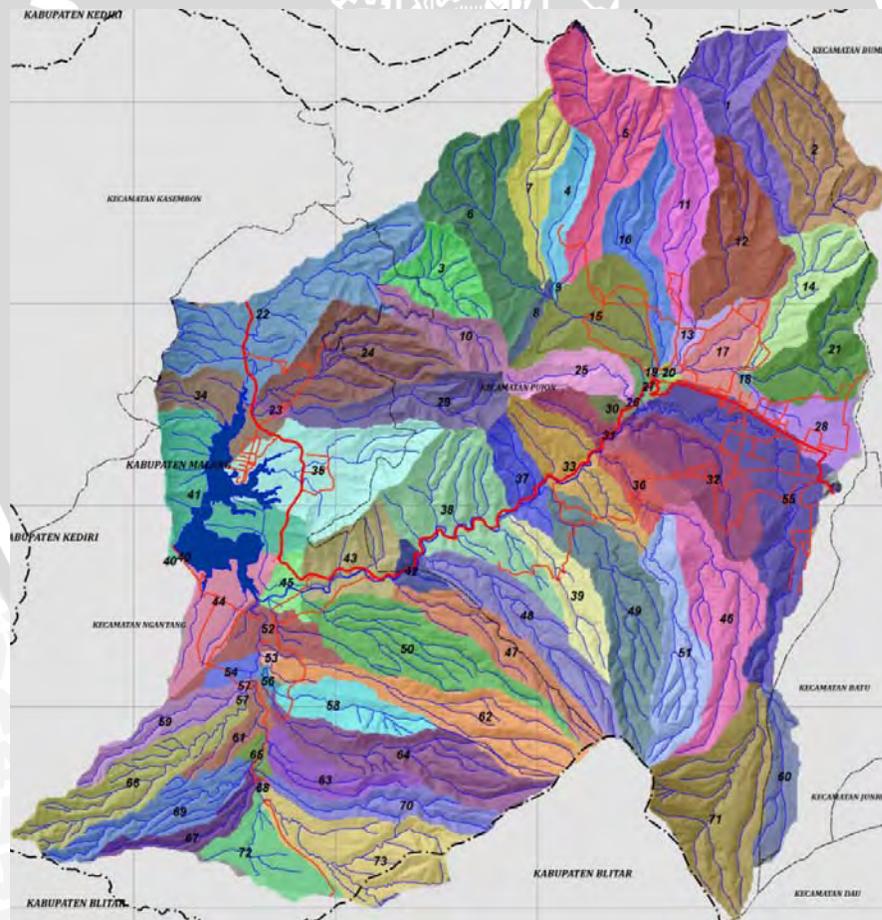
Sumber : Tanah dan Keadaan Tanah Di DAS Kali Konto Hulu (Team-Nuffic Unibrw, 1984), diolah.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendugaan Erosi dan Sedimentasi Menggunakan Aplikasi ArcSWAT

Hasil pemodelan SWAT ditampilkan dalam bentuk *data base* terdiri dari ringkasan atau *summary report*. *Output* ArcSWAT terangkum dalam *file-file output* yang terdiri dari *file* HRU, SUB dan RCH. *File* SUB merupakan informasi pada masing-masing Sub DAS, HRU berisikan informasi pada masing-masing HRU sedangkan RCH berisikan informasi pada masing-masing sungai dalam Sub-basin termasuk *inflow* waduk.

Informasi pada masing-masing sungai utama di dalam RCH adalah jumlah aliran yang masuk ke sungai/waduk (*FLOW_IN*) dan aliran keluar (*FLOW_OUT*). Informasi erosi dan sedimentasi pada masing-masing sub-basin di dalam *file* SUB adalah sedimen yang terjadi pada masing-masing sub-basin sedangkan pada masing-masing HRU pada *output.std*.



Gambar 5.1 Peta Sub-basin Hasil Simulasi ArcSWAT

5.1.1 Verifikasi *Inflow* dan Sedimentasi

Verifikasi pemodelan SWAT dimaksudkan untuk melakukan proses pengecekan *output* model terhadap data-data di lapangan. Proses verifikasi digunakan untuk mengetahui kesesuaian dari estimasi nilai parameter-parameter model dengan nilai parameter di lapangan. Verifikasi model dilakukan dengan membandingkan debit hasil perhitungan model (*inflow* pada *file* RCH) dengan *inflow* waduk Selorejo pada subbasin 40, erosi dan sedimentasi model (HRU pada *output.std*) dengan erosi dan sedimentasi di lapangan. Verifikasi dilakukan menggunakan data *inflow* Waduk Selorejo tahun 2012 dengan periode bulanan. Curah hujan pada tahun tersebut lebih menggambarkan kondisi aktual pada proses hidrologi dengan penggunaan lahan tahun 2012.

Hasil analisis *inflow* total model SWAT periode bulanan pada tahun 2012 sebelum verifikasi sebesar 4233.82 m³/dtk/tahun dengan *inflow* lapangan menunjukkan nilai kesalahan relatif (KR %) antara 2.64% - 77.45%. Nilai kisaran kesalahan relatif yang besar menunjukkan hasil *inflow* simulasi berbeda dengan *inflow* terukur. Model SWAT dibuat dan disimulasikan pada daerah pembuatan model, sehingga perlu adanya perubahan hasil pendugaan parameter awal model SWAT menjadi parameter yang sesuai pada DAS Kali Konto Hulu. Hasil *inflow* model bulanan sebelum verifikasi pada tahun 2012 di sub-basin 40 ditampilkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Perbandingan *Inflow* Terukur dan *Inflow* Model Bulanan Sebelum Verifikasi di Sub-basin 40 Tahun 2012

Sub Basin	Bulan	Total <i>Inflow</i> (m ³ /dtk/bulan)		KR (%)
		Terukur	Model	
40	JAN	489.94	329.00	48.92
40	FEB	539.95	325.20	66.04
40	MAR	552.93	311.60	77.45
40	APRIL	408.86	295.70	38.27
40	MEI	344.51	290.30	18.67
40	JUN	269.81	285.00	5.33
40	JUL	252.07	283.10	10.96
40	AGS	250.04	281.90	11.30
40	SEP	233.08	281.30	17.14
40	OKT	255.56	285.10	10.36
40	NOV	291.69	299.60	2.64
40	DES	345.38	310.70	11.16
Total		4233.82	3578.50	318.24
Rata-rata		352.82	298.21	26.52

Parameter hidrologi hasil simulasi awal dalam proses verifikasi, diganti dengan parameter pada daerah penelitian dengan tujuan hasil simulasi *inflow* model mendekati hasil *inflow* terukur di lapangan. Parameter yang sensitif pada proses verifikasi didapatkan dari hasil proses *Sensitivity Analysis*. Parameter yang sensitive pada proses verifikasi yaitu aliran dasar (.gw), saluran utama (.rte) pada tingkat sub DAS (.sub), parameter tingkat HRU (.HRU) dan pengelolaan lahan (.mgt). Verifikasi dilakukan berdasarkan nilai default sebelumnya dimana nilai debit model tinggi pada beberapa titik dan rendah pada titik yang lain. Berdasarkan keadaan tersebut maka harus dilakukan penyesuaian terhadap parameter infiltrasi dan koefisien *baseflow* (Neitsch *et al.*, 2001).

Input GW delay merupakan input yang menggambarkan rentang waktu dari saat mengalir dari profil tanah menuju akuifer dangkal. Alpha_BF merupakan indeks respon dari aliran dasar (*base flow*) terhadap perubahan *recharge* (infiltrasi). GWQmn adalah input yang menunjukkan batas kedalaman air di akuifer dangkal untuk terjadinya aliran. Gw_delay menunjukkan nilai yang semakin menurun sehingga mempunyai jumlah hari yang lebih pendek untuk menuju akuifer dangkal. Parameter ini menentukan pada proses pengisian air tanah, kondisi akuifer tanah akan lebih cepat jenuh dan menyebabkan kenaikan muka air tanah sehingga meningkatkan penyebaran air tanah dalam akuifer ke arah lateral. Alpha_BF merupakan faktor yang menentukan daya resap hujan ke tanah. Dengan nilai yang semakin besar maka daya resapan air ke dalam tanah semakin berkurang. Revapmn adalah batas kedalaman air pada akuifer dangkal untuk terjadinya perkolasi menuju akuifer dalam.

CH_K2 adalah input konduktivitas hidrolik efektif saluran utama. Parameter ini berdasarkan tekstur tanah pengisi saluran sungai tersebut. Nilai konduktivitas yang semakin besar menunjukkan kecepatan kehilangan cepat. CH_N1 adalah nilai kekasaran manning pada saluran utama sungai. Nilai kekasaran yang rendah maka air yang dialirkan semakin cepat karena tidak banyak menghalangi aliran tersebut. EPCO merupakan faktor kompensasi evaporasi tanaman yaitu koefisien kebutuhan air yang diambil dari tanah untuk proses transpirasi pada tanaman.

