



UNIVERSITAS INDONESIA

**HYDROLOGIC RESPONSE UNIT (HRU)
DAN DEBIT ALIRAN DAERAH ALIRAN CI RASEA**

TESIS

EMİYATI

1006786493

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER ILMU GEOGRAFI**


DEPARTEMEN GEOGRAFI


DEPOK

2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.



Nama : Emiyati
NPM : 1006786493
Tanda Tangan : 
Tanggal : 4 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Emiyati
NPM : 1006786493
Program Studi : Magister Ilmu Geografi
Judul Tesis : Hydrologic Response Unit (HRU) dan Debit
Aliran Daerah Aliran Ci Rasea

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sain pada Program Studi Magister Ilmu Geografi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

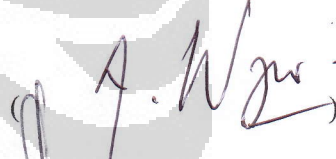
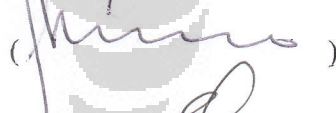


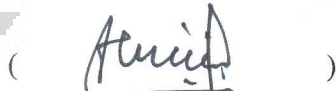
Ketua Sidang : Dr. Ir. Tarsoen Waryono M.Si

Pembimbing : Dr. rer.nat. Eko Kusratmoko, M.S

Pembimbing : Drs. Sobirin, M.Si

Penguji : Dr. Bambang Trisakti

Penguji : Drs. Supriatna, MT

()
()
()
()
()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sain Jurusan Geografi pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai dengan penyusunan tesis ini sangatlah sulit untuk saya menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr.rer.nat. Eko Kusratmoko M.S dan Drs. Sobirin M.Si, selaku dosen pembimbing I dan II yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
2. Dr. Bambang Trisakti dan Drs. Supriatna, MT selaku dosen penguji dan Dr. Tarsoen Waryono, MS yang telah banyak memberikan masukan pada tesis saya ini;
3. Seluruh Staf pengajar, Program Studi Magister Ilmu Geografi Universitas Indonesia yang telah memberikan bimbingan materi ilmu pengetahuan kepada penulis selama mengikuti perkuliahan;
4. Kementerian Riset dan Teknologi, sebagai sponsor beasiswa sehingga saya mempunyai kesempatan untuk melanjutkan studi;
5. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), yang merupakan tempat saya bekerja dan telah memberikan kesempatan kepada saya untuk melanjutkan studi dan banyak membantu dalam usaha memperoleh ilmu pengetahuan dan data untuk menyelesaikan tesis ini;
6. PUSAIR Kementerian Pekerjaan Umum yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
7. Ayahanda Sidi Ramli dan Ibunda Alm. Mastiah serta saudara-saudara saya yang selama ini membantu dan mendukung saya;
8. Suamiku Subhechanis Saptanto dan anak saya Fakhrizal Eka Saptanto yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;

9. Ade kumara yang telah banyak membantu saya dalam mencari data hujan dan debit;
10. Sahabat saya selama kuliah di Program Studi Ilmu Geografi : Suwarsono, Sayidah Sulma, Sukentyas, Mukhoriah, Ratih dan Dini serta yang lainnya yang telah mau berbagi data, berbagi ilmu dan membantu saya dalam menyelesaikan tesis saya ini;
11. Staf karyawan Program Studi Magister Ilmu Geografi : Suprianto yang sudah banyak membantu dalam administrasi kemahasiswaan selama saya kuliah;
12. Teman-teman sesama pegawai LAPAN atas doa, dukungan dan kebersamaan selama ini
13. Kepada semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dalam penyelesaian studi pada Program Studi Magister Ilmu Geografi.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juli 2012

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Emiyati
NPM : 1006786493
Program Studi : Magister Ilmu Geografi
Departemen : Geografi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

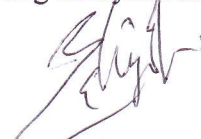
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: **“Hydrologic Response Unit (HRU) dan Debit Aliran Daerah Aliran Ci Rasea”**

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 4 Juli 2012

Yang menyatakan


(Emiyati)

ABSTRAK

Nama : Emiyati
Program Studi : Magister Ilmu Geografi
Judul : Hydrologic Response Unit (HRU) dan Debit Aliran
Daerah Aliran Ci Rasea

Tesis ini membahas pola spasial Hydrologic Response Unit (HRU) pada 1997-2008 dan dampaknya terhadap aliran Daerah Aliran (DA) Ci Rasea. Pada penelitian ini digunakan model SWAT (Soil and Water Assesment Tool) berdasarkan perubahan penutup lahan untuk mendapatkan HRU dan debit aliran secara spasial dan temporal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola spasial HRU dipengaruhi oleh penutup lahan secara temporal yang berdasarkan pada perubahan jumlah dan luas HRU. Dalam periode 1997-2008, akumulasi aliran permukaan dan perubahan debit aliran secara temporal dipengaruhi oleh perubahan HRU. Akumulasi aliran permukaan terbesar di DA Ci Rasea dipengaruhi oleh HRU tegalan yang ada pada daerah berjenis tanah liat dengan lereng agak miring. Sedangkan akumulasi aliran permukaan terkecil di DA Ci rasea dipengaruhi oleh HRU sawah yang ada pada daerah yang berjenis tanah lempung berpasir dengan lereng landai. Perubahan HRU tegalan menjadi HRU kebun campur pada daerah yang berjenis tanah liat dengan lereng agak miring dan HRU tegalan menjadi sawah pada daerah yang berjenis tanah lempung berpasir dengan lereng landai dapat mengurangi akumulasi aliran permukaan di DA Ci Rasea.

Kata Kunci : DA Ci Rasea, HRU, aliran permukaan, model SWAT, penutup lahan

ABSTRACT

Name : Emiyati
Study program : Master of Geography Science
Title : Hydrologic Response Unit (HRU) and Flow Ci Rasea Watershed

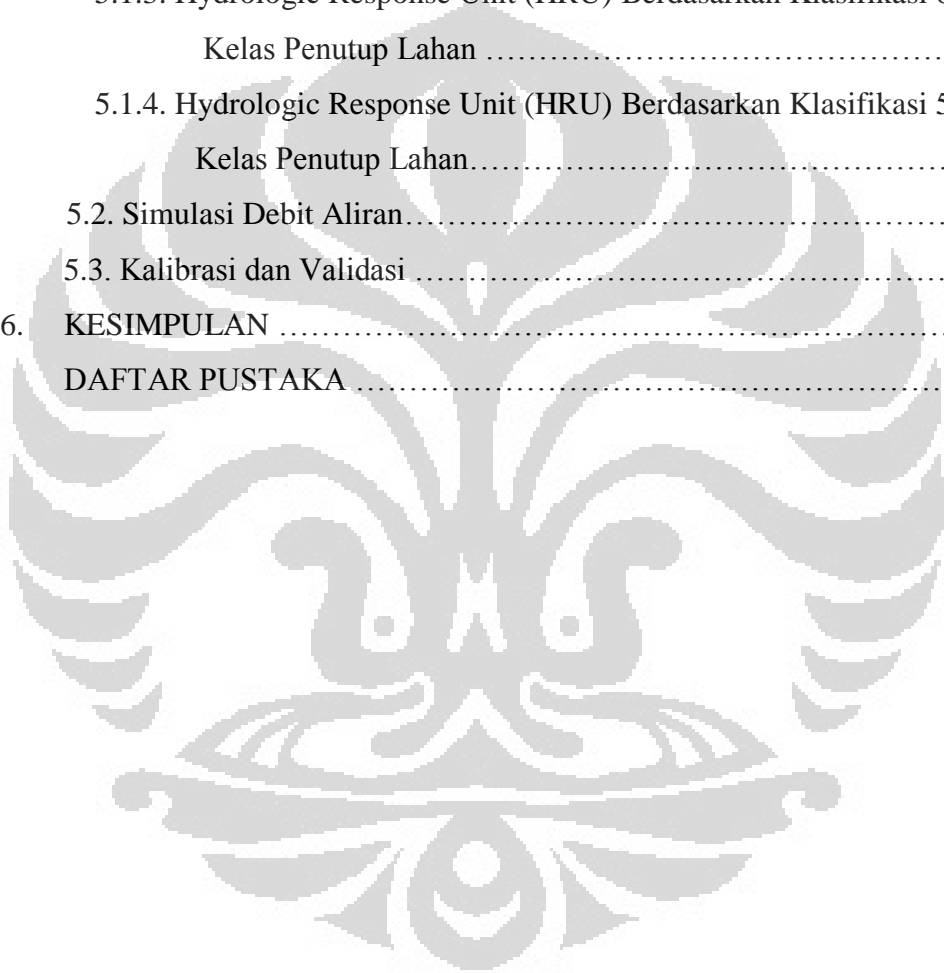
This thesis discussed the spatial pattern of Hydrologic Response Unit (HRU) in 1997-2008 and its impact on flow Ci Rasea watershed. In this study, SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model, based on land cover changed, was used to get HRU and flow in spatially and temporally. The results shown spatial pattern of HRU temporally was affected by land cover which based on change of number and area of HRU. In period 1997-2008, accumulated surface runoff and the changing of flow were affected by changes of HRU in temporally. The biggest accumulated surface runoff in DA Ci Rasea influenced by HRU of agriculture cropland which there on area of clay soil type with slope slightly oblique. While the smallest accumulated surface runoff in DA Ci Rasea influenced by HRU of paddy field which there on area of sandy loam soil type with a gentle slope. The changed of agriculture cropland HRU to be mixed cropland HRU on area which have clay soil type with slope at a slight angle and agriculture cropland HRU to be paddy field HRU on area which have sandy loam soil type with a gentle slope can decrease accumulated surface runoff in DA Ci Rasea.

Kata Kunci : Ci Rasea watershed, HRU, surface runoff, SWAT model, land cover

DAFTAR ISI

1.	PENDAHULUAN	1
	1.1.Latar Belakang	1
	1.2.Masalah Penelitian	3
	1.3.Tujuan	3
	1.4.Batasan Masalah	4
2.	TINJAUAN PUSTAKA	5
	2.1. Daerah Aliran Sungai (DAS)	5
	2.2. Iklim	8
	2.3. Penutup Lahan	10
	2.4. Tanah	10
	2.5. Geologi/Litologi	12
	2.6. Digital Elevation Model (DEM)	12
	2.7. Hydrologic Response Unit (HRU)	14
	2.8. Analisis Cluster	15
	2.9. Debit Aliran	16
	2.10. Model Hidrologi	17
	2.11. Model Soil and Water Assessment Tool (SWAT)	18
	2.12. Penelitian Model Hidrologi Sebelumnya	20
3.	METODOLOGI	23
	3.1. Kerangka Konsep	23
	3.2. Variabel Penelitian	24
	3.3. Pengumpulan Data	24
	3.4. Pengolahan Data	27
	3.5. Analisis Data	32
4.	GAMBARAN UMUM WILAYAH PENELITIAN	36
	4.1. Letak Geografis dan Administrasi	36
	4.2. Iklim	36
	4.3. Topografi	37
	4.4. Geologi/Litologi	39
	4.5. Tanah	41

4.6. Penutup Lahan	42
5. HASIL DAN PEMBAHASAN	44
5.1. Hydrologic Response Unit (HRU)	44
5.1. 1. Perubahan Penutup Lahan Berdasarkan Klasifikasi 6 Kelas Penutup Lahan	45
5.1.2. Perubahan Penutup Lahan Berdasarkan Klasifikasi 5 Kelas Penutup Lahan	49
5.1.3. Hydrologic Response Unit (HRU) Berdasarkan Klasifikasi 6 Kelas Penutup Lahan	53
5.1.4. Hydrologic Response Unit (HRU) Berdasarkan Klasifikasi 5 Kelas Penutup Lahan.....	66
5.2. Simulasi Debit Aliran.....	77
5.3. Kalibrasi dan Validasi	81
6. KESIMPULAN	86
DAFTAR PUSTAKA	87



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Perbedaan DAS dan wilayah sungai	7
Gambar 2.2.	Segetiga kelas tekstur tanah	11
Gambar 2.3.	Tampilan DEM, DTM dan DSM	13
Gambar 2.4.	Proses fase lahan pada siklus hidrologi	19
Gambar 2.5.	Proses fase air berdasarkan model SWAT	20
Gambar 3.1.	Alur pikir penelitian	23
Gambar 3.2.	Citra Landsat 1997, 2003 dan 2008	26
Gambar 3.3.	DEM SRTM	27
Gambar 3.4.	Alur pengolahan data	28
Gambar 4.1.	Wilayah penelitian Daerah Aliran Ci Tarum hulu	36
Gambar 4.2.	Grafik rata-rata bulanan curah hujan di st. Ciapray pada tahun 1998-2007	37
Gambar 4.3.	Peta ketinggian wilayah penelitian di DA Cirasea.....	38
Gambar 4.4.	Peta kelerengan wilayah penelitian di DA Cirasea	39
Gambar 4.5.	Peta geologi dan litologi wilayah penelitian di DA Cirasea	40
Gambar 4.6.	Peta tanah wilayah penelitian di DA Ci Tarum hulu	41
Gambar 4.7.	Jenis penutup lahan pada wilayah penelitian di DA Ci Tarum hulu bulan maret 2012	42
Gambar 5.1.	SubDAS yang diperoleh dari analisis cluster berdasarkan DEM SRTM dengan threshold 5 km	44
Gambar 5.2.	Hasil klasifikasi penutup lahan 6 kelas tahun 1997 (a), 2003 (b) dan 2008 (c) dan peta perubahan penutup lahan 1997-2008 (d).....	48
Gambar 5.3.	Hasil klasifikasi penutup lahan 5 kelas tahun 1997 (a), 2003 (b) dan 2008 (c) dan peta perubahan penutup lahan 1997-2008 (d).....	52
Gambar 5.4.	HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan tegalan berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan	54
Gambar 5.5.	HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan kebun campur berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan	56
Gambar 5.6.	HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan hutan berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan	58

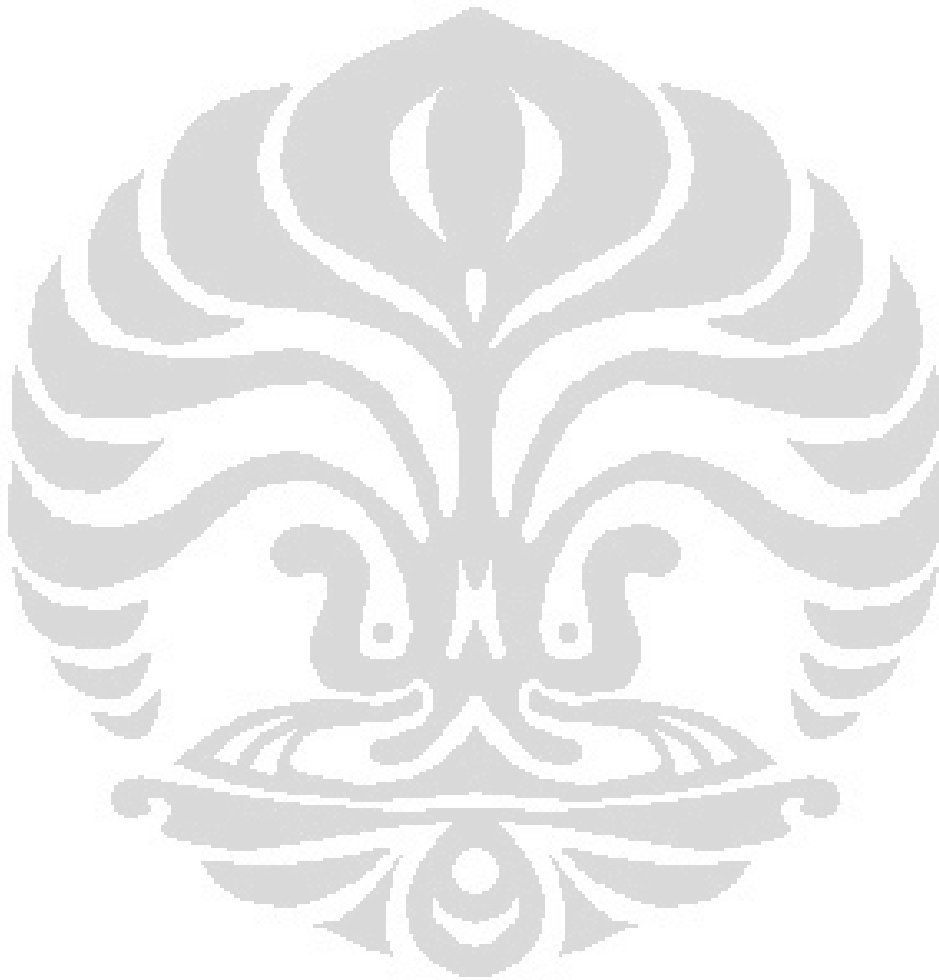
Gambar 5.7.	HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan sawah berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan	60
Gambar 5.8.	HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan semak berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan	62
Gambar 5.9	HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan permukiman berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan	64
Gambar 5.10.	HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan lahan kering berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan	67
Gambar 5.11.	HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan hutan berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan	69
Gambar 5.12.	HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan sawah berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan	71
Gambar 5.13.	HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan semak berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan	73
Gambar 5.14.	HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan permukiman berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan	75
Gambar 5.15.	Tinggi curah hujan bulan Maret 2008 yang terekam di stasiun curah hujan Ciparay	77
Gambar 5.16.	Debit model, curah hujan dan debit lapangan Maret 2008 dengan menggunakan klasifikasi 6 kelas penutup lahan	82
Gambar 5.17.	Korelasi antara debit model dan debit lapangan berdasarkan HRU klasifikasi 6 kelas penutup lahan	82
Gambar 5.18.	Debit model, curah hujan dan debit lapangan Maret 2008 dengan menggunakan klasifikasi 5 kelas penutup lahan	83
Gambar 5.19.	Korelasi antara debit model dan debit lapangan berdasarkan HRU klasifikasi 5 kelas penutup lahan	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson	8
Tabel 2.2.	Klasifikasi intensitas hujan	9
Tabel 2.3.	Kalsifikasi prosedur pengelompokan analisis cluster	16
Tabel 2.4.	Beberapa penelitian mengenai HRU dan model SWAT	21
Tabel 3.1.	Jenis dan sumber data yang digunakan	25
Tabel 5.1.	Luas dan Perubahan Penutup Lahan di DA Ci Rasea tahun 1997, 2003 dan 2008 berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan	45
Tabel 5.2.	Matrik Perubahan Penutup Lahan di DA Ci Rasea tahun 1997-2008 berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan	46
Tabel 5.3.	Luas dan Perubahan Penutup Lahan di DA Ci Rasea tahun 1997, 2003 dan 2008 berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan	50
Tabel 5.4.	Matrik Perubahan Penutup Lahan di DA Ci Rasea tahun 1997-2008 berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan	51
Tabel 5.5.	Jumlah HRU, HRU dominan dan luasnya pada masing-masing SubDAS tahun 1997-2008 di DA Ci Rasea berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan	65
Tabel 5.6.	Jumlah HRU, HRU dominan dan luasnya pada masing-masing SubDAS tahun 1997-2008 di DA Ci Rasea berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan	76
Tabel 5.7.	Perubahan akumulasi aliran permukaan (Q_{surf}) dari tahun 1997-2008 pada setiap SubDAS	78
Tabel 5.8.	Perubahan debit aliran tahun 1997-2008 pada setiap sub basin berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan	79
Tabel 5.9.	Perubahan akumulasi aliran permukaan (Q_{surf}) dari tahun 1997-2008 pada setiap SubDAS berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan	80
Tabel 5.10.	Perubahan debit aliran tahun 1997-2008 pada setiap sub basin berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan	81

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Bilangan Kurva (BK) aliran permukaan untuk berbagai kelompok tanah dan penutup/pegunaan tanah	91
Lampiran 2	Data curah hujan dan data debit lapangan	92
Lampiran 3	Hasil uji statistik t-student	96



BAB I

PENDAHULUAN

1. 1. Latar Belakang

Setiap tahun banjir terjadi di hulu Ci Tarum tepatnya di wilayah Bandung. Menurut Soesilo dkk (1998), wilayah Bandung memang daerah rawan banjir. Pada tahun 1994 banjir di cekungan Bandung menggenangi 3.358 hektar. Banjir tersebut terjadi di Wilayah Bandung Selatan, sebagai akibat meluapnya Daerah aliran Ci Tarum hulu dan anak-anak sungainya, seperti Ci Keruh, Ci Tarik dan Ci Nambo. Menurut Issey (2011) dan Raharjo (2008), setiap tahunnya banjir terjadi di Wilayah Bandung Selatan terutama di Kecamatan Majalaya, Dayeuhkolot, Baleendah dan Bojongsoang. Berdasarkan data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dari tahun 1994 telah tercatat bahwa setiap tahun terjadi banjir di wilayah Bandung.

Banjir merupakan peristiwa terbenamnya daratan (yang biasanya kering) karena volume air yang meningkat atau meluapnya aliran air permukaan (*run-off*) yang volumenya melebihi kapasitas pengaliran sistem drainase atau sungainya (Trisakti, 2010). Banjir adalah peristiwa alamiah. Namun banjir akan menjadi masalah ketika banjir tersebut mengenai manusia. Banjir dapat menyebabkan kerugian baik material maupun non material. Oleh karena itu perlu adanya upaya untuk mengurangi resiko terjadinya bencana banjir. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan akibat terjadinya banjir adalah dengan mengetahui penyebabnya terjadinya banjir yang tergantung pada karakteristik hidrologi, klimatologi dan kondisi fisik wilayah.

Perubahan kondisi lahan dari waktu ke waktu membuat ancaman terjadinya banjir semakin besar. Hal tersebut disebabkan karena daya tampung sungai semakin lama semakin kecil. Berkurangnya kemampuan daya tampung sungai tersebut diakibatkan oleh pendangkalan, fluktuasi debit air antara musim penghujan dengan musim kering semakin tinggi, konversi lahan yang menyebabkan rusaknya daerah tangkapan air dan eksploitasi air tanah yang berlebihan. Perubahan tutupan lahan pada wilayah hulu yang awalnya hutan menjadi pemukiman atau lahan terbuka, juga dapat mempengaruhi terjadi banjir.

Hal tersebut akan menyebabkan meningkatnya volume aliran permukaan akibat berkurangnya daerah resapan air. Salah satu daerah hulu Ci Tarum adalah daerah aliran Ci Rasea. Menurut Yusuf (2010), tutupan lahan daerah aliran Ci Rasea pada tahun 1997-2007 telah mengalami perubahan. Menurut Balitklimat (2007) dan pawitan (2006), perubahan lahan yang terjadi di daerah hulu suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) menyebabkan terjadinya perubahan karakteristik hidrologi DAS. Menurut Harto (2000), perubahan karakteristik hidrologi yang terjadi berupa perilaku dan fungsi air permukaan seperti peningkatan debit aliran karena turunnya kapasitas infiltrasi sehingga terjadinya banjir.

Karakteristik hidrologi DAS dapat dihasilkan dari analisis satuan respon hidrologi (Hydrologic Response Unit/ HRU). Hydrologic Response Unit (HRU) merupakan satuan analisis hidrologi yang dibentuk berdasarkan jenis tanah, ketinggian dan lereng, geologi serta penutup lahan. Menurut Flugel (1997), analisis HRU tersebut dapat menghasilkan fakta dan fenomena keruangan yang ada dalam lingkup dan hubungan antar sub DAS. Karena HRU mengelompokkan karakteristik fisiogeografi berdasarkan pada asosiasi jenis tanah, lereng, geologi dan penutup lahan suatu wilayah. Jenis tanah, lereng, geologi dan penutup lahan merupakan variabel dinamis yang dapat menyebabkan perubahan HRU dari waktu ke waktu. Perubahan HRU ini biasanya terjadi akibat berkembangnya suatu wilayah yang membutuhkan lahan untuk pemukiman maupun tutupan lahan lainnya. Hal ini menyebabkan terjadinya konversi hutan menjadi pemukiman, sawah, ladang ataupun fasilitas lainnya.

Untuk memperoleh karakteristik hidrologi suatu DAS dapat digunakan model hidrologi. Salah satu model hidrologi yang dapat digunakan untuk pemodelan tersebut adalah SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). Menurut Neitsch, dkk (2005) SWAT merupakan model yang dapat digunakan untuk memprediksi pengaruh penggunaan lahan terhadap aliran air, sedimen, dan zat kimia lainnya yang masuk ke sungai atau badan air pada suatu DAS. Dengan menggunakan model SWAT ini, kombinasi antara HRU dengan curah hujan dapat menghasilkan debit aliran di suatu DAS atau sub DAS. Beberapa hasil penelitian lainnya (Hernandez dkk. 2000; Wang dkk. 2007, Suryani. 2005 dan Yusuf. 2010)

mengatakan bahwa SWAT dapat menggambarkan hubungan penggunaan lahan terhadap hidrologi DAS.

1. 2. Masalah Penelitian

Banjir merupakan masalah tahunan yang sering terjadi di daerah Bandung. Hal ini terjadi akibat dari meluapnya aliran Ci Tarum hulu yang disebabkan oleh berubahnya tutupan lahan dan kondisi fisik lainnya suatu daerah. Salah satu daerah hulu Ci Tarum yang telah mengalami perubahan tutupan lahan adalah daerah aliran Ci Rasea (Yusuf, 2010). Perubahan ini mengakibatkan berubah unit respon hidrologi (HRU) yang mempengaruhi besarnya debit aliran akibat berkurangnya daerah resapan air. Salah satu model hidrologi yang dapat digunakan untuk pemodelan ini adalah SWAT. Dengan demikian pertanyaan penelitian dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana pola spasial unit respon hidrologi (HRU) di DA Ci Rasea pada tahun 1997, 2003 dan 2008?
2. Bagaimana karakteristik debit aliran yang dihasilkan dari unit respon hidrologi (HRU) di DA Ci Rasea dengan menggunakan model SWAT?
3. Bagaimana akurasi debit hasil dari penggunaan model SWAT tersebut?

1.3. Tujuan

Berdasarkan perumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan pola spasial unit respon hidrologi (HRU) di DA Ci Rasea pada tahun 1997, 2003 dan 2008.
2. Mendapatkan karakteristik debit aliran yang dihasilkan dari unit respon hidrologi (HRU) di DA Ci Rasea dengan menggunakan model SWAT.
3. Mendapatkan hasil kalibrasi dan Validasi hasil debit model SWAT tersebut dengan data lapangan.

1.4. Batasan Masalah

1. Wilayah penelitian dilakukan di DA Ci Cirasea yang terletak membujur dari arah selatan yaitu antara $7^{\circ} 2' 17''$ - $7^{\circ} 9' 58''$ Lintang Selatan dan $107^{\circ} 37' 37''$ - $107^{\circ} 43' 1''$ Bujur Timur yang merupakan Sub DA Ci Tarum hulu.
2. Pada penelitian ini digunakan system grid dengan luas 25 X 25 mater, agar sesuai dengan data citra Landsat TM 30 dan SRTM yang resolusi spasialnya 25 meter. Dengan demikian 1 grid merupakan piksel data Landsat TM dan SRTM.
3. Model yang digunakan adalah model MWSWAT 2005 yang dibuat oleh Waterbase.org dengan platform MapWindow GIS 4.7.5.
4. Variabel dinamis yang digunakan adalah penggunaan lahan sedangkan variabel curah hujan, temperature, radiasi matahari, kecepatan angin, lereng, jenis tanah dan geologi dianggap tetap.
5. Sistem klasifikasi tanah yang digunakan dalam model menggunakan sistem klasifikasi tanah FAO.
6. Stasiun curah hujan yang digunakan adalah stasiun curah hujan Ciparay.
7. Data Iklim yang digunakan seperti data temperatur, kecepatan angin dan radiasi matahari menggunakan data global.
8. Threshold yang digunakan pada saat membuat HRU adalah 0% untuk penutup lahan, 5% untuk lereng dan untuk tanah 5%. Artinya luas area yang dibawah threshold tersebut, tidak diperhitug pada saat proses simulasi model.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (DAS) secara umum didefinisikan sebagai suatu hamparan kawasan yang dibatasi oleh pembatas topografi (punggung bukit) yang menerima, mengumpulkan air hujan, sedimen dan unsur hara serta mengalirkannya melalui anak-anak sungai dan keluar pada sungai utama ke laut atau danau. Menurut Linsley (1980), DAS adalah “*A river of drainage basin in the entire area drained by a stream or system of connecting streams such that all stream flow originating in the area discharged through a single outlet*”. Dari definisi di atas, dapat diartikan bahwa DAS merupakan ekosistem, dimana unsur organisme dan lingkungan biofisik serta unsur kimia berinteraksi secara dinamis dan di dalamnya terdapat keseimbangan *inflow* dan *outflow* dari material dan energi.

Selain itu pengelolaan DAS dapat diartikan sebagai suatu bentuk pengembangan wilayah yang menempatkan DAS sebagai suatu unit pengelolaan sumber daya alam (SDA) yang secara umum untuk mencapai tujuan peningkatan produksi pertanian dan kehutanan yang optimum dan berkelanjutan dengan upaya menekan kerusakan seminimum mungkin agar distribusi aliran air sungai yang berasal dari DAS dapat merata sepanjang tahun. DAS merupakan kesatuan ekosistem dimana jasad hidup dan lingkungannya berinteraksi secara dinamik dan terdapat saling ketergantungan (*interdependensi*) diantara komponen-komponen penyusunnya. Menurut Arsyad (2000), DAS adalah wilayah yang terletak di atas satu titik pada suatu sungai, yang batas-batas topografi mengalirkan air yang jatuh di atasnya ke dalam sungai yang sama dan melalui titik-titik yang sama pada sungai tersebut. Selanjutnya Asdak (1995) menyatakan bahwa DAS merupakan kumpulan Sub-DAS yang lebih kecil dan jumlahnya sesuai dengan ordo atau jumlah cabang sungainya.

Dalam pendefinisian DAS, pemahaman akan konsep hidrologi sangat diperlukan terutama untuk melihat masukan berupa curah hujan. Konsep daur hidrologi DAS menjelaskan bahwa air hujan langsung sampai ke permukaan tanah

untuk kemudian terbagi menjadi air larian, evaporasi dan air infiltrasi, yang kemudian akan mengalir ke sungai sebagai debit aliran. Debit aliran yang besar akan menyebabkan terjadinya banjir. Secara umum penyebab banjir dapat dibedakan menjadi 2 (dua) kelompok, yaitu curah hujan dan sistem DAS. Curah hujan meliputi faktor intensitas, lama dan distribusi hujan, sedangkan sistem DAS meliputi faktor kelerengan, jenis tanah, penggunaan lahan dan sistem transfer hujan dalam DAS.

Tingginya frekuensi hujan dengan jumlah yang besar dalam waktu relatif singkat di musim penghujan, disertai perubahan penggunaan lahan menuju makin luasnya permukaan yang kedap air (*impermeable*) menyebabkan hanya sebagian kecil curah hujan yang dapat diserap dan ditampung oleh tanah melalui intersepsi maupun infiltrasi sebagai cadangan air dimusim kemarau (Irianto, dkk. 2001). Dampak air hujan yang ditransfer menjadi aliran permukaan (debit Aliran) meningkat, sehingga terjadi banjir dengan besaran (*magnitude*) yang makin meningkat. Kondisi ini akan diperburuk apabila periode tanah sudah dalam keadaan jenuh akibat hujan sebelumnya. Banjir terjadi saat debit aliran sungai menjadi sangat tinggi, sehingga melampaui kapasitas daya tampung sungai. Akibatnya bagian air yang tidak tertampung melimpas melampaui badan/bibir/tanggul sungai dan pada akhirnya menggenangi daerah sekitar aliran yang lebih rendah.

Suatu DAS dapat dibagi menjadi tiga wilayah yaitu DAS bagian hulu, tengah dan hilir. DAS bagian hulu ini mempunyai peran paling penting, terutama sebagai tempat penyedia air untuk dialirkan ke bagian hilirnya. Berikutnya adalah DAS bagian tengah dan bagian hilir didasarkan pada fungsi pemanfaatan air sungai yang dikelola untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi, yang diindikasikan melalui kuantitas dan kualitas air, kemampuan menyalurkan air, ketinggian curah hujan, dan terkait untuk kebutuhan pertanian, air bersih, serta pengelolaan air limbah.

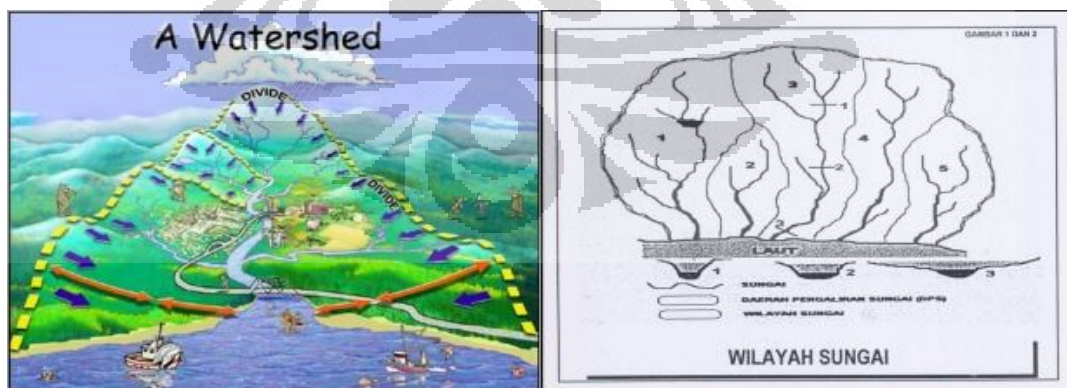
Secara umum terdapat empat jenis bentuk DAS (Sosrodarsono dan Takeda, 1980), yaitu:

1. DAS berbentuk bulu burung. DAS ini mempunyai anak-anak sungai yang langsung mengalir ke sungai utama dan memiliki debit banjir yang kecil,

karena waktu tiba banjir dari anak-anak sungai berbeda-beda serta waktu berlangsung agak lama

2. DAS berbentuk radial. DAS ini mempunyai anak sungai yang memusat pada suatu titik secara radial sehingga menyerupai bentuk kipas atau lingkaran. Daerah Aliran Sungai ini mempunyai banjir yang relative besar mulai titik pertemuan anak-anak sungainya dan banjir yang terjadi relatif tidak lama
3. DAS berbentuk paralel. DAS ini mempunyai dua jalur Sub-DAS yang bersatu. Kedua cabang atau ordo sungai pada masing-masing Sub-DAS tersebut membentuk sungai utama. Banjir biasanya terjadi pada bagian hilir di bawah pertemuan kedua anak sungai tersebut
4. DAS berbentuk kompleks. DAS ini mempunyai bentuk lebih dari satu pola sehingga polanya menjadi tidak nyata dan sering dijumpai pada DAS yang sangat luas.

DAS dan wilayah aliran sungai (WAS) adalah berbeda. Karena DAS merupakan suatu kesatuan wilayah tata air yang terbentuk secara alamiah dimana air meresap dan/atau mengalir melalui sungai dan anak-anak sungai yang bersangkutan seperti pada Gambar 2.1(a), sedangkan WAS adalah kesatuan wilayah pengelolaan sumber daya air dalam satu atau lebih daerah aliran sungai seperti Gambar 2.1(b).



