

KEGIATAN TAMBAHAN UNTUK USULAN GURU BESAR

1. HIBAH STRATEGIS NASIONAL tahun 2012 – 2014 total dana hibah DIKTI **Rp260.000.000**

- a. Hibah Strategis Nasional Tahun Ketiga Tahun Anggaran 2014 dengan bukti bagian dari Laporan Ahir Penelitian yang berupa Cover (yang mencantumkan nomor kontrak) dan Halaman