CN2 (*SCS Curve Number*) merupakan fungsi dari permeabilitas tanah, *landuse* dan ketersediaan air tanah. Semakin besar nilai CN2 berarti ketersediaan air dalam tanah semakin berlebih dan tanah akan mencapai kondisi jenuh. Hal ini menyebabkan permeabilitas tanah berkurang dan banyak air yang mengalir sebagai limpasan. Parameter *input* pada tahap verifikasi terhadap hasil *inflow* disajikan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Parameter *Input* pada Tahap Verifikasi *Inflow*

No	Parameter	Lower Bound	Upper Bound	Nilai Awal	Nilai Verifikasi
1	Penelusuran Air				
	Surlag	1	24	4	20
	MSK_Col1	0	10	0	7
	MSK_Col2	0	10	3.5	9
2	MSK_X	0	0.3	0.2	0.1
	Aliran Dasar				
	Gw_Delay	0	500	31	2
	Alpha_BF	0	1	0.048	0.99
	GW_revap	0.02	0.2	0.02	0.18
	GWQmin	0	5000	0	1
	Revapmn	0	500	1	500
3	Saluran Sungai Utama				
	CH_K2	0	300	0.5	9
4	Kekasaran Sungai				
	CH_N1	0.1	30	0.5	0.025
5	HRUs				
	EPCO	0	1	0.95	0.04
6	Pengelolaan Tanah				
	CN2	35	98		97

Hasil simulasi model SWAT setelah verifikasi (Tabel 5.3) menunjukkan bahwa total *inflow* model sebesar 3948.20 m³/dtk/tahun dengan perbandingan nilai kesalahan relatif (KR %) *inflow* model dengan *inflow* terukur antara 1.95% - 36.47%. Nilai maksimum *inflow* terjadi pada bulan maret sebesar 460.30 m³/dtk/bulan dan nilai minimum *inflow* model SWAT terjadi pada bulan Agustus sebesar 265.20 m³/dtk/bulan. Nilai maksimum untuk *inflow* hasil observasi terjadi pada bulan Maret sebesar 552.93m³/dtk/bulan dan nilai minimum *inflow* hasil observasi terjadi pada September sebesar 233.08 m³/dtk/bulan. Hasil *inflow* model SWAT setelah verifikasi terjadi penurunan pada nilai rata-rata kesalahan relatif. Kesalahan relatif sebelum verifikasi sebesar 26.52% sedangkan nilai rata-rata kesalahan relatif setelah verifikasi menurun menjadi 14.80 %.

Tabel 5.3 Perbandingan *Inflow* Terukur dengan *Inflow* Model Setelah Verifikasi di Sub-basin 40 Tahun 2012

Sub Basin	Bulan	Total <i>Inflow</i> (m ³ /dtk/bulan		KR (%)
		Terukur	Model	
40	JAN	489.94	413.80	18.40
40	FEB	539.95	451.10	19.70
40	MAR	552.93	460.30	20.12
40	APRIL	408.86	299.60	36.47
40	MEI	344.51	294.90	16.82
40	JUN	269.81	289.30	6.74
40	JUL	252.07	287.40	12.29
40	AGS	250.04	286.10	12.60
40	SEP	233.08	265.20	12.11
40	OKT	255.56	287.30	11.05
40	NOV	291.69	297.50	1.95
40	DES	345.38	315.70	9.40
Total		4233.82	3948.20	177.66
Rata-rata		352.82	329.02	14.80

Verifikasi sedimen pada model SWAT adalah sedimen pada sungai atau sedimen pada setiap *outlet* sub-basin, bukan sedimentasi pada setiap HRU. Tidak adanya data sedimen aktual di lapangan menyebabkan proses verifikasi dilakukan dengan pengambilan sampel sedimentasi pada setiap HRU menggunakan *rainfall simulator*. Pengukuran dilakukan dengan perlakuan curah hujan rata-rata dalam 5 tahun terakhir (2008-2012). Sebaran curah hujan mengikuti sebaran curah hujan pada sub-basin hasil dari aplikasi ArcSWAT.

Hasil dari pengukuran erosi dan sedimentasi di lapangan tidak dapat dijadikan sebagai acuan erosi dan sedimentasi sebenarnya yang terjadi di lapangan. Pengukuran erosi dan sedimentasi di lapangan menggunakan alat *rainfall simulator* memiliki banyak kekurangan. Alat simulasi hujan ini hanya berukuran luas 625 cm² sehingga tidak dapat mensimulasikan pada lahan pertanian yang berteras dan bergulud. *Rainfall simulator* hanya mencakup bagian bawah/*undercover* suatu lahan tidak mencakup tanaman tahunan, hal ini menyebabkan energi kinetik dan ukuran air hujan jauh berbeda dengan hujan sebenarnya. Tetesan tajuk tanaman atau yang biasa disebut *crown drip* memperoleh kembali energi kinetiknya sebesar 90% dari energi kinetik semula bila air jatuh langsung dari tajuk. Butir-butir air hujan yang tertahan di daun akan saling terkumpul dan membentuk tetesan air yang lebih besar sehingga secara total, justru akan meningkatkan daya pukul tetesan terhadap permukaan tanah.

Tabel 5.4 Parameter *Input* pada Tahap Verifikasi Erosi dan Sedimentasi

Parameter	Lower Limit	Upper Limit
USLE P	0.10	1.00
SLSUBBSN	10.00	150.00
SLOPE	0.00	0.60
USLE C	0.00	0.50
CH_EROD	-0.05	0.60
CH_COVER	0.00	1.00

Parameter *input* pada verifikasi sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu dilakukan dengan mereview kembali parameter informasi yang berkaitan dengan dampak nilai pada hasil sedimentasi. Proses verifikasi sedimentasi berdasarkan penelitian Noor Dinda & Suhartanto (2012) dilakukan dengan mengubah nilai CH_COVER (faktor penutup saluran) pada tiap subbasin bervariasi antara -0.001 – 1.000 dengan nilai *default* 0, CH_EROD (faktor erodibilitas saluran) pada tiap subbasin bervariasi antara -0.005 – 0.6, nilai *default* 0 (Tabel 5.4).

Tabel 5.5 Perbandingan Sedimentasi Sebelum Verifikasi dan Setelah Verifikasi pada Sub-basin 40 Tahun 2012

Sub Basin	Bulan	Sedimentasi Pra Verifikasi	Sedimentasi Pasca Verifikasi
40	JAN	40.87	20.20
40	FEB	24.94	12.30
40	MAR	17.46	8.49
40	APRIL	5.69	2.72
40	MEI	5.61	2.78
40	JUN	0.00	0.00
40	JUL	0.02	0.01
40	AGS	0.00	0.00
40	SEP	0.54	0.26
40	OKT	2.43	1.20
40	NOV	4.17	2.09
40	DES	22.16	11.52
Total		123.93	61.57
Rata-rata		10.32	5.13

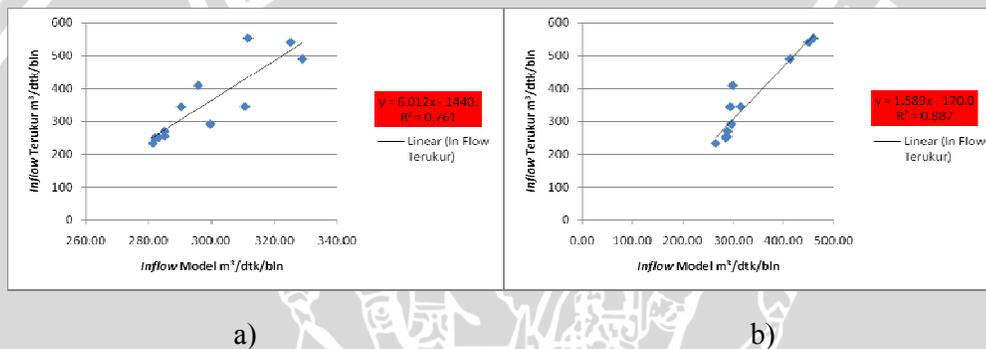
Hasil dari verifikasi (Tabel 5.5) menunjukkan terjadi penurunan jumlah sedimentasi setelah proses verifikasi. Nilai erosi dan sedimentasi maksimum setelah verifikasi sebesar 20,20 ton pada bulan Januari dan nilai sedimentasi minimum 0,00 ton pada bulan Juni dan Agustus. Nilai erosi dan sedimentasi maksimum sebelum verifikasi sebesar 40,876 ton pada bulan Januari dan nilai minimum 0,00 ton pada bulan Juni dan Agustus. Nilai minimum 0,00 ton pada bulan Juni dan Agustus disebabkan tidak terjadi hujan pada dua bulan tersebut.

5.1.2 Pengujian Model

Pengujian model bertujuan untuk mengetahui tingkat keakuratan suatu model. Pengujian dilakukan terhadap hasil *inflow* keluaran model dengan *inflow* terukur waduk Selorejo menggunakan dua metode yang terdiri dari koefisien deterministik (R^2) dan uji nilai T-Berpasangan.

5.1.2.1 Koefisien Deterministik

Pengujian model dengan menggunakan koefisien deterministik dilakukan dengan membandingkan hasil *inflow* model dengan *inflow* waduk Selorejo. Sebelum dilakukan verifikasi, nilai *inflow* model SWAT sudah mendekati hasil sebenarnya dengan nilai R^2 dalam kategori memuaskan.



Gambar 5.2 Grafik Regresi *Inflow* Model dengan *Inflow* Terukur (a = sebelum verifikasi, b = setelah verifikasi)

Koefisien determinasi antara *inflow* model dengan *inflow* terukur sebelum verifikasi adalah $R^2 = 0,76$. Hasil regresi sebelum verifikasi menunjukkan pemodelan SWAT sudah mendekati *inflow* terukur, namun hasil dari pemodelan masih perlu dilakukan perubahan parameter-parameter dengan tujuan pendugaan pemodelan SWAT lebih mendekati *inflow* terukur. Grafik regresi *inflow* model dan *inflow* terukur setelah verifikasi yang terbentuk memiliki nilai $R^2 = 0,88$.

Pemodelan SWAT merupakan suatu model hasil analisis hidrologi dalam suatu DAS dengan acuan *input* dan *output* yang sama dengan tempat dimana pemodelan dibuat, hal ini menyebabkan hasil respon hidrologi akan berbeda bila diterapkan pada suatu daerah yang memiliki kriteria parameter yang berbeda. Namun aplikasi ini dapat digunakan pada daerah yang berbeda dengan menyesuaikan parameter yang kurang lebih sama dengan di lapangan tempat yang akan diteliti.