(a) Daerah aliran sungai (DAS)

(b) Wilayah sungai

Gambar 2.1. Perbedaan DAS Dan Wilayah Sungai (Trisakti, 2010)

2.2. Iklim

Iklim merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi proses hidrologi terutama pada proses transformasi hujan menjadi debit. Beberapa sistem klasifikasi iklim antara lain adalah sistem klasifikasi Koppen, Mohr, Schmidt-Ferguson, Oldeman dan Junghuhn. Sistem klasifikasi iklim yang sangat dikenal di Indonesia adalah klasifikasi Schmidt-Ferguson. Kriteria yang digunakan adalah dengan penentuan nisbah bulan basah dan bulan kering. Klasifikasi ini berdasarkan pada tingkat kebasahan suatu wilayah. Bulan basah mempunyai curah hujan bulanan >100 mm dan bulan kering mempunyai curah hujan bulanan <60 mm. Perhitungannya yaitu menggunakan persamaan:

$$Q = (\text{Bulan Kering} / \text{Bulan Basah}) \times 100\%$$

Dimana nilai Q adalah nisbah bulan basah dan bulan kering. Klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson dapat dilihat pada Table 2.1.

Tabel 2.1. Klasifikasi Iklim Schmidt-Ferguson

Tipe Iklim	Nilai Q (%)	Keadaan Iklim dan Vegetasi
A	< 14,3	Daerah sangat basah, hutan hujan tropika
B	14,3 – 33,3	Daerah basah, hutan hujan tropika
C	33,3 – 60,0	Daerah agak basah, hutan rimba, daun gugur pada musim kemarau
D	60,0 – 100,0	Daerah sedang, hutan musim
E	100,0 – 167,0	Daerah agak kering, hutan sabana
F	167,0 – 300,0	Daerah kering, hutan sabana
G	300,0 – 700,0	Daerah sangat kering, padang ilalang
H	> 700,0	Daerah ekstrim kering, padang ilalang

Komponen iklim utama yang sangat mempengaruhi proses hidrologi adalah presipitasi dan evapotranspirasi. Presipitasi adalah curahan air dari atmosfer yang jatuh ke permukaan bumi. Pada daerah tropis sumber utama presipitasi berasal dari curah hujan. Unsur utama dalam presipitasi adalah tinggi hujan yang dinyatakan dalam satuan (mm) dan intensitas curah hujan yang dinyatakan dalam tinggi persatuan waktu. Klasifikasi intensitas hujan dapat dilihat pada Table 2.2.

Tabel 2.2. Klasifikasi Intensitas Hujan (Arsyad, 2000)

No	Klasifikasi	Intensitas hujan (mm/jam)
1.	Sangat rendah	0-5
2.	Rendah	6-10
3.	Sedang	11-25
4.	Agak tinggi	26-50
5.	Tinggi	51-75
6.	Sangat tinggi	>75

Curah hujan yang terjadi pada wilayah DAS dapat menjadi penyebab utama terjadinya banjir. Meskipun demikian, curah hujan yang tinggi tidak selalu mendatangkan masalah banjir bila pengelolaan air hujan dilakukan dengan baik. Tetapi bila tidak ada pengelolaan air hujan yang baik maka masalah banjir dan kekeringan akan selalu terjadi berulang-ulang. Curah hujan jatuh disaat tanah mulai jenuh, akan lebih berbahaya dari pada hujan di saat tanah kering. Hujan lebat pada bulan Februari mungkin lebih berbahaya dari hujan lebat bulan Desember karena musim penghujan sudah mulai bulan November dan sebagian tanah di hilir mulai jenuh sehingga aliran permukaan akan segera terjadi sesaat setelah hujan terjadi. Aliran permukaan ini akan mendatangkan banjir bila kapasitas saluran drainase dan sistem sungai tidak bisa mengimbangnya.

Evapotranspirasi adalah gabungan dari peristiwa evaporasi dan transpirasi. Evaporasi adalah berubahnya air menjadi uap (penguapan) dan bergerak dari permukaan tanah serta permukaan air ke udara. Sedangkan transpirasi adalah penguapan dari tumbuhan. Sehingga penguapan tumbuhan, air dan tanah secara bersamaan disebut evapotranspirasi. Beberapa faktor yang mempengaruhi evapotranspirasi antara lain adalah:

- Faktor meteorologi (radiasi matahari, suhu udara dan permukaan, kelembapan, angin, tekanan udara)
- Faktor geografi (kualitas air, tubuh air, ukuran dan bentuk permukaan air)
- Faktor lainnya (kandungan lengas tanah, karakteristik kapiler tanah, muka air tanah, warna tanah, tipe kerapatan dan tinggi vegetasi, ketersediaan air)

Besarnya evapotranspirasi dapat diperkirakan dengan menggunakan metode Thomwaite, Blaney dan Criddle; metode Penman Monteith dan analisis neraca kelembapan tanah.

2.3. Penutup Lahan

Penutup lahan berpengaruh pada terjadinya banjir karena besarnya curah hujan yang jatuh menjadi aliran permukaan juga dipengaruhi oleh kondisi penutup tanah. Makin gundul liputan tanahnya makin besar hujan yang menjadi aliran permukaan dan makin kecil air yang meresap kedalam tanah. Apabila penutup tanah rapat maka air yang menguap dan tertahan diranting 20% sisanya meresap kedalam tanah dan sedikit yang menjadi air permukaan. Bila tanah kedap air seperti di perkotaan dimana halaman tertutup semen maka air hujan yang jatuh 100% jadi aliran permukaan.

Dengan demikian vegetasi penutup lahan sangat mempengaruhi proses intersepsi hujan yang jatuh dan transpirasi air yang diserap oleh akar. Lahan dengan penutup yang baik dapat meredam energy kinetis hujan sehingga memperkecil terjadinya erosi percik (*splash erosion*) dan koefisien aliran sehingga mempertinggi kemungkinan penyerapan air hujan khususnya pada lahan dengan solum tebal (*sponge effect*). Kelas penggunaan lahan yang perlu diidentifikasi dalam melakukan analisis hidrologi antara lain tanaman pertanian, rumput dan padang penggembalaan, hutan, pemukiman, pada rumput dan pohon yang tersebar, lahan kosong, rawa serta waduk. Penutup tanah bisa dihasilkan dari pengolahan data citra satelit.

2.4. Tanah

Tanah merupakan hasil dari pelapukan batuan. Karakteristik tanah dan sebaran jenis tanah dalam suatu DAS sangat mempengaruhi besarnya infiltrasi limpasan permukaan dan aliran bawah permukaan. Karakteristik tanah tersebut adalah berat isi, tekstur, kedalaman dan pelapisan tanah (horizon).

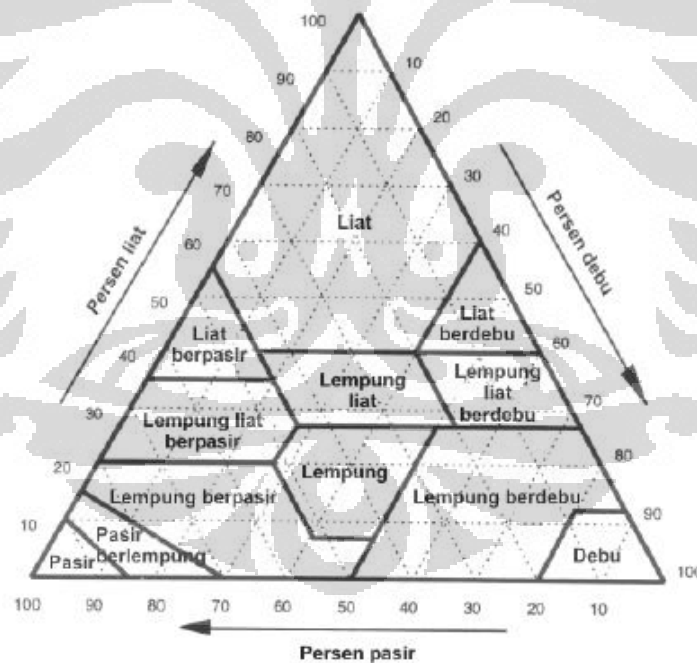
Berat isi tanah (BI) adalah ukuran masa per volum tanah (gr/cm^3) termasuk didalamnya volume pori-pori tanah. BI, tekstur dan bahan organik tanah menentukan besarnya infiltrasi. Semakin tinggi nilai BI maka tanah tersebut

semakin padat. Hal ini berarti bahwa semakin sulit tanah tersebut meneruskan air. BI dapat dikategorikan menjadi rendah (<0.9), sedang ($0.9-1.1$) dan tinggi (>1.1).

Tekstur tanah adalah perbandingan komposisi (%) butir-butir penyusun tanah yang terdiri dari fraksi pasir ($50\mu\text{m}-2\text{mm}$), debu ($50\mu\text{m}-2\mu\text{m}$) dan liat ($<2\mu\text{m}$). Semakin halus tekstur tanah, semakin tinggi kapasitas infiltrasinya. Menurut Rahayu, dkk (2009) kategori kelas tektur tanah antara laian sebagai berikut:

- Sangat halus (sh): liat
- Halus (h): liat berpasir, liat, liat berdebu
- Agak halus (ah): lempung berliat, lempung liat berpasir, lempung liat berdebu
- Sedang (s): lempung berpasir sangat halus, lempung, lempung berdebu, debu
- Agak kasar (ak): lempung berpasir
- Kasar (k): pasir, pasir berlempung

Persentase kandungan pasir, debu dan liat dari masing-masing kategori kelas tekstur tanah dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Segitiga kelas tekstur tanah (Rahayu.dkk, 2009)

Kedalaman tanah atau solum (cm) adalah ukuran ketebalan lapisan tanah dari permukaan sampai atas lapisan bahan induk tanah. Pada profil tanah solum mencakup horizon A dan B. Tebal solum mempengaruhi kapasitas

penyimpanan air yang biasanya dibedakan menjadi : sangat dangkal (<25cm), dangkal (20-50 cm), sedang (50-75 cm) dan dalam (>75 cm).

Horison tanah adalah bentukan lapisan tanah secara vertikal. Namun horizon tanah berbeda dengan lapisan tanah. Horison tanah dinyatakan dengan symbol A, B dan C sedangkan lapisan tanah dinyatakan dengan simbol I, II, III dan seterusnya. Menurut Rahayu, dkk (2009) horison tanah mencerminkan perkembangan tanah yang dipengaruhi oleh kondisi iklim, topografi, bahan induk, organisme dan waktu. Hal-hal yang perlu diperhatikan saat melihat penampang tanah adalah kedalaman horison, baik pada horizon atas maupun horizon bawah, keberadaan lapisan kedap air, dan permeabilitasnya. Pada jenis tanah tertentu terdapat hambatan perkembangan yang ditandai dengan adanya horizon kedap air. Horison tersebut menyebabkan proses infiltrasi terhambat.

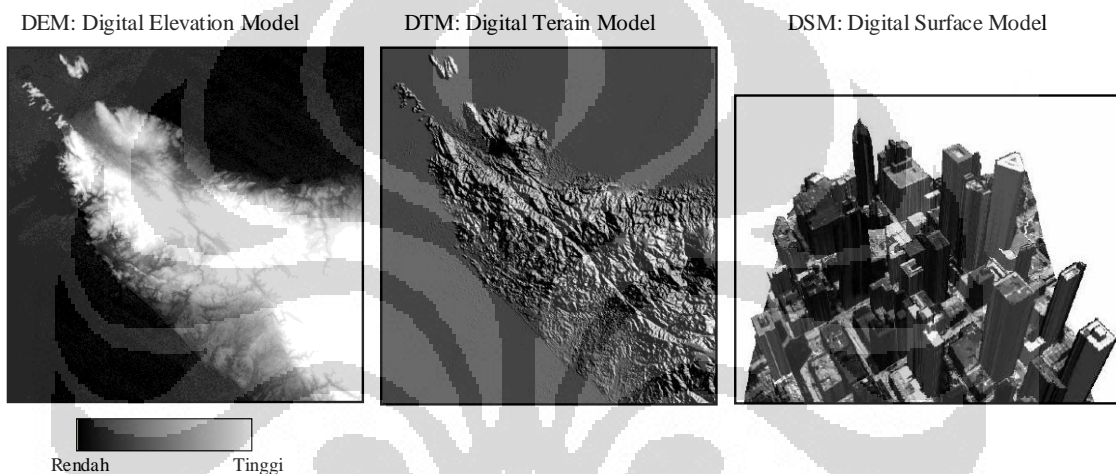
2.5. Geologi/ Litologi

Kondisi geologi/litologi mempengaruhi bahan induk tanah tanak. Jenis bahan induk tanah ini akan mempengaruhi bentuk hidrograf aliran. DAS yang mempunyai jenis batuan (litologi) kedap air seperti batu lempung atau granit, akan menghasilkan hidrograf aliran dengan debit puncak yang tinggi dan waktu konsentrasi yang relatif singkat. Sedangkan DAS yang mempunyai jenis batuan porous seperti batu kapur atau gamping akan menghasilkan hidrograf aliran yang lebih landai dengan debit puncak yang rendah dan waktu konsentrasi yang relative lebih lama.

2.6. Digital Elevation Model (DEM)

Ketinggian suatu wilayah dapat dibuat kedalam suatu model ketinggian digital. Model Ketinggian digital atau Digital Elevation Model (DEM) adalah model digital yang memberikan informasi bentuk permukaan bumi (topografi) dalam bentuk data raster atau bentuk data lainnya. DEM terdiri dari 2 informasi, yaitu: data ketinggian (Z) dan data posisi koordinat (XY) dari ketinggian tersebut di permukaan bumi. Pada beberapa referensi, istilah DEM sering dikaitkan dengan beberapa istilah lainnya yaitu: DTM (*Digital Terrain Model*) dan DSM (*Digital Surface Model*).

Gambar 2.3 memperlihatkan perbedaan antara DEM, DTM dan DSM. DEM merupakan informasi ketinggian permukaan bumi yang ditampilkan dengan perbedaan warna (warna hitam memperlihatkan daerah topografi rendah, sedangkan warna putih memperlihatkan daerah topografi tinggi). DTM merupakan informasi ketinggian dari permukaan bumi tanpa penutup tanah di atasnya, sedangkan DSM merupakan informasi penutup tanah dari permukaan bumi beserta penutup tanah di atasnya. Contoh dari DSM antara lain adalah daerah perkotaan yang memperlihatkan 3D dari gedung-gedung.



Gambar 2.3. Tampilan DEM, DTM dan DSM (Trisakti, 2010)

DEM dapat menghasilkan kemiringan lereng, panjang lereng dan arah lereng. Kemiringan lereng merupakan ukuran kemiringan lahan relatif terhadap bidang datar yang secara umum dapat dinyatakan dalam persen atau derajat. Kemiringan lahan sangat erat hubungan dengan besarnya erosi. Semakin besar kemiringan lereng, maka resapan air hujan ke dalam tanah menjadi lebih kecil sehingga limpasan permukaan dan erosi menjadi semakin besar.

Panjang lereng adalah ukuran panjang lahan mulai dari titik awal kemiringan sampai dengan titik dimana air masuk kedalam sungai atau titik mulai berubahnya kemiringan. Menurut Rahayu, dkk (2009) semakin panjang lereng maka makin besar aliran permukaan yang mengalir menuju ke ujung lereng. Hal tersebut dapat menyebabkan besarnya peluang erosi. Besarnya erosi yang terjadi diujung lereng lebih besar daripada erosi yang terjadi dipangkal lereng. Hal

tersebut terjadi karena adanya akumulasi aliran air yang semakin besar dan cepat di ujung lereng.

Arah lereng merupakan arah hadap lereng terhadap arah mata angin yang ditunjukkan dengan utara, timur laut, timur, tenggara, selatan, barat daya, barat dan barat laut. Arah lereng mempengaruhi tingkat penyinaran matahari dan curah hujan yang turun. Menurut Rahayu, dkk (2009) pada lereng yang mendapat sinara matahari langsung dan lebih sering, mempunyai kecenderungan mengalami erosi lebih besar daripada lereng yang tidak mendapatkan penyinaran matahari secara langsung. Pada umumnya curah hujan terjadi di bagian lereng yang mendapat angin dan sebagian kecil saja yang terjadi dibagian lereng belakang.

2.7. Hydrologic Response Unit (HRU)

HRU merupakan analisis hidrologi yang dibentuk berdasarkan spesifikasi karakteristik tanah, lereng, geologi dan penutup tanah. Suatu DAS dapat terdiri dari beberapa HRU. Menurut Fulege (1997), konsep HRU berdasarkan pada integrasi pendekatan sistem yang merupakan syarat untuk menganalisis dan memodelkan hidrologi secara dinamis dari heterogenya stuktur drainase cekungan dan interaksinya dengan tanah, geologi dan penutup tanah. Tanah, geologi dan penutup tanah tersebut mempengaruhi evapotranspirasi, infiltrasi, aliran permukaan, interflow dan air tanah diseluruh cekungan sungai.

Tiga dimensional heterogenitas dalam istilah topografi, tanah, geologi dan penutup tanah dapat dikelompokkan ke dalam hubungan spesifik, seperti:

- topografi, tanah dan geologi yang secara dekat terhubung karena proses pelapukan tanah dan perpindahan tanah akibat erosi yang menghasilkan urutan karakteristik dari jenis tanah yang terdistribusi dalam topo-pedo-geologi yang berasosiasi dalam daerah tangkapan air,
- kelas tutupan tanah umum, sebagai contoh pertanian atau hutan yang mempunyai ciri kedalaman akar yang berbeda dibagi ke dalam tiga kelas yang berbeda.

Asosiasi tutupan tanah dan topo-pedo-geologi menunjukkan hubungan karakteristik dari pertanian subur, tanah berkembang pada kaki lembah dan lereng yang landai, atau hutan yang jarang, tanah yang kurang produktif pada lereng

yang curam dan pegunungan yang gundul. Asumsi dasar dari konsep HRU adalah kesamaan fisiogeografi dari entitas tersebut yang mempunyai kesamaan kontrol hidrologi secara dinamis dengan pengaturan tutupan tanah dan properti fisik topografi, tanah dan geologi yang berasosiasi. Dengan demikian HRU didefinisikan sebagai unit respon hidrologi yang distribusi, heterogenitas model struktur secara kesatuan dengan membandingkan asosiasi antara tutupan tanah, jenis tanah, geologi dan topografi yang ada dan mengontrol kehomogenan hidrolginya secara dinamis.

Kriteria dalam mendefinisikan kehomogenan dari setiap HRU berdasarkan pada analisis sistem hidrologi dan pemahaman pada variasi hidrologi secara dinamis dalam setiap HRU yang kecil dibandingkan dengan perbedaan HRU tetangganya. Dengan mempertimbangkan pada objek fisiogeografi hidrologi dinamisnya dapat diperlakukan sesuai dengan kriteria tersebut dengan berorientasi obyek, struktur modular model daerah tangkapan air.

2.8. Analisis cluster

Metode yang digunakan dalam pembentukan HRU pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode analisis cluster. Analisis cluster ini bertujuan untuk mengelompokan obyek (penggunaan tanah, jenis tanah dan lereng) berdasarkan karakteristik yang dimiliki. Menurut Ghozali (2011), hasil analisis cluster harus memiliki internal (within cluster) homogenitas yang tinggi dan eksternal (betwen cluster) heterogenitas yang tinggi. Klaisifikasi prosedur pengelompokan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Klasifikasi Prosedur Pengelompokan Analisis Cluster

Herarchical	a. Agglomerative	Linkage methods	Single
			Complete
			Average
		Variance methods	Ward's methods
	Centroid methods		
	b. Divisive		
Non Herarchical	a. Sequential Threshold		
	b. Parallel Threshold		
	c. Optimizing Partitioning		

Pada Tabel 2.3 terlihat bahwa prosedur pengelompokan analisis cluster terdiri secara hirarki maupun non-hirarki. Pengelompokan untuk mereduksi obyek-obyek dalam suatu kelompok yang mempunyai sifat yang relatif sama (homogen) dapat dilakukan dengan cara hirarki dan non hirarki. Pengelompokan hirarki digunakan apabila tidak ada informasi mengenai jumlah kelompok yang akan diperoleh. Pengelompokan non hirarki digunakan apabila seluruh obyek (n obyek) akan dikelompokkan ke dalam k kelompok yang telah ditentukan terlebih dulu, dimana $k < n$. Metode cluster non hirarki ada dua jenis yaitu metode k rataaan (k-mean) dan metode thresold.

2.9. Debit Aliran

Debit Aliran merupakan komponen yang penting dalam pengelolaan suatu DAS, dalam hidrologi dikemukakan, debit air sungai adalah, tinggi permukaan air sungai yang terukur oleh alat ukur permukaan air sungai. Pengukurannya dilakukan tiap hari, atau dengan pengertian yang lain debit atau aliran sungai adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Dalam sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/dt).

Debit sangat dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya intensitas hujan, penutup lahan, topografi, pola aliran (bentuk dan luas) serta faktor lain seperti karakter sungai dan drainase buatan. Debit aliran dapat dianalisis melalui perhitungan akumulasi aliran permukaan. Perhitungan akumulasi aliran dalam penelitian adalah dengan menggunakan metode SCS Curve Number (Bilangan Kurva) sebagai berikut:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)^2} \dots\dots\dots(1)$$

dimana Q_{surf} adalah akumulasi aliran permukaan pada hari i (mm), R_{day} adalah tinggi curah hujan pada yang sama (mm), I_a adalah kehilangan awal akibat simpanan permukaan, intersepsi dan infiltrasi (mm) dan S adalah parameter retensi (mm). Parameter retensi tersebut dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$S = 2.44 \times \frac{(100)}{CN} - 10 \dots\dots\dots(2)$$

dimana *CN* adalah bilangan kurva Bilangan kurva untuk berbagai komplek penutu/penggunaan tanah dapat dilihat pada Lampiran 1. Menurut Neitsch dkk, 2005 nilai *Ia* adalah 0,2 *S* sehingga dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 maka aliran permukaan menjadi:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} + 0.8S)^2} \dots\dots\dots(3)$$

2. 10. Model Hidrologi

Model hidrologi adalah model yang menggambarkan keadaan hidrologi secara abstrak yang mempunyai kesamaan dengan keadaan hidrologi sebenarnya dilapangan (Pawitan, 2002). Menurut Harto (1993), model hidrologi adalah sebuah sajian sederhana dari sebuah system hidrologi yang kompleks. Penggunaan model dalam pegkajian hidrologi biasanya bertujuan untuk meramalkan/*forecasting* sistem peringatan dan manajemen dari sisi besaran dan waktu kejadian secara probabilistik; memprediksi terhadap besaran kejadian dan waktu hipotetik; mendeteksi masalah pegendalian terkait dengan pengontrolan dan pengaturan terhadap masukan yang ada; mengidentifikasi masalah perencanaan; mengekstrapolasi data; memperkirakan pengaruh terhadap lingkungan akibat tingkat perilaku manusia yang berubah/meningkat; serta meneliti proses hidrologi.

Pengklasifikasian model simulasi hidrologi untuk analisis DAS dapat dilihat berdasarkan pendekatan lumped parameter versus distributed parameter didasarkan atas representasi ruang (Yusuf, 2010). Model *Lumped Parameter* adalah model yang didalamnya mengandung variabel atau parameter model yang tidak memiliki variabilitas ruang. Hal ini berarti semua proses dalam DAS terjadi pada satu titik spasial sedangkan model *Distributed Parameter* merupakan model yang memiliki proses dan mekanisme fisik divisualisasikan dalam bentuk keruangan. Berdasarkan pada teori, model tersebut sangat memuaskan namun datang lapangan sering menjadi kendala dalam proses kalibrasi dan verifikasi hasil simulasi.

Beberapa jenis model hidrologi yang termasuk *lumped parameter* diantaranya sebagai berikut: model USLE (*Universal Soil Loss Equation*), CREAMS (*Chemical, Runoff and Erosion from Agricultural Management System*), Revised-USLE, Modified-USLE dan GLEAMS (*Groundwater Loading Effects on Agricultural Management System*). Model yang termasuk *distributed model* adalah WEPP, AGNPS (Agricultural Non-Point Source Pollution Model), HEC-1, HEC-HMS, ANSWER dan SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). Selain itu ada untuk DAS dengan ukuran yang lebih luas dapat digunakan Standfor Watershed Model, SWMM (Storm Water Management Model). Model tersebut tergolong model kontinu yang didasarkan pada persamaan kesetimbangan air dalam jangka yang lebih panjang.

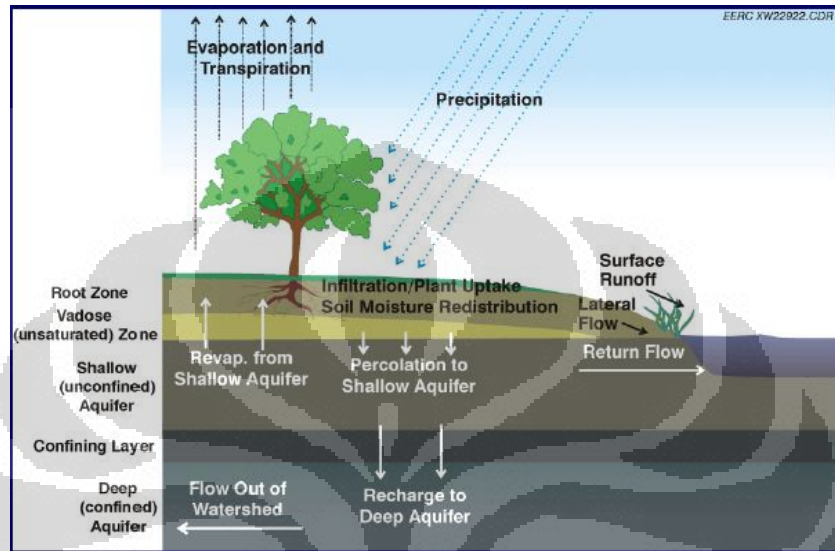
2.11. Model Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

SWAT adalah model hidrologi yang dikembangkan oleh DR. Jeff Arnold untuk USDA Agriculture Research Service (ARS) pada awal tahun 1990 an. SWAT dikembangkan untuk memprediksi dampak pengelolaan tanah terhadap air sedimen dan bahan kimia pertanian yang masuk ke sungai atau badan air pada suatu DAS dengan berbagai tipe tanah, penggunaan tanah dan kondisi pengelolaan pada waktu yang lama. Neitsch dkk (2005) menyatakan bahwa SWAT merupakan gabungan beberapa model seperti SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins), CREAMS, GLEAMS dan EPIC (Erosion, Produktivity, Impact Calculator).

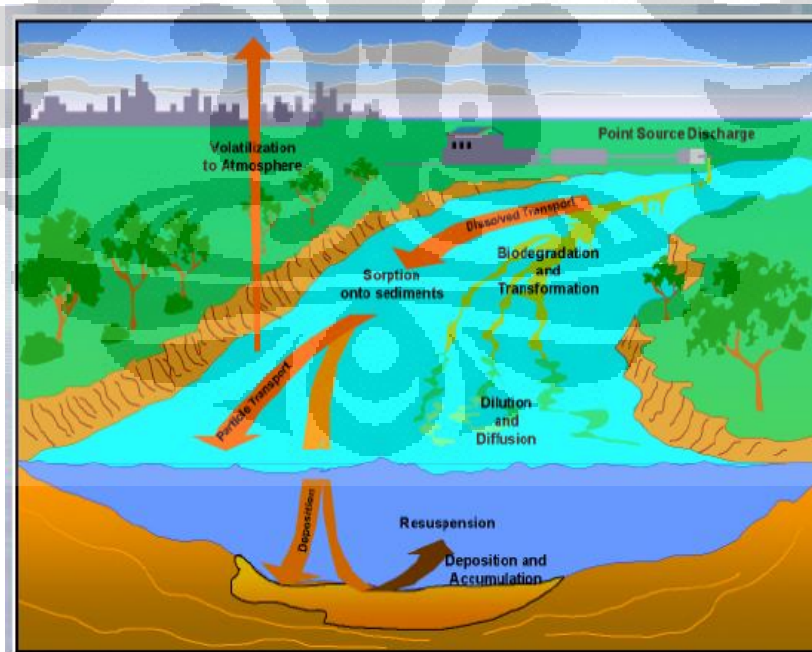
SWAT adalah model hidrologi yang berbasis fisik wilayah. Karena model ini membutuhkan informasi spesifik mengenai iklim, sifat tanah, topografi, vegetasi dan praktek penelolan tanah yang terjadi dalam suatu DAS. Menurut Neitsh dkk (2005), SWAT dapat memodelkan sejumlah proses fisik yang berbeda yang disimulasikan dalam DAS, seperti pergerakan air, sedimen, pertumbuhan tanaman, siklus unsur hara dan sebagainya. Proses-proses tersebut dikaitkan pada konsep neraca air.

Pada pemodelan ini, suatu DAS dapat dibagi menjadi beberapa sub DAS berdasarkan kesamaan penggunaan tanah dan sifat tanah yang berpengaruh terhadap siklus hidrologi. Dimana simulasi hidrologi pada suatu DAS dibagi ke

dalam dua fase utama, yaitu fase lahan pada siklus hidrologi dan fase air pada siklus hidrologi. Jumlah air, sedimen, unsur hara dan pestisida yang masuk ke dalam saluran utama setiap sub DAS dikendalikan oleh fase lahan (Gambar 2.4). Fase air merupakan gerakan air, sedimen dan lainnya melalui jaringan saluran DAS ke outlet (Gambar 2.5).



Gambar 2.4. Proses Fase Lahan pada Siklus Hidrologi (Neitsch *et.al*, 2005)



Gambar 2.5. Proses Fase Air berdasarkan Model SWAT (Neitsch *et.al*, 2005)

Hingga saat ini, SWAT terus berkembang sesuai dengan kemajuan teknologi yang ada. Saat ini SWAT telah dikembangkan untuk daerah tropis yang didasarkan pada perbedaan ketersediaan data dengan daerah sub tropis dimana model ini diciptakan. SWAT pun telah dikembangkan pada berbagai perangkat lunak SIG seperti Visual Basic, GRASS, ArcView, Map Window dan ArcGIS yang berupa antarmuka.

SWAT telah dikalibrasi dan validasi cukup luas oleh Raung dkk (2005) dalam Yusuf (2010) dengan cara membandingkan debit hasil model dengan debit hasil pengukuran dalam sungai. Kalibrasi dan validasi ini menghasilkan R² sebesar 0,73. Selain Suryani (2005) juga mengkalibrasi aliran permukaan bulanan dengan menggunakan metode Nash-Sutcliffe yang menghasilkan nilai efisiensi sebesar 0.72. Analisis sensitivitas model yang telah dilakukan oleh Raung dkk (2005) menunjukkan bahwa model ini sangat sensitif terhadap variasi curah hujan, BK, kapasitas tanah dalam air dan koefisien evaporasi tanah. Model SWAT ini juga dapat diterapkan pada wilayah DAS yang luas seperti yang dilakukan oleh Adrionita (2011).

2.12. Penelitian Model Hidrologi Sebelumnya

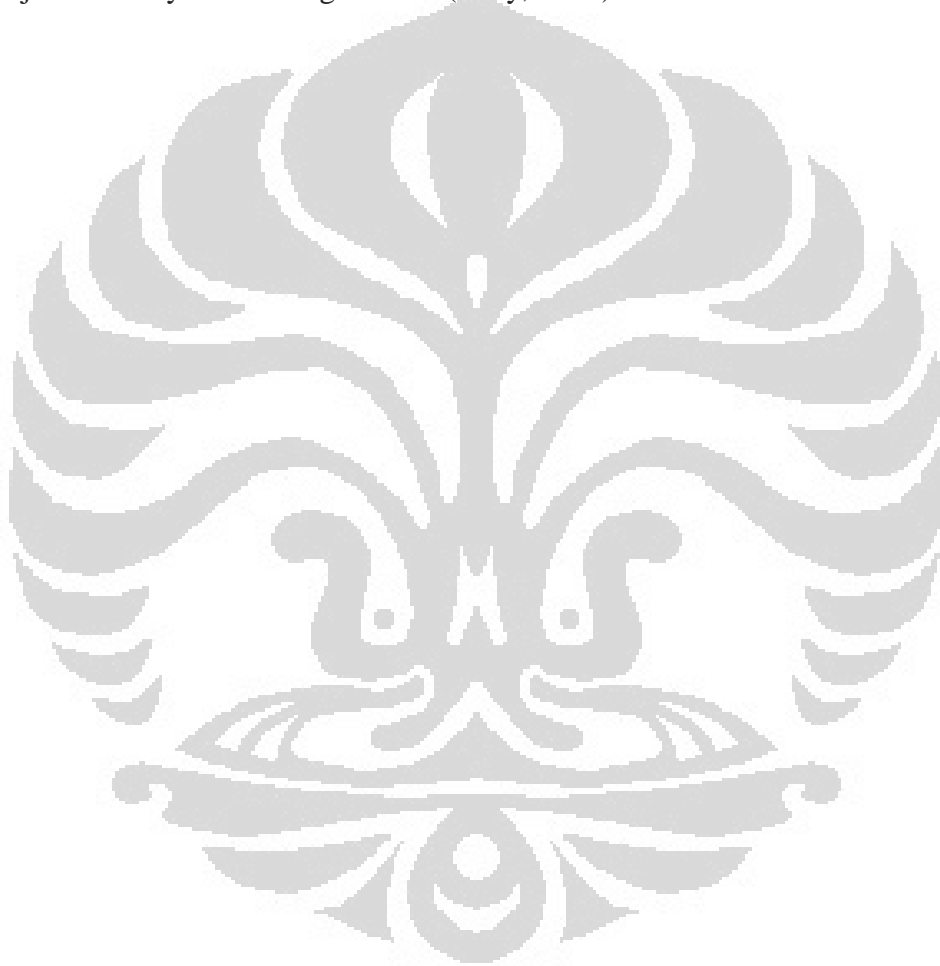
Beberapa penelitian terkait dengan analisis hidrologi DAS menggunakan analisis HRU maupun model SWAT dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Beberapa penelitian mengenai HRU dan model SWAT

No	Peneliti	Judul	Metode yang digunakan	Tahun
1.	Wolfgang-Alber Flugel	Combining GIS with regional hydrological modeling using hydrological response unit (HRUs): An application from Germany. Mathematics and Computers in Simulation	Analisis HRU yang dikombinasikan dengan model MMS/PRMS di wilayah Jerman	1997
2.	Mariano Hernandez dkk	Modeling runoff response to land cover and rain fall spatial variability in semi arid watershed	Model KINEROS dan SWAT untuk memodelkan respon runoff terhadap tutupan lahan	2000

No	Peneliti	Judul	Metode yang digunakan	Tahun
3.	Pipat Reusang dkk	Calibration and validation of SWAT for the upper Maquoketa river watershed	Model SWAT dengan membandingkan aliran prediksi dan muatan NO ₃ -N dengan data lapangan DAS Maquoketa dari tahun 1999-2001	2005
4.	Erna-Suryani dan Fahmuiddin Agus	Perubahan penggunaan lahan dan dampaknya terhadap karakteristik hidrologi: suatu studi di DAS Cijalupang, Bandung, Jawa Barat	Analisis dampak perubahan lahan menggunakan SWAT 2000 di DA Ci Jalupang pada tahun 1991-2002	2005
5.	Xuesong Zhang	Evaluation of spatial heterogeneity of watershed through HRU concept using swat	Analisis HRU dengan model SWAT untuk mengevaluasi keanekaragaman spasial DAS dengan menggunakan beberapa teknik pemetaan curah hujan	2006
6.	C. George dan L.F leon	WaterBase: SWAT in an open source GIS	Model SWAT yang dibuat pada GIS tool open source Map Window	2008
7.	SRI Malahayati Yusuf	Kajian respon perubahan penggunaan lahan terhadap karakteristik hidrologi pada DAS Cirasea menggunakan model MWSWAT	Model SWAT untuk memprediksi dampak perubahan lahan terhadap aliran permukaan di DAS Cirasea dengan menggunakan outlet pintu air cirasea tahun 1998, 2004 dan 2007	2010
8.	Adrionita	Analisis debit sungai dengan model SWAT pada berbagai penggunaan lahan di DAS Ciatrum hulu jawa barat	Model SWAT untuk menganalisis pengaruh perubahan lahan terhadap debit sungai di DA Ci Tarum hulu dengan menggunakan outlet Nanjung tahun 1994, 1997 dan 2001 dimana data curah hujan yang digunakan tahun 2005 sebagai input tetap.	2011

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut maka pada penelitian ini dilakukan penelitian mengenai analisis pola spasial hydrology reponse unit (HRU) dan pengaruhnya terhadap debit aliran di DA Ci Rasea dengan menggunakan Model SWAT dan outlet pintu air Ci Rasea berdasarkan data citra Landsat 1997, 2003 dan 2009. Dimana data curah hujan dan temperatur yang digunakan adalah bulan maret 2008 sebagai input tetapnya. Karena pada bulan tersebut banjir besar terjadi di wilayah Bandung Selatan (Issey, 2011).



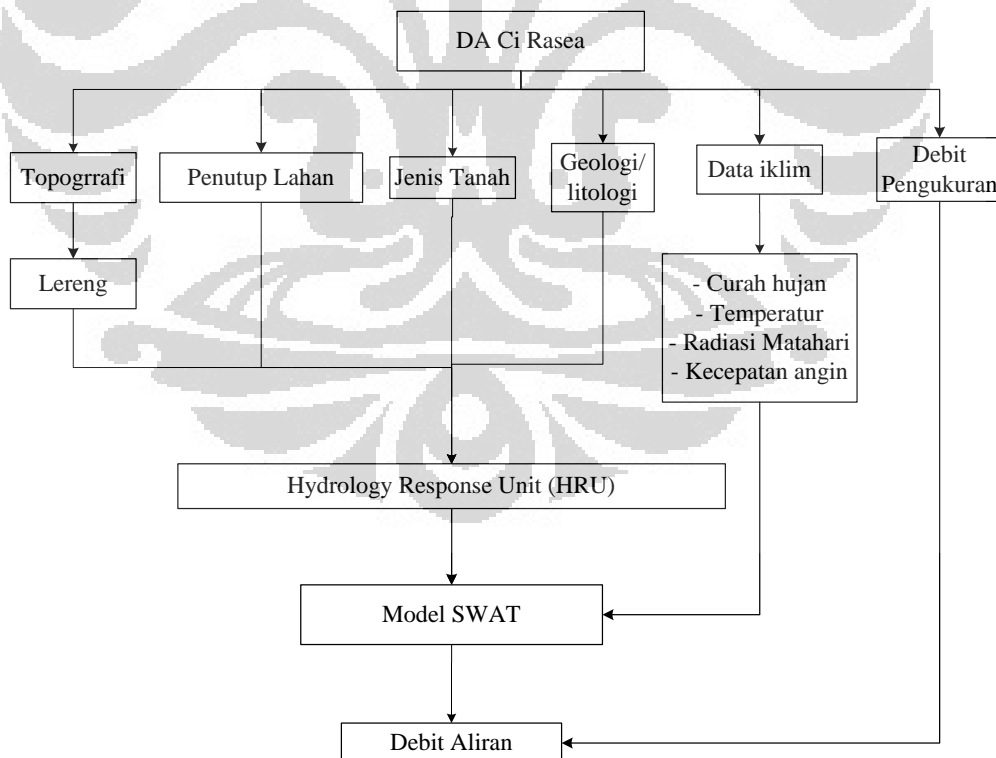
BAB 3

METODOLOGI

3.1. Kerangka Konsep

Penelitian dilakukan di Daerah Aliran (DA) Ci Rasea, Jawa Barat. Pada DA Ci rasea dapat diperoleh informasi topografi, penutup lahan, geologi/litologi, jenis tanah dan iklim. Dari data topografi DA Ci Rasea dapat dihasilkan data lereng DA Ci rasea. Data iklim yang digunakan adalah curah hujan, temperatur, radiasi matahari dan kecepatan angin.

Dengan menggunakan data lereng, geologi/litologi, penutup lahan dan jenis tanah dapat diperoleh HRU. Kemudian dari data iklim dan HRU tersebut dilakukan pemodelan untuk memperoleh debit model dengan menggunakan model SWAT. Hasil pemodelan ini berupa debit aliran yang dikalibrasi dan divalidasi dengan debit lapangan. Dengan demikian secara ringkas alur pikir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Alur Pikir Penelitian

3.2. Variabel Penelitian

Berdasarkan diagram alur pikir yang ada pada gambar 8 maka variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah lereng, penutup lahan, jenis tanah, geologi/litologi, curah hujan, temperatur, radiasi matahari dan kecepatan angin. Variabel lereng, penutup lahan, dan jenis tanah dan geologi/litologi diperlukan untuk memperoleh HRU. Sedangkan data iklim yang terdiri dari curah hujan, temperatur, radiasi matahari dan kecepatan angin dapat dikombinasikan dengan HRU untuk memperoleh debit Aliran.

Pada pemodelan debit aliran digunakan dua jenis variabel yaitu variabel dinamis dan variabel statis. Variabel dinamis adalah variabel input yang nilainya berubah-ubah seiring dengan waktu sedangkan variabel input statis adalah variabel yang nilainya tetap. Variabel dinamis yang digunakan dalam penelitian ini adalah penutup lahan. Karena pada penelitian ini akan dilihat bagaimana pengaruh dan perubahan penutup lahan pada tahun 1997, 2003 dan 2008 terhadap HRU dan debit aliran hasil pemodelan. Sedangkan variabel statisnya adalah jenis tanah, lereng, geologi/litologi, curah hujan, temperatur kecepatan angin dan radiasi matahari.

3.3. Pengumpulan Data

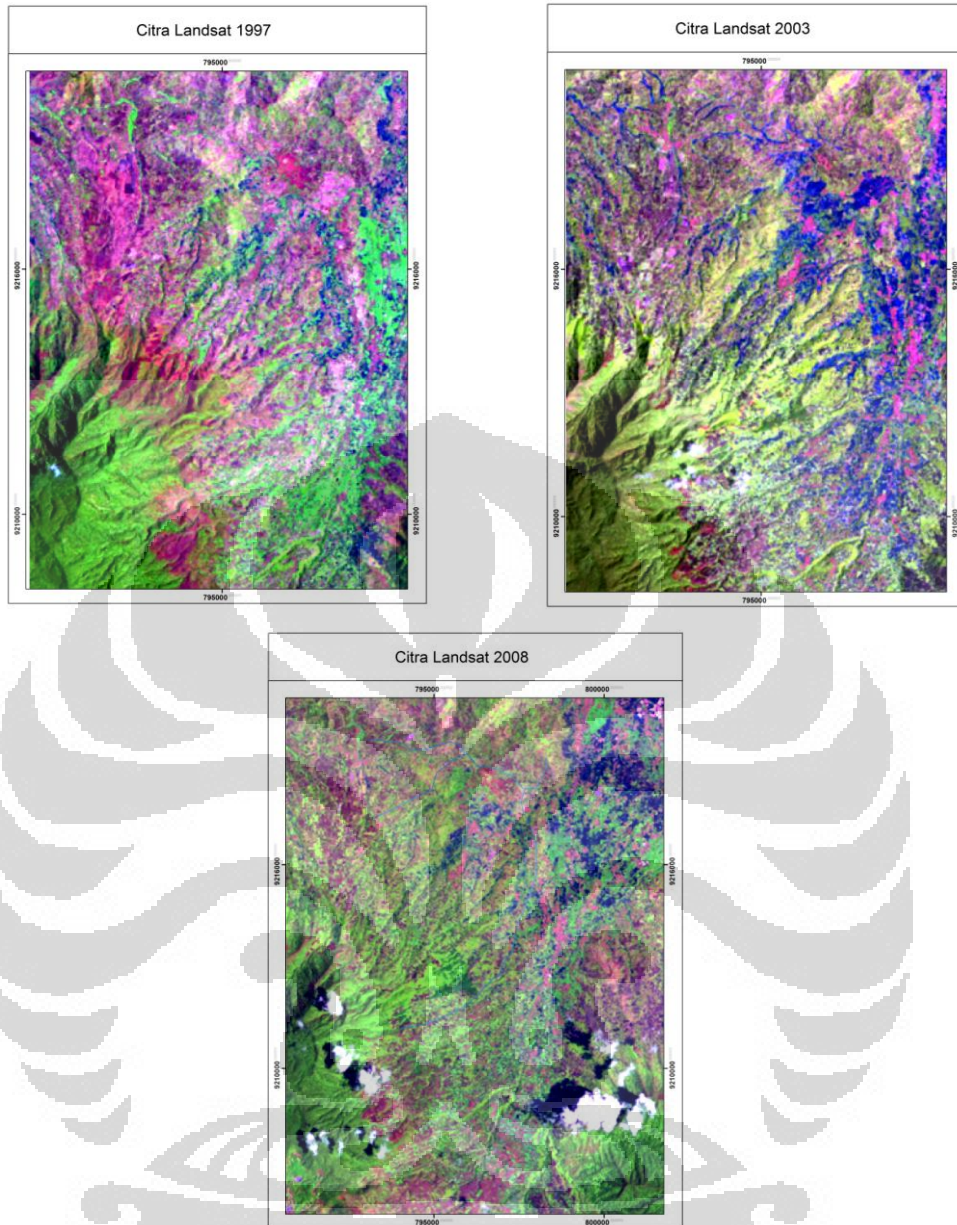
Data yang dikumpulkan dari penelitian ini berasal dari penelitian sebelumnya maupun dari instansi-instansi terkait. Pengumpulan data ini meliputi data karakteristik tanah, geologi khususnya litologi, iklim, penutup lahan, topografi, dan hidrologi DAS. Secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Jenis dan sumber data yang digunakan

Jenis Data	Sumber Data
Karakteristik tanah (jenis dan tekstur tanah)	Peta Tanah semi detil DA Ci Tarum hulu dengan skala 1 :100000 dari Puslitanak, 1993
Temperatur, radiasi matahari dan kecepatan angin	National Climatic Data Center (NCDC) http://www.ncdc.noaa.gov/oa/ncdc.html
Curah hujan harian	Kementerian Pekerjaan Umum (PU)
Geologi/Litologi	Peta geologi KESDM skala 1:1000.000
Klasifikasi penutup lahan dari Citra Landsat TM	LAPAN dan USGS Global Visualizaton Viewer (GLOVIS) 1997, 2003 & 2008
DEM SRTM	LAPAN
Debit Harian	Kementerian PU
Kontur, Jaringan sungai,jaringan jalan dan batas administrasi diperoleh dari Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI)	BAKOSURTANAL,2008 dengan skala 1:25.000

Data karakteristik tanah meliputi jenis dan tesktur tanah yang diperoleh dari Puslitanak tahun 1993 berupa Peta Tanah semi detik DA Ci Tarum hulu dengan skala 1 :100.000. Sedangkan data iklim yang dikumpulkan berupa data temperatur, radiasi matahari dan kecepatan angin dari *National Climatic Data Center* (NCDC) dan curah hujan harian yang diperoleh Kementerian Pekerjaan Umum (PU). Data iklim yang digunakan ini tahun 1997-2008.

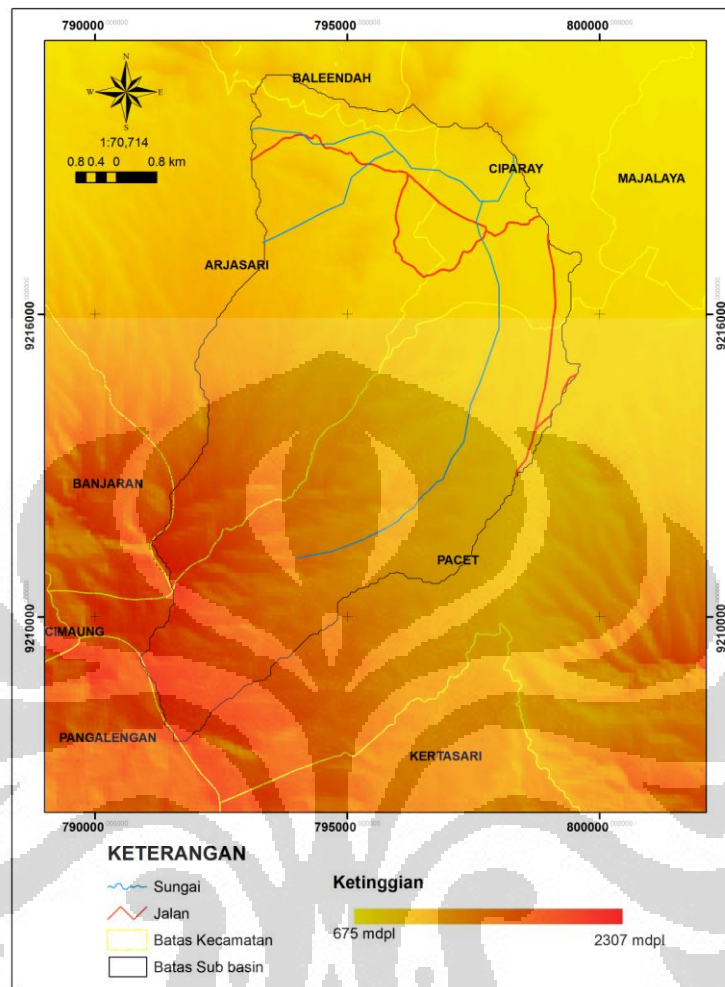
Data geologi berupa data litologi yang diperoleh dari peta geologi skala 1 : 1000.000 Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Data penutup lahan yang dikumpulkan berupa klasifikasi penutup lahan yang diperoleh dari citra Landsat TM yang mempunyai resolusi spasial 30 meter. Citra Landsat TM yang digunakan dalam penelitian ini adalah 16 Agustus 1997, 10 Januari 2003 dan 2 November 2008 (Gambar 3.2). Data ini dipilih berdasarkan sedikitnya awan pada citra.



Gambar 3.2. Citra Landsat Tahun 1997, 2003 dan 2008 dalam RGB 542

Citra Landsat ini diperoleh dari LAPAN dan *USGS Global Visualization Viewer (GLOVIS)*. Data topografi (Gambar 3.3) yang dikumpulkan berupa model ketinggian digital (DEM) yang dihasilkan dari citra *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*. Citra SRTM mempunyai resolusi spasial 25 meter ini diperoleh dari Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN).

DEM SRTM DA CI RASEA



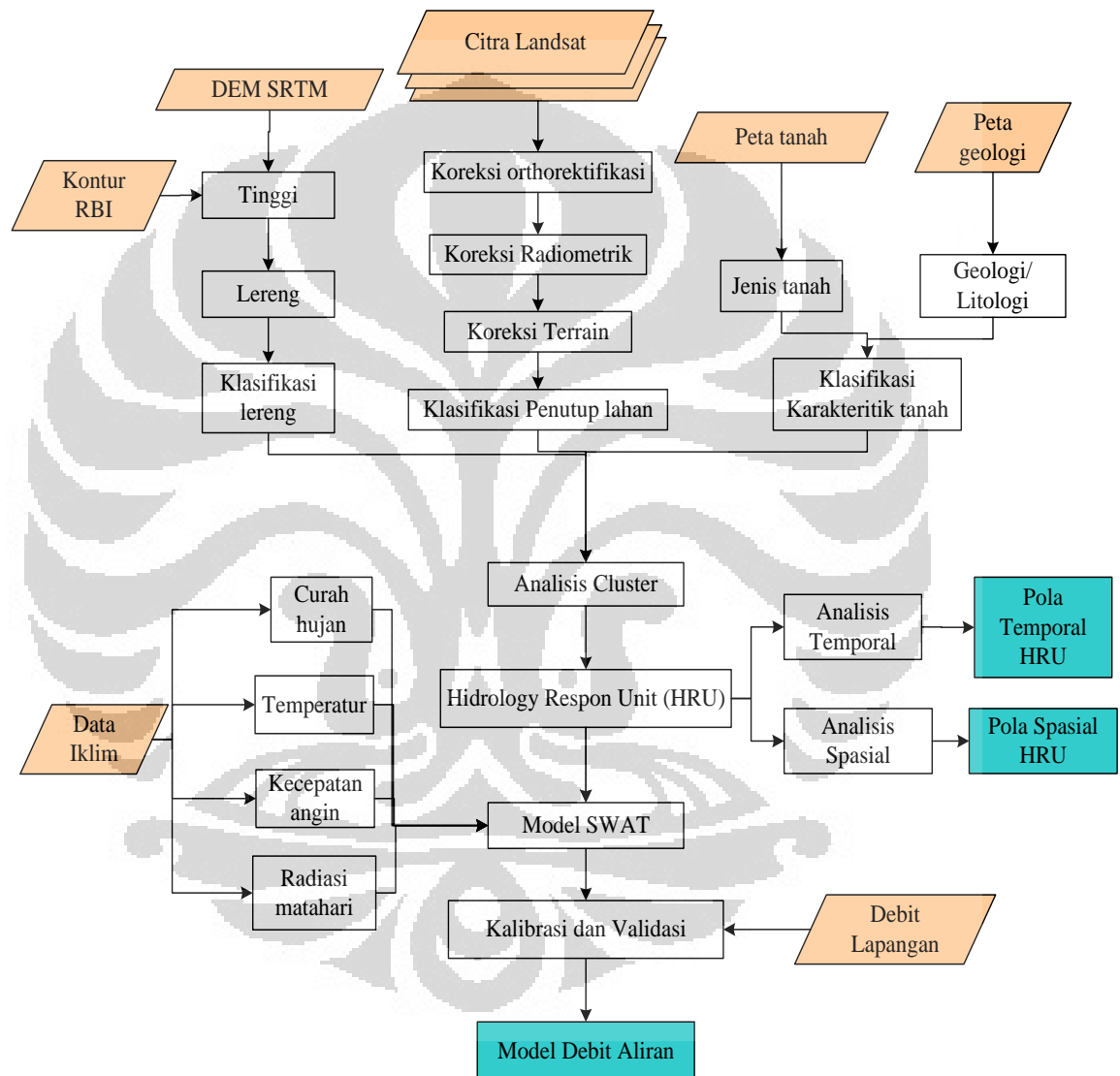
Gambar 3.3. DEM SRTM

Data hidrologi berupa debit harian tahun 2008 yang diperoleh dari Kementerian Pekerjaan Umum (PU). Data karakteristik sungai yang dikumpulkan berupa kekasaran dasar dan dinding sungai serta penutup saluran yang diperoleh dari survei lapangan. Data karakteristik sungai ini digunakan untuk menentukan nilai kekasaran manning untuk saluran. Sedangkan data jaringan sungai, jaringan jalan dan batas administrasi diperoleh dari peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) yang dikeluarkan oleh BAKOSURTANAL tahun 2008.

3.4. Pengolahan Data

Data yang digunakan dalam penelitian berupa data tabular dan spasial yang diolah dengan basis penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografi (SIG).

Perangkat lunak yang digunakan untuk data penginderaan jauh adalah ER-Mapper 7.0 dan Global Mapper 11. Analisa statistic dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SPSS-17. Sedangkan perangkat lunak yang digunakan untuk SIG adalah ArcView 3.3, Map Window 4.7.5, MWSWAT, SWAT EDITOR 2005 dan SWATPlot. Secara garis besar tahapan pengolahan data dapat dilihat pada diagram alir Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Alur Pengolahan Data

Pada diagram alir yang ada pada gambar 3.4 terlihat bahwa dari data DEM SRTM dapat diekstraks informasi ketinggian. Ketinggian tersebut kemudian dikoreksi oleh kontur RBI. Dari data ketinggian yang telah terkoreksi dapat

diperoleh data lereng. Kemudian dari data lereng tersebut dikelaskan menjadi beberapa kelas sehingga diperoleh data klasifikasi lereng DA Ci Rasea. Klasifikasi tersebut dari landai (0%-8%), agak miring (8%-15%), miring (15%-25%), curam (25%-40%) dan sangat curam (> 40%).

Pada penelitian ini digunakan citra Landsat TM tahun 1997, 2003 dan 2008. Pada ketiga citra tersebut dilakukan koreksi orthorektifikasi, radiometrik dan terrain untuk mendapatkan citra terkoreksi. Koreksi ortorektifikasi dilakukan untuk mengurangi bias karena perbedaan topografi saat satelit Landsat merekam data. Sedangkan koreksi radiometrik dilakukan untuk mengurangi bias karena gangguan atmosferik saat satelit Landsat merekam data. Koreksi terrain dilakukan agar bias dari efek terrain dapat dikurangi.

Setelah diperoleh citra terkoreksi, selanjutnya dilakukan klasifikasi penutup lahan dengan menggunakan metode klasifikasi supervised dengan metode maksimum likelihood. Klasifikasi pertama digunakan enam kelas penutup lahan yang terdiri dari terdapat empat jenis penutup lahan, yaitu sawah, permukiman, tegalan, kebun campur, semak dan hutan. Kemudian hasil klasifikasi tersebut diklasifikasi kembali dengan menggunakan 5 kelas penutup sawah, permukiman, tegalan, semak dan hutan.

Pada klasifikasi kedua ini kebun campur dan tegalan dimasukkan kedalam kelas lahan kering berdasarkan pertimbangan bahwa kebun campur dan tegalan memiliki karakteristik spectral, tekstur, warna dan kekasaran yang hampir mirip bila diidentifikasi dari citra Landsat. Selain itu, kebun campur dan tegalan merupakan sama-sama pertanian lahan kering. Sehingga diperoleh dua hasil klasifikasi penutup lahan DA Ci Rasea yang terdiri dari 6 dan 5 kelas penutup lahan. Proses ini dilakukan pada citra Landsat dengan tiga tahun yang berbeda, yaitu tahun 1997, 2003 dan 2008. Sehingga diperoleh 6 peta tutupan lahan.

Jenis tanah diperoleh dari data jenis tanah DA Ci Rasea. Sedangkan peta geologi menghasilkan data geologi/litologi DA Ci Rasea. Data geologi/litologi ini dapat menghasilkan data bahan induk tanah hal ini terkait dengan permeabilitas tanah. Dari data jenis tanah dan data geologi/litologi tanah diperoleh klasifikasi karakteristik tanah DA Ci Rasea. Klasifikasi tersebut terdiri dari kelas liat, lempung berliat, liat berdebu, lempung berdebu dan lempung berpasir.

Tahap awal untuk memperoleh Hydrologic Response Unit (HRU) adalah dengan mendeliniasi DAS sehingga didapat SubDAS dengan menggunakan cluster analisis. Teknik cluster yang digunakan adalah metode non-hirarki berdasarkan nilai optimum. Deliniasi SubDAS ini dilakukan menggunakan nilai optimum 5 km yang artinya kedetailan deliniasi ini hingga 5 km. Outlet yang digunakan adalah pintu air Cirasea-Cengkong. Setelah diperoleh SubDAS DA Ci rasea.

Kemudian dilakukan pembentukan HRU berdasarkan overlay peta lereng, peta tutupan lahan dan peta karakteristik tanah. Proses pertama adalah dengan menggunakan peta penutup lahan 6 kelas tahun 2008. Kemudian pada hasil overlay tersebut dilakukan analisis cluster kembali dengan menggunakan metode non-hirarki threshold dengan persentase. Threshold yang digunakan yaitu 0% untuk penutup lahan, 5% jenis tanah dan 5% lereng. Artinya HRU yang terdiri dari luas penutup lahan, jenis tanah dan lereng yang lebih kecil dari threshold tersebut diabaikan oleh model dan nilainya diisi oleh HRU tetangganya.

Pemilihan threshold 0% pada penutup lahan ini agar setiap penutup lahan yang ada diperhitungkan oleh model. Sehingga perubahan HRU yang terjadi akibat perubahan penutup lahan secara detail dapat diidentifikasi. Hasil dari analisis cluster metode non-hirarki dengan persentase ini adalah HRU DA Ci Rasea tahun 2008 dengan kelas 6 penutup lahan.

Setelah pembentukan HRU kemudian dilakukan pembangkit data iklim (WGN). Pada model SWAT pembangkit data iklim harus dilakukan untuk memodelkan data iklim yang terdiri dari temperatur, data curah hujan, data radiasi matahari dan kecepatan angin. Pada penelitian ini digunakan data iklim tahun 1997-2008 untuk menghasilkan WGN.

Data radiasi matahari dan kecepatan angin yang digunakan berupa rata-rata bulanan. Data temperatur yang digunakan adalah data harian, maksimum dan minimum bulanan, rata-rata bulanan, *dew point* dan standar deviasi bulanan. Sedangkan untuk data curah hujan yang digunakan berupa curah hujan harian, rata-rata intensitas hujan bulanan, rata-rata hari hujan bulanan, standar deviasi bulanan, *skewness* bulanan, peluang hari hujan diikuti hari kering, peluang hari hujan diikuti hari hujan dan hujan ekstrim setengah harian bulanan. Stasiun curah

hujan yang digunakan pada penelitian ini adalah stasiun hujan Ciparay. Karena model SWAT menggunakan stasiun terdekat dan stasiun tersebut terletak di dekat pintu air Cirasea-Cengkong.

Dengan menggunakan HRU DA Ci Rasea dan WGN yang diperoleh dilakukan simulasi debit aliran berdasarkan model SWAT untuk menghasilkan debit model. Pembuatan HRU dan pemodelan SWAT untuk mendapatkan debit model ini dilakukan pada Map Window 4.7.5 dengan interfacenya MWSWAT. Simulasi untuk mendapatkan debit model ini dijalankan berdasarkan input data curah hujan dan temperatur harian bulan Januari – April 2008. Dengan curah hujan dan temperatur yang sama dilakukan simulasi debit kembali untuk masing-masing tutupan lahan 6 kelas tahun 2003 dan 1997. Proses yang sama dilakukan untuk penutup lahan 5 kelas tahun 1997, 2003 dan 2008. Sehingga diperoleh 6 peta HRU dan 6 debit model yaitu HRU 1997 berdasarkan 6 dan 5 kelas penutup lahan, HRU 2003 berdasarkan 6 dan 5 kelas penutup lahan, HRU 2008 berdasarkan 6 dan 5 kelas penutup lahan, debit model 1997 berdasarkan 6 dan 5 kelas penutup lahan, debit model 2003 berdasarkan 6 dan 5 kelas penutup lahan, serta debit model 2008 berdasarkan 6 dan 5 kelas penutup lahan.

Pada 6 peta HRU dan 6 debit model tersebut kemudian dianalisis secara spasial dan temporal. Analisa ini dilakukan dengan melihat perubahan HRU dan debitnya secara spasial dan temporal. Sehingga diperoleh pola spasial dan temporal HRU dan debitnya.

Kalibrasi dan validasi dilakukan dengan membandingkan debit model dan debit pengukuran lapangan tahun yang sama. Hal tersebut dilakukan untuk melihat seberapa akuratnya hasil yang diperoleh pada penelitian ini. Debit pengukuran lapangan yang digunakan adalah debit hasil pengukuran tahun 2008 di pintu Cirase-Cengkong, tepatnya bulan Januari-April 2008 sesuai dengan data hujan yang digunakan. Kalibrasi dan validasi ini dilakukan dua kali berdasarkan dua hasil klasifikasi penutup lahan yang digunakan yaitu klasifikasi 6 kelas dan 5 kelas penutup lahan. Metode kalibrasi dan validasi yang digunakan adalah metode efisiensi model *Nash-Sutcliffe* (NS) dan model t hitung (*T-student*) yang dilakukan pada perangkat lunak SPSS-17.

3.5 Analisa Data

Tahapan analisis data yang dilakukan meliputi analisis perubahan penutup lahan dan HRU, analisis debit aliran masing-masing HRU dan analisis akurasi.

a. Analisis perubahan penutup lahan

Secara teori perbedaan waktu perekaman data citra yang digunakan akan menghasilkan informasi penutup lahan yang berbeda. Sehingga dapat dianalisis perubahan penutup lahannya. Perubahan penutup lahan tersebut dapat diketahui dengan cara melakukan tumpang tindih (overlay) peta penutup tanah DA Ci Rasea tahun 1997-2003, 2003-2008 serta 1997-2008. Sehingga diperoleh informasi perubahan penutup tanah di DA Ci Rasea secara spasial dan temporal.

Perbedaan jumlah kelas klasifikasi penutup lahan juga akan menghasilkan informasi tutupan lahan yang berbeda pula. Hal ini terkait bahwa semakin banyak jumlah kelas yang digunakan maka informasi penutup lahan yang dihasilkan akan semakin detail. Sehingga dapat dianalisis pengaruh jumlah kelas yang digunakan pada saat klasifikasi terhadap informasi penutup lahan yang dihasilkan.

b. Analisis HRU

Analisis HRU dilakukan dengan cara melihat perubahan pola spasial dan temporal HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 berdasarkan masing-masing SubDAS. Cara analisisnya adalah mengoverlay dan HRU tahun 1997 dengan HRU tahun 2003, HRU tahun 2003 dengan HRU tahun 2008, serta HRU tahun 1997 dengan HRU tahun 2008. Selain itu dilakukan analisis perubahan yang terjadi pada HRU 1997, 2003 dan 2008. Perubahan ini dilihat berdasarkan perbedaan data penutup lahan. Sehingga dapat dihasilkan informasi pola spasial dan temporal HRU di DA Ci Rasea secara spasial dan temporal pada tahun 1997, 2003 dan 2008.

Secara teori, perbedaan penggunaan data penutup lahan yang berbeda akan menghasilkan pola HRU yang berbeda. Karena HRU merupakan tumpang tindih peta penutup lahan, lereng dan karakteristik tanah. Sehingga data penutup lahan tahun 1997 akan menghasilkan HRU yang berbeda dengan data penutup lahan tahun 2003 atau 2008. Sehingga secara temporal dapat dianalisis bagaimana pengaruh perubahan lahan terhadap HRU secara spasial dan temporal. Selain itu

penggunaan klasifikasi tutupan lahan dengan jumlah kelas penutup lahan yang berbeda akan menghasilkan peta tutupan lahan yang berbeda. Hal tersebut akan mengakibatkan perubahan pola spasial HRU yang dihasilkan. Dengan demikian dapat dianalisis pengaruh klasifikasi terhadap pola spasial dan temporal HRU.

c. Analis Debit Aliran

Akumulasi aliran permukaan dan debitnya dihitung menggunakan metode SCS Curve Number (Bilangan Kurva) seperti yang terlihat pada persamaan 1, 2 dan 3 yang ada pada bab Tinjauan Pustaka. Berdasarkan hasil simulasi model SWAT yang diperoleh dilakukan analisis akumulasi aliran permukaan dan debitnya dengan HRU yang berbeda-beda dan data iklim yang tetap. Penggunaan HRU dengan tahun berbeda dan data iklim yang tetap adalah untuk melihat pengaruh perubahan HRU terhadap aliran permukaan dan debit yang dihasilkan secara temporal.

Analisis temporal dilakukan dengan cara melihat perubahan yang terjadi pada aliran permukaan dan debitnya pada tahun 1997-2008 berdasarkan data HRU tahun 1997, 2003 dan 2008. Pada saat menganalisis debit aliran, digunakan nilai aliran permukaan dan debitnya yang terjadi pada saat hujan ekstrim bulan maret 2008. Karena pada bulan maret 2008 terjadi banjir besar (Issey, 2011). Sehingga nilai debit yang dianalisis adalah debit yang terjadi pada hujan ekstrim tanggal 19 Maret 2008 yaitu sebesar 50 mm. Asumsinya saat terjadi hujan ekstrim dengan kondisi HRU tahun 2008 akan menghasilkan aliran permukaan dan debit yang berbeda bila dibandingkan dengan kondisi HRU tahun 1997 atau 2003. Hal ini akan menunjukkan bahwa perubahan spasial HRU secara temporal akan menghasilkan akumulasi aliran permukaan dan debit yang berbeda.

Selain itu penggunaan jumlah kelas pada saat klasifikasi penutup lahan yang berbeda menghasilkan pola spasial HRU yang berbeda. Hal tersebut berdampak pada perbedaan aliran permukaan yang dihasilkan. Sehingga dapat dianalisis secara spasial perubahan akumulasi aliran permukaan dan debitnya yang dihasilkan berdasarkan HRU hasil klasifikasi tutupan lahan dengan jumlah kelas yang berbeda. Dengan demikian pada penelitian ini akan dianalisis bagaimana

pengaruh akumulasi aliran permukaan dan debitnya berdasarkan HRU hasil penutup lahan 6 dan 5 kelas tahun 1997, 2003 dan 2008.

d. Analisis akurasi

Analisis akurasi model SWAT dilakukan berdasarkan hasil kalibrasi dan divalidasi dengan cara membandingkan debit aliran model dengan debit hasil pengukuran lapangan. Kalibrasi dan validasi ini dilakukan untuk data debit 19 Maret 2008. Karena data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan 19 Maret 2008. Analisis kalibrasi dan validasi dilakukan pada penelitian ini dilakukan dua kali terkait dengan digunakannya klasifikasi penutup lahan dengan jumlah kelas yang berbeda, yaitu 6 dan 5 kelas. Sehingga dihasilkan analisis akurasi debit aliran model yang menggunakan klasifikasi penutup lahan 6 dan 5 kelas.