5.1.2.2 Uji Statistik

Pengujian validasi model dilakukan dengan uji statistik antara *inflow* model dengan *inflow* terukur menggunakan metode uji T-Berpasangan pada taraf nyata $\alpha = 0,05$.

Tabel 5.6 Hasil Uji T-Berpasangan *Inflow* Model dengan *Inflow* Terukur

	N	Rata-Rata	Standar deviasi	Simpangan baku rata-rata
<i>Inflow</i> Model	12	329,00	117,640	33,96
<i>Inflow</i> Terukur	12	352,92	69,72	20,12

T-Value = 1,45 P-Value = 0,173 $\alpha = 0,05$

Hasil perhitungan (Tabel 5.6) menunjukkan bahwa antara *inflow* model SWAT dengan *inflow* terukur tidak berbeda nyata, hal ini ditunjukkan dengan nilai P-value sebesar $0,173 > \alpha = 0,05$. Hasil pengujian koefisien deterministik dan uji statistik di atas dapat disimpulkan bahwa model SWAT dapat digunakan untuk menganalisis hidrologi pada DAS Kali Konto Hulu. Model hidrologi SWAT hanya membantu dalam pendugaan nilai kisaran siklus hidrologi di DAS Kalikonto Hulu. Hasil erosi, sedimentasi dan siklus hidrologi sebenarnya di lapangan bisa lebih tinggi atau lebih rendah.

Tabel 5.7 Hasil Uji T-Berpasangan Erosi Model dengan Erosi Pengukuran di Lapangan

	N	Rata-Rata	Standar deviasi	Simpangan baku rata-rata
<i>Erosi</i> Model	38	69,52	118,34	19,19
<i>Erosi Rainfall S</i>	38	1,09	1,03	0,16

P-Value = 0,001 $\alpha = 0,05$

Validasi antara erosi dan sedimentasi model dengan hasil pengukuran di lapangan (Tabel 5.7) menghasilkan nilai P-value $0,001 < \alpha = 0,05$. Hasil pengujian uji T-Berpasangan menunjukkan hasil model dengan pengukuran di lapangan berbeda nyata. Pengukuran erosi dan sedimentasi di lapangan menggunakan *rainfall simulator* tidak bisa mensimulasikan hujan yang sebenarnya terjadi di DAS Kali Konto Hulu. Ukuran dan tinggi alat simulasi hujan ini hanya sebatas luasan kecil 625 cm^2 dan tinggi 50 cm, hal ini menyebabkan pukulan energi kinetik air hujan yang rendah dan luasan yang kecil sehingga menyebabkan laju infiltrasi dan *runoff* berbeda dengan keadaan sebenarnya di lapangan.

5.1.3 Analisis Sensitifitas Model Terhadap Hasil Erosi dan Sedimentasi

Analisis sensitifitas model dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter tanah, kemiringan lahan, penggunaan lahan dan pengelolaan lahan yang paling sensitif terhadap rata-rata kehilangan tanah. Model SWAT menganalisis parameter-parameter dalam proses *Sensitivity Analysis* yang ditampilkan dalam bentuk ranking parameter-parameter yang paling berpengaruh baik langsung maupun tidak langsung terhadap terjadinya erosi dan sedimentasi. Model pendugaan erosi dan sedimentasi MUSLE dalam aplikasi ArcSWAT merupakan turunan dari fungsi model SWAT. SWAT mensimulasikan sistem hidrologi yang kompleks dimana proses hidrologi dalam suatu DAS digambarkan sebagai suatu sistem yang memiliki hubungan dan keterkaitan suatu proses dengan proses-proses lainnya seperti pendugaan debit, sedimentasi (MUSLE), limpasan permukaan, infiltrasi dan proses-proses lainnya.

Hasil analisis sensitifitas parameter terhadap jumlah erosi dan sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu menunjukkan bahwa parameter pengelolaan lahan (USLE P) merupakan parameter yang paling sensitif dengan nilai mean $0.346E+01$, diikuti dengan kemiringan lahan (LS) dengan nilai mean $0.104E-01$, penggunaan lahan (USLE C) dan erodibilitas tanah (USLE K) dengan nilai mean masing-masing $0.478E-03$ dan $0.000E+00$. Hasil *Sensitivity Analysis* disajikan pada Lampiran 5.

Secara umum pengelolaan lahan pertanian di DAS Kali Konto Hulu belum menerapkan kaidah konservasi dengan baik. Pada penggunaan lahan perkebunan dan tegalan banyak ditemukan penanaman dengan pengelolaan lahan yang searah lereng. Pengaruh pengelolaan lahan terhadap terjadinya proses erosi dan sedimentasi diantaranya adalah menurunkan dan meningkatkan proses infiltrasi yang mengakibatkan peningkatan dan penurunan limpasan permukaan dan volume air larian. Pengelolaan lahan yang menerapkan pada kaidah-kaidah konservasi tanah dan air dapat mengurangi panjang lereng dan menahan air sehingga mampu mengurangi kecepatan dan jumlah aliran permukaan serta memungkinkan penyerapan air oleh tanah, sehingga erosi dapat berkurang. Berdasarkan penelitian Hidayat (2007) rendahnya potensi erosi lebih dipengaruhi oleh tingkat pengolahan lahan dan vegetasi penutup lahan.

Kemiringan lereng dan panjang lereng sangat menentukan besarnya kecepatan air larian dan volume air larian. Sebagian besar lahan di DAS Kali Konto Hulu memiliki kemiringan agak curam (15-25%) dan curam (25-45%). Hasil overlay antara kemiringan lereng dengan penggunaan lahan diperoleh bahwa erosi dan sedimentasi terjadi pada penggunaan lahan berupa perkebunan dan tegalan yang berada pada kelas kemiringan antara 15-25% .

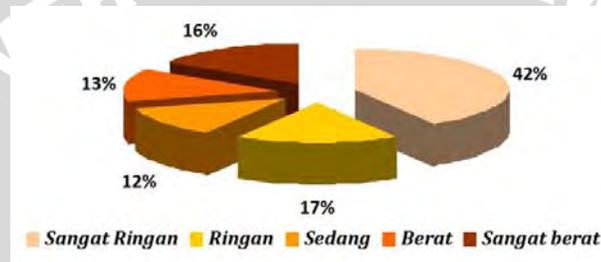
Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa erosi yang sering terjadi terutama pada lahan-lahan pertanian adalah jenis erosi alur dan erosi parit. Erosi alur adalah peristiwa pengelupasan yang diikuti dengan pengangkutan partikel-partikel tanah oleh aliran air. Purwowidodo (1999) menjelaskan bahwa erosi alur dirangsang oleh adanya pemusatan air dalam cekungan-cekungan permukaan yang selanjutnya akan mengalir sepanjang daerah lintasan yang ketahanannya paling lemah sehingga terbentuk saluran-saluran kecil atau alur. Sedangkan erosi parit adalah lanjutan dari erosi alur. Erosi alur dan erosi parit lebih banyak dipengaruhi oleh kemiringan lahan dan arah aliran.

Penggunaan lahan perkebunan dan tegalan di DAS Kali Konto Hulu lebih mendominasi pada lahan-lahan yang memiliki kemiringan lahan curam. Tanaman tahunan yang rendah diselingi tanaman musiman akan mengakibatkan rendahnya serasah yang mengakibatkan rendah pula daya tahan tanah terhadap pukulan air hujan. Penelitian Agus dan Widiyanto (2004) membuktikan bahwa penutupan lahan berupa hutan dan tanaman tahunan yang tidak diimbangi oleh terbentuknya serasah dan tumbuhan bawah justru akan meningkatkan laju erosi. Hal ini disebabkan butir-butir air hujan yang tertahan di daun akan saling terkumpul dan membentuk tetesan air yang lebih besar sehingga secara total justru akan meningkatkan daya pukul tetesan terhadap permukaan tanah.

Tanah merupakan faktor penting yang menentukan besarnya erosi yang terjadi. Sebagian besar jenis tanah di DAS Kali Konto Hulu memiliki tekstur lempung berdebu. Secara umum tanah dengan debu yang tinggi, liat yang rendah dan kandungan bahan organik sedikit mempunyai kepekaan erosi yang tinggi (Suwanto, 1984).

5.1.4 Hasil Pendugaan Erosi dan Sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu Menggunakan Aplikasi ArcSWAT

Hasil pendugaan erosi dan sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu ditampilkan dalam bentuk data spasial. Erosi dan sedimentasi dikelaskan pada setiap HRU dengan satuan ton/ha/thn yang bertujuan untuk memudahkan dalam proses perbaikan lahan. Pengkelasan erosi dan sedimentasi ditentukan berdasarkan metode Tingkat Erosi Finney dan Morgan (Finney & Morgan, 1984 dalam Prawijiwuri, 2011) yang dibagi kedalam 5 kelas yaitu; kelas sangat ringan (< 15 ton/ha/thn), kelas ringan (15-60 ton/ha/thn), kelas sedang (60-180 ton/ha/thn), kelas berat (180-480 ton/ha/thn) dan kelas sangat berat (>480 ton/ha/thn).



Gambar 5.3 Deskripsi Luasan Daerah Erosi dan Sedimentasi Pada Penggunaan Lahan Aktual DAS Kali Konto Hulu

Berdasarkan luasan daerah erosi dan sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu (Gambar 5.3), sebesar 42% dari total wilayah mengalami erosi dengan kelas sangat ringan, diikuti dengan kelas ringan (17%), kelas sangat berat (16%), kelas berat (13%) dan kelas sedang (12%). Erosi dan sedimentasi di DAS Kali Konto secara umum didominasi oleh kelas erosi sangat ringan, namun bila ditinjau dari penggunaan lahan, kelas sangat ringan lebih dipengaruhi oleh penggunaan lahan hutan yang memiliki luas paling besar yaitu 6491,71 ha.