Metode yang dilakukan untuk analisis akurasi pada penelitian ini menggunakan dua cara, yaitu metode efisiensi model Nas-Sutcliffe (NS) dan model t-hitung (T-student). Metode statistik yang digunakan untuk analisis akurasi ini adalah efisiensi model Nas-Sutcliffe (NS) yang direkomendasikan oleh The American Society of Civil Engineers (Ahl dkk, 2008). Adapun persamaaan yang digunakan adalah:

$$NS = 1 - \left[\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2} \right] \dots\dots\dots(4)$$

Dimana y adalah debit lapangan (mm), \hat{y} adalah debit model (mm) dan \bar{y} adalah rata-rata debit lapangan. Efisiensi model NS ini kemudian dikelompokkan mejadi tiga kelas sebagai berikut:

1. Baik, jika $NS \geq 0,75$
2. Memuaskan, jika $0,75 > NS > 0,36$
3. Kurang Memuaskan, jika $NS < 0,36$

Kalibrasi dan validasi model juga dilakukan dengan menggunakan model t hitung (T-student). Menurut Sudijono (1986) T hitung merupakan tes yang

digunakan untuk menguji kebenaran atau kepalsuan hipotesis yang menyatakan bahwa diantara dua mean sampel yang diambil secara acak dari populasi yang sama tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Uji t yang digunakan merupakan uji t untuk dua sampel yang saling berhubungan satu sama lain. Dengan demikian hipotesis yang digunakan adalah:

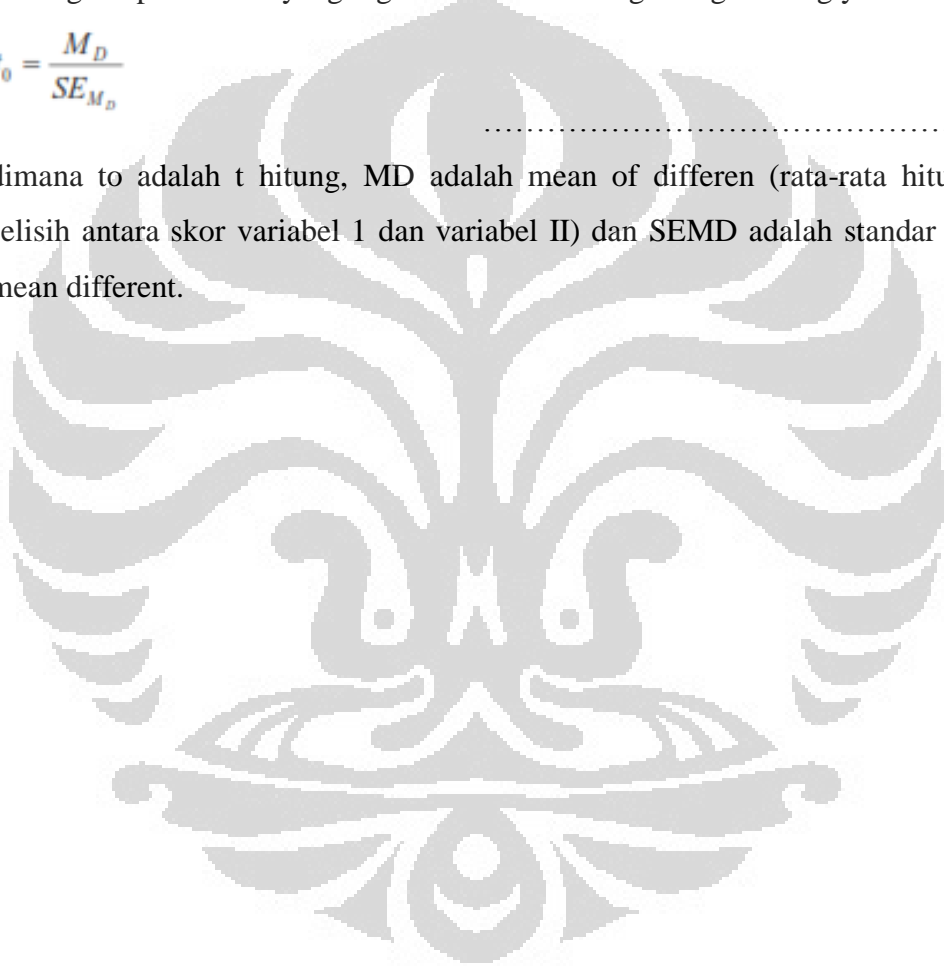
H_0 = tidak terdapat perbedaan antara debit model dan debit lapangan

H_1 = terdapat perbedaan antara debit model dan debit lapangan.

Sedangkan persamaan yang digunakan untuk menghitung t hitung yaitu:

$$t_0 = \frac{M_D}{SE_{M_D}} \dots\dots\dots(5)$$

dimana t_0 adalah t hitung, MD adalah mean of differen (rata-rata hitung dari selisih antara skor variabel I dan variabel II) dan SEMD adalah standar error of mean different.

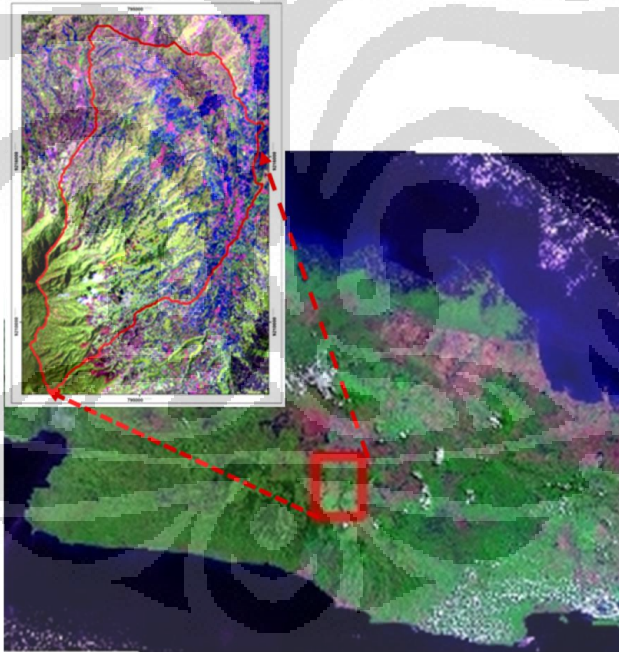


BAB 4

GAMBARAN UMUM WILAYAH PENELITIAN

4.1. Letak Geografis dan Adminitrasi

Penelitian ini dilakukan di DA Ci Rasea. Wilayah Ci Rasea merupakan SubDAS Ci Tarum hulu yang secara geografis terletak pada $7^{\circ} 2' 17'' - 7^{\circ} 9' 58''$ Lintang Selatan dan $107^{\circ} 37' 37'' - 107^{\circ} 43' 1''$ Bujur Timur. Lokasi ini berada di Kabupaten Bandung sebelah selatan dikaki Gunung Malabar, Jawa Barat. Bagian timur dan utaranya terletak di Kecamatan Pacet. Bagian Barat terletak di Kecamatan Arjasari. Sedangkan bagian selatannya terletak di Kecamatan Ciparay, Majalaya dan Baleendah seperti yang terlihat pada Gambar 4.1. Luas wilayah penelitian ini adalah 6610, 6 Ha.

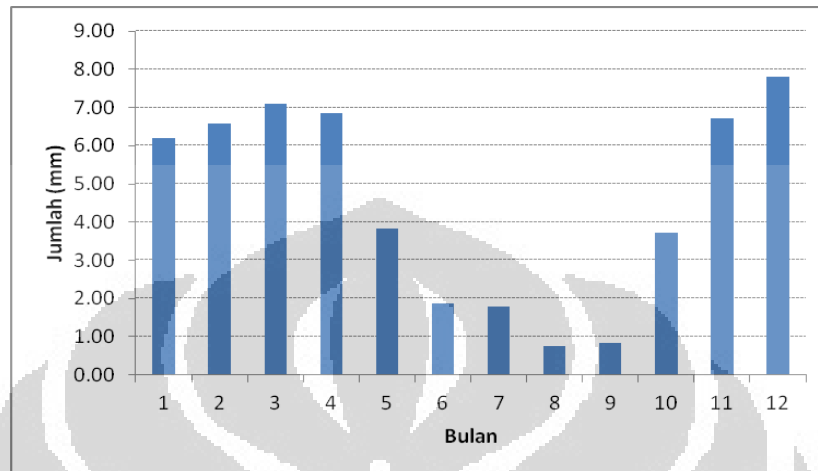


Gambar 4.1. Wilayah Penelitian di Daerah Aliran Ci Rasea

4.2. Iklim

Berdasarkan klasifikasi Schmidt-Ferguson, daerah Ci Rasea termasuk ke dalam tipe iklim D yang mempunyai tingkat kelembapan sedang. Karena pada daerah ini, bulan basah terjadi 8 bulan dan bulan kering selama 4 bulan. Bulan basah terjadi pada bulan Oktober- Mei dan bulan kering terjadi pada bulan Juni-

September. Rata-rata curah hujan bulanan dari tahun 1998-2007 yang terekam pada stasiun curah hujan Ciparay dapat dilihat pada gambar 4.2. Dari gambar tersebut terlihat bahwa curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Desember dan curah hujan terendah terjadi pada bulan Agustus.



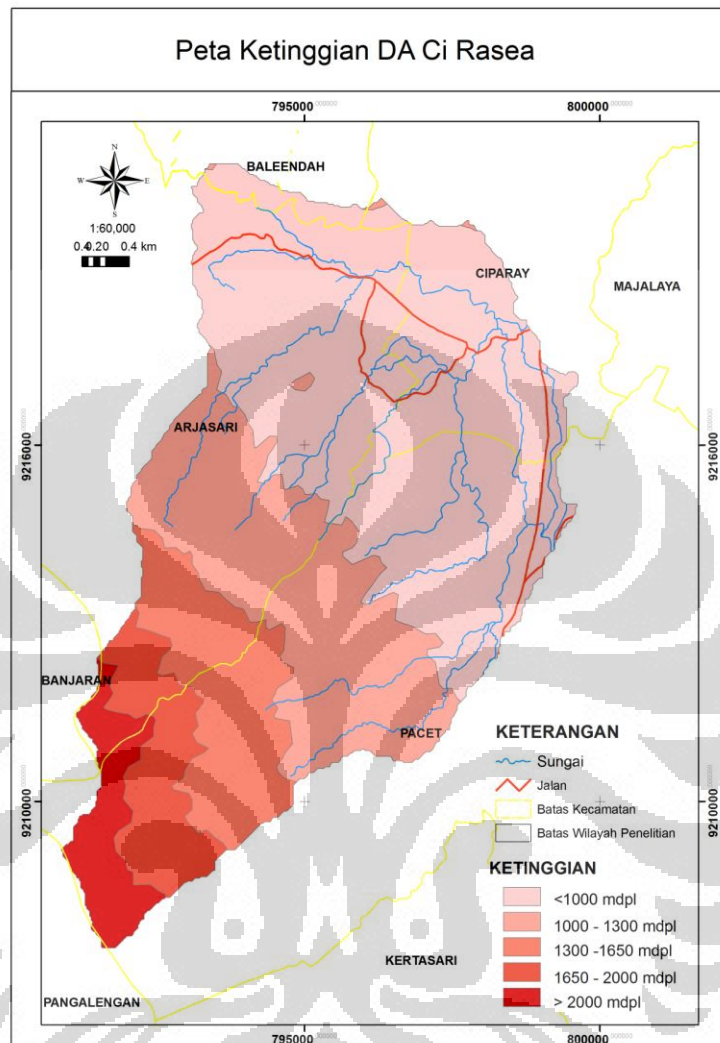
Gambar 4.2. Grafik Rata-Rata Bulanan Curah Hujan St. Ciparay pada Tahun 1998-2007 (sumber: PUSAIR Kementerian PU)

Berdasarkan data yang diperoleh dari *National Climate Data Center* (NCDC) rata-rata bulanan temperatur maksimum daerah Ci Tarum hulu sekitar $26.6^{\circ} - 29^{\circ}$ dan rata-rata bulanan temperatur minimumnya sekitar $18.9^{\circ} - 20.9^{\circ}$. Rata-rata bulanan temperatur maksimum tertinggi terjadi pada bulan September yaitu dan terendah terjadi pada bulan Februari. Sedangkan rata-rata bulanan temperatur minimum tertinggi terjadi pada bulan Desember dan terendah pada bulan Juli. Dengan rata-rata bulanan kecepatan angin sekitar 0.8-6.3 m/s dan radiasi matahari sekitar 14.9-17.6 MJ/m²/hari. Rata-rata kecepatan angin tertinggi terjadi pada bulan Mei dan terendah pada bulan April. Sedangkan radiasi matahari tertinggi terjadi pada bulan Mei dan terendah pada bulan Desember.

4.3. Topografi

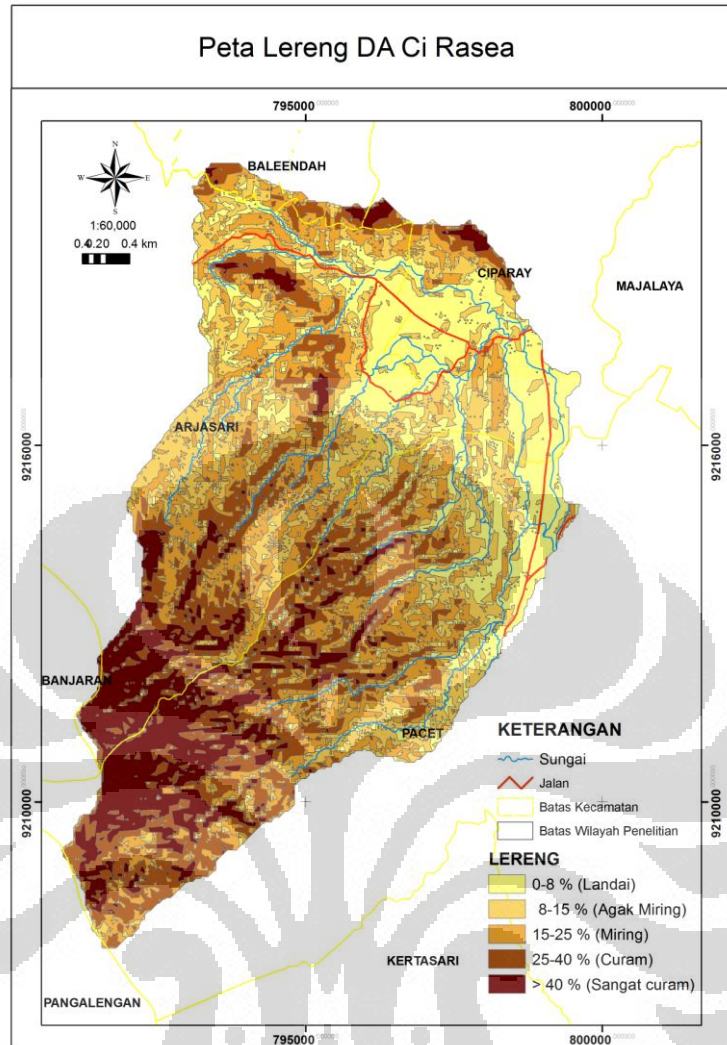
DA Ci Rasea dimana daerah penelitian berada mempunyai ketinggian minimum 675 mdpl dan ketinggian maksimum 2307 mdpl. Kelas tinggi dibagi menjadi lima kelas seperti yang terlihat pada Gambar 4.3. Berdasarkan kelas ketinggian tersebut, sekitar 51.3% wilayah penelitian terletak pada ketinggian <1000 mdpl, 24.1 % terletak pada ketinggian 1000-1300 mdpl, 11.7% terletak

pada ketinggian 1300-1650 mdpl, 7.5% terletak pada ketinggian 1650-2000 mdpl dan 5.3% terletak pada ketinggian >2000 mdpl.



Gambar 4.3. Peta Ketinggian di DA Cirasea

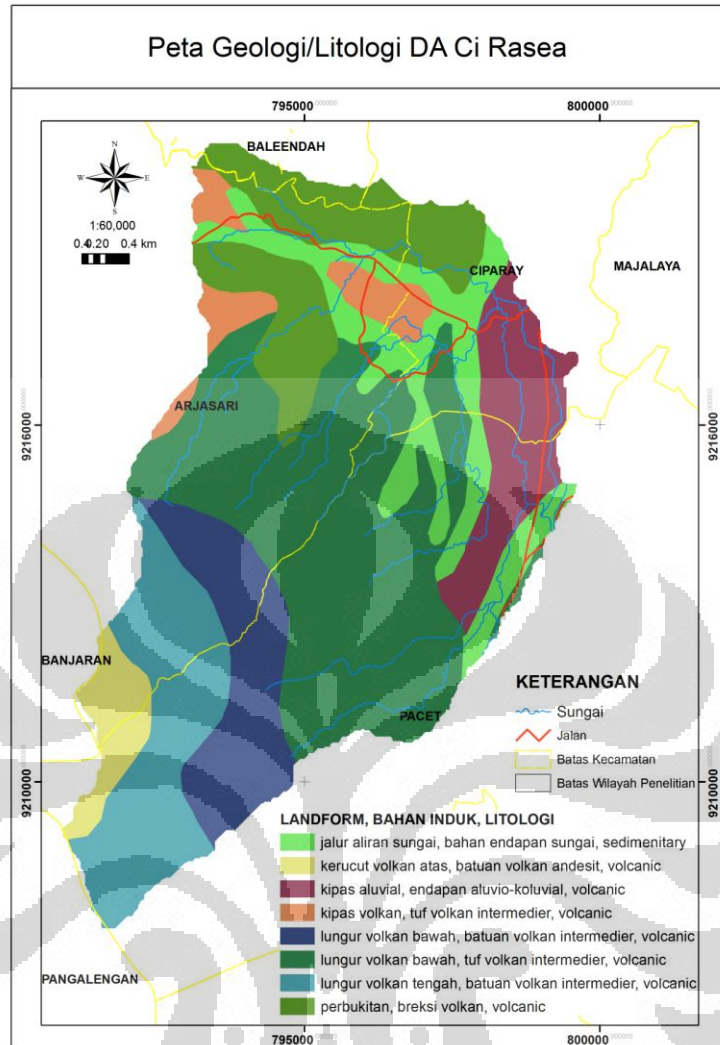
Kelas lereng dikelompok dari yang landai sampai dengan sangat curam seperti yang terlihat pada gambar 4.4. Jika dilihat dari kelerangannya, wilayah DA Ci Rasea tersebut sebagian besar berbukit. Karena luas kelerengan wilayah landai (0%-8%) sebesar 20%, agak miring (8%-15%) sebesar 22.7%, miring (15-25%) sebesar 24 %, curam (25%-40%) sebesar 19.7% dan sangat curam (> 40%) sebesar 13.5%. Dibagian hulu di dominasi oleh kelerengan yang sangat curam, sedangkan bagian hilirnya didominasi oleh kelerengan yang landai.



Gambar 4.4. Peta Kelerengan di DA Cirasea

4.4. Geologi/Litologi

Berdasarkan peta geologi wilayah DA Ci Rasea terdiri dari formasi sebagian besar lidah dan Waringin-Bedil Andesit. Bentuk lahan (*Landform*) bahan induk dan jenis litologi pada DA Ci rasea ini dapat dilihat pada Gambar 4.5.

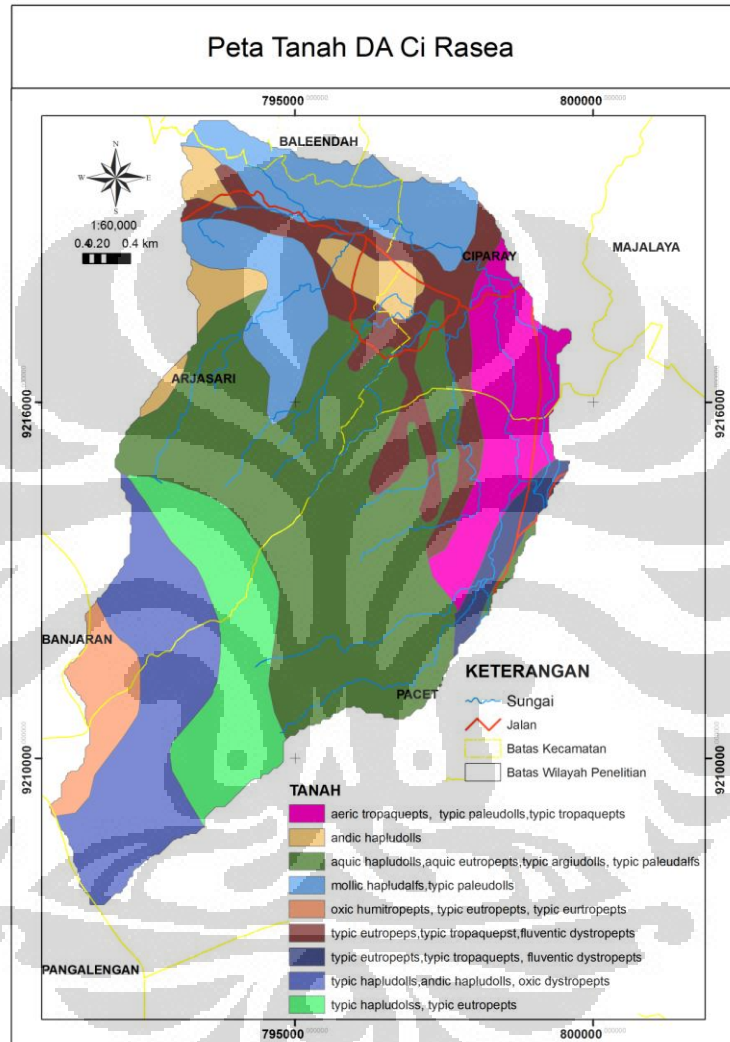


Gambar 4.5. Peta Geologi dan Litologi DA Cirasea

Berdasarkan Gambar 4.5, geologi pada wilayah ini terdiri dari dataran aluvium (21.2%), perbukitan (12.9%) dan volkan (65.9%). Dataran aluvial terdiri dari landform jalur aliran sungai dan kipas alluvia dengan bahan induk endapan sungai dan endapan aluvio-koluvial. Daerah perbukitan terdiri dari landform perbukitan dengan bahan induk breksi volkan. Sedangkan daerah volkan terdiri dari landform kerucut volkan atas, kipas volkan, lungur volkan bawah dan lungur volkan tengah dengan bahan induk batuan volkan andesit, tuf volkan intrmedier dan batuan volkan intermedier. Jenis litologi yang terdapat pada daerah ini terdiri dari sedimentasi (12%) dan volcanic (87.7%).

4.5. Tanah

Berdasarkan peta tanah semi detil PUSLITANAK 1993 (gambar 16), jenis tanah wilayah penelitian terbagi ke dalam tiga ordo yaitu *Inceptisols*, *Mollisols* dan *Alfisols*. Pola sebaran jenis tanah berdasarkan sub ordo dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Peta Tanah DA Cirasea

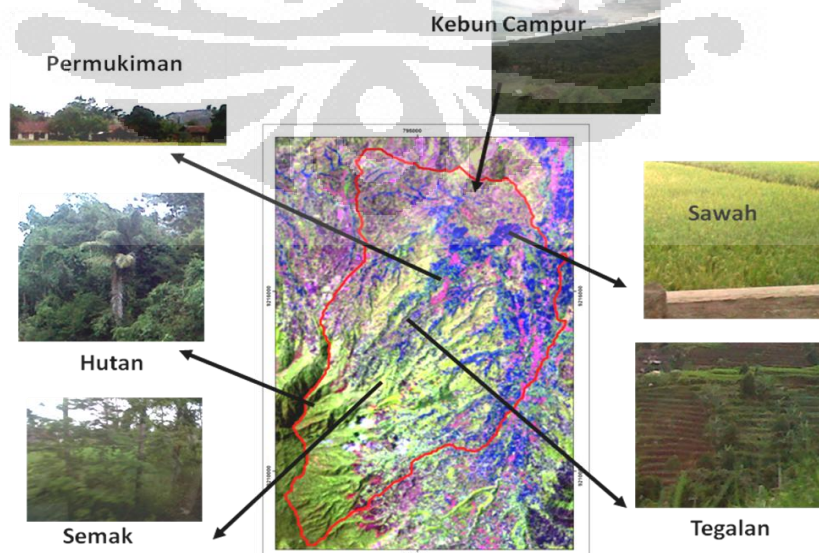
Pada Gambar 4.6 terlihat bahwa jenis tanah *Inceptisols* terdiri dari sub grup *Typic Tropaquepts*, *Aeric Tropaquepts*, *Typic Eutropepts*, *Aquic Eutropepts*, *Fluventic Dystropepts*, *Oxic Dystropepts* dan *Oxic Humitropepts*. Jenis tanah *Inceptisols* ini mempunyai tekstur liat berdebu (SIC), liat (C), Lempung berpasir (LS), lempung berdebu (SIL) dan lempung berliat (CL). *Mollisols* terdiri dari sub grup *Typic Hapludolls*, *Aquic Hapludolls*, *Andic Hapludolls*, *Typic Paleudolls*

dan *Typic Agriudolls*. Jenis tanah *Mollisols* ini mempunyai tekstur lempung berliat (CL), liat (C) dan liat berdebu (SIC). *Alfisols* terdiri dari sub grup *Mollic Hapludalfs* dan *Typic Paleudalfs* dengan tekstur yang liat (L).

4.6. Penutup Lahan

Informasi penutup lahan yang ada pada DA Ci Rasea perlu diketahui karena penutup lahan merupakan salah satu faktor yang mempunyai pengaruh dalam proses hidrologi. Pengelolaan penutup lahan yang baik akan dapat menciptakan kondisi hidrologi yang baik. Berdasarkan hasil dari pengamatan lapangan di wilayah penelitian, penggunaan lahan di daerah tersebut terdiri dari permukiman, hutan, sawah, semak serta lahan kering yang terdiri dari kebun campur dan tegalan (Gambar 4.7).

Permukiman merupakan wilayah terbangun yang terdiri dari jalan, perumahan, sekolah, dan perdagangan. Lahan hutan merupakan sebuah kawasan yang ditumbuhi dengan lebat oleh pepohonan dan tumbuhan lainnya. Sawah didefinisikan sebagai pertanian lahan basah yang biasanya ditumbuhi oleh padi. Tegalan adalah lahan kering yang ditanami oleh tanaman musiman dan tahunan seperti palawija dan sayuran yang tergantung pada turunnya air hujan. Kebun campur adalah lahan kering yang ditanami berbagai macam tanaman. Semak adalah tumbuhan berkayu yang dibedakan dengan pohon karena mempunyai cabang yang banyak dengan tinggi yang rendah.



Gambar 4.7. Jenis Penutup Lahan di DA Ci Rasea bulan maret 2012

Sebagian besar penutup lahan daerah Di Rasea didominasi oleh pertanian lahan kering. Pada umumnya tanaman yang di tanam pada pertanian lahan kering tersebut adalah jagung, ubi kayu, sayuran seperti kol, wartel, tomat, seledri dan daun bawang serta strawberi. Teknik konservasi yang diterapkan oleh penduduk sekitar wilayah penelitian pada umumnya adalah dengan membuat teras bangku didaerah berlereng.

Sawah irigasi terdapat di bagian hilir DAS yang mempunyai kemiringan landai (<8%). Sawah tersebut sepanjang tahun ditanami padi dengan sumber air berasal dari sungai Ci Tarum. Di daerah bergelombang banyak terdapat sawah tadah hujan dengan pola tanap padi-padi/palawija/bera-padi/palawija.

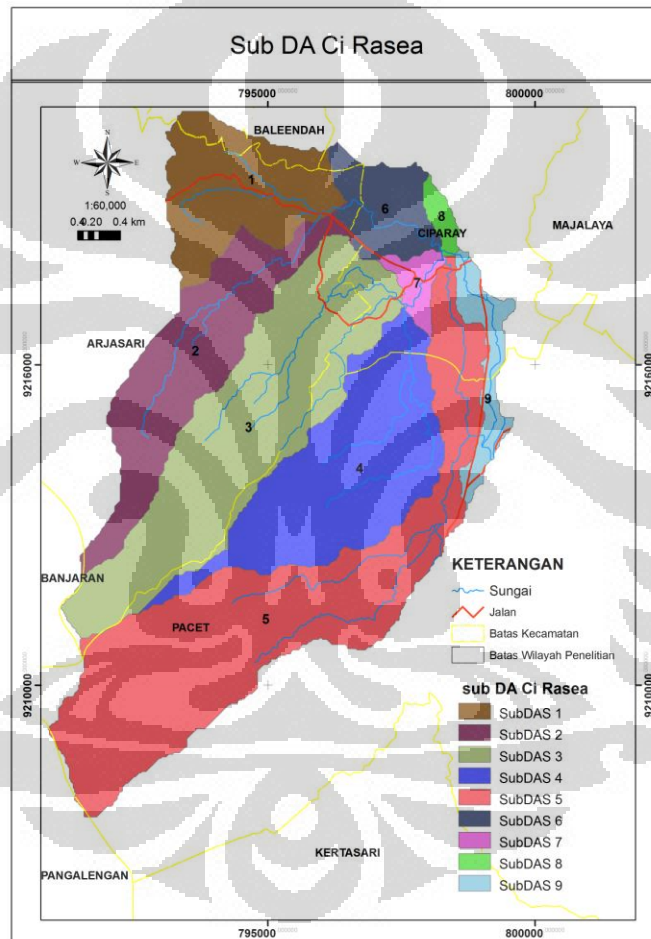
Penutup lahan lainnya berupa kebun campur yang biasanya terdapat disekitar pemukiman penduduk. Selain itu ada semak belukar yang terdapat dipinggiran sungai dan hutan. Hutan dijumpai di lereng atas sampai puncak Gunung Malabar. Sedangkan di lereng bagaian bawah sebagian besar telah dimanfaatkan oleh penduduk sekitar sebagai ladang/tegalan.

BAB 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Hydrologic Response Unit (HRU)

Hasil analisis cluster pada DEM SRTM ini diperoleh 9 sub DAS yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 dengan luas area yang bervariasi. Berdasarkan Gambar 5.1 terlihat bahwa SubDAS yang mempunyai luas terbesar adalah SubDAS 5 dan terkecil adalah SubDAS 8.



Gambar 5.1. SubDAS yang diperoleh dari analisis cluster berdasarkan DEM SRTM dengan threshold 5 km

Perubahan Hydrologic Response Unit (HRU) dapat diamati berdasarkan perubahan tutupan lahan. Karena HRU merupakan tumpang tindih dari penutup lahan, lereng dan karakteristik tanah. Perubahan penutup lahan yang terjadi pada suatu wilayah fenomenanya dapat diamati dengan menggunakan citra satelit multi

waktu. Selain perubahan penutup lahan secara termportal, jumlah kelas saat klasifikasi juga akan mempengaruhi pola tutupan lahan.

Pada penelitian ini digunakan dua tahap klasifikasi penutup lahan di DA Ci Rasea berdasarkan citra Landsat. Tahap pertama dengan enam kelas penutup lahan yang terdiri dari terdapat empat jenis penutup lahan, yaitu sawah, permukiman, tegalan, kebun campur, semak dan hutan. Sedangkan klasifikasi kedua dilakukan dengan 5 kelas penutup sawah, permukiman, lahan kering, semak dan hutan. Pada klasifikasi kedua ini kebun campur dan tegalan dimasukan kedalam satu kelas yaitu kelas lahan kering karena memiliki karakterisk spectral, teksture, warna dan kekasaran yang hamper mirip bila diidentifikasi dari citra Landsat.

5.1.1. Perubahan Penutup Lahan dari Klasifikasi 6 Kelas Penutup Lahan

Berdasarkan hasil kaslifikasi penutup lahan dengan menggunakan 6 kelas penutup lahan tahun 1997-2008 telah banyak terjadi perubahan penutup lahan di DA Ci Rasea. Bertambah dan berkurangnya luas masing-masing penutup lahan dari tahun 1997, 2003 dan 2008 secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Luas dan Perubahan Penutup Lahan di DA Ci Rasea tahun 1997, 2003 dan 2008 berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan

Kelas Penutup Lahan	Luas (Ha)			Perubahan Penutup Lahan					
	1997	2003	2008	1997-2003		2003-2008		1997-2008	
				Ha	%	Ha	%	Ha	%
Hutan	923	763	719	-160	-17	-44	-6	-203	-22
Kebun Campur	1817	1518	1427	-299	-16	-91	-6	-390	-21
Permukiman	195	291	343	96	49	52	18	148	76
Sawah	980	1358	906	378	39	-452	-33	-75	-8
Semak	1522	1201	1206	-321	-21	5	0	-316	-21
Tegalan	1173	1479	2010	306	26	530	36	837	71

Sumber: pengolahan data dan analisis

Pada Tabel 5.1 terlihat bahwa pada tahun 1997 dan 2003 luas penutup lahan dominan adalah kebun campur dan paling kecil luasnya adalah permukiman. Namun luas dominan pada tahun 2008 adalah tegalan. Laju perubahan penutup lahan pada tahun 1997-2008 terbesar terjadi pada lahan permukiman, dengan bertambahnya lahan permukiman sebesar 49%. Secara umum, penutup lahan yang

mengalami penambahan pada tahun 1997-2008 adalah permukiman dan tegalan. Sedangkan penutup lahan yang luas berkurang pada tahun 1997-2008 adalah semak, kebun campur dan hutan.

Perubahan penutup lahan dengan menggunakan 6 kelas penutup lahan pada tahun 1997-2008 tidak selalu linier, tetapi berfluktuatif seperti yang terjadi pada penutup lahan sawah dan semak. Karena pada rentang waktu 1997-2003 terjadi penambahan luas lahan sawah namun pada tahun 2003-2008 terjadi penurunan luas lahan sawah. Selain itu, pada luas lahan semak tahun 1997-2003 terjadi penurunan luas lahan semak dan 2003-2008 terjadi penambahan luas lahan semak. Namun secara umum dari tahun 1997-2008 telah terjadi penurunan luas lahan sawah dan semak.

Pada tahun 2003-2008 perubahan penutup lahan terbesar terjadi pada penutup lahan tegalan dan berkurangnya lahan sawah. Hal ini mengindikasikan adanya pola perubahan pengolahan lahan yang tadinya bertani lahan basah menjadi bertani lahan kering di DA Ci Rasea. Karena pada tahun 1997-2003 luas lahan sawah bertambah tetapi pada tahun 2003-2008 luas lahan sawah berkurang namun luas tegalan bertambah.

Bertambahnya luas lahan permukiman pada tahun 1997-2008, mengindikasikan bahwa terjadi penambahan penduduk saat itu. Karena adanya pembukaan lahan untuk permukiman yang sebagian besar berasal dari semak seperti yang terlihat pada Tabel 5.2. Selain itu, penurunan luas lahan hutan dan semak banyak terjadi karena berubahnya hutan dan semak menjadi tegalan.

Tabel 5.2. Matrik Perubahan Penutup Lahan di DA Ci Rasea tahun 1997-2008 berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan

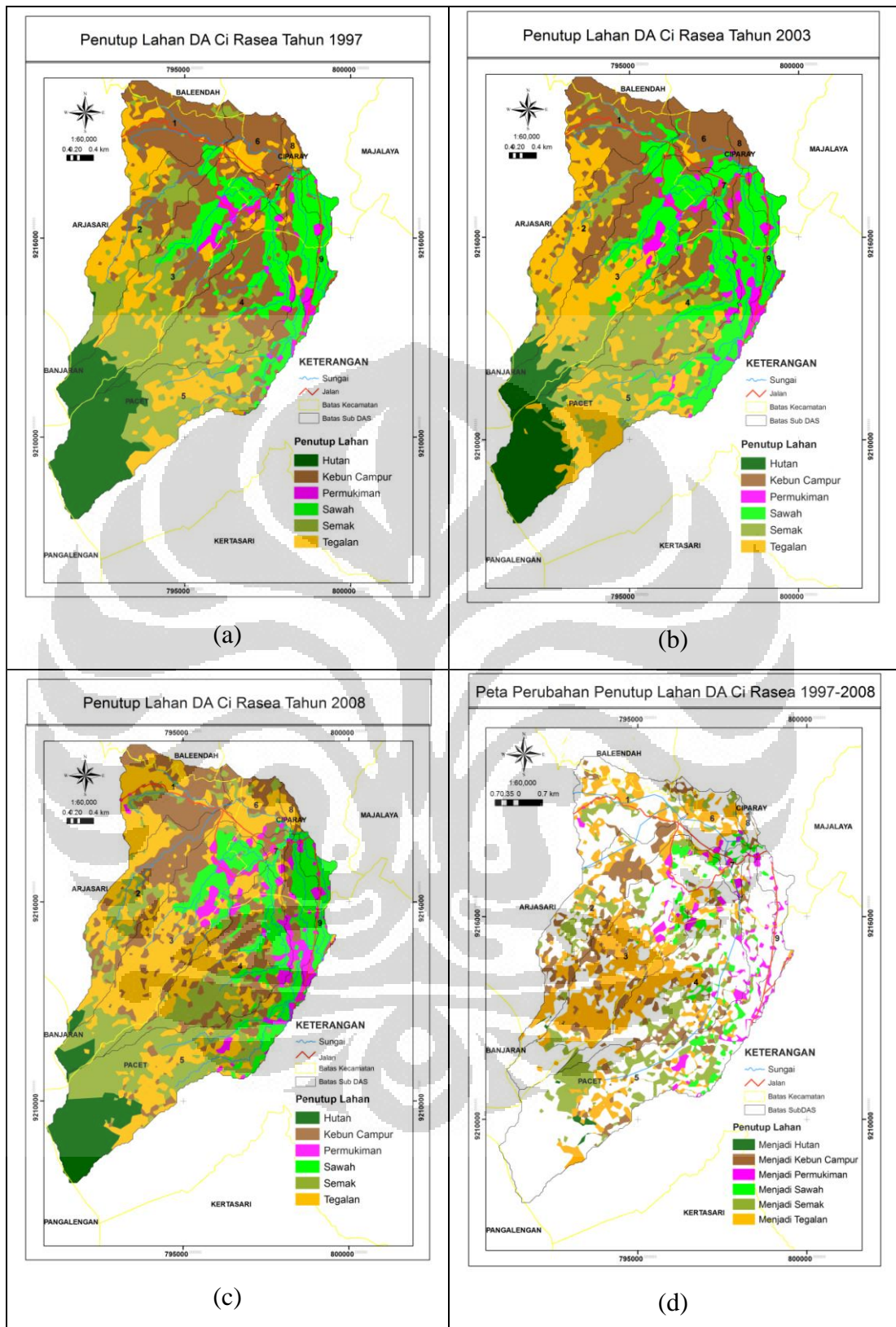
Tahun	2008 (Ha)							
	Penutup Lahan	Hutan	Kebun Campur	Permukiman	Sawah	Semak	Tegalan	Total
1997 (Ha)	Hutan	704.8	6.4	-	-	156.1	55.2	922.6
	Kebun Campur	-	867.7	51.7	114.8	256.1	527.3	1817.5
	Permukiman	-	-	194.9	-	-	-	194.9
	Sawah	-	64.0	51.9	755.3	50.1	59.0	980.4
	Semak	10.8	316.5	1.9	14.5	545.1	633.4	1522.3
	Tegalan	3.5	172.3	42.5	21.2	198.9	734.7	1172.9
	Total	719.1	1427.0	342.9	905.8	1206.3	2009.6	6610.6

Sumber: pengolahan data dan analisis

Secara spasial penutup lahan DA Ci Rasea pada tahun 1997, 2003 dan 2009 serta perubahan penutup lahan pada tahun 1997-2008 dengan menggunakan klasifikasi 6 kelas penutup lahan dapat dilihat pada Gambar 5.2. Penutup lahan yang ada pada gambar tersebut menunjukkan bahwa penutup lahan permukiman dan sawah terletak pada bagian hilir DAS. Penutup lahan tegalan, semak dan kebun campur terletak pada bagian hilir, tengah dan sebagian kecil hulu DAS. Sedangkan penutup lahan hutan berada pada bagian hulu DAS.