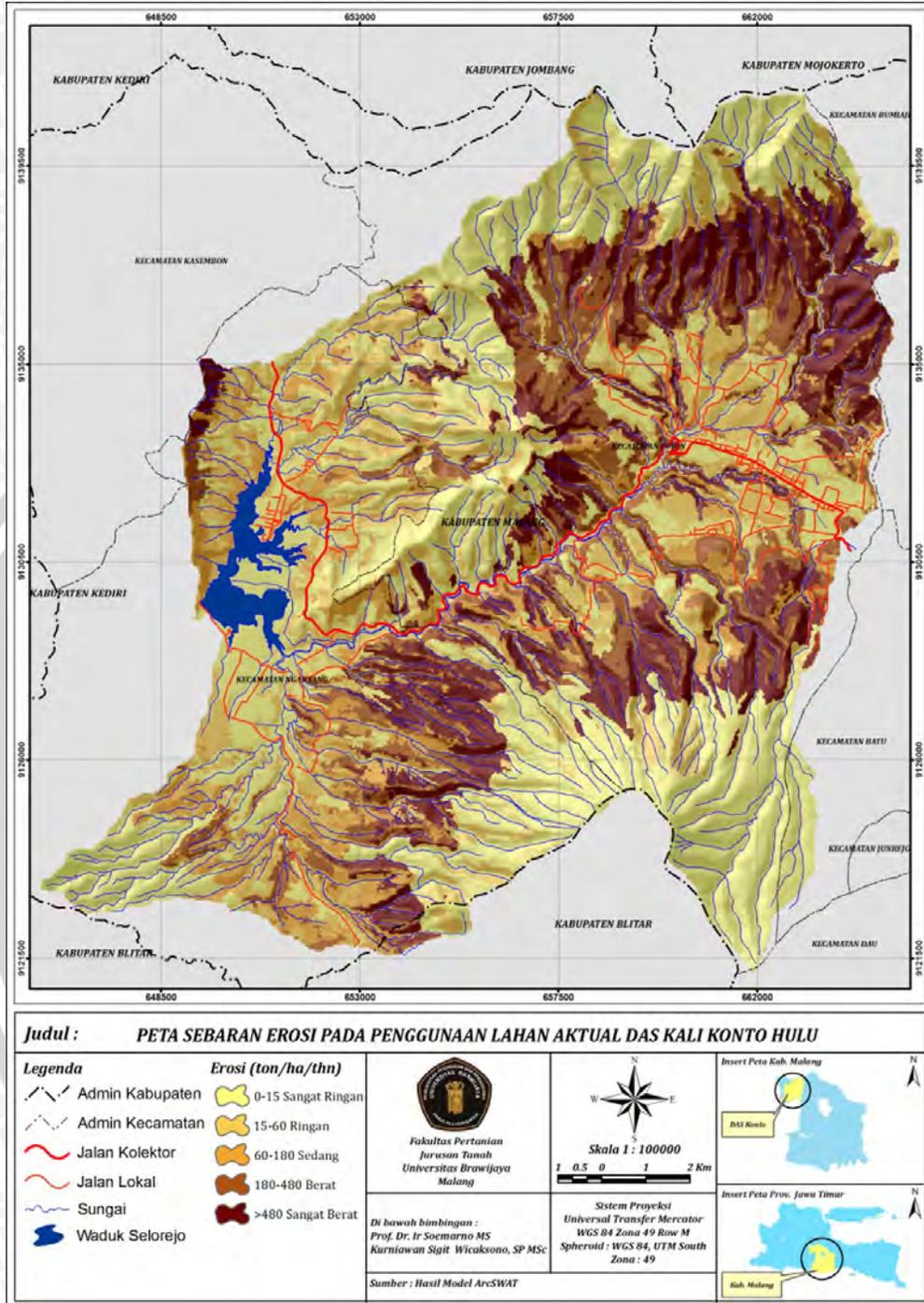
Secara keseluruhan hasil erosi (Tabel 5.8) di DAS Kali Konto Hulu kurang lebih sebesar 100,02 ton/ha/thn. Erosi dan sedimentasi pada setiap penggunaan lahan sangat bervariasi dari sangat ringan sampai berat. Erosi sangat ringan terjadi pada penggunaan lahan dominan hutan, agroforestry multistrata dan sawah. Penggunaan lahan hutan di DAS Kali Konto Hulu mengalami erosi sebesar 4,01 ton/ha/thn. Penggunaan lahan hutan memiliki tajuk berlapis yang baik, kerapatan tanaman dan serasah yang tinggi sehingga dapat mengurangi daya rusak air hujan terhadap tanah dan mengurangi laju aliran permukaan, sedangkan pada

penggunaan lahan agroforestri multistrata juga kurang lebih sama kondisinya dengan hutan akan tetapi memiliki tajuk tanaman, kerapatan tanaman serta serasah yang lebih rendah dengan erosi sebesar 27,33 ton/ha/thn.

Tabel 5.8 Hasil Pendugaan Erosi dan Sedimentasi pada Penggunaan Lahan Aktual

Penggunaan Lahan	Luas (ha)	Erosi (ton/ha/thn)	Kelas Erosi
Hutan	6491.77	4.01	Sangat Ringan
Agroforestry M	1052.02	27.33	Ringan
Agroforestry	3558.82	64.41	Sedang
Perkebunan	4657.64	317.75	Berat
Pemukiman	1111.60	0.64	Sangat Ringan
Sawah	985.24	60.26	Sedang
Semak	1425.35	128.41	Sedang
Tegalan	4010.01	197.39	Berat
Waduk	325.62	0	-

Erosi berat terjadi pada penggunaan lahan perkebunan dan tegalan. Penggunaan lahan perkebunan mengalami erosi sebesar 317,75 ton/ha/thn, sedangkan penggunaan lahan tegalan 197,39 ton/ha/thn. Penggunaan lahan perkebunan memiliki komposisi tanaman tahunan dengan tanaman musiman. Komposisi penggunaan lahan tanaman tahunan yang berjumlah rendah akan menahan butir-butir air hujan yang tertahan di daun akan saling terkumpul dan membentuk tetesan air yang lebih besar sehingga secara total, justru akan meningkatkan daya pukul tetesan terhadap permukaan tanah. Penggunaan lahan tegalan memiliki teras bangku dengan konstruksi sedang hingga buruk, sehingga kecepatan dan jumlah aliran permukaan lebih tinggi dari pada penyerapan air oleh tanah yang mengakibatkan erosi lebih mudah terjadi. Peta pendugaan erosi dan sedimentasi pada penggunaan lahan aktual di DAS Kali Konto Hulu disajikan pada Gambar 5.4 dan gambar penggunaan lahan perkebunan dan erosi di DAS Kali Konto Hulu disajikan pada Gambar 5.5



Gambar 5.4 Peta Sebaran Erosi Pada Penggunaan Lahan Aktual DAS Kali Konto Hulu



a)



b)



c)



d)

Gambar 5.5 Erosi dan Sedimentasi di Desa Tawang Sari Kecamatan Pujon (a = erosi lembar pada penggunaan lahan tegalan, b = erosi alur pada penggunaan lahan perkebunan, c = erosi parit pada penggunaan lahan perkebunan dan d = sedimen yang masuk sungai)

5.1.5 Simulasi Penggunaan Lahan

Simulasi penggunaan lahan di DAS Kali Konto Hulu dilakukan dengan melakukan penyusunan beberapa skenario penggunaan lahan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai erosi dan sedimentasi yang dihasilkan dari masing-masing penggunaan lahan.

Verifikasi dilakukan sama dengan proses verifikasi pada penggunaan lahan aktual. Perbandingan data hasil *inflow* model dengan *inflow* terukur tidak dilakukan, dikarenakan *inflow* terukur merupakan gambaran dari *inflow* pada penggunaan lahan aktual tahun 2012.

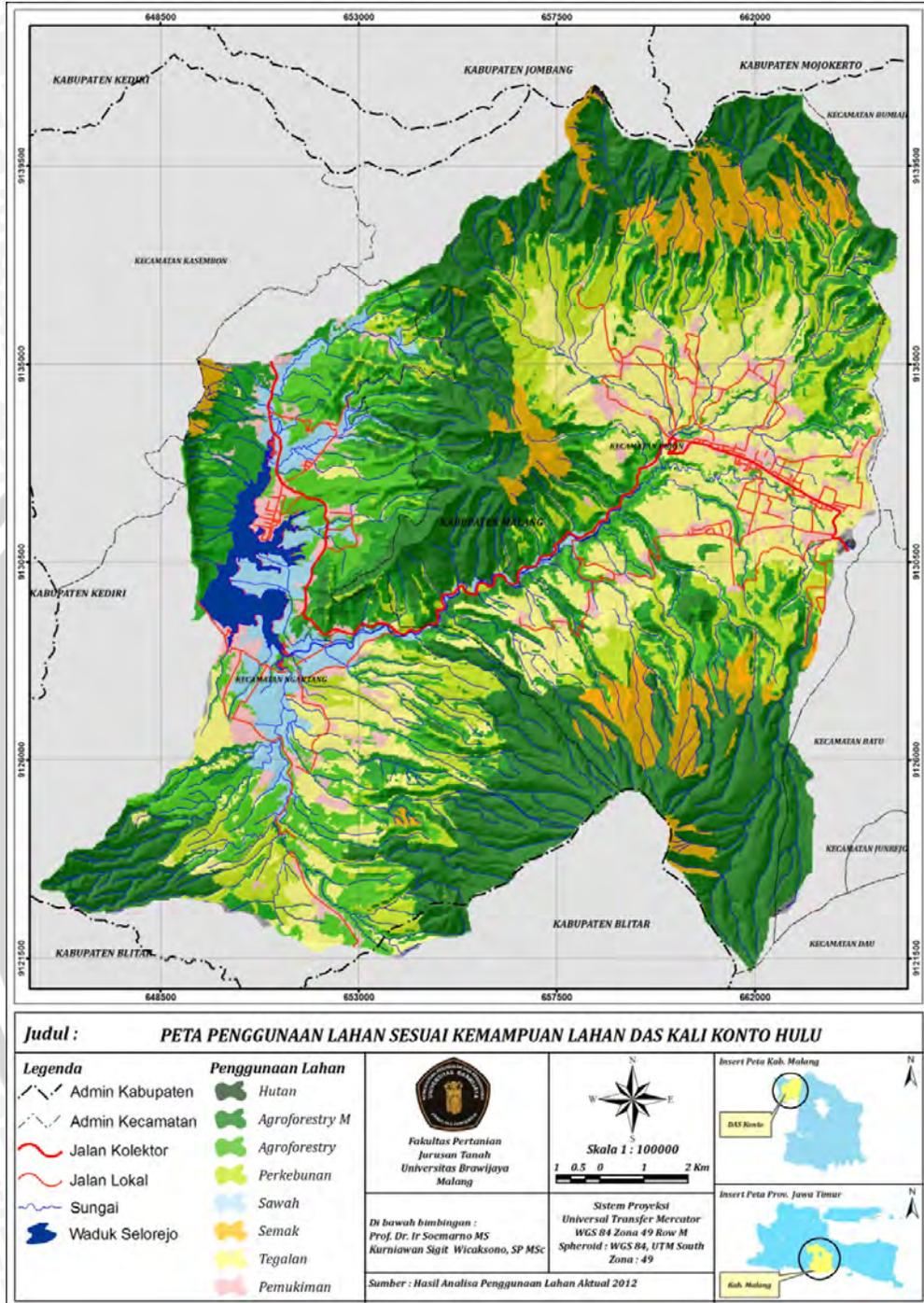
5.1.5.1 Skenario Penggunaan Lahan Sesuai Kemampuan Lahan

Skenario perubahan kondisi penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan dilakukan berdasarkan kelas kemampuan lahan. Perubahan dilakukan dengan merubah kondisi penggunaan lahan aktual 2012 non hutan dan semak yang memiliki kelas kemampuan lahan kelas IV dan VI dirubah menjadi penggunaan lahan agroforestri multistrata dan penggunaan lahan pada kelas kemampuan VII dan VIII menjadi penggunaan lahan hutan. Peta penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan disajikan pada Gambar 5.7.

Hasil simulasi erosi dan sedimentasi pada penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan (Gambar 5.6) di DAS Kali Konto Hulu, sebesar 47% dari total wilayah mengalami erosi dengan kelas sangat ringan, diikuti dengan kelas sedang (18%), kelas ringan (17%), kelas berat (11%) dan kelas sangat berat (7%). Erosi dan sedimentasi di DAS Kali Konto sebagian besar didominasi oleh kelas erosi sangat ringan, bertambahnya luas penggunaan lahan hutan dan agroforestri multistrata menurunkan luas erosi sangat berat dari 16% pada penggunaan lahan aktual menjadi 7% pada penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan.



Gambar 5.6 Deskripsi Luasan Daerah Erosi dan Sedimentasi Pada Penggunaan Lahan Sesuai Kemampuan Lahan di DAS Kali Konto Hulu



Gambar 5.7 Peta Penggunaan Lahan Sesuai Kemampuan Lahan DAS Kali Konto Hulu

Tabel 5.9 Hasil Pendugaan Erosi Berdasarkan Penggunaan Lahan Sesuai Kemampuan Lahan

Penggunaan Lahan	Luas (ha)	Erosi (ton/ha/thn)	Kelas Erosi
Hutan	7357.17	5.11	Sangat Ringan
Agroforestry M	3082.17	31.94	Ringan
Agroforestry	2651.74	44.14	Ringan
Perkebunan	2930.56	202.42	Berat
Pemukiman	1102.39	0.64	Sangat Ringan
Sawah	960.90	39.22	Ringan
Semak	1428.42	128.35	Sedang
Tegalan	3779.10	166.81	Sedang
Waduk	325.62	0	-

Nilai erosi dan sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu pada penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan sebesar 77,32 ton/ha/thn. Hasil simulasi menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan akan menurunkan jumlah erosi dan sedimentasi, dari kondisi aktual sebesar 100,02 ton/ha/thn mengalami penurunan sebesar 22,69 ton/ha/thn. Bertambahnya luas penggunaan lahan agroforestri multistrata dari 1052,02 ha menjadi 3082,17 ha dan hutan menjadi 7357,17 ha mengurangi jumlah erosi dan sedimentasi yang terjadi di DAS Kali Konto Hulu. Hasil pendugaan erosi pada penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan disajikan pada Tabel 5.9

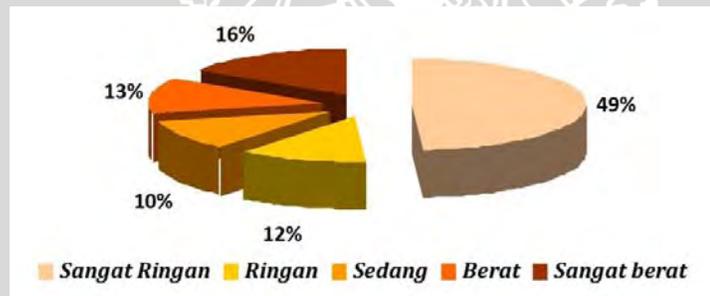
Hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa tindakan revegetasi pada DAS Kali Konto Hulu sangat diperlukan, terutama untuk kawasan yang telah ditetapkan sebagai kawasan perlindungan setempat (lahan pada kelerengan >45%) yang pada kondisi aktual telah berubah fungsi menjadi lahan pertanian dan perkebunan. Perlindungan terhadap kawasan resapan air dilakukan dengan tujuan untuk memberikan ruang yang cukup bagi peresapan air hujan pada suatu daerah tertentu guna mengurangi jumlah erosi dan sedimentasi.

Pengaruh vegetasi penutup tanah terhadap erosi diantaranya adalah melindungi permukaan tanah dari tumbukan air hujan karena mampu meminimalkan diameter air hujan, menurunkan kecepatan dan volume air larian, menahan partikel-partikel tanah pada tempatnya melalui sistem serasah dan perakaran. Penelitian Agus dan Widiyanto (2004) membuktikan bahwa penutupan lahan berupa hutan yang tidak diimbangi oleh terbentuknya serasah dan tumbuhan bawah justru akan meningkatkan laju erosi.

5.1.5.2 Skenario Penggunaan Lahan RTRW

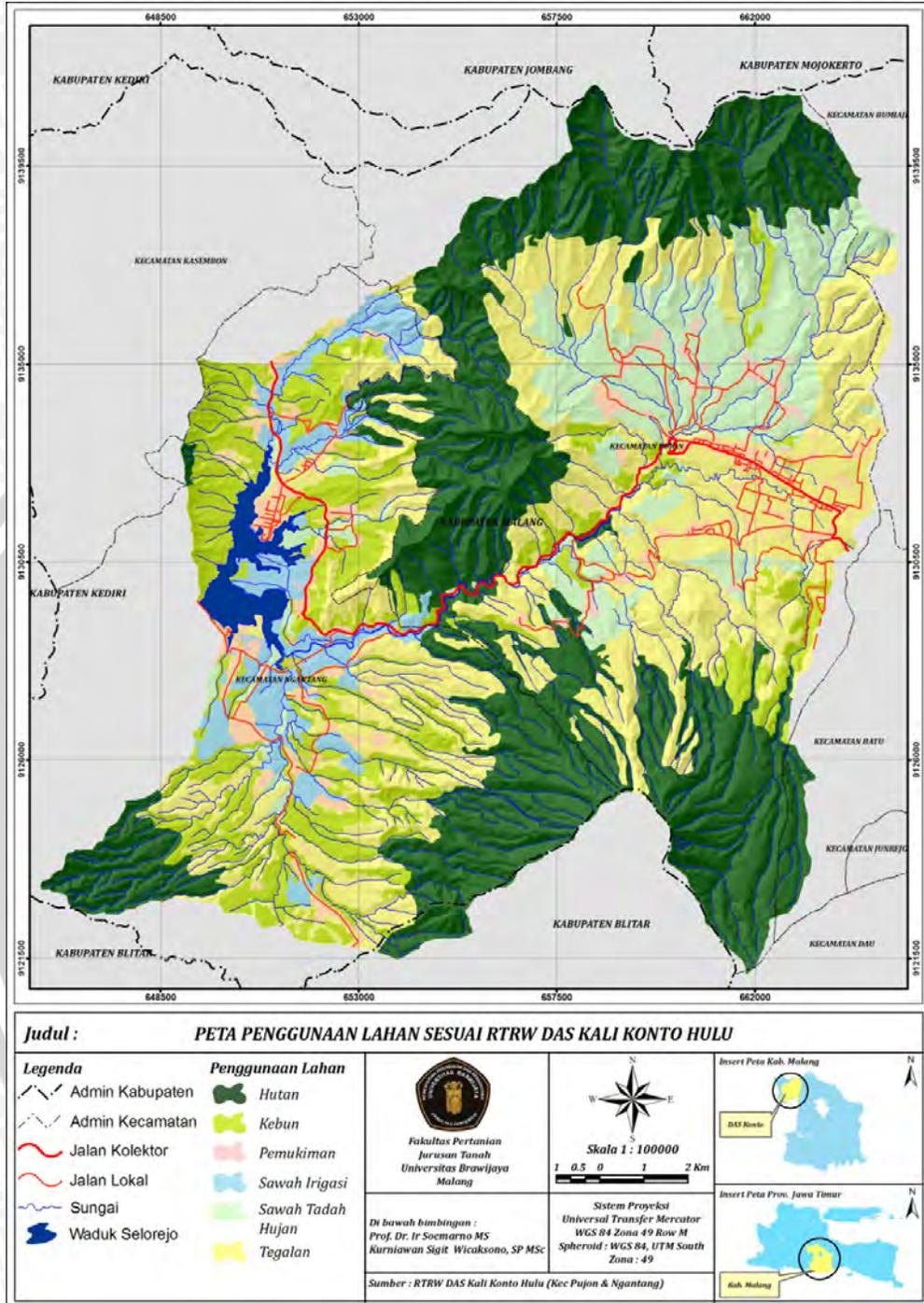
Skenario dua mensimulasikan penggunaan lahan sesuai rencana tata ruang wilayah. Penggunaan lahan yang digunakan adalah rencana penggunaan lahan yang sudah ditetapkan atau dirancang dan sesuai dengan tata ruang wilayah di DAS Konto Kali Konto Hulu. Penggunaan lahan yang dibuat disesuaikan rencana struktur dan pola ruang untuk perkembangan di daerah tersebut.