Gambar 5.2 menunjukkan bahwa perubahan lahan menjadi tegalan secara spasial banyak terdapat dibagian hilir dan tengah DAS yaitu pada SubDAS 1, 2, 3, 4, 6 dan 8. Perubahan lahan menjadi tegalan sebagian kecil terjadi pada hulu DAS tepatnya pada SubDAS 5. Perubahan penutup lahan hutan, semak dan kebun campur menjadi tegalan yang letaknya berbatasan dengan tegalan. Sehingga telah terjadi ekspansi atau perluasan lahan tegalan dengan mengkonversi lahan hutan semak dan kebun campur di DA Cirasea

Perubahan penutup lahan menjadi permukiman yang terjadi pada bagian hilir DAS tepatnya pada SubDAS 3,4, 5,7 dan 9. Sedangkan sebagian kecil perubahan penutup lahan tersebut terjadi pada bagian tengah DAS tepatnya pada SubDAS 5. Perubahan penutup lahan menjadi hutan terletak pada bagian hulu DAS tepatnya pada SubDAS 5. Perubahan penutup lahan menjadi sawah banyak terdapat pada bagian hilir dan tengah DAS tepatnya pada SubDAS 3, 4, 5 dan 7. Perubahan penutup lahan menjadi semak terdapat pada bagian hilir, tengah dan hulu DAS tepatnya pada SubDAS 1, 2, 4, 5, 6 dan 7.



Gambar 5.2. Hasil klasifikasi penutup lahan 6 kelas tahun 1997 (a), 2003 (b) dan 2008 (c) dan peta perubahan penutup lahan 1997-2008 (d) (Sumber: pengolahan data dan analisis)

Berdasarkan analisis spasial terhadap perubahan penutup lahan dari tahun 1997-2008 di daerah penelitian (Gambar 5.2) maka dapat diamati bahwa sebagian besar terjadi penambahan luas penutup lahan tegalan yang berasal dari kebun campur, semak, sawah dan hutan. Hal tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar penduduk di wilayah ini memenuhi kebutuhan hidupnya dari pertanian lahan kering. Dimana tegalan tersebut dibuat berdasarkan kontur dengan sistem terasering.

Selain itu, konversi lahan sawah menjadi tegalan juga dapat terkait dengan proses klasifikasi. Hal ini berhubungan dengan waktu perekaman citra Landsat yang digunakan diduga terjadi pada peralihan musim kemarau dengan musim hujan yang pada saat itu petani memberakan lahan sawahnya atau menggunakan lahan sawahnya untuk tanaman palawija. Sehingga terkadang sulit membedakan piksel mana yang termasuk sawah, kebun campur atau tegalan. Oleh karena itu, pemilihan training area dalam proses klasifikasi sangat berpengaruh terhadap hasil klasifikasi.

Peningkatan penutup lahan tegalan juga disertai dengan peningkatan penutup lahan permukiman, Peningkatan luas penutup lahan permukiman ini menunjukkan berasal dari konversi lahan sawah, kebun campur semak dan tegalan yang letaknya dekat dengan permukiman yang sebagian besar dekat dengan jalan raya. Dengan demikian peningkatan luas permukiman juga dapat dijadikan indikator sebagai peningkatan jumlah penduduk di daerah tersebut. Akses jalan juga terlihat sebagai penyebab bertambahnya luas permukiman.

5.1.2. Perubahan Penutup Lahan Dari Klasifikasi 5 Kelas Penutup Lahan

Hasil klasifikasi penutup lahan dengan menggunakan 5 kelas penutup lahan dapat dilihat pada Tabel 5.3. Berdasarkan Tabel 5.3 terlihat bahwa perubahan penutup lahan yang terjadi hampir sama dengan hasil klasifikasi penutup lahan dengan menggunakan 6 kelas. Perbedaan yang terjadi karena adanya lahan kering yang merupakan tegalan dan kebun campur pada klasifikasi ini. Namun secara temporal pola perubahan klasifikasi 5 kelas hampir sama dengan klasifikasi 6 kelas. Hal tersebut terlihat karena adanya permukiman, serta berkurangnya luas lahan hutan, semak dan sawah pada rentang waktu 1997-2008.

Selain itu pola perubahan penutup lahan pada tahun 1997-2008 juga tidak semua linier, ada yang berfluktuatif seperti yang terjadi pada lahan sawah dan semak.

Tabel 5.3. Luas dan Perubahan Penutup Lahan di DA Ci Rasea tahun 1997, 2003 dan 2008 berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan

Kelas Penutup Lahan	Luas (Ha)			Perubahan Penutup Lahan					
	1997	2003	2008	1997-2003		2003-2008		1997-2008	
				Ha	%	Ha	%	Ha	%
Hutan	922.6	763.0	719.1	-159.5	-17.3	-44.0	-5.8	-203.5	-22.1
Permukiman	194.9	290.5	342.9	95.6	49.1	52.3	18.0	148.0	75.9
Sawah	980.4	1358.2	905.8	377.8	38.5	-452.5	-33.3	-74.6	-7.6
Semak	1522.3	1201.1	1206.3	-321.1	-21.1	5.2	0.4	-316.0	-20.8
Lahan kering	2990.4	2997.7	3436.6	7.2	0.2	438.9	14.6	446.1	14.9

Sumber: pengolahan data dan analisis

Perubahan jumlah kelas yang digunakan saat klasifikasi ini juga menyebabkan perubahan pada matrik perubahan penutup lahan pada tahun 1997-2008 seperti yang dilihat pada Tabel 5.4. Sebagian besar perubahan yang terjadi pada tahun 1997-2008 untuk klasifikasi 5 kelas disebabkan oleh bertambahnya lahan permukiman, yang berasal dari konversi lahan sawah, semak dan lahan kering menjadi permukiman. Pertambahan permukiman tersebut sebagian besar terletak disepanjang jalan raya atau lahan sawah, semak dan lahan kering yang letaknya dekat dengan permukiman tersebut.

Bertambahnya luas lahan kering sebagian besar berasal dari berubahnya lahan hutan, semak dan sawah menjadi lahan kering yang letaknya dekat dengan lahan kering tersebut. Perubahan lahan hutan disebabkan karena terjadi perubahan lahan hutan menjadi semak dan lahan kering. Perubahan lahan semak terjadi karena berubah lahan semak menjadi permukiman, sawah dan lahan kering. Sedangkan berkurang dan bertambahnya sawah diberasal dari lahan kering dan semak.

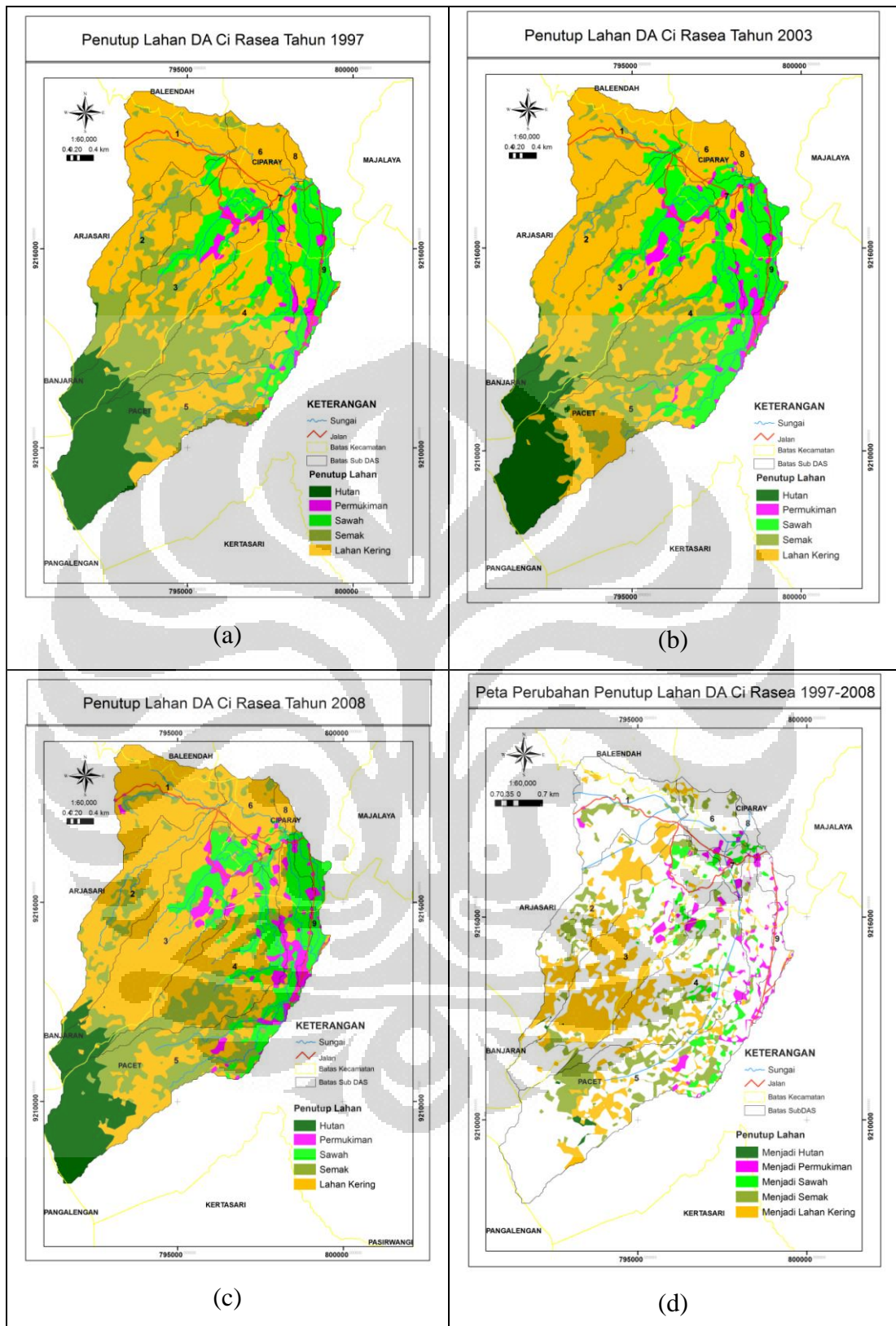
Tabel 5.4. Matrik Perubahan Penutup Lahan di DA Ci Rasea tahun 1997-2008 berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan

Tahun	2008 (Ha)						
	Penutup Lahan	Hutan	Permukiman	Sawah	Semak	Lahan Kering	Total
1997 (Ha)	Hutan	704.8	-	-	156.1	61.7	922.6
	Permukiman	-	194.9	-	-	-	194.9
	Sawah	-	51.9	755.3	50.1	123.1	980.4
	Semak	10.8	1.9	14.5	545.1	949.9	1522.3
	Lahan Kering	3.5	94.1	136.0	455.0	2301.8	2990.4
	Total	719.1	342.9	905.8	1206.3	3436.5	6610.6

Sumber: pengolahan data dan analisis

Pola spasial penutup lahan DA Ci Rasea pada tahun 1997, 2003 dan 2008 serta perubahan penutup lahan pada tahun 1997-2008 dengan menggunakan klasifikasi 5 kelas penutup lahan dapat dilihat pada Gambar 5.3. Pada penutup lahan yang ada pada gambar 5.3 terlihat bahwa penutup lahan permukiman dan sawah terletak pada bagian hilir DAS. Perubahan penutup lahan semak dan lahan kering banyak terletak pada bagian hilir, tengah dan sebagian kecil hulu DAS. Sedangkan penutup lahan hutan berada pada bagian hulu DAS. Penutup lahan dominan yang ada pada DA Ci Rasea secara terlihat adalah lahan kering.

Berdasarkan Gambar 5.3 (d) terlihat bahwa perubahan lahan menjadi lahan kering banyak terdapat pada SubDAS 2 dan 3. Perubahan lahan menjadi hutan banyak terdapat pada SubDAS 5. Perubahan lahan menjadi semak banyak terdapat pada 1, 2, 4, 5 dan 6. Perubahan lahan menjadi sawah banyak terdapat pada SubDAS 3, 4, 5 dan 7. Sedangkan perubahan lahan menjadi permukiman banyak terdapat pada SubDAS 3, 5, 4, 7 dan 9.



Gambar 5.3. Hasil klasifikasi penutup lahan 5 kelas tahun 1997 (a), 2003 (b) dan 2008 (c) dan peta perubahan penutup lahan 1997-2008 (d) (Sumber: pengolahan data dan analisis)

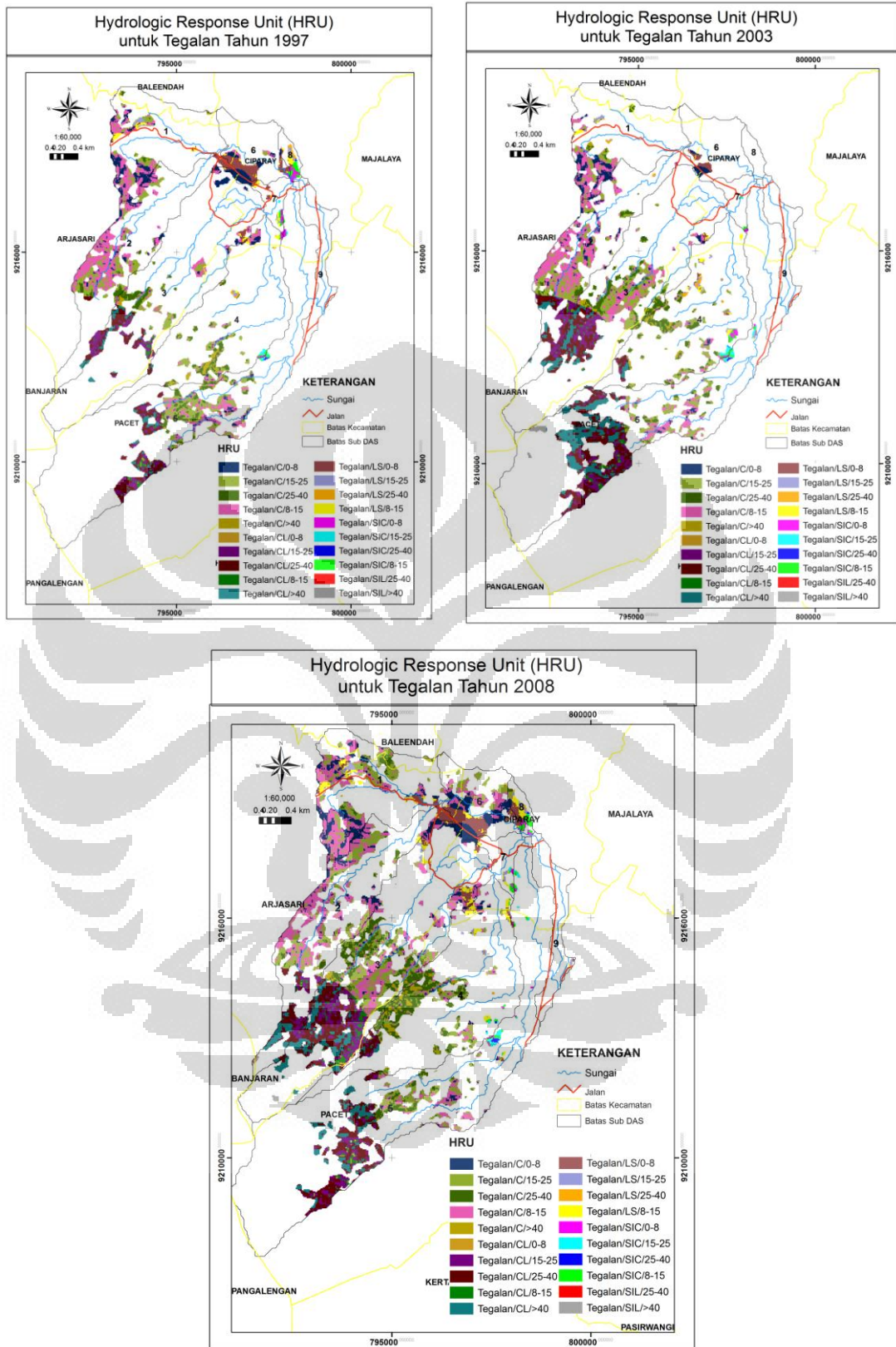
Pada hasil klasifikasi dengan 5 kelas penutup lahan ini juga terlihat bahwa bertambahnya permukiman terletak sepanjang jalan raya dan di lahan sawah, tegalan dan semak yang dekat dengan permukiman. Sedangkan bertambahnya lahan tegalan terjadi pada daerah tegalan yang berbatasan dengan hutan dan semak. Indikator penambahan penduduk dan pengolahan lahan dengan melakukan pertanian lahan kering juga terlihat pada hasil klasifikasi 5 kelas ini.

Dengan demikian pola spasial dan temporal perubahan lahan berdasarkan klasifikasi 6 kelas dan penutup lahan dan 5 kelas penutup lahan mempunyai pola yang hampir sama. Perbedaannya hanya terletak pada ke detailan informasi penutup lahan yang diperoleh. Klasifikasi 6 kelas penutup lahan mempunyai informasi mengenai penutup lahan yang lebih detail dibandingkan dengan klasifikasi 5 kelas penutup lahan. Karena pada klasifikasi 6 kelas penutup lahan lahan kering dibedakan menjadi tegalan dan kebun campur.

5.1.3. HRU berdasarkan Klasifikasi 6 Kelas Penutup Lahan

Analisis HRU dibagi berdasarkan penutup lahan yang digunakan. Hal ini dilakukan agar dapat dilihat pengaruh perubahan lahan terhadap perubahan yang terjadi pada HRU.

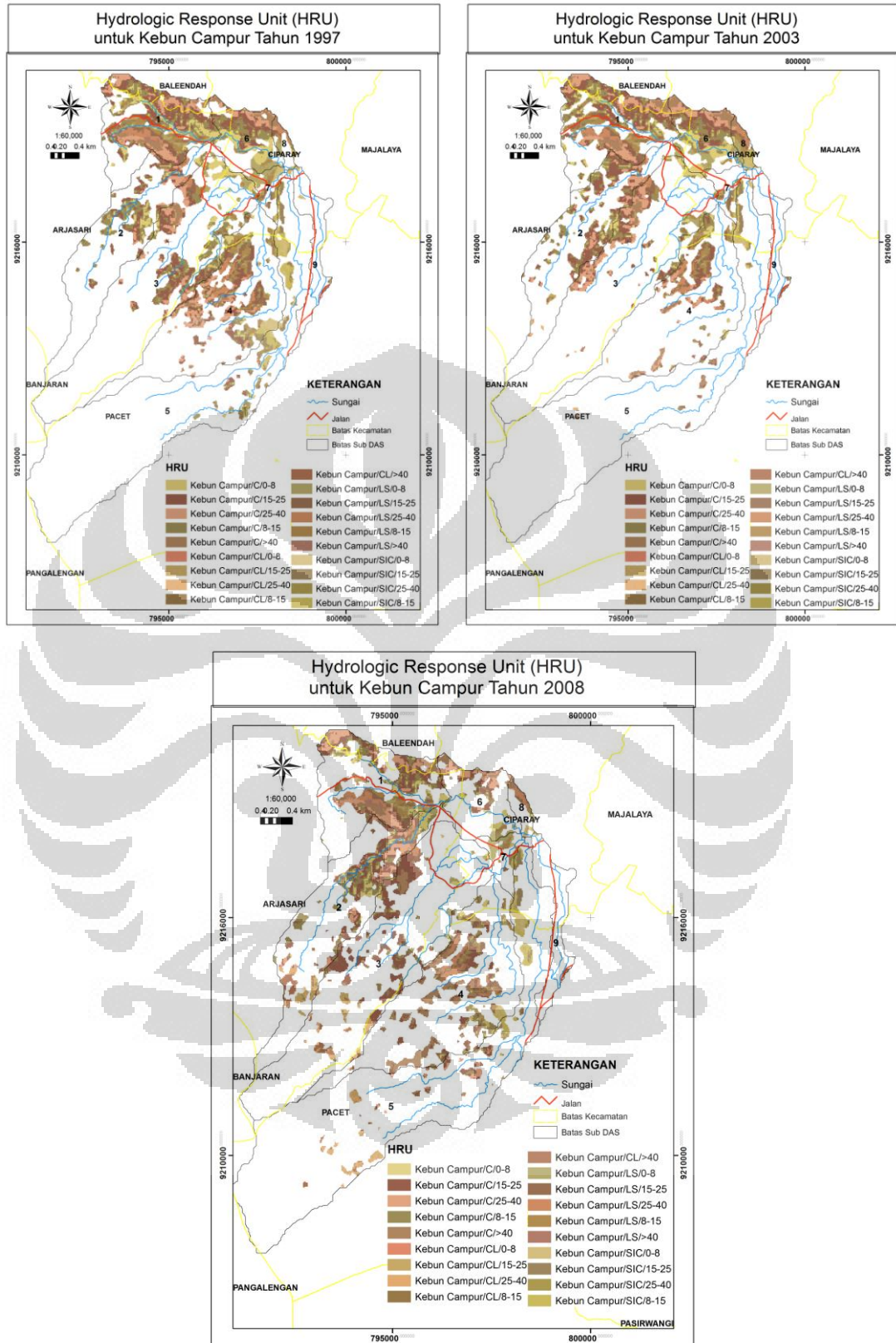
Berdasarkan data klasifikasi 6 kelas penutup lahan maka pola spasial HRU untuk tegalan dapat dilihat pada Gambar 5.4. HRU untuk tegalan berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan banyak pada tahun 1997 dan 2008 banyak terdapat pada SubDAS 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 dan 8. Sedangkan pada tahun 2008 HRU tegalan klasifikasi 6 kelas penutup lahan banyak terdapat pada SubDAS 1, 2, 3, 4, 5 dan 6. Pada gambar tersebut terlihat bahwa pada tahun 1997-2008 telah terjadi perubahan pola spasial HRU tegalan klasifikasi 6 kelas penutup lahan. Perubahan tersebut banyak terjadi pada bagian hulu, tengah dan hilir DAS. Perubahan tersebut disebabkan karena adanya perubahan penutup lahan pada tahun 1997-2008.



Gambar 5.4. HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan tegalan berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan (Sumber: pengolahan data dan analisis)

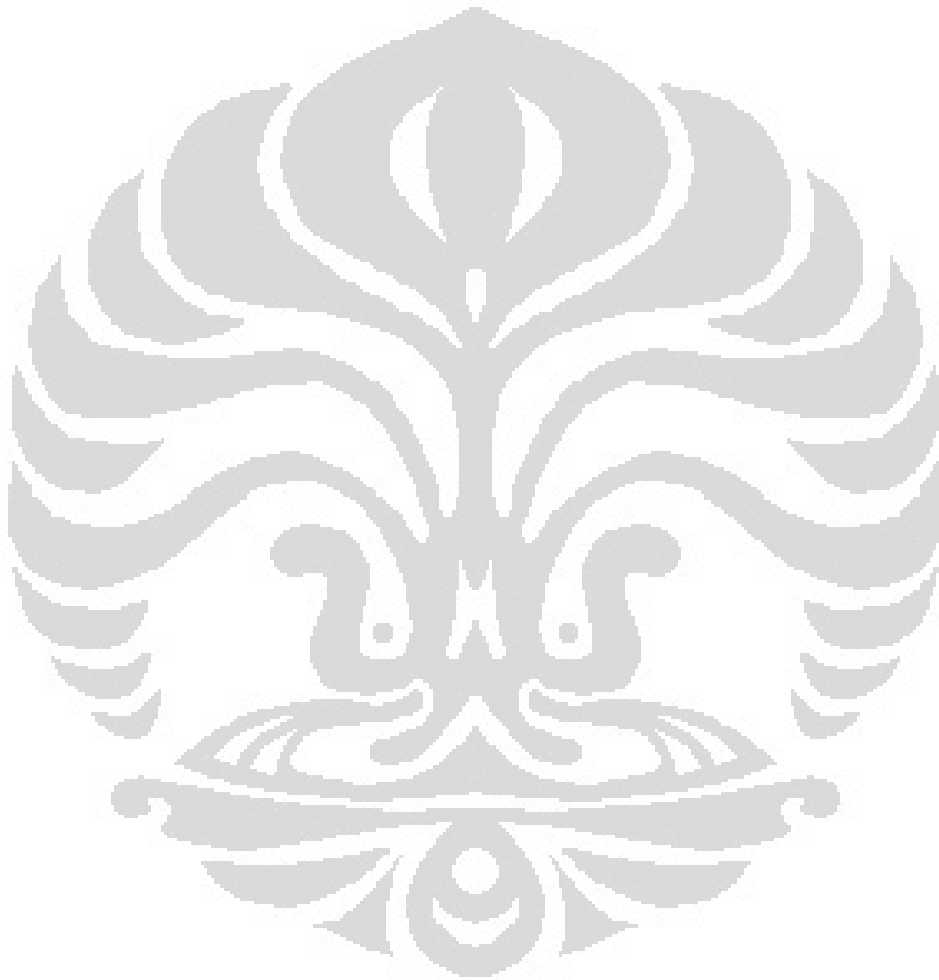
Pola spasial HRU untuk kebun campuran berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan dapat dilihat pada Gambar 5.5. pada gambar tersebut terlihat bahwa HRU untuk kebun campuran klasifikasi 6 kelas penutup lahan terdapat pada SubDAS 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 dan 8 tepatnya terletak pada bagian tengah dan hilir DAS. Pada tahun 1997-2008 terlihat adanya pengurangan luas HRU untuk kebun campuran tersebut. Perubahan untuk HRU kebun campuran berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan pada tahun 1997-2008 banyak terjadi pada tengah dan hilir DAS. Hal ini disebabkan karena banyaknya perubahan penutup lahan kebun campuran yang terjadi pada tahun 1997-2008 di bagian tengah dan hilir DAS.

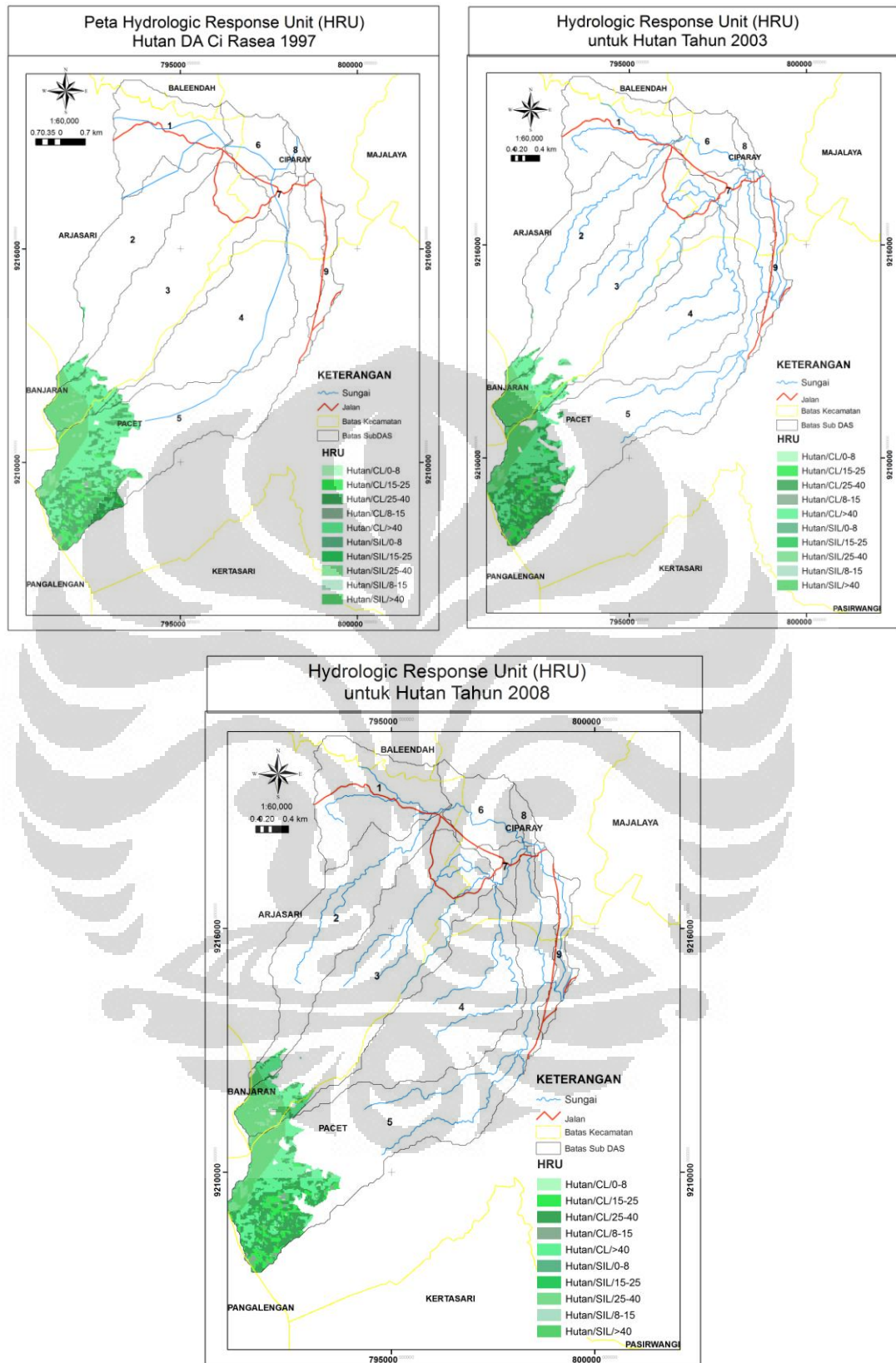




Gambar 5.5. HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan kebun campur berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan (Sumber: pengolahan data dan analisis)

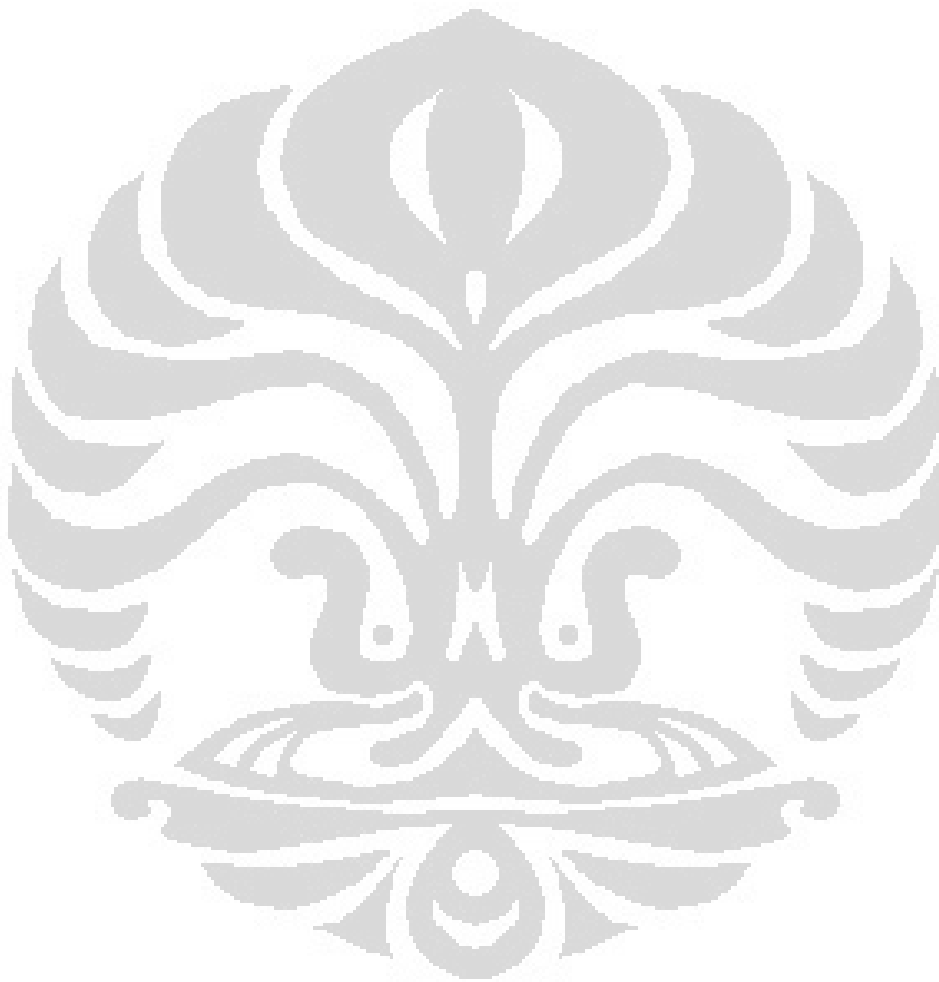
Pola spasial HRU untuk hutan berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan dapat dilihat pada Gambar 5.6. Pada gambar tersebut terlihat bahwa HRU untuk hutan berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan terdapat pada bagian hulu SubDAS 2, 3, 4 dan 5. Pada tahun 1997-2008 terlihat perubahan pola spasial HRU untuk hutan klasifikasi 6 kelas penutup lahan. Hal ini terlihat dengan adanya pengurangan luas HRU untuk hutan tersebut akibat dari pengurangan penutup lahan hutan pada tahun 1997-2008 di wilayah tersebut.

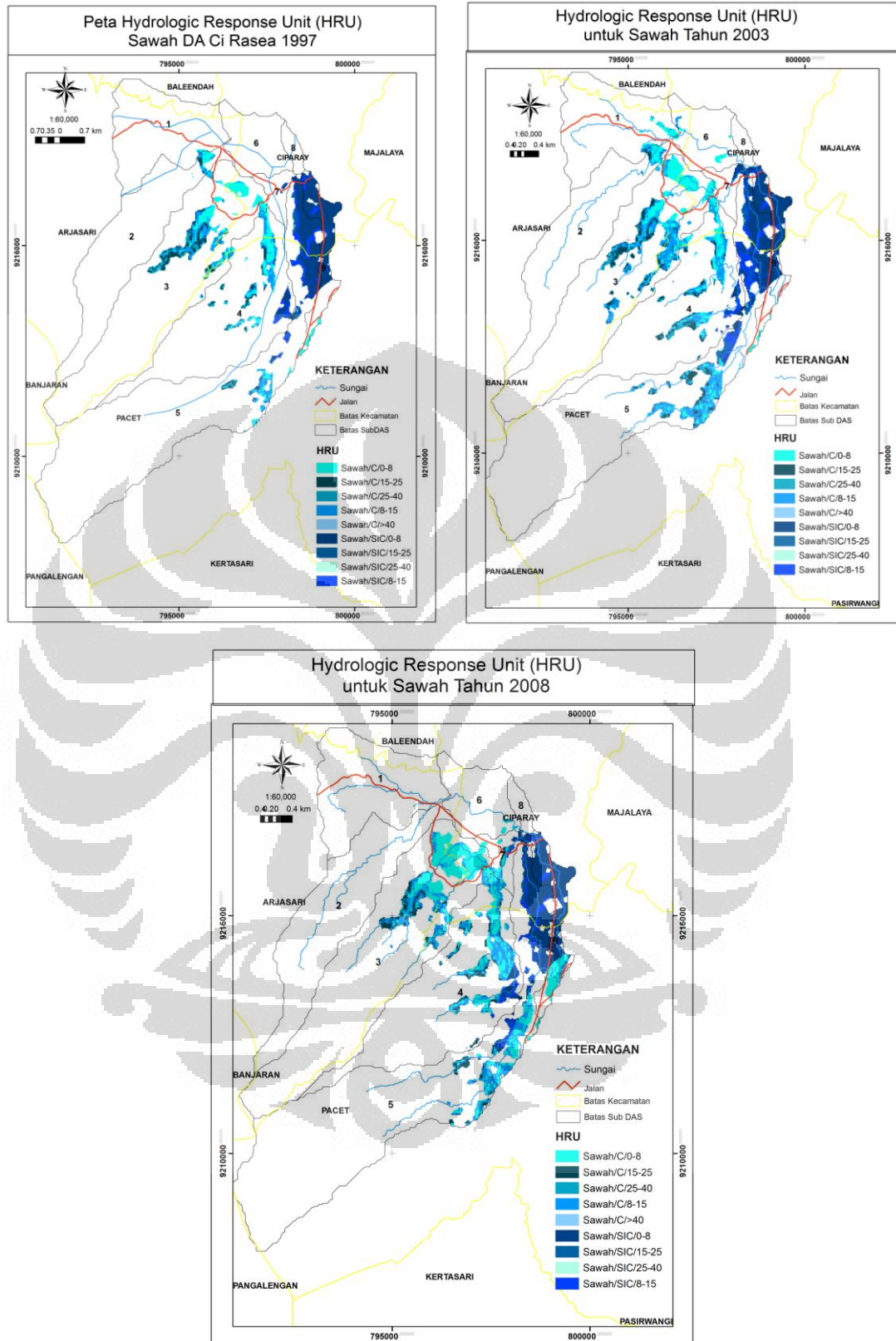




Gambar 5.6. HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan hutan berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan (Sumber: pengolahan data dan analisis)

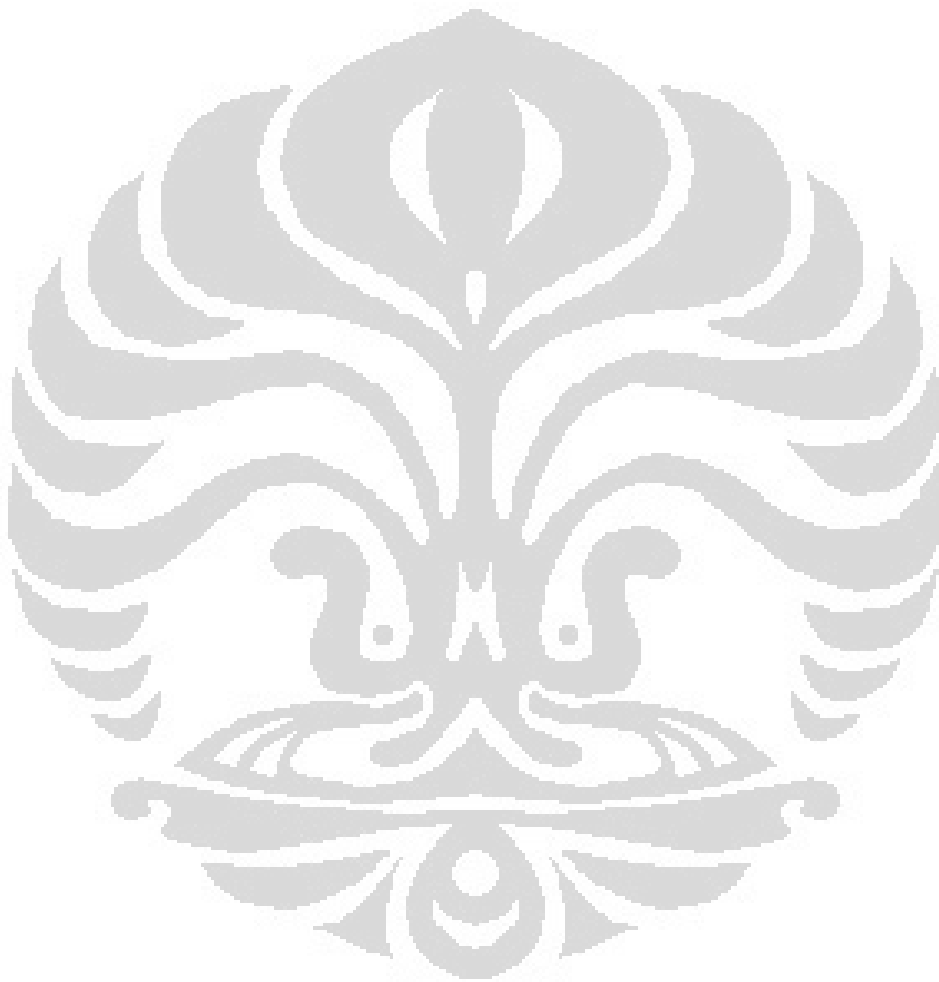
Pola spasial HRU untuk lahan sawah berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan dapat dilihat pada Gambar 5.7. Pada gambar tersebut terlihat bahwa HRU untuk sawah banyak terdapat di tengah dan hilir DAS, yaitu SubDAS 2, 3, 4, 5, 7 dan 9. Pola spasial pada HRU untuk sawah tersebut pada tahun 1997-2008 telah terjadi perubahan. Perubahan banyak terjadi pada bagian hilir DAS dan sedikit di bagian tengah akibat adanya ekspansi penutup lahan sawah pada wilayah tersebut.

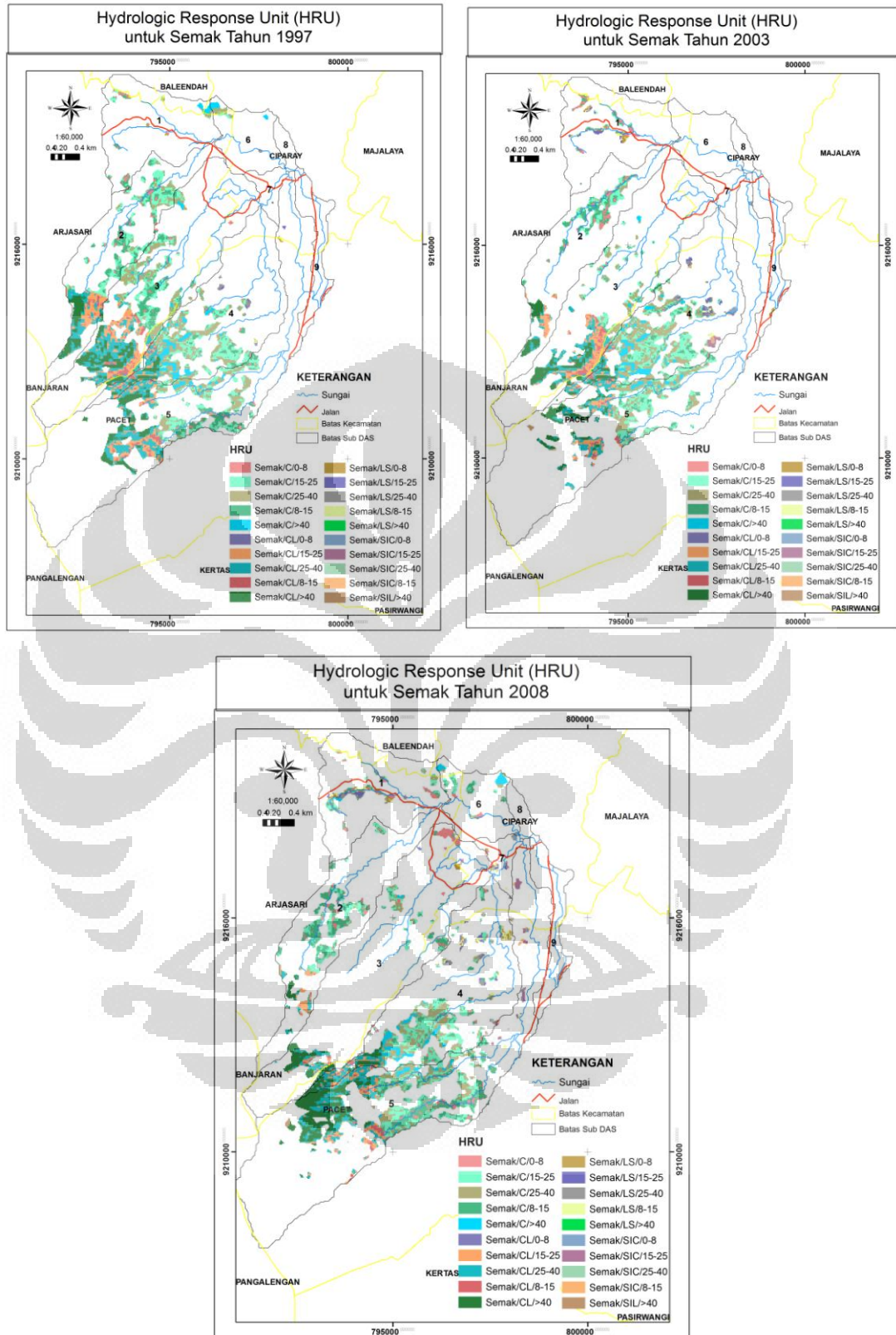




Gambar 5.7. HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan sawah berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan (Sumber: pengolahan data dan analisis)

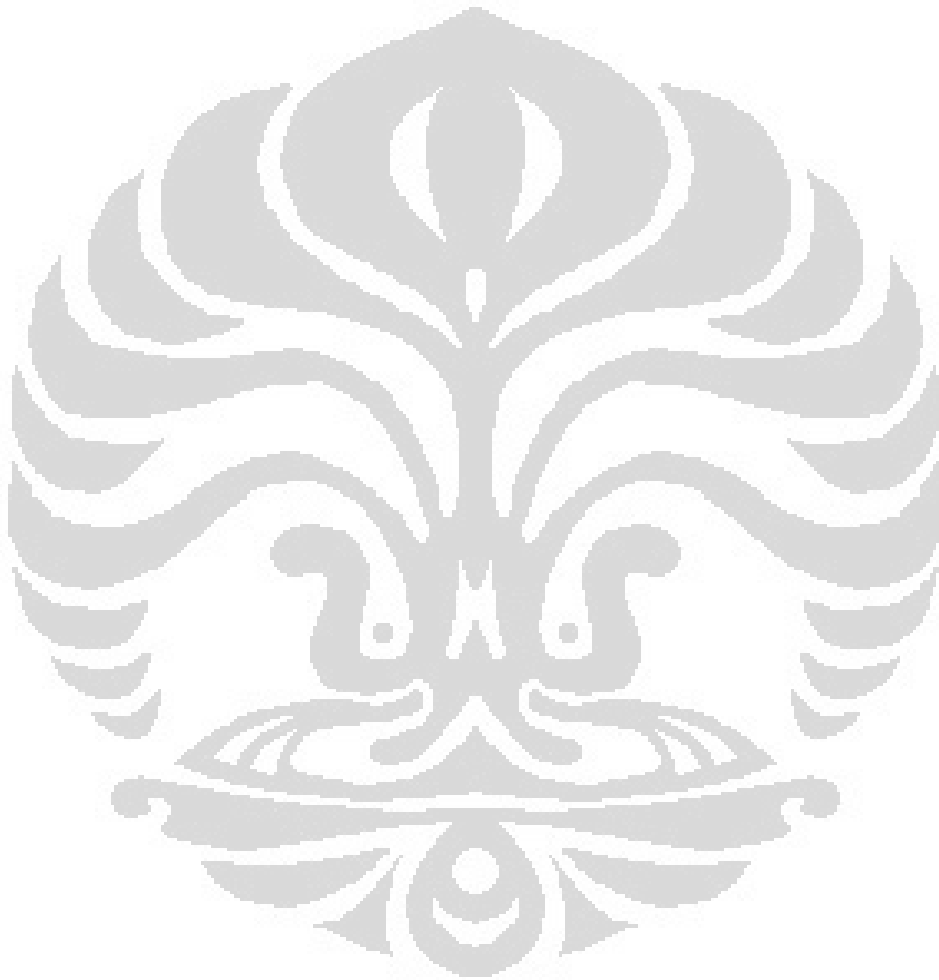
Pola spasial HRU untuk lahan semak berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan dapat dilihat pada Gambar 5.8. Pada gambar tersebut terlihat bahwa HRU untuk semak banyak terdapat di bagian tengah dan hulu DAS, yaitu pada SubDAS 1, 2, 3, 4 dan 5. Pada tahun 1997-2008 terlihat bahwa terjadi perubahan HRU untuk semak klasifikasi 6 kelas penutup lahan yang banyak terjadi pada wilayah tengah. Hal ini terjadi karena adanya perubahan penutup lahan semak pada tahun 1997-2008 di wilayah tersebut.

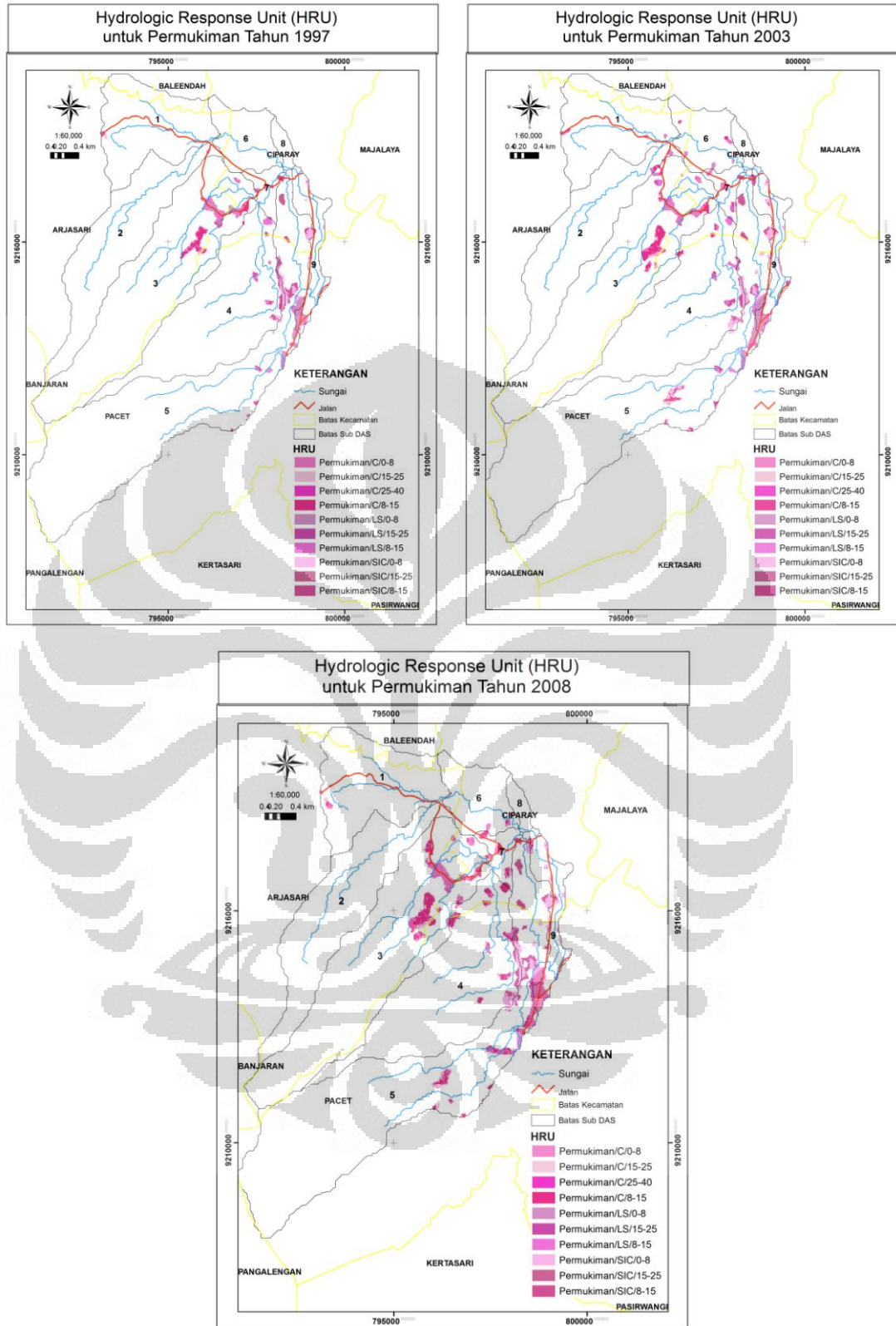




Gambar 5.8. HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan semak berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan (Sumber: pengolahan data dan analisis)

Pola spasial HRU untuk permukiman berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan dapat dilihat pada Gambar 5.9. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa HRU untuk permukiman berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan banyak terdapat pada bagian hilir DAS, yaitu terletak di SubDAS 3, 4, 5, 7 dan 9. Pada tahun 1997-2008 terlihat terjadi perubahan pola spasial HRU untuk permukiman berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan akibat adanya perubahan penutup lahan permukiman di wilayah tersebut.





Gambar 5.9. HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan permukiman berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan (Sumber: pengolahan data dan analisis)

Bila dilihat berdasarkan masing-masing SubDAS yang ada pada DA Ci Rasea, jumlah HRU, HRU dominan dan luasnya untuk klasifikasi 6 kelas penutup lahan dapat dilihat pada Tabel 5.5. Pada tabel tersebut terlihat bahwa dari rentang waktu 1997-2008 terjadi perubahan jumlah HRU pada masing-masing SubDAS. Hal ini terkait dengan perubahan penutup lahan yang terjadi yang mengakibatkan berubahnya pola spasial HRU di wilayah tersebut. Berubahnya pola spasial tersebut juga menyebabkan berubahnya HRU dominan dan luasnya.

Tabel 5.5 Jumlah HRU, HRU dominan dan luasnya pada masing-masing SubDAS tahun 1997-2008 di DA Ci Rasea berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan

Sub DAS	Jumlah HRU			HRU Dominan (penutup lahan/tanah/lereng)			Luas HRU Dominan (Ha)		
	1997	2003	2008	1997	2003	2008	1997	2003	2008
1	29	31	31	Kebun campur /C/15-25	Kebun campur /C/15-25	Kebun campur /C/8-15	120.7	127.3	104.4
2	30	34	29	Tegalan /C/8-15	Tegalan /C/8-15	Tegalan /C/8-15	142.4	135.1	140.8
3	38	37	38	Kebun campur /C/15-25	Sawah /C/0-8	Tegalan /C/15-25	99.6	115.5	129.6
4	50	55	52	Semak/C/25-40	Semak/C/25-40	Semak/C/15-25	101.4	130.1	91.98
5	45	42	45	Hutan/CL/>40	Hutan /CL/25-40	Hutan /CL/25-40	255	171.3	171.4
6	15	16	21	Kebun campur /C/9-15	Kebun campur /C/15-25	Tegalan /C/0-8	47.83	52.44	53.52
7	27	21	30	Kebun campur /LS/0-8	Sawah /LS/0-8	Kebun campur /LS/0-8	20.8	30.26	15.9
8	20	14	22	Tegalan /SIC/8-15	Kebun campur /LS/25-40	Kebun campur /LS/25-40	6.73	8.44	7.36
9	15	16	20	Sawah/SI C/0-8	Sawah/SIC /0-8	Sawah /SIC/0-8	125.7	118.7	117.5
Total	269	266	288	-					

Sumber: Hasil pengolahan dan analisis

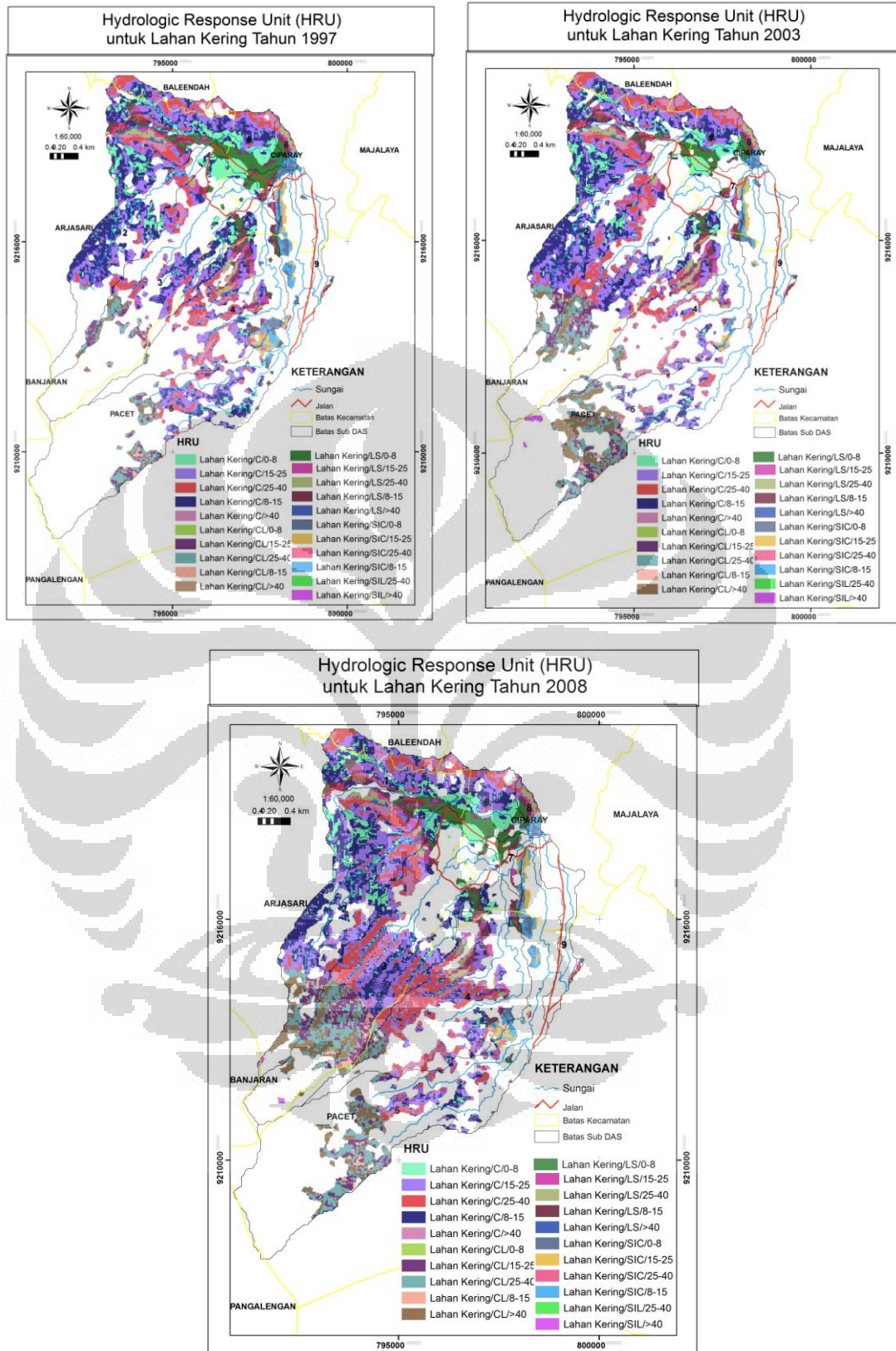
Pada tahun 1997-2008 perubahan HRU yang paling banyak terjadi pada SubDAS 3. Hal ini terjadi karena bertambahnya luas tegalan pada wilayah tersebut. Sedangkan perubahan HRU pada tahun 1997-2008 yang paling sedikit terjadi

pada SubDAS 8. Karena pada SubDAS 8 perubahan penutup lahan yang terjadi adalah sedikit.

5.1.4. HRU berdasarkan Klasifikasi 5 Kelas Penutup Lahan

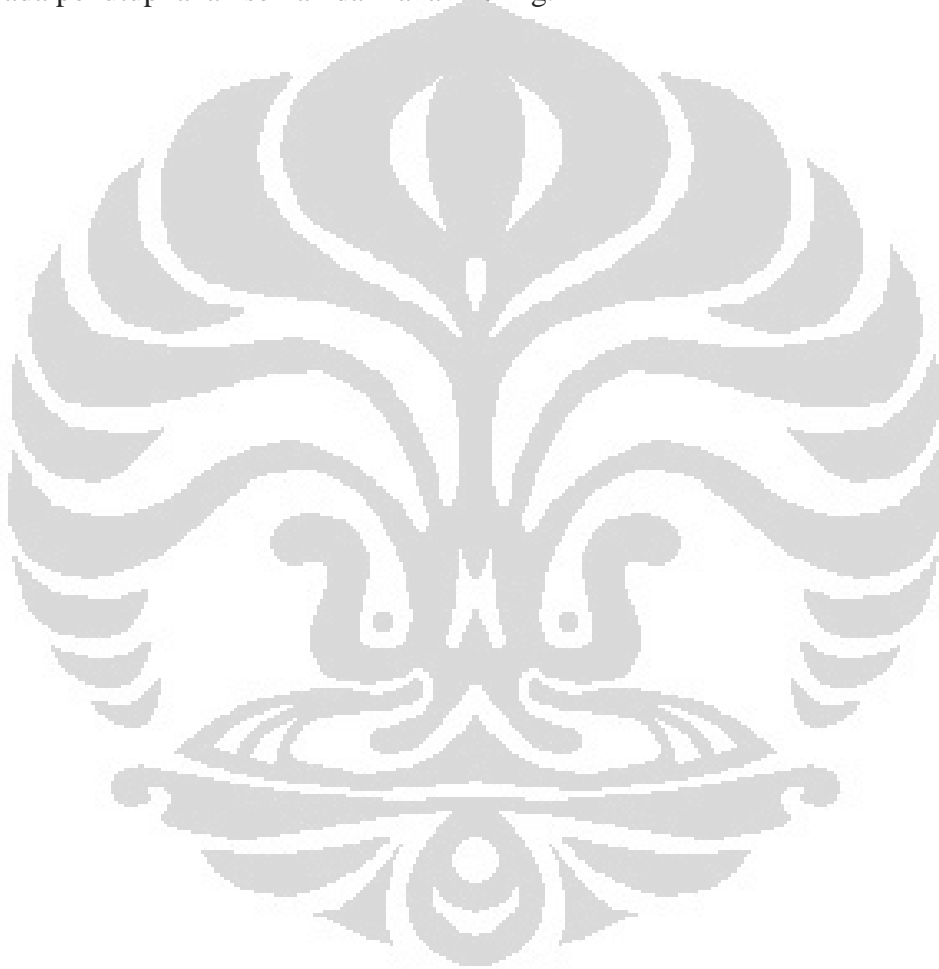
Pola spasial HRU berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan juga dianalisis berdasarkan masing-masing penutup lahan. Hal ini dilakukan agar pengaruh perubahan penutup lahan tahun 1997-2008 di wilayah DA Ci Rasea pada pola spasial HRU tersebut dapat dilihat.

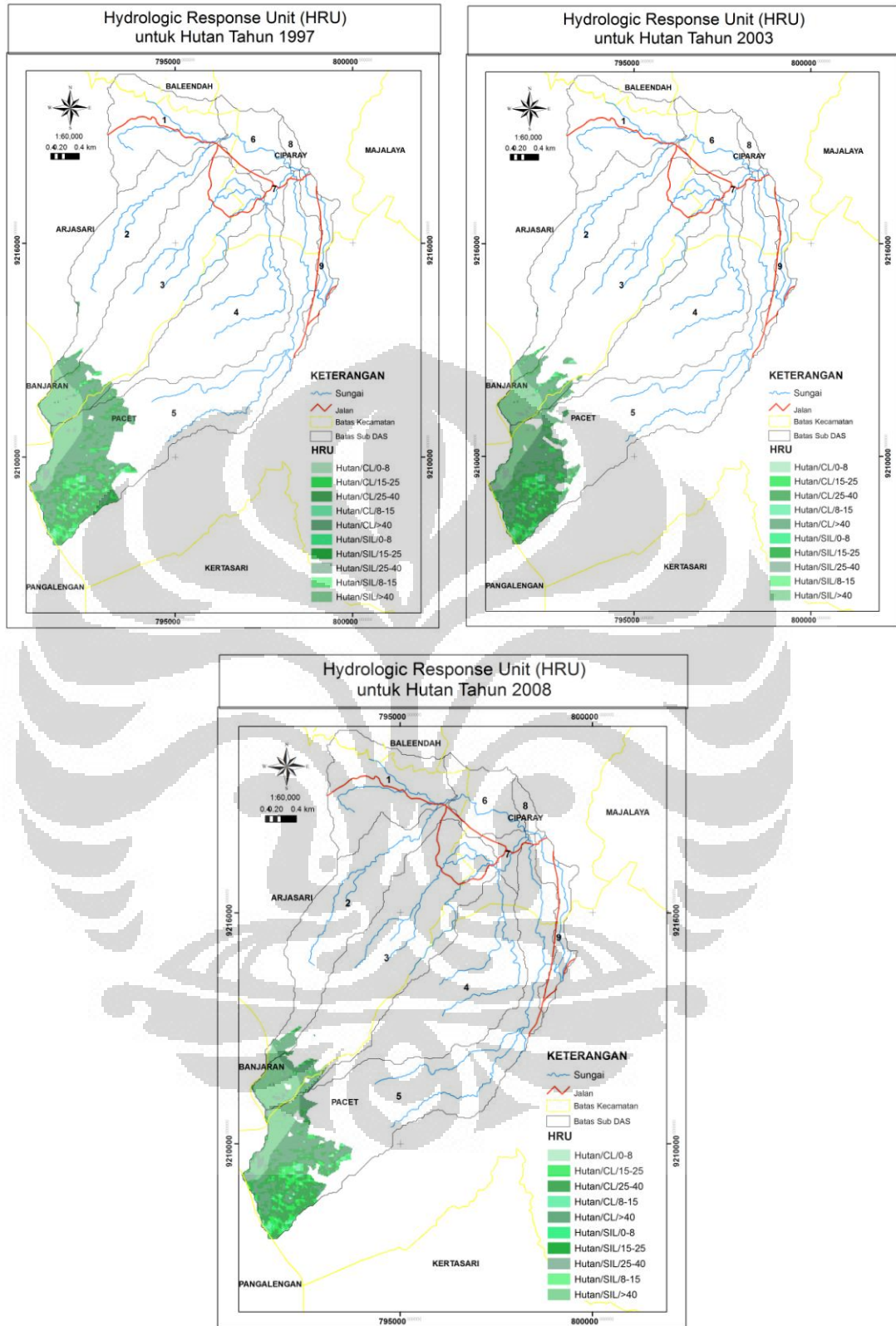
Pola spasial HRU untuk lahan kering berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan tahun 1997-2008 dapat dilihat pada Gambar 5.10. Pada gambar tersebut terlihat bahwa HRU untuk lahan kering tersebut terdapat pada SubDAS 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 dan 8. Perubahan HRU untuk lahan kering itu banyak terdapat pada bagian hilir, tengah dan hulu DAS. Hal ini terjadi karena adanya perubahan penutup lahan untuk lahan kering di wilayah tersebut.



Gambar 5.10. HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan lahan kering berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan (Sumber: pengolahan data dan analisis)

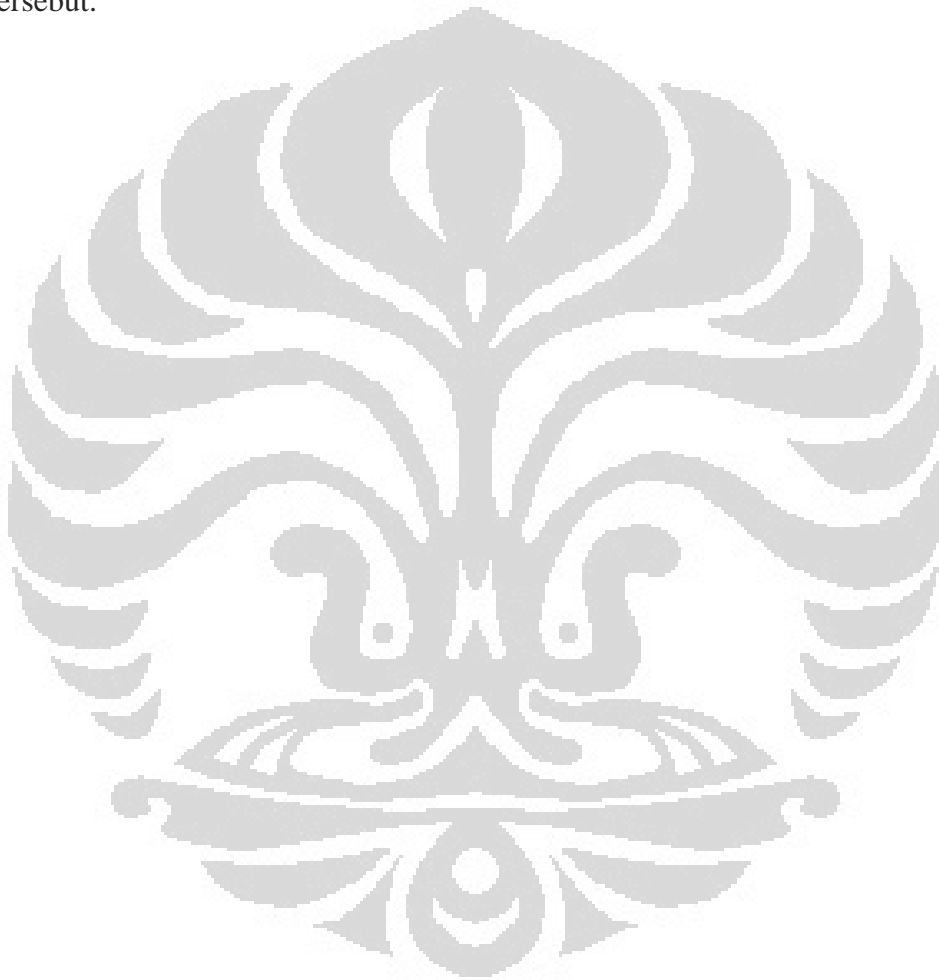
Pola spasial HRU untuk hutan berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan dapat dilihat pada Gambar 5.11. Perubahan HRU untuk hutan berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan seperti yang terjadi pada HRU untuk hutan berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan. HRU untuk hutan berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan tersebut banyak terdapat pada SubDAS 2, 3, 4 dan 5. Perubahan HRU hutan berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan pada tahun 1997-2008 banyak terjadi di wilayah hulu DAS tepatnya yang berdekatan pada penutup lahan semak dan lahan kering.