Menurut Undang-Undang No. 24 tahun 1992, tata ruang merupakan pengaturan ruang berdasarkan berbagai fungsi dan kepentingan tertentu, dengan perkataan lain tata ruang merupakan pengaturan tempat bagi berbagai kegiatan manusia. Tata ruang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan semua pihak secara adil, menghindari persengketaan serta menjamin kelestarian lingkungan. Penggunaan lahan menurut rencana tata ruang wilayah di DAS Kali Konto Hulu ada 6 macam penggunaan lahan yaitu: hutan lindung, tegalan, sawah irigasi, sawah tadah hujan, kebun, pemukiman dan waduk. Peta penggunaan lahan sesuai RTRW disajikan pada Gambar 5.9.



Gambar 5.8 Deskripsi Luasan Daerah Erosi dan Sedimentasi Pada Penggunaan Lahan Sesuai RTRW di DAS Kali Konto Hulu

Erosi dan sedimentasi pada penggunaan lahan sesuai RTRW (Gambar 5.8) sebesar 49% merupakan luasan daerah erosi dengan kelas sangat ringan. Luasnya kelas erosi sangat ringan tidak diimbangi dengan daerah yang mengalami erosi dengan kelas sangat berat yaitu seluas 16%.



Gambar 5.9 Peta Penggunaan Lahan Sesuai RTRW DAS Kali Konto Hulu

Hasil simulasi model SWAT pada penggunaan lahan sesuai RTRW menghasilkan nilai erosi dan sedimentasi kurang lebih sebesar 118,70 ton/ha/thn. Penggunaan lahan sesuai RTRW lebih mengoptimalkan pada penambahan luasan hutan lindung. Hutan lindung memiliki luas 34 % dari luas total DAS Kali Konto hulu dan merupakan penggunaan lahan paling luas dari penggunaan lahan lainnya. Erosi pada penggunaan lahan RTRW disajikan pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Hasil Pendugaan Erosi Pada Penggunaan Lahan Sesuai Rencana Tata Ruang Wilayah

Penggunaan Lahan	Luas	Erosi (ton/ha/thn)	Kelas Erosi
Hutan Lindung	8383.81	4.49	Sangat Ringan
Kebun	3684.24	249.79	Berat
Pemukiman	1237.70	0.63	Sangat Ringan
Sawah	1213.03	59.29	Ringan
Sawah Tadah Hujan	3087.95	93.41	Sedang
Tegalan	5685.72	304.62	Berat
Waduk	325.62	0.00	-

Hasil *obverlay* penggunaan lahan RTRW dengan kemiringan lahan, area pertanian dikatakan tidak sesuai, hal ini di sebabkan area pertanian berada pada daerah dengan kelerengan curam yang seharusnya berpenggunaan lahan agroforestri multistrata atau hutan. Penggunaan lahan pertanian pada kelerengan yang curam harus menerapkan pada kaidah konservasi tanah dan air seperti pembuatan teras agar erosi dan sedimentasi dapat terkendali. Sistem teras merupakan salah satu teknik dalam konservasi tanah dengan tujuan mengurangi panjang lereng dan menahan air sehingga mampu mengurangi kecepatan dan jumlah aliran permukaan serta memungkinkan penyerapan air oleh tanah, sehingga erosi dapat berkurang.

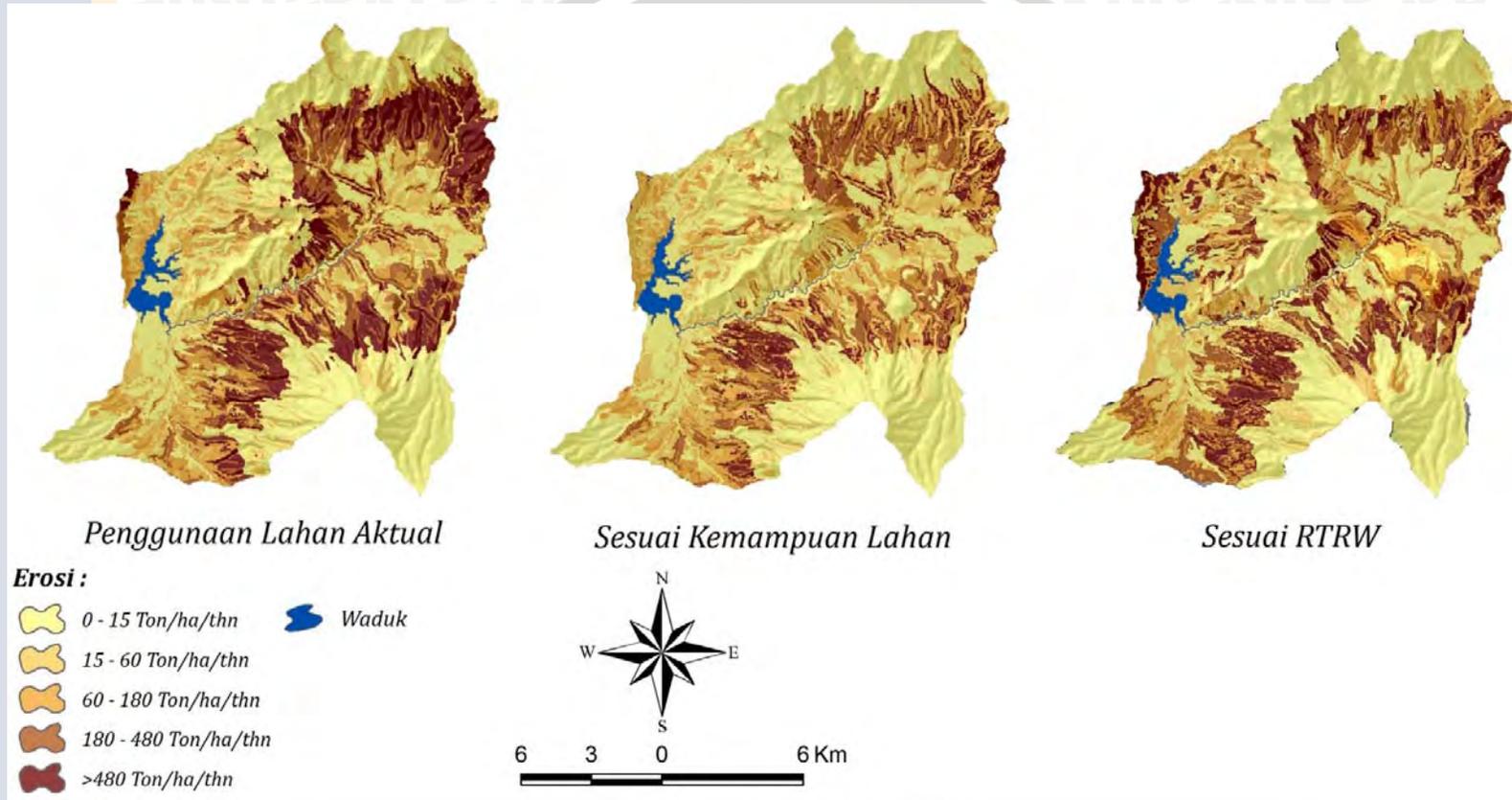
Pembuatan teras, penanaman secara berjalur, penanaman atau pengolahan tanah menurut kontur, perlindungan tanah dengan mulsa adalah kegiatan manusia yang dapat menurunkan erosi. Di lain pihak, penanaman searah lereng, perladangan dan penggunaan lahan tanpa memperhatikan kaidah konservasi akan meningkatkan bahaya erosi (Arsyad, 2010).

5.2 Perbandingan Hasil Pendugaan Erosi dan Sedimentasi pada Berbagai Penggunaan Lahan

Perbandingan pendugaan erosi dan sedimentasi di berbagai penggunaan lahan mengalami penurunan berturut-turut dari penggunaan lahan sesuai RTRW 118,70 ton/ha/thn, penggunaan lahan aktual tahun 2012 dan penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan masing-masing menjadi 100,02 ton/ha/thn dan 77,32 ton/ha/thn.

Hasil simulasi model SWAT menunjukkan penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan memiliki jumlah erosi dan sedimentasi yang paling rendah. Perbandingan penggunaan lahan melalui *obverlay* penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan dengan penggunaan lahan sesuai RTRW menunjukkan bahwa penggunaan lahan pertanian dan kebun pada penggunaan lahan sesuai RTRW pada penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan berupa penggunaan lahan agroforestri multistrata. Perbedaan dua penggunaan lahan ini mempengaruhi nilai parameter *input* USLE C yang lebih rendah pada penggunaan lahan Agroforestri dari pada penggunaan lahan pertanian.

Penggunaan lahan sesuai RTRW memiliki luas hutan yang paling luas, akan tetapi pada penggunaan lahan pertanian dan perkebunan berada pada kemiringan lahan yang curam dan sangat curam. Semakin curam kemiringan lahan dan besarnya curah hujan maka semakin cepat limpasan air permukaan dan semakin tinggi bahaya erosi yang terjadi. Menurut Baver (1959) erosi akan meningkat dengan bertambahnya panjang lereng pada intensitas hujan tinggi, tetapi erosi akan menurun dengan bertambahnya panjang lereng pada intensitas hujan yang rendah. Peta perbandingan erosi dan sedimentasi antara penggunaan lahan aktual 2012, sesuai kemampuan lahan dan penggunaan lahan sesuai RTRW disajikan pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Peta Sebaran Erosi dan Sedimentasi Pada Berbagai Penggunaan Lahan di DAS Kali Konto Hulu

5.3 Sebaran Wilayah Erosi dan Sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu

Peta sebaran wilayah erosi dan sedimentasi merupakan peta hasil *obverlay* pendugaan erosi aktual tahun 2012 dengan peta administrasi DAS Kali Konto Hulu. Wilayah yang mengalami erosi sangat ringan sampai sangat berat dapat dilihat dan ditentukan lebih mudah dengan menganalisis data spasial dari hasil *obverlay* dua peta tersebut. Peta sebaran wilayah erosi di DAS Kali Konto disajikan pada Gambar 5.11

Tabel 5.11 Sebaran Wilayah Erosi di Das Kali Konto Hulu

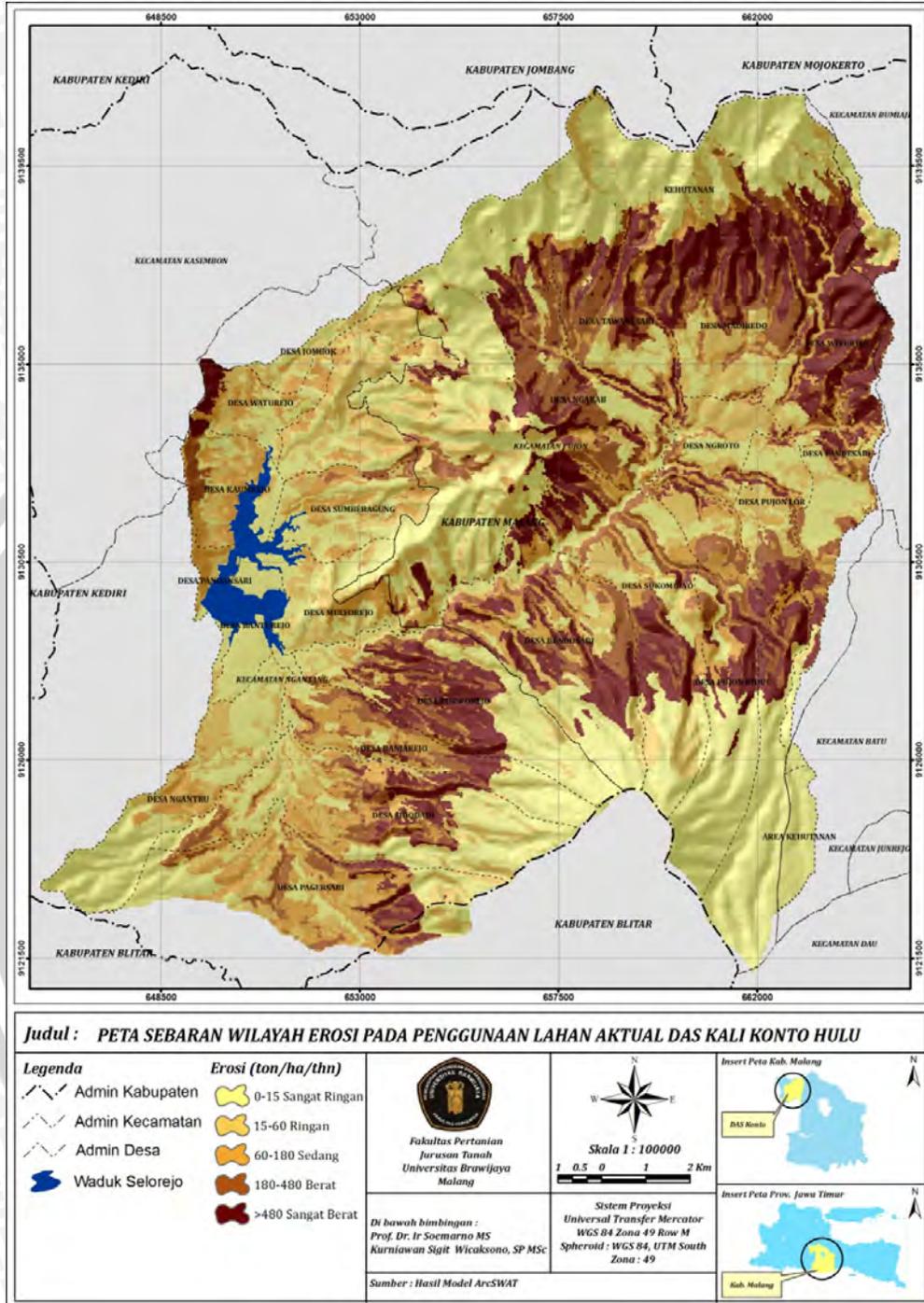
Kecamatan	Desa	Erosi (ton/ha/thn)	Kelas Erosi
Pujon	Bendosari	184.35	Sedang
	Madirejo	208.77	Berat
	Ngabab	198.14	Berat
	Ngroto	91.51	Sedang
	Pandesari	154.32	Sedang
	Pujon Kidul	161.25	Sedang
	Pujon Lor	125.69	Sedang
	Sukomulyo	162.45	Sedang
	Tawangsari	213.30	Berat
	Wiyurejo	232.70	Berat
Rata - Rata		173.25	
Ngantang	Banjarejo	138.52	Sedang
	Banturejo	18.57	Ringan
	Jombok	126.17	Sedang
	Kaumrejo	137.09	Sedang
	Mulyorejo	28.46	Ringan
	Ngantru	23.48	Ringan
	Pagersari	121.84	Sedang
	Pandansari	26.58	Ringan
	Purworejo	168.95	Sedang
	Sidodadi	130.66	Sedang
Rata - Rata		89.45	

Daerah yang erosinya sangat ringan adalah Desa Banturejo Kecamatan Ngantang. Dari komposisi lahan daerah tersebut memiliki penggunaan lahan agroforestri (56.26 ha), sawah (188.82 ha), tegalan (62.55 ha) dan pemukiman (69.66 ha), dengan kemiringan lahan antara 0-15%. Hasil deskripsi komposisi lahan menunjukkan bahwa daerah tersebut didominasi kemiringan lahan yang

datar sampai agak miring dengan penggunaan lahan didominasi sawah. Sedangkan daerah yang mengalami erosi dengan kelas berat adalah di Kecamatan Pujon, Desa Wiyurejo (232,70 ton/ha/thn), Tawang Sari (213,30 ton/ha/thn), Madirejo (208,77 ton/ha/thn) dan Ngabab (198,14 ton/ha/thn) dengan komposisi unit lahan berpenggunaan lahan didominasi perkebunan dan tegalan dengan kemiringan lahan antara 0 sampai >45%. Sebaran wilayah erosi di DAS Kali Konto Hulu disajikan pada Tabel 5.11.

Kemiringan lahan dan penggunaan lahan yang tidak sesuai terhadap daya dukung lahan disinyalir menjadi faktor utama terhadap besarnya erosi di DAS Kali Konto Hulu. Topografi diartikan sebagai tinggi rendahnya permukaan bumi yang menyebabkan terjadi perbedaan lereng. Kemiringan dan panjang lereng adalah dua unsur topografi yang paling berpengaruh terhadap aliran permukaan dan erosi (Arsyad, 2010).

Penggunaan lahan sawah di DAS Kali Konto Hulu telah menerapkan kaidah konservasi dengan baik, akan tetapi pada penggunaan lahan tegalan dan perkebunan perlu dilakukan perbaikan pada konservasi tanah dan air. Sebagian besar penanaman dan pengelolaan lahan pada lahan tersebut dilakukan dengan penanaman yang searah lereng. Pembuatan teras, penanaman secara berjalur, penanaman atau pengolahan tanah menurut kontur, perlindungan tanah dengan mulsa adalah kegiatan manusia yang dapat menurunkan erosi. Menurut Sinukaban (1990) 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*).



Gambar 5.11 Peta Sebaran Wilayah Erosi dan Sedimentasi DAS Kali Konto Hulu

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Rata-rata kehilangan tanah akibat erosi di DAS Kali Konto Hulu sebesar 100,02 ton/ha/thn dengan klasifikasi kelas erosi adalah: Erosi Sangat Ringan (0-15 ton/ha/thn) seluas 9769.95 ha, Erosi Ringan (15-60 ton/ha/thn) seluas 4084.56 ha, Erosi Sedang (60-180 ton/ha/thn) seluas 2949.21 ha, Erosi Berat (180-480 ton/ha/thn) seluas 3107.07 ha dan Erosi Sangat Berat (>480 ton/ha/thn) seluas 3707.28 ha
2. Daerah yang erosinya sangat ringan (18,57 ton/ha/thn) berada di Desa Banturejo, Ngantang. Penggunaan lahan di daerah ini berupa agroforestri (56.26 ha), sawah (188.82 ha), tegalan (62.55 ha) dan pemukiman (69.66 ha); dengan kemiringan lahan 0-15%. Daerah yang erosinya berat berada di Kecamatan Pujon Desa Wiyurejo (232,70 ton/ha/thn), Tawang Sari (213,30 ton/ha/thn), Madirejo (208,77 ton/ha/thn) dan Ngabab (198,14 ton/ha/thn); lahan perkebunan dan tegalan sangat dominan dengan kemiringan lahan 0 sampai >45%.
3. Perubahan penggunaan lahan sangat berpengaruh terhadap terjadinya erosi dan sedimentasi di DAS Kali Konto Hulu. Rata-rata kehilangan tanah akibat erosi pada penggunaan lahan sesuai RTRW adalah sebesar 118,70 ton/ha/thn, penggunaan lahan aktual sebesar 100,02 ton/ha/thn dan penggunaan lahan sesuai kemampuan lahan sebesar 77,32 ton/ha/thn
4. Pengelolaan lahan (faktor P) paling sensitif terhadap erosi (nilai mean 3.4622), diikuti oleh kemiringan lahan (faktor LS) dengan nilai mean 0.0104, penggunaan lahan (faktor C) dengan nilai mean 0.000478, dan erodibilitas tanah (faktor K) dengan nilai mean 0.0000.
5. Nilai validasi *inflow* model dengan *inflow* terukur Waduk Selorejo ($R^2 = 0,88$ dan $P\text{-value} = 0.173$) menunjukkan bahwa pendekatan model hidrologi menggunakan aplikasi ArcSWAT dapat mensimulasikan proses hidrologi di DAS Kali Konto Hulu.