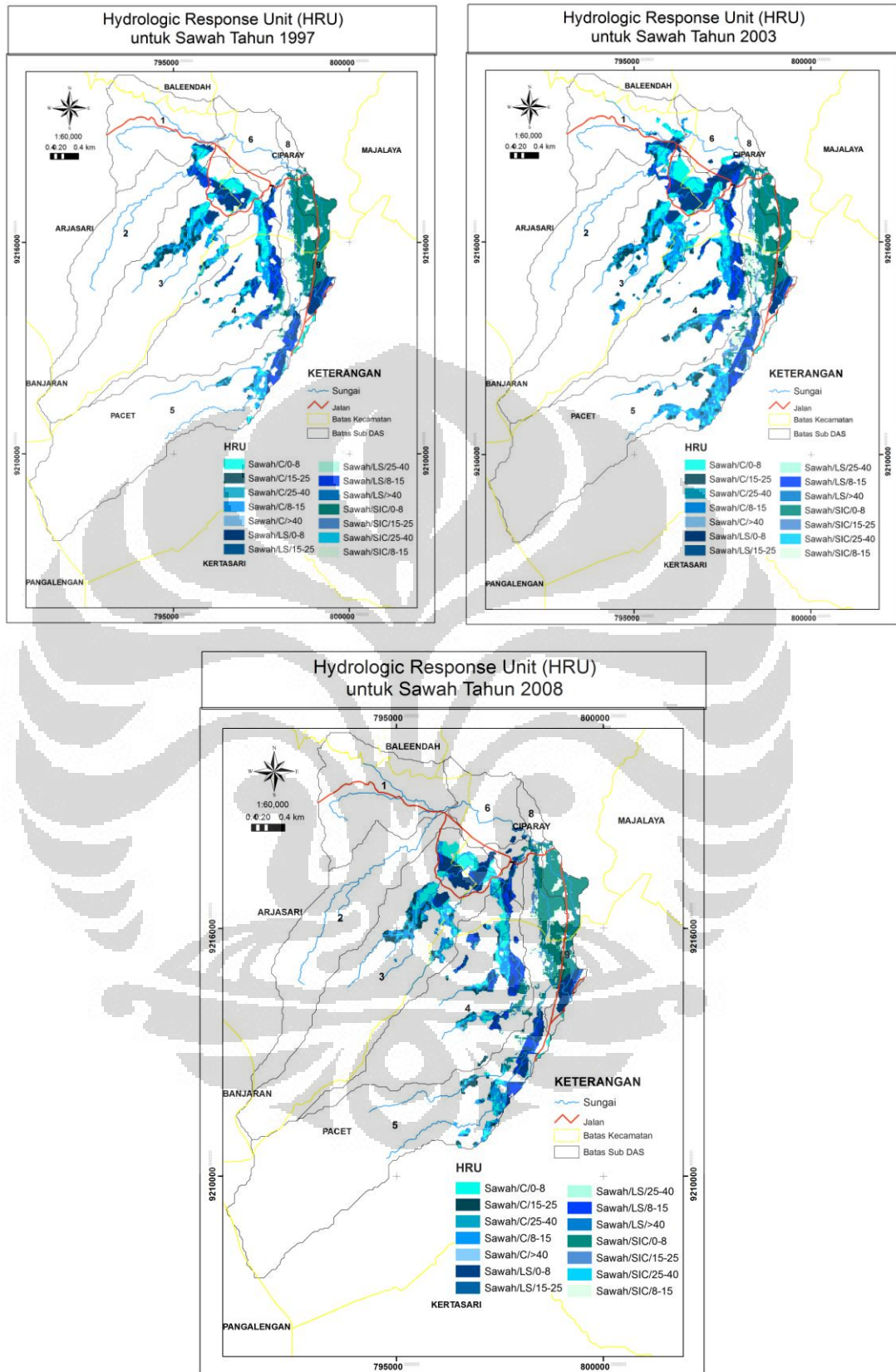




Gambar 5.11. HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan hutan berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan (Sumber: pengolahan data dan analisis)

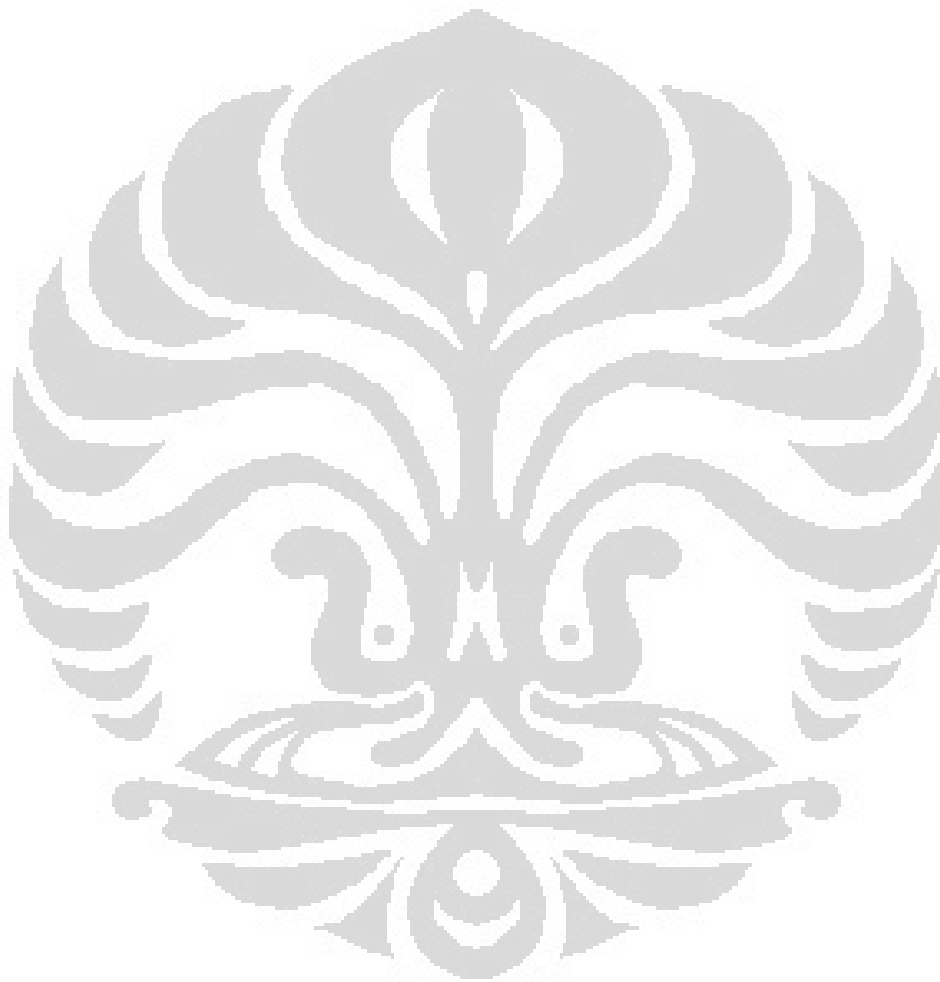
Pola spasial HRU untuk sawah berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan dapat dilihat pada Gambar 5.12. Pada gambar tersebut terlihat bahwa HRU untuk sawah berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan terdapat pada SubDAS 2, 3, 4, 5, 7, dan 9 yang sebagian besar terletak pada wilayah hilir DA Ci Rasea. Pada tahun 1997-2008 terjadi perubahan HRU untuk sawah berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan yang banyak terdapat pada wilayah hilir dan tengah DAS. Hal ini terjadi karena adanya perubahan penutup lahan untuk sawah pada wilayah tersebut.

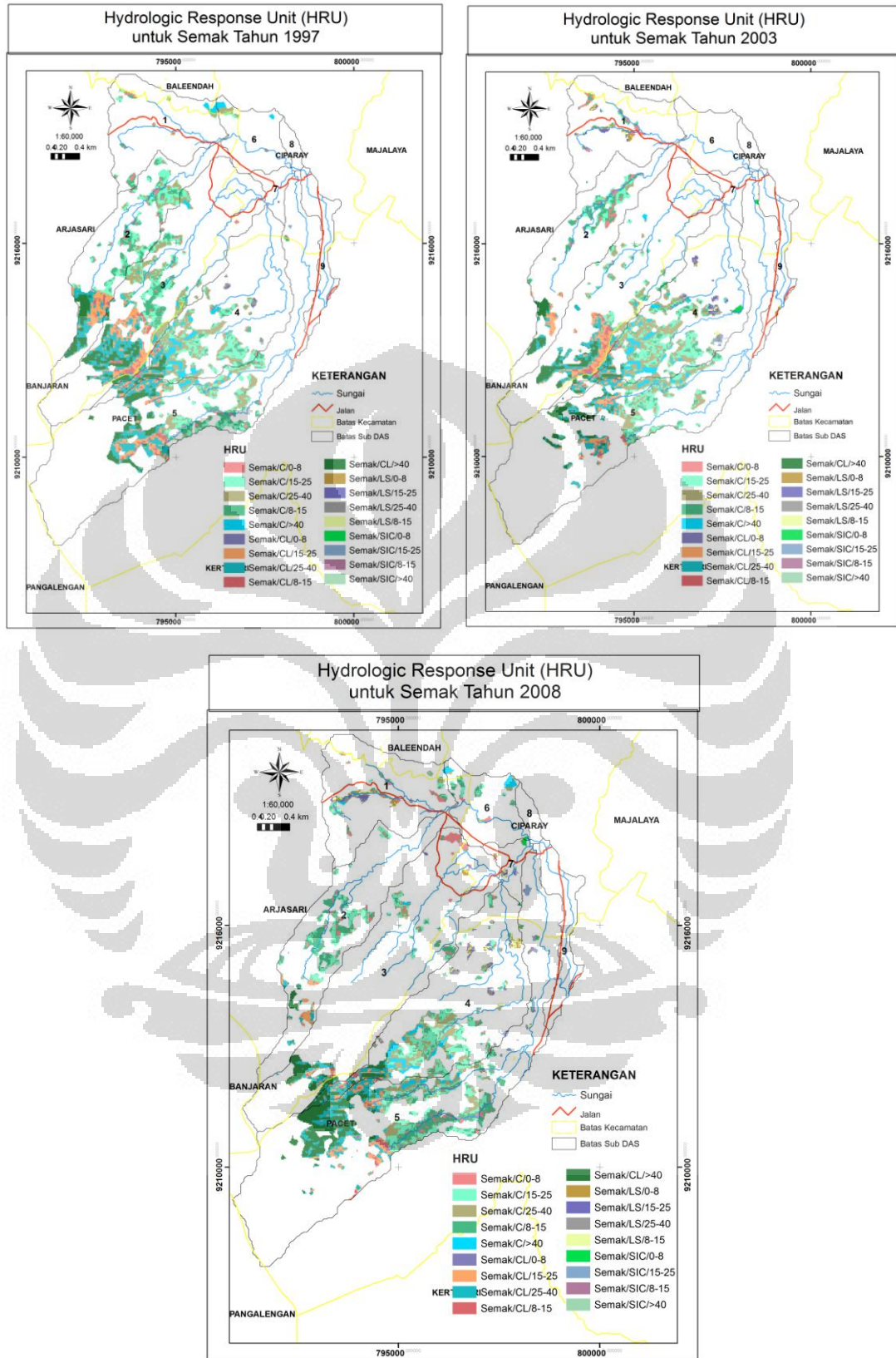




Gambar 5.12. HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan sawah berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan (Sumber: pengolahan data dan analisis)

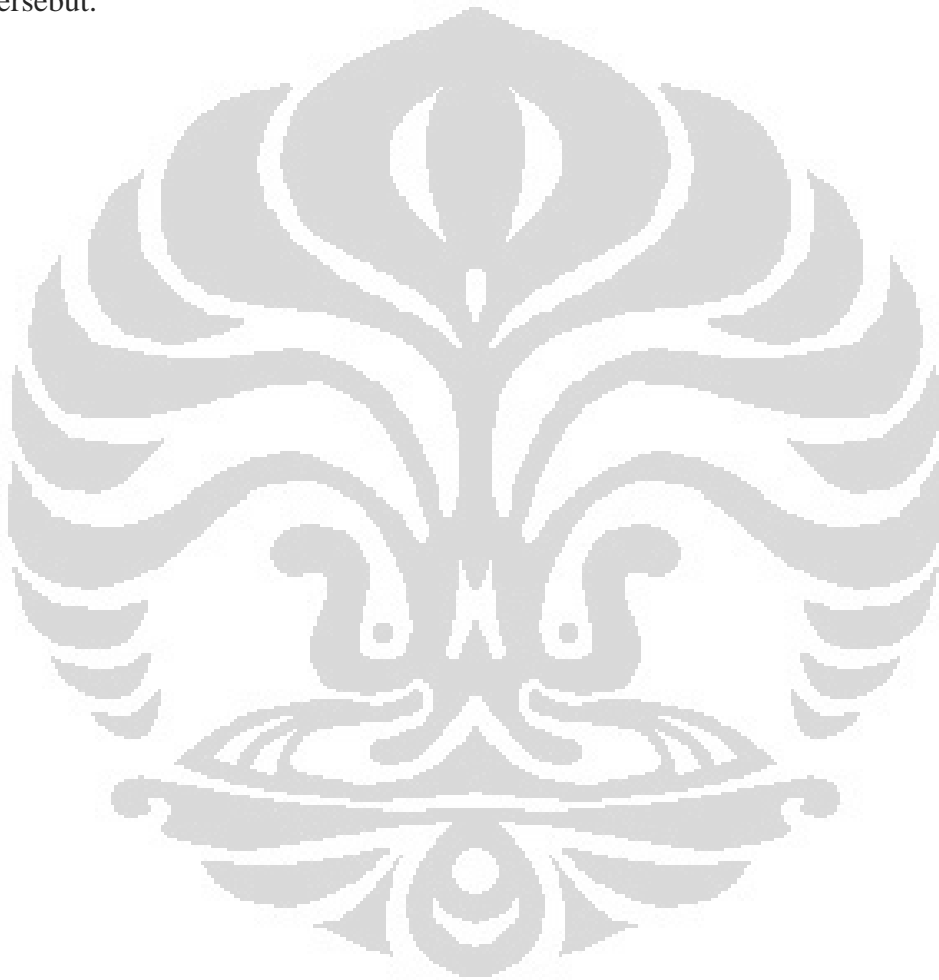
Pola spasial HRU untuk semak berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan dapat dilihat pada Gambar 5.13. Pada gambar tersebut terlihat bahwa HRU untuk permukiman itu banyak terdapat pada SubDAS 1, 2, 3, 4, 5 dan 6. HRU tersebut sebagian besar terletak di hulu dan tengah DAS. Perubahan HRU untuk semak berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan pada tahun 1997-2008 banyak terjadi di wilayah hulu dan tengah DAS akibat adanya perubahan penutup lahan semak pada wilayah tersebut.

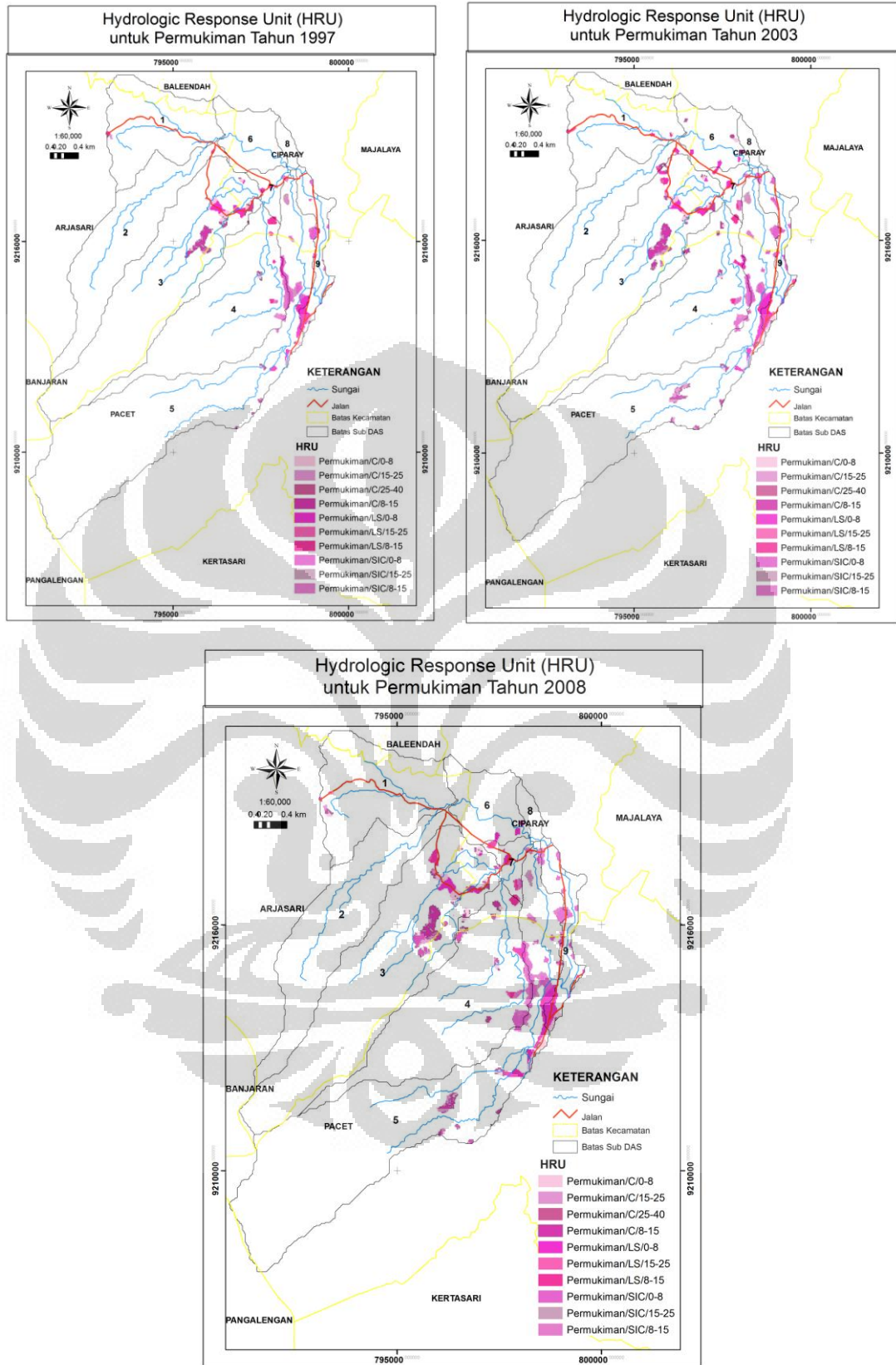




Gambar 5.13. HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan semak berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan (Sumber: pengolahan data dan analisis)

Pola spasial HRU untuk permukiman berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan dapat dilihat pada Gambar 5.14. Pada gambar tersebut terlihat bahwa HRU untuk permukiman itu banyak terdapat pada SubDAS 2, 3, 4, 5, 7 dan 9. HRU untuk permukiman tersebut sebagian besar terletak di tengah DAS dan sedikit di hilir DAS. Perubahan HRU untuk permukiman berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan pada tahun 1997-2008 banyak terjadi di wilayah hilir DAS akibat adanya perubahan penutup lahan permukiman di wilayah tersebut.





Gambar 5.14. HRU tahun 1997, 2003 dan 2008 untuk penutup lahan permukiman berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan (Sumber: pengolahan data dan analisis)

Bila dilihat berdasarkan masing-masing SubDAS yang ada pada DA Ci Rasea, jumlah HRU, HRU dominan dan luasnya untuk klasifikasi 5 kelas penutup lahan dapat dilihat pada Tabel 5.6. Pada Tabel 5.6 tersebut terlihat pula pola yang seperti yang terjadi pada klasifikasi 6 kelas penutup lahan. Bila HRU hasil klasifikasi 6 kelas penutup lahan dibandingkan dengan HRU hasil klasifikasi 5 kelas penutup lahan maka untuk HRU semak, hutan, sawah dan permukiman mempunyai pola perubahan yang sama.

Tabel 5.6 Jumlah HRU, HRU dominan dan luasnya pada masing-masing SubDAS tahun 1997-2008 di DA Ci Rasea berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan

Sub DAS	Jumlah HRU			HRU Dominan (penutup lahan/tanah/lereng)			Luas HRU Dominan (Ha)		
	1997	2003	2008	1997	2003	2008	1997	2003	2008
1	22	24	24	Lahan Kering /C/8-15	Lahan Kering /C/15-25	Lahan Kering /C/8-15	158.4	150.6	148.9
2	27	31	18	Lahan Kering /C/8-15	Lahan Kering /C/8-15	Lahan Kering /C/8-15	219.4	219.9	216.3
3	34	29	29	Lahan Kering /C/15-25	Lahan Kering /C/15-25	Lahan Kering /C/15-25	131.4	165.1	206.5
4	41	44	38	Lahan Kering /C/15-25	Semak /C/25-40	Lahan Kering /C/25-40	121.7	130.1	139.0
5	39	39	38	Hutan/CL/ >40	Hutan/CL/ 25-40	Hutan/CL/ 25-40	255.0	171.3	171.4
6	10	14	16	Lahan Kering /C/0-8	Lahan Kering /C/0-8	Lahan Kering /C/0-8	67.8	58.9	68.0
7	21	16	23	Lahan Kering /LS/0-8	Sawah /LS/0-8	Lahan Kering /LS/0-8	25.9	30.3	18.8
8	14	14	16	Lahan Kering /LS/25-40	Lahan Kering /LS/25-40	Lahan Kering /LS/25-40	8.4	8.4	8.4
9	15	16	16	Sawah/SI C/0-8	Sawah /SIC/0-8	Sawah /SIC/0-8	125.7	118.7	117.5
Total	223	227	218						

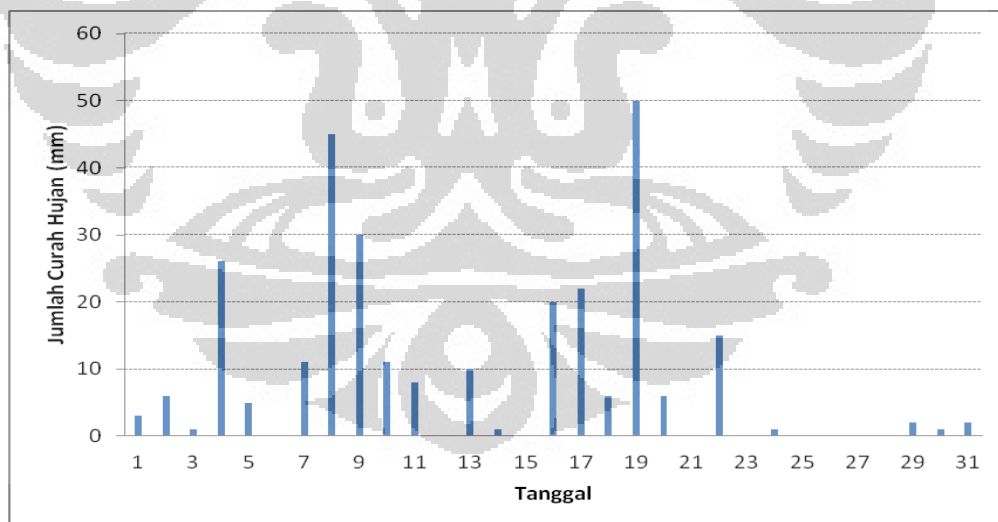
Sumber: Hasil pengolahan dan analisis

Selain itu pada rentang waktu 1997-2008 terlihat juga telah terjadi perubahan jumlah HRU pada masing-masing SubDAS. Hal ini terkait dengan

perubahan penutup lahan yang terjadi yang mengakibatkan berubahannya pola spasial HRU di wilayah tersebut. Berubahnya pola spasial tersebut juga menyebabkan berubahnya HRU dominan dan luasnya. Perubahan HRU yang paling banyak terjadi pada 1997-2008 juga pada SubDAS 3. Hal ini disebabkan karena bertambahnya luas lahan kering pada daerah tersebut. Sedangkan perubahan HRU yang paling sedikit terjadi pada SubDAS 8.

5.2. Simulasi Debit Aliran

Menurut issey (2011), pada bulan maret 2008 terjadi banjir di wilayah Kabupaten Bandung Selatan. Berdasarkan curah hujan harian tertinggi yang terekam pada bulan Maret 2008 di stasiun curah hujan Ciparay, terjadi pada tanggal 19 Maret 2008. Hal ini dapat dilihat pada grafik yang ada pada Gambar 5.15. Berdasarkan data tersebut, pemodelan debit aliran pada penelitian dilakukan dengan menggunakan curah hujan pada tanggal 19 maret 2008. Sedangkan data penutup lahan yang digunakan adalah hasil klasifikasi citra Landsat tahun 1997, 2003 dan 2008.



Gambar 5.15. Tinggi curah hujan bulan Maret 2008 yang terekam di stasiun curah hujan Ciparay (sumber: PUSAIR Kementerian PU)

Berdasarkan hasil model SWAT diperoleh aliran permukaan (Q_{surf}) untuk klasifikasi 6 kelas yang dihasilkan dari setiap SubDAS seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.7. Pada tabel tersebut terlihat bahwa akumulasi aliran permukaan

yang paling besar terjadi pada SubDAS 2. Karena SubDAS 2 mempunyai HRU dominan Tegalan/C/8-15. Artinya tutupan lahan dominan pada SubDAS adalah tegalan dengan jenis tanah liat dan lereng bergelombang. Sedangkan SubDAS yang menghasilkan akumulasi aliran permukaan terendah adalah SubDAS 7. Hal tersebut terjadi karena pada SubDAS 7 mempunyai tutupan lahan kebun campur dan sawah, lereng yang landai dengan tanahnya lempung berpasir.

Tabel 5.7. Perubahan akumulasi aliran permukaan (Q_{surf}) dari tahun 1997-2008 pada setiap SubDAS

Sub DAS	Aliran Permukaan (mm)			Perubahan (mm)			Perubahan (%)		
	1997	2003	2008	1997-2003	2003-2008	1997-2008	1997-2003	2003-2008	1997-2008
1	32.2	31.8	32.5	-0.31	0.61	0.30	-1.0	1.9	0.9
2	34.2	35.1	35.2	0.86	0.10	0.97	2.5	0.3	2.8
3	30.8	31.7	33.6	0.88	1.93	2.81	2.9	6.1	9.1
4	30.1	29.8	30.3	-0.25	0.48	0.24	-0.8	1.6	0.8
5	29.4	30.5	29.9	1.10	-0.57	-0.53	3.8	-1.9	1.8
6	31.7	31.4	32.6	-0.26	1.20	0.94	-0.8	3.8	3.0
7	19.4	20.0	19.7	0.58	-0.27	0.31	3.0	-1.4	1.6
8	24.1	22.1	25.0	-1.94	2.85	0.91	-8.1	12.9	3.8
9	28.8	29.1	29.3	0.33	0.22	0.55	1.2	0.8	1.9
Rata2	29.0	29.1	29.8	0.1	0.7	0.8	0.4	2.5	2.9

Sumber: pengolahan data dan analisis

Bila dilihat perubahan berdasarkan masing-masing SubDAS pada tahun 1997-2008 kenaikan aliran permukaan secara linier pada SubDAS 2, 3 dan 9. Hal ini karena terjadi penambahan akumulasi aliran permukaan pada SubDAS pada tahun 1997-2008. Sedangkan kenaikan aliran permukaan secara fluktuatif terjadi pada SubDAS 1, 4, 5, 6, 7 dan 8. Hal karena adanya penurunan dan kenaikan akumulasi alira permukaan pada tahun 1997-2008 diSubDAS tersebut. Perubahan akumulasi aliran permukaan ini disebabkan karena adanya perubahan HRU pada masing-masing SubDAS. Dengan demikian HRU dominan dan luas HRU dominan tersebut pada suatu SubDAS mempengaruhi akumulasi aliran permukaan di SubDAS tersebut.

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data terlihat bahwa HRU dominan yang menyebabkan pertambahan akumulasi aliran permukaan yang

paling besar adalah tegalan dengan jenis tanah liat dan lereng bergelombang. Sedangkan HRU yang menyebabkan akumulasi aliran permukaan kecil adalah HRU yang terdiri kebun campur dari jenis tanah liat dan lereng landai. Ditemukan juga bahwa untuk mengurangi akumulasi aliran permukaan di DA Ci Rasea pada wilayah yang mempunyai lereng bergelombang dan tanahnya liat dapat ditanam tanaman kebun campur.

Debit aliran dari masing-masing SubDAS dapat dilihat pada Tabel 5.8. Pada tabel tersebut terlihat bahwa semakin jauh jarak SubDAS ke outlet debit alirannya semakin kecil. Sehingga SubDAS yang mempunyai debit aliran paling kecil adalah SubDAS 1. Sebaliknya semakin dekat jarak SubDAS ke outlet debit alirannya semakin besar, yaitu SubDAS 9. Selain pada itu SubDAS 9 sebagian besar terdiri dari HRU sawah dan permukiman.

Tabel 5.8. Perubahan debit aliran tahun 1997-2008 pada setiap sub basin berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan

Sub DAS	Debit Aliran (m ³ /s)			Perubahan (m ³ /s)			Perubahan (%)		
	1997	2003	2008	1997-2003	2003-2008	1997-2008	1997-2003	2003-2008	1997-2008
1	2.5	2.5	2.5	-0.02	0.04	0.02	-0.9	1.8	0.9
2	3.3	3.4	3.4	0.08	0.01	0.09	2.4	0.3	2.7
3	5.3	5.5	5.8	0.15	0.31	0.45	2.7	5.6	8.5
4	3.9	3.9	3.9	-0.03	0.06	0.03	-0.7	1.5	0.8
5	6.7	6.9	6.8	0.24	-0.12	0.11	3.5	-1.8	1.7
6	6.9	7.0	7.1	0.05	0.09	0.14	0.7	1.3	2.1
7	9.5	9.6	10.0	0.12	0.36	0.48	1.3	3.8	5.1
8	16.5	16.7	17.2	0.16	0.47	0.63	1.0	2.8	3.8
9	24.0	24.4	24.7	0.40	0.35	0.75	1.7	1.4	3.1
Rata2	8.7	8.9	9.0	0.1	0.2	0.3	1.5	2.0	3.5

Sumber: pengolahan data dan analisis

Pada Tabel 5.8 terlihat bahwa perubahan debit yang terjadi pada tahun 1997-2008 secara linier dan meningkat terjadi pada SubDAS 2, 3, 6, 7, 8 dan 9. Sedangkan pada SubDAS 1, 4 dan 5 dari tahun 1997-2008 perubahan debit alirannya terjadi secara fluktuatif. Hal ini terjadi karena adanya perubahan HRU secara temporal pada masing-masing SubDAS tersebut.

Hasil pengolahan dan analisis data untuk aliran permukaan dengan menggunakan klasifikasi 5 kelas penutup lahan dapat dilihat pada Tabel 5.9. Pada tabel tersebut terlihat bahwa akumulasi aliran yang paling besar terjadi pada SubDAS 2 dan yang paling kecil terjadi pada SubDAS 7. Karena pada SubDAS 2 mempunyai HRU dominan lahan kering dengan tanah liat dan lereng bergelombang. Sedangkan pada SubDAS 7 mempunyai HRU dominan lahan kering dan sawah dengan tanah lempung berpasir dan lereng landai. Bertambahnya luas HRU dominan yang berupa lahan kering menyebabkan bertambahnya aliran permukaan.

Tabel 5.9. Perubahan akumulasi aliran permukaan (Q_{surf}) dari tahun 1997-2008 pada setiap SubDAS berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan

Sub DAS	Aliran Permukaan (mm)			Perubahan (mm)			Perubahan (%)		
	1997	2003	2008	1997-2003	2003-2008	1997-2008	1997-2003	2003-2008	1997-2008
1	34.8	34.2	34.2	-0.5	-0.5	-0.6	-1.6	0.0	-1.6
2	34.8	35.8	36.6	1.0	1.0	1.8	2.8	2.3	5.2
3	31.4	32.4	34.1	1.1	1.1	2.7	3.4	5.0	8.6
4	31.5	30.7	31.3	-0.8	-0.8	-0.1	-2.5	2.1	-0.4
5	29.7	30.6	30.1	0.9	0.9	0.4	2.9	-1.5	1.4
6	34.0	34.1	33.7	0.1	0.1	-0.3	0.2	-1.0	-0.9
7	22.6	21.5	21.4	-1.1	-1.1	-1.2	-4.9	-0.4	-5.2
8	27.0	27.0	27.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2
9	28.9	29.3	29.4	0.3	0.3	0.5	1.2	0.6	1.7
Rata2	30.5	30.6	30.9	0.1	0.1	0.4	0.3	0.8	1.2

Sumber: pengolahan data dan analisis

Pada Tabel 5.9 terlihat bahwa pada tahun 1997-2008 perubahan akumulasi aliran permukaan banyak terjadi pada SubDAS 3. Karena pada rentang waktu tersebut perubahan HRU pada SubDAS 3 banyak terjadi. Sedangkan perubahan akumulasi aliran permukaan sedikit terjadi pada SubDAS 8. Berdasarkan analisis HRU dan akumulasi aliran permukaan ditemukan bahwa untuk tanah lempung berpasir dengan lereng yang landai sebaiknya dijadikan sawah untuk mengurangi akumulasi aliran permukaan. Dengan demikian akumulasi aliran permukaan untuk klasifikasi 5 kelas penutup lahan juga dipengaruhi jumlah HRU dominan dan luas

HRU dominan tersebut. Semakin luas HRU dominannya maka pengaruhnya dalam menentukan akumulasi aliran permukaan semakin besar.

Debit aliran untuk klasifikasi 5 kelas penutup lahan dapat dilihat pada Tabel 5.10. Pada tabel tersebut terlihat bahwa pola peningkatan debit secara spasial berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan sama dengan menggunakan klasifikasi 6 kelas penutup lahan. Hal ini terlihat dari semakin jauh jarak SubDAS dengan outlet maka semakin besar debit. Sedangkan perubahan debit aliran secara temporal dipengaruhi oleh perubahan HRU pada SubDAS tersebut.