6.2 Saran

1. Data *inflow* dan sedimen Waduk Selorejo digunakan sebagai validasi/keakuratan hasil simulasi. Pada penelitian ini, data lapangan yang diperoleh hanya data *inflow* Waduk Selorejo. Dalam penelitian sejenis, hendaknya memperhatikan ketersediaan data untuk wilayah yang akan dijadikan subyek penelitian guna menguji keakuratan hasil aplikasi model ArcSWAT.
2. Pengukuran erosi di lapangan untuk menguji keakuratan erosi hasil simulasi aplikasi model ArcSWAT sebaiknya menggunakan metode Chino Meter. Pengukuran erosi menggunakan *rainfall simulator* tidak bisa mensimulasikan proses hidrologi dan menghitung besarnya erosi yang terjadi pada suatu lahan.
3. Perlu dilakukan peninjauan kembali terhadap rencana tata ruang dan wilayah DAS Kali Konto Hulu terutama pada lahan dengan kemiringan 25-45 % dan >45% yang idealnya sebagai penggunaan lahan agroforestri multistrata dan kawasan lindung.



DAFTAR PUSTAKA

- Agus F.W. 2004. Konservasi Tanah Pertanian Lahan Kering. Bogor: World Agroforestry Centre, ICRAF Southeast Asia.
- Aldrich, R.J. 1987. Weed-crop Ecology, Principles in Weed Management. Breten Publishers, A Division of Wadsworth Inc. North Scituate, Massachusetts.
- Anonymous. 2012. Spesifikasi Citra Google Earth. Available at http://id.wikipedia.org/wiki/Google_Earth. Dikutip tanggal 4 Agustus 2012
- Arnold, J.G., J.R. Kiniry, R. Srinivasan, J.R. Williams, S.L. Neitsch. 2009. Soil And Water Assessment Tool User's Manual 2009. Blackland Research & Extension Center. Texas Agricultural Experiment Station.
- Arini, D.I.D. 2005. Aplikasi Sistem Informasi Geografi dan Penginderaan Jauh Untuk Model Hidrologi ANSWERS dalam Memprediksi Erosi dan Sedimentasi di DAS Cisadane Hulu. Jurnal. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.
- Arsyad, S. 2010. Konservasi Tanah dan Air. IPB Press. Bogor.
- Asdak, C. 2002. Hidrologi & Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Bagja, B. 2000. Aplikasi Sistem Informasi Geografis dalam Penentuan Status Pemenuhan Kebutuhan Kayu Bakar di Daerah Penyangga Taman Nasional Gunung Gede Pangrango: kasus Desa Galudra dan Sukamulya, Kecamatan Cugeneng, Kabupaten Cianjur (Skripsi). Bogor: Jurusan Konservasi Sumberdaya Hutan. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.
- Bakhtiar dan J. Hadihardaja. 2010. Determining The Critical Degree of Reservoir Lifetime for The Saguling Reservoir Based on The Sediment Inflow Simulation. Jurnal. Program Doktor Jurusan Teknik Sipil. Universitas Diponegoro. Kampus UNDIP Tembalang. Semarang.
- Beasley, D.B dan L.F. Huggins. 1991. ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Respon Simulation) User's Manual: 2th Edition: US EPA Region V. Chicago.
- Dirjen BRLKT (Direktorat Jendral Reboisasi & Rehabilitasi Lahan). 1998. Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Daerah Aliran Sungai. Departemen Kehutanan. Jakarta.
- Gunawan, T. 1992. Penginderaan Jauh untuk Hidrologi. PUSPICS. Fakultas Geografi. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta
- Harto Br, S. 1993. Analisis Hidrologi. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.

- Haslam, S.M. 1992. River Pollution; An Ecological Perspective. Belhaven Press. London.
- Hardjowigeno, sarwono. 1987. Ilmu Tanah. Jakarta; PT MEDIYATAMA SARANA PERKASA.
- Hidayat, S. 2007. Kajian Sifat Fisik Tanah dan Indeks Erodibilitas Tanah Pasca Alih Guna Lahan Di DAS Brangkal Hulu Kabupaten Mojokerto. Skripsi. Jurusan Tanah. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- Howard, A.D. 1996. Penginderaan Jauh untuk Sumberdaya Hutan (Teori dan Aplikasinya). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Ismail, A.Y. 2004. Evaluasi Pola Perubahan Lahan pada Daerah Aliran Sungai Cimanuk Hulu dengan Menggunakan Citra Landsat TM Tahun 1990 dan 2001 [tesis]. Bogor: Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Jaya, I. N. S. 2002. Aplikasi Sistem Informasi Geografis untuk Kehutanan. Bogor: Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.
- Junaidi, E dan S. D. Tarigan. 2011. Penggunaan Model Hidrologi SWAT Dalam Pengelolaan DAS Cisadane. Jurnal. Balai Penelitian Kehutan Ciamis. Bogor
- Kartasasmita, M. 2001. Prospek dan Peluang Industri Penginderaan Jauh di Indonesia. LISPI. Jakarta.
- Lillesand, T.M dan F.W. Kiefer. 1990. Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra. Dubahri , penerjemah; Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Lo, C.P. 1996. Penginderaan Jauh Terapan. B. Purbowaseso, penerjemah; Jakarta; Universitas Indonesia.
- Luzio, Di M., R. Srinivasan, J.G. Arnold, S.L. Neitsch. 2009. Soil And Water Assessment Tool Theoretical Documentation 2009. Blackland Research & Extension Center. Texas Agricultural Experiment Station.
- Noor dan E. Suhartanto. 2012. Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Sedimen Di Sungai Lesti. Jurnal. Jurusan Teknik Pengairan. Fakultas Teknik Pengairan. Universitas Brawijaya. Malang.
- Prahasta, E. 2002. Konsep-konsep Dasar Sistem Informasi Geografis. Bandung: Informatika.
- Raharjo, P.D. 2005. Aplikasi Teknik Penginderaan Jauh Untuk Mengkaji Pengaruh Perubahan Lahan Terhadap Debit Puncak di DAS Kreo Semarang. Skripsi Fakultas Geografi UGM. Yogyakarta.
- Raharjo, P.D. 2010. Analisa Hidrologi Permukaan Dalam Hubungannya Dengan Debit Banjir DAS Lukulo Hulu Dengan Menggunakan Data Penginderaan Jauh. Jurnal. Fakultas Geografi UGM. Yogyakarta.

- Purwowidodo. 1999. Konservasi Tanah di Kawasan Hutan. Bogor: Jurusan Manajemen Hutan. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Putro H.R, Hendrayanto, Ichwadi. I, Sudaryanto, M Buce S. 2003. Sistem Intensif Rehabilitasi Lahan dalam Rangka Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Bogor: Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.
- Rauf, A. 1994. Aplikasi Model Hidrologi ANSWERS untuk Analisis Respon Hidrologi Sub DAS Palu Timur Sulawesi Tengah [tesis]. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sinukaban, N. 1990. Pengaruh Pengolahan Tanah Konservasi dan Pemberian Mulsa Jerami terhadap Produksi Tanaman Pangan dan Erosi Hara. Penerbit Penel. Tanah dan Pupuk. 9: 32- 38
- Sudarto, Prayogo C., Nugroho D.K. 2004. Kajian Longsor, Banjir dan Erosi di DAS Brantas, Malang Raya. Laporan PHK A2. Universitas Brawijaya. Malang
- Suhartanto, E. 2001. Optimasi Pengelolaan DAS di Sub Daerah Aliran Sungai Cidanau Kabupaten Serang Propinsi Banten Menggunakan Model Hidrologi ANSWERS [disertasi].: Program Pascasarjana. Institu Pertanian Bogor. Bogor.
- Sukrisno. 2005. Pemanfaatan Sistem Informasi Geografi Dalam Aplikasi Model hidrologi Untuk Prediksi Debit dan Debit Puncak. Jurnal. Peneliti Madya Bidang Hidrologi dan Konservasi Tanah. Balai Penelitian Kehutanan Solo
- Team Nuffic-Unibraw. 1984. Tanah dan Keadaan Tanah di Das Kali Konto Hulu, Jawa Timur. Soil Science Department. Universitas Brawijaya. Malang
- Trenggono. 1999. Pengaruh Perubahan Lahan terhadap Karakteristik Debit Sedimen dan Debit Banjir Sungai Wirokoro di Daerah Pengaliran Sungai Wirokoro Bengawan Sungai Hulu [catatan penelitian]. *Litbang Pengairan* 42 (14): 27-36.
- Utomo, W.H. 1994. Erosi dan Konservasi Tanah. Penerbit IKIP Malang. Malang.
- Wischmeier, W.H., dan Smith, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses; A Guide to Conservation Planning. USDA Agr. Handbook 537, Whashington DC., US. Department of Agriculture.