Tabel 5.10. Perubahan debit aliran tahun 1997-2008 pada setiap sub basin berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan

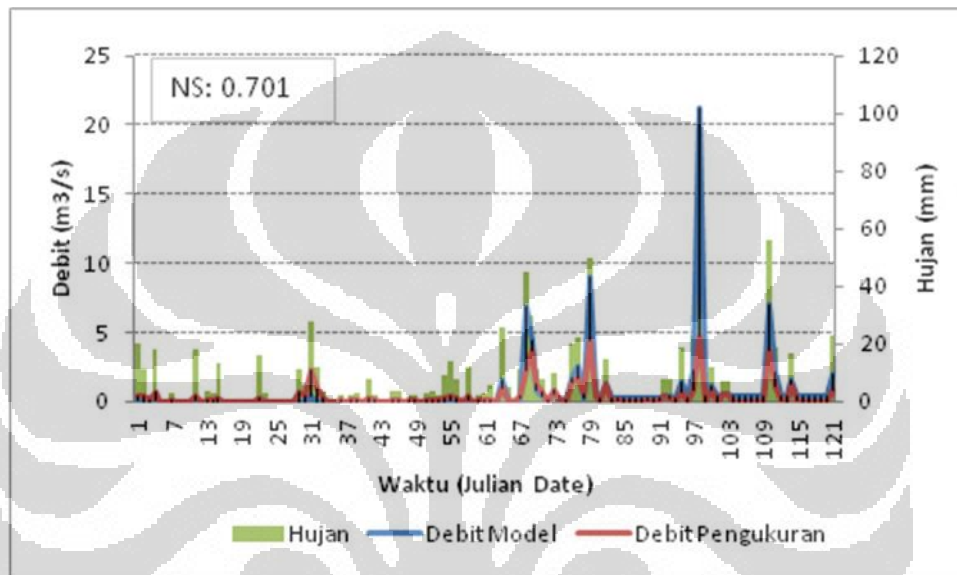
Sub DAS	Debit Aliran (m ³ /s)			Perubahan (m ³ /s)			Perubahan (%)		
	1997	2003	2009	1997-2003	2003-2009	1997-2009	1997-2003	2003-2009	1997-2009
1	2.7	2.6	2.6	0.0	0.0	0.0	-1.5	-0.1	-1.5
2	3.4	3.5	3.5	0.1	0.1	0.2	2.7	2.1	4.8
3	5.4	5.6	5.9	0.2	0.2	0.4	3.1	4.7	7.9
4	4.1	4.0	4.1	-0.1	-0.1	0.0	-2.3	2.0	-0.3
5	6.8	7.0	6.9	0.2	0.2	0.1	2.8	-1.4	1.3
6	7.2	7.3	7.3	0.1	0.1	0.1	0.7	0.8	1.6
7	9.8	9.8	10.2	0.1	0.1	0.4	0.7	3.4	4.1
8	17.2	17.3	17.7	0.1	0.1	0.5	0.7	2.3	3.0
9	24.6	25.0	25.3	0.3	0.3	0.6	1.3	1.2	2.5
Rata2	9.02	9.11	9.27	0.1	0.1	0.3	1.1	1.7	2.8

Sumber: pengolahan data dan analisis

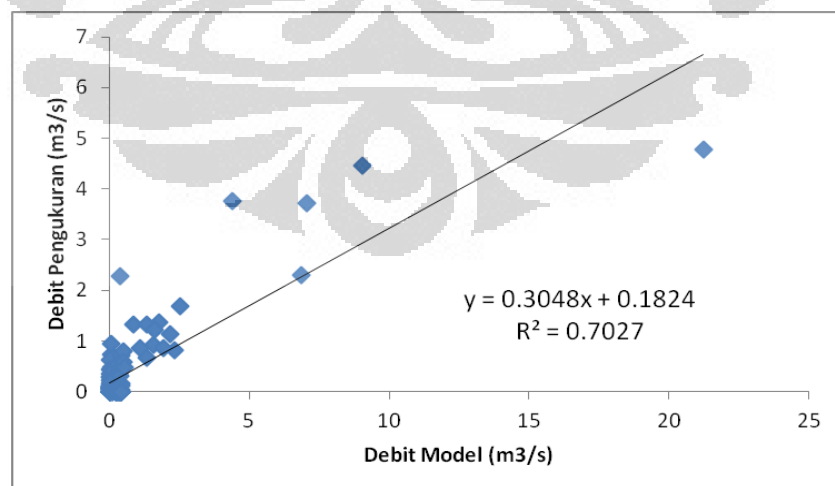
5.3. Kalibrasi dan validasi

Simulasi model SWAT dilakukan dengan menggunakan data curah hujan periode Januari-April 2008 yang terekam pada stasiun curah hujan Ciparay. Sehingga kalibrasi dan validasi model dilakukan dengan menggunakan data debit lapangan pada periode yang sama, yaitu Januari-April 2008 yang terekam oleh pos hidrologi Cirasea-Cengkong. Data curah hujan dan debit tersebut dapat dilihat pada Lampiran 2. Kalibrasi dan validasi model dilakukan dengan membandingkan debit lapangan pada tahun yang sama dengan debit hasil perhitungan model SWAT yang terdapat pada kolom flow-out file RCH. File tersebut terdapat pada SWATOutput.mdb.

Berdasarkan kalibrasi dan validasi untuk debit model dengan klasifikasi 6 kelas penutup lahan terlihat bahwa hasil simulasi model menghasilkan nilai efisiensi model Nash-Sutcliffe (NS) adalah 0.7 dan R^2 sebesar 0.7 (Gambar 5.16 dan 5.17). Nilai tersebut dikatakan memuaskan berdasarkan pengelompokan nilai efisiensi model NS. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.17 yang menunjukkan bahwa debit model dengan debit lapangan mempunyai korelasi yang cukup tinggi.



Gambar 5.16. Debit model, curah hujan dan debit lapangan Maret 2008 dengan menggunakan klasifikasi 6 kelas penutup lahan

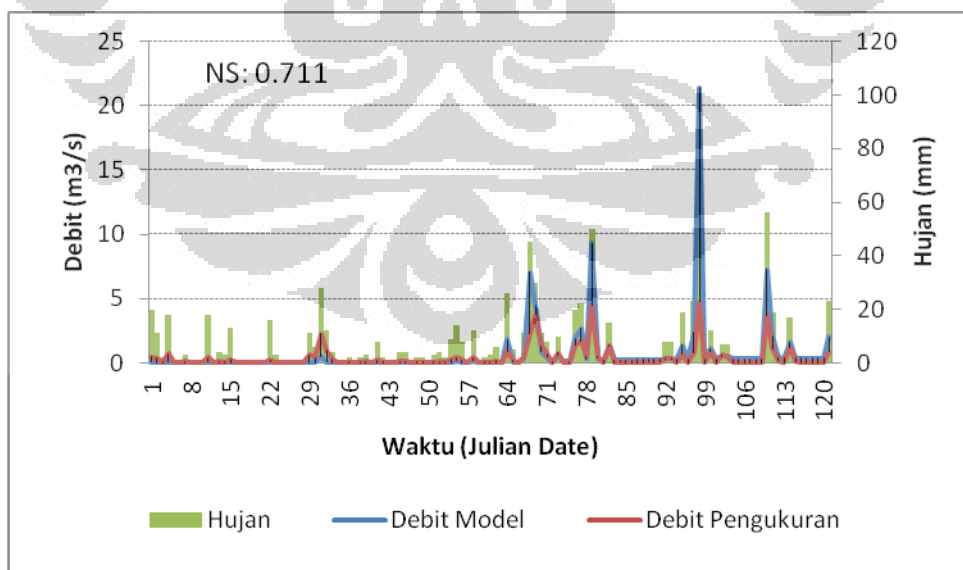


Gambar 5.17. Korelasi antara debit model dan debit lapangan berdasarkan HRU klasifikasi 6 kelas penutup lahan

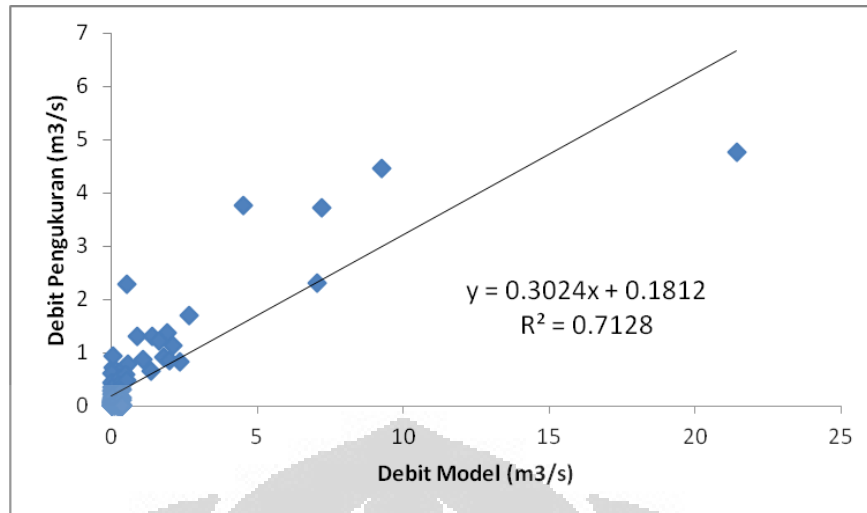
Berdasarkan hasil uji kalibrasi model dengan menggunakan metode uji statistik *t-student* menghasilkan nilai $p = 0.058$ pada taraf signifikansi 5%, artinya nilai $p > 0.05$. Sehingga hipotesis nol (H_0) diterima, yang berarti bahwa tidak ada perbedaan nyata antara debit model dengan debit lapangan. Korelasi antara debit model dan debit lapangan yang dihasilkan dengan metode uji statistik *t-student* adalah sebesar 0.84 dengan menggunakan jumlah sampel 121 (Lampiran 3).

Berdasarkan kalibrasi dan validasi tersebut maka akurasi model simulasi dengan 6 kelas penutup lahan ini adalah 70%. Bila dianalisis berdasarkan SubDAS maka hasil perhitungan model SWAT menunjukkan bahwa debit model dari SubDAS yang dekat dengan saluran utama (main channel) mempunyai akurasi yang tinggi. Sedangkan debit model dari SubDAS yang jauh dari saluran utama mempunyai akurasi yang rendah.

Sedangkan berdasarkan kalibrasi dan validasi untuk debit model dengan klasifikasi 5 kelas penutup lahan terlihat bahwa hasil simulasi model menghasilkan nilai efisiensi model Nash-Sutcliffe (NS) adalah 0.71 dan R^2 sebesar 0.71 (Gambar 5.18 dan 5.19). Nilai tersebut dikatakan memuaskan berdasarkan pengelompokan nilai efisiensi model NS. Hal ini dapat dilihat pada gambar 5.28, dimana bahwa debit model dengan debit lapangan mempunyai korelasi yang cukup tinggi.



Gambar 5.18. Debit model, curah hujan dan debit lapangan Maret 2008 dengan menggunakan klasifikasi 5 kelas penutup lahan



Gambar 5.19. Korelasi antara debit model dan debit lapangan berdasarkan HRU klasifikasi 5 kelas penutup lahan

Berdasarkan hasil uji kalibrasi model dengan menggunakan metode uji-t menghasilkan nilai $p = 0.054$ pada taraf signifikansi 5%, artinya nilai $p > 0.05$. Sehingga hipotesis nol (H_0) diterima, yang berarti bahwa tidak ada perbedaan nyata antara debit model dengan debit lapangan. Korelasi antara debit model dan debit lapangan yang dihasilkan dengan metode uji statistik *t-student* adalah sebesar 0.84 dengan menggunakan jumlah sampel 121 (Lampiran 3).

Berdasarkan kalibrasi dan validasi tersebut maka akurasi model simulasi dengan 5 kelas tutupan lahan ini juga adalah 70%. Pola yang sama dengan debit model berdasarkan 6 kelas penutup lahan juga diperoleh ketika dianalisis berdasarkan SubDAS maka hasil perhitungan model SWAT menunjukkan bahwa debit model dari SubDAS yang dekat dengan saluran utama (main channel) mempunyai akurasi yang tinggi. Sedangkan debit model dari SubDAS yang jauh dari saluran utama mempunyai akurasi yang rendah.

Bila dibandingkan antara debit model berdasarkan klasifikasi 6 kelas penutup lahan dan debit model berdasarkan klasifikasi 5 kelas penutup lahan dengan menggunakan uji-t terlihat bahwa kedua debit tersebut berbeda nyata. Karena hasil uji-t kedua debit model tersebut adalah $p = 0.049$ pada taraf signifikansi 5%, artinya $p < 0.05$ (Lampiran 3). Artinya meskipun mempunyai tingkat akurasi yang sama, terdapat perbedaan yang nyata pada kedua debit model tersebut.

Penggunaan jumlah kelas yang berbeda pada saat klasifikasi akan menghasilkan debit model yang berbeda. Meskipun kedua debit model tersebut mempunyai tingkat akurasi yang sama, yaitu 70%. Namun nilai NS untuk klasifikasi 5 kelas lebih besar dibandingkan dengan nilai NS klasifikasi 6 kelas hal ini terkait dengan skala peta yang digunakan. Berdasarkan skala peta yang digunakan menunjukkan bahwa klasifikasi 5 kelas lebih menghasilkan debit model yang lebih mendekati debit lapangan dibandingkan dengan klasifikasi 6 kelas. Sehingga untuk klasifikasi 6 kelas lebih sesuai untuk skala peta yang lebih detail lagi.

Dengan demikian Model SWAT dapat menghasilkan informasi debit aliran yang baik tergantung pada skala peta. Semakin detail informasi debit aliran maka skala peta yang digunakan pun harus detail. Penggunaan input data penginderaan jauh untuk data ketinggian (DEM SRTM) yang mempunyai resolusi spasial 25 meter dan dan penutup lahan dari citra Landsat yang mempunyai resolusi spasial 30 meter dapat menghasilkan debit model yang cukup baik jika menggunakan klasifikasi lima kelas. Karena resolusi citra yang digunakan juga mempengaruhi hasil pemodelan. Hal ini terkait dengan tingkat klasifikasi penutup lahan dan lereng yang dihasilkan. Semakin tinggi resolusinya maka informasi yang dihasilkan akan semakin detail.

BAB 6

KESIMPULAN

Analisis Hydrologic Response Unit (HRU) dan penutup lahan wilayah DA Ci Rasea pada tahun 1997-2008 menunjukkan bahwa penutup lahan mempengaruhi pola spasial HRU secara temporal yang teridentifikasi oleh berubahnya jumlah dan luas masing-masing HRU. Perubahan HRU secara spasial juga dipengaruhi oleh seberapa detail informasi yang penutup lahan yang digunakan.

Pada tahun 1997-2008, perubahan jumlah dan luas HRU mempengaruhi akumulasi aliran permukaan dan debit aliran secara temporal. HRU yang menyebabkan akumulasi aliran permukaan paling besar di DA Ci Rasea adalah HRU tegalan dengan tanah liat dan lereng agak miring. Sedangkan HRU yang menyebabkan akumulasi aliran permukaan yang paling kecil di DA Ci rasea adalah HRU sawah dengan jenis tanah lempung berpasir dan lereng landai. Akumulasi aliran permukaan di DA Ci Rasea dapat berkurang dengan cara membuat wilayah yang mempunyai HRU dari tanah liat dan lereng agak miring menjadi kebun campur dan wilayah yang mempunyai HRU tanah lempung berpasir dan lereng landai menjadi sawah.

Akurasi yang diperoleh dari penelitian ini adalah 70%, artinya model SWAT dapat memodelkan debit DA Cirasea secara baik. Penggunaan jumlah kelas yang berbeda pada saat klasifikasi akan menghasilkan debit model yang berbeda. Model SWAT juga dapat menghasilkan informasi debit aliran yang baik tergantung pada skala peta.

DAFTAR PUSTAKA

- Adrionita. 2011. Thesis: *Analisis Debit Sungai dengan Model SWAT pada Berbagai Penggunaan Lahan di DAS Citarum Hulu Jawa Barat*. IPB, Bogor.
- Arsyad, S. 2000. *Konservasi Tanah dan Air, Serial Pustaka, IPB Press , Bagian Proyek Penelitian Sumberdaya Agroklimat dan Hidrologi (BP2SAH) dan Bagian Proyek Pembinaan Perencanaan Sumber Air Ciliwung - Cisadane, 2004*. Laporan Akhir Pengembangan Teknologi Dam Parit untuk Penanggulangan Banjir dan Kekeringan. Balai Agroklimat dan Hidrologi Bogor.
- Arnold, J.G *et.al.* 2011. *Soil and Water Assessment Tool Input/Output File Document version 2009*. Texas A & M University System. Texas
- Asdak, C.1995. *Tenknologi Konservasi Tanah dan Air*. Rineka Cipta. Jakarta
- Asdak, C. 2004. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: UGM Press
- Balitklimat. Badan Penelitian Iklim dan Meterologi. 2007. *Analisis Perubahan Tutuhan Lahan dan Pengaruhnya terhadap Neraca Air dan Sedimentasi Danau Tempe*. <http://balitklimat.litbang.deptan.go.id> (3 Januari 2012)
- Briley, L. 2010. *Data Pre-Processing for SWAT*. University of Michigan. Flint, USA
- BNPB. 2011. *Data dan Informasi Bencana Indonesia. Badan Penanggulan Bencana Nasional*. <http://dibi.bnpb.go.id/DesInventar/profiletab.jsp> (3 Januari 2012)
- Chubey, M.S & Harhout, S. 2004. *Integrasi Of RADARSAT And GIS Modeling For Estimating Future Red River Flood Risk*. Geo jurnal 59:237-246. Belanda
- Fakhrudin, M, 2003, *Kajian Respon Hidrologi Akibat Perubahan Penggunaan Tanah di DAS Ciliwung*. Bahan Seminar Program Pascasarjana IPB, Bogor

- Flugel, W. A. 1997. *Combining GIS with regional hydrological modeling using hydrological response unit (HRUs): An application from Germany. Mathematics and Computers in Simulation* 43 (297-304). Elsevier
- Ghozali, I. 2011. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 19*. Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang
- Goerge, C. 2008. *SWAT Output Plotting and Graphing Tools version 1.1*. <http://www.waterbase.org/docs/SWATPlot%20and%20SWATGraph.pdf> (3 Januari 2012)
- Harto, S. BR. 1993. *Analisis Hidrologi*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Hernandez, M et al. 2000. *Modelling Runoff Response to Land Cover and Rainfall Spatial Variability in Semi-Arid Watersheds. Journal of Environmentall Monitoring and Assessment* 64:285-298. Netherlands: Kluwer Academic
- Issey, J.M. 2011. *Bencana Banjir Bandung Selatan (Studi Kasus Kelurahan Baleendah Kabupaten Bandung)*. <http://www.scribd.com/doc/58813499/Paper-Bencana-Banjir-Bandung-Selatan> (3 Januari 2012)
- Irianto, G., N, Pujilestari dan N, Heryani, 2001. *Pengembangan Teknologi Panen Hujan dan Aliran Permukaan, Laporan Akhir*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat
- Irianto, G, 2003, *Kumpulan Pemikiran : Banjir dan Kekeringan – Penyebab dan antisipasi dan Solusinya*. CV Universal Pustaka Media, Bogor, 135 hal
- Gerrad, J. 2008. *Fundamental of Hydrology Second Edition*. Tim Davie
- Golden, M. L. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. United State Departmen of Agriculture Natural Resource Conservation Service. USA
- Karama, A,S., Irianto, G, Pawitan, H. 2002. *Panen Hujan dan Aliran Permukaan untuk Menanggulangi Banjir dan Kekeringan serta Mengembangkan Komoditas Unggulan*. Kantor MENRISTEK dan LIPI. Jakarta
- Kurz, B. 2012. *Swat Model and Application. Energy and Environmental Research Center (EERC)*. Grand Forks. ND
- Knapp, B.J. 2002. *Element of Geographical Hydrology*. Taylor & Francis e-Library

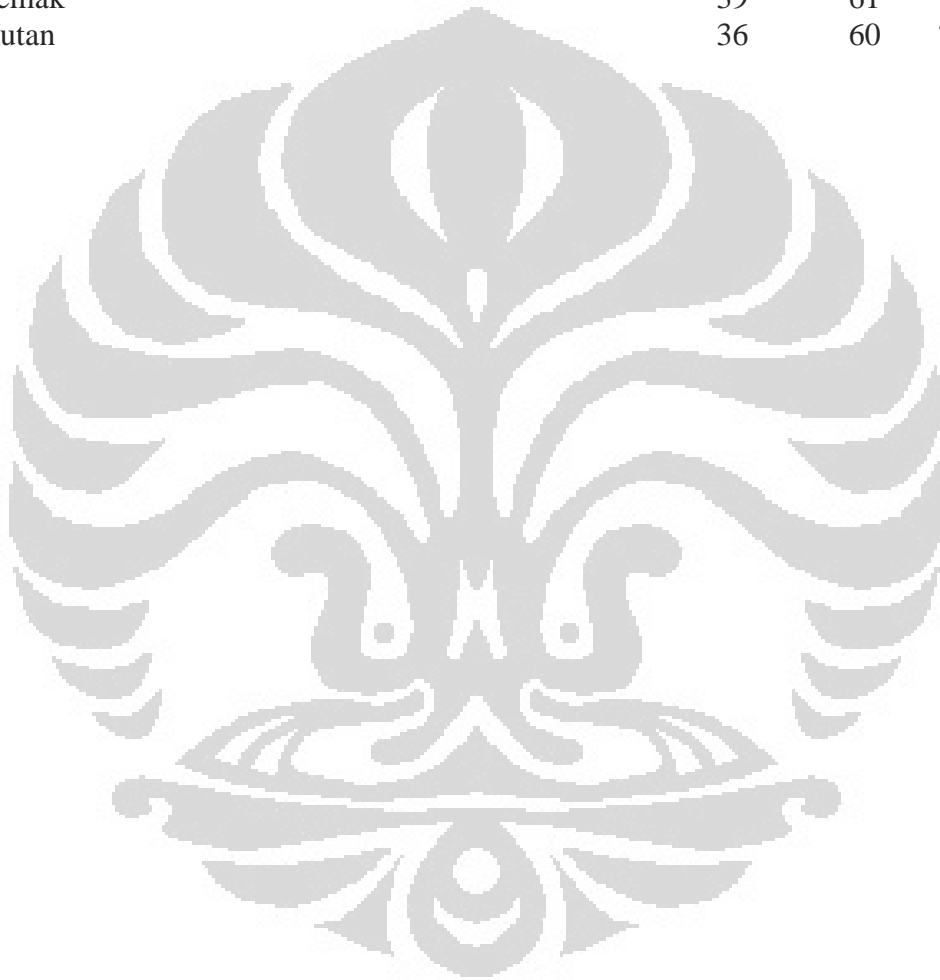
- Leon, L. F. dan C. George. 2008. *WaterBase: SWAT in an open source GIS*. The Open Hydrology Journal
- Leon, L. F. 2011. *Map Window Interface for SWAT*. <http://www.waterbase.org/docs/MWSWAT%20Setup.pdf> (3 Januari 2012)
- Linsley, K. 1980. *Applied Hidrology*. Mc Graw Hill Publication, Co. New Delhi
- Neitsch, S.L, J.G Arnold, J.R. Kiniry dan J.R. Williams. 2005. *Soil and Water Assessmen Tool Theoretical Documentation*. Agriculture Research Service and Texas Agriculter Experiment Station. Texas
- Neitsch, S.L, J.G Arnold, J.R. Kiniry dan J.R. Williams. 2005. *Soil and Water Assessmen Tool: User's Manual Version 2000*. Agriculture Research Service and Texas Agriculter Experiment Station. Texas
- Pawitan, H, 2002, *Flood Hydrology And An Integrated Approach To Remedy The Jakarta Floods, International Conference On Urban Hydrology For The 21st Century*. Kuala Lumpur, Malaysia
- Pawitan, H. 206. *Perubahan Penggunaan Lahan dan Pengaruhnya terhadap Hidrologi DAS*. Bogor: Laboratorium Hidrometeorologi FMIPA, IPB
- Perrin, C.,Andreassian, V., 2003. *Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation*. Journal of Hydrology 279 (1-4) 275-289.
- Rahayu, S. dkk. 2009. *Monitoring Air di Daerah Aliran Sungai*. ICRAF Asia tenggara
- Raharjo, Didit P. E., 2008. *Banjir Bandung Selatan Kian Meluas*. Kompas. <http://nasional.kompas.com/read/2008/12/05/13460515/Banjir.Bandung.Selatan.Kian.Meluas> (3 Januari 2012)
- Reusang, P et. al. 2005. *Calibration and Validation of SWAT for the Upper Maquoketa River Watershed*. Center for Agricultural and Rural Development Iowa State University: Working Paper 05-WP 396. Iowa-USA
- Rodriguez-Iturbed I.et Valdes. J. B., *The geomorphologic structure of hydrologic response*. Water Resour. Res. 15 (5:1409-1420)
- Runtuuwu.N., Pujilestari. N., Ramdani. F., Hari Adi. S., dan Hamdani A..2004. *Panduan Perangkat Lunak "Water and Agroclimate Reseouces Management" (WARM) Laboratorium Numeric dan Sistem Informasi*

- Spasial Agroklimat dan Hidrologi*. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Bogor
- Soil Survey Staff. 1998, *Key to Soil Taxonomy 8th edition*. USDA- NRCS Washington DC.
- Sosrodarsono, S., dan K. Takeda. 1980. *Hidrologi Untuk Pengairan*. PT Pradhy Paramita, Jakarta
- Srinivasan, R dan C. George. 2011. *Map Window Interface for Soil and Water Assessment Tool (SWAT)*. United Nations University Internatioanl Institute for Software Technology. Macao
- Supranto, J. 2010. *Analisis Multivariat: Arti dan Interpretasi*. Rineka Cipta, Jakarta
- Suripin. 2002. *Pelestarian Sumberdaya Tanah dan Air*. ANDI, Yogyakarta
- Suryani, E dan Fahmuddin A. 2005. *Perubahan Penggunaan Lahan dan Dampaknya terhadap Karakteristik Hidrologi: Studi Kasus DAS Cijalupang, Bandung, Jawa Barat*. Prosiding Multifungsi Pertanian
- Soesilo, I., Sanjaya P., Heru N.S. 1998. *Cekungan Bandung Memang Rawan Banjir*. Kompas online
- Trisakti, B. dkk. 2008. *Kajian Distribusi Spasial Debit Aliran Permukaan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Berbasis Data Satelit Penginderaan Jauh*. Jurnal Penginderaan Jauh Vol.5
- Trisakti, B. 2008. *Laporan Penelitian: Pengembangan Model Analisis banjir berdasarkan Data Penginderaan Jauh*. LAPAN
- Yusuf, S. M. (2010). *Thesis: Kajian Respon Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Karakteristik Hidrologi Pada DAS Cisarea Menggunakan Model MWSWAT*. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Zhang, X. 2006. *Evaluation of Spatial Heterogeneity of Watershed through HRU concept using SWAT*. <http://twri.tamu.edu/docs/funding/usgs/2005-06/zhang.pdf> (3 Januari 2012)

LAMPIRAN 1

Bilangan Kurva (BK) aliran permukaan untuk berbagai kelompok tanah dan penutup/penggunaan tanah (Neitsch *et.al*, 2005)

	Penggunaan Tanah/Perlakuan/ Kondisi Hidrologi	Kelompok Hidrologi Tanah			
		A	B	C	D
1.	Permukiman	31	59	72	79
2.	Sawah	61	73	81	84
3.	Kebun Campur	32	58	72	79
4.	Tegalan	67	78	85	89
5.	Semak	39	61	74	80
6.	Hutan	36	60	73	79



LAMPIRAN 2

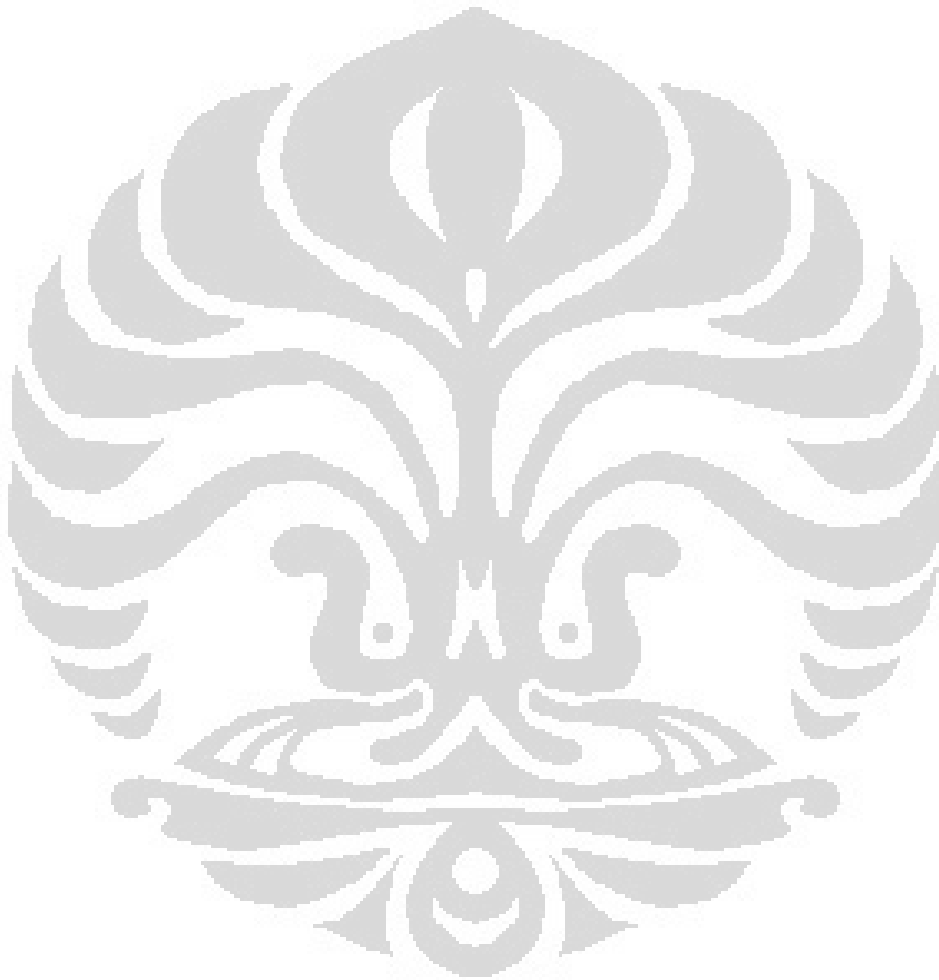
Data curah hujan dan data debit lapangan (sumber : PUSAIR, Kementerian Pekerjaan Umum)

Tanggal	Curah hujan (mm)	Debit (m ³ /detik)
1/1/2008	20	2.38
1/2/2008	11	3.29
1/3/2008	2	3.6
1/4/2008	18	4.02
1/5/2008	0	4.55
1/6/2008	0	3.47
1/7/2008	3	3.21
1/8/2008	0	2.92
1/9/2008	0	3.03
1/10/2008	0	2.83
1/11/2008	18	2.37
1/12/2008	0	2.76
1/13/2008	4	3.03
1/14/2008	3	2.35
1/15/2008	13	2.24
1/16/2008	0	2.93
1/17/2008	0	2.41
1/18/2008	0	2.54
1/19/2008	0	2.63
1/20/2008	0	2.08
1/21/2008	0	1.82
1/22/2008	16	1.32
1/23/2008	3	1.33
1/24/2008	0	1.8
1/25/2008	0	1.68
1/26/2008	1	2.23
1/27/2008	0	2.87
1/28/2008	1	3.88
1/29/2008	11	5.68
1/30/2008	6	7.26
1/31/2008	28	8.14
2/1/2008	12	7.87
2/2/2008	4	7.3
2/3/2008	0	6.04
2/4/2008	0	5.31
2/5/2008	2	3.83

Tanggal	Curah hujan (mm)	Debit (m ³ /detik)
2/6/2008	0	3.8
2/7/2008	2	3.65
2/8/2008	3	3.34
2/9/2008	0	2.71
2/10/2008	8	2.7
2/11/2008	2	2.39
2/12/2008	0	2.98
2/13/2008	0	3.38
2/14/2008	4	3.23
2/15/2008	4	2.61
2/16/2008	0	2.45
2/17/2008	2	2.69
2/18/2008	2	3.11
2/19/2008	0	2.71
2/20/2008	3	2.68
2/21/2008	4	2.69
2/22/2008	2	3.18
2/23/2008	9	3.14
2/24/2008	14	3.01
2/25/2008	8	3.02
2/26/2008	0	3.78
2/27/2008	12	3.46
2/28/2008	0	3.7
2/29/2008	2	2.71
3/1/2008	3	2.91
3/2/2008	6	2.76
3/3/2008	1	3.18
3/4/2008	26	3.52
3/5/2008	5	3.67
3/6/2008	0	3.28
3/7/2008	11	3.86
3/8/2008	45	5.12
3/9/2008	30	12.52
3/10/2008	11	11.98
3/11/2008	8	8.95
3/12/2008	0	9.23
3/13/2008	10	7.89
3/14/2008	1	7.18
3/15/2008	0	7.14
3/16/2008	20	6.85
3/17/2008	22	7.69

Tanggal	Curah hujan (mm)	Debit (m ³ /detik)
3/18/2008	6	8.91
3/19/2008	50	8.94
3/20/2008	6	7.79
3/21/2008	0	8.39
3/22/2008	15	8.79
3/23/2008	0	7.17
3/24/2008	1	6.96
3/25/2008	0	6.66
3/26/2008	0	5.39
3/27/2008	0	5.44
3/28/2008	0	5.53
3/29/2008	2	4.62
3/30/2008	1	3.36
3/31/2008	2	4.63
4/1/2008	8	4.32
4/2/2008	8	3.86
4/3/2008	0	5.94
4/4/2008	19	3.5
4/5/2008	0	2.97
4/6/2008	23	3.57
4/7/2008	98	4.87
4/8/2008	0	6.45
4/9/2008	12	7.24
4/10/2008	0	7.63
4/11/2008	7	8.49
4/12/2008	7	6.96
4/13/2008	0	5.58
4/14/2008	0	4.55
4/15/2008	0	3.22
4/16/2008	0	3.17
4/17/2008	0	3.19
4/18/2008	0	4.96
4/19/2008	56	6.65
4/20/2008	19	5.97
4/21/2008	3	5.21
4/22/2008	0	6.99
4/23/2008	17	7.18
4/24/2008	3	4.07
4/25/2008	1	3.26
4/26/2008	0	3.41
4/27/2008	0	2.83

Tanggal	Curah hujan (mm)	Debit (m ³ /detik)
4/28/2008	0	2.85
4/29/2008	0	3.58
4/30/2008	23	3.73



LAMPIRAN 3

Hasil uji statistik *t-student*

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Debit Model 6	.677860	121	2.2947676	.2086152
	Debit Pengukuran	.389021	121	.8343151	.0758468
Pair 2	Debit Model 5	.687057	121	2.3290701	.2117336
	Debit Pengukuran	.389021	121	.8343151	.0758468
Pair 3	Debit Model 6	.677860	121	2.2947676	.2086152
	Debit Model 5	.687057	121	2.3290701	.2117336

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Debit Model 6 & Debit Pengukuran	121	.838	.000
Pair 2	Debit Model 5 & Debit Pengukuran	121	.844	.000
Pair 3	Debit Model 6 & Debit Model 5	121	1.000	.000

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
					95% Confidence Interval of the Difference				
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper			
Pair 1	Debit Model 6 - Debit Pengukuran	.2888388	1.6590063	.1508188	-.0097718	.5874495	1.915	120	.058
Pair 2	Debit Model 5 - Debit Pengukuran	.2980356	1.6850770	.1531888	-.0052676	.6013388	1.946	120	.054
Pair 3	Debit Model 6 - Debit Model 5	-.0091967	.0507551	.0046141	-.0183323	-.0000611	1.993	120	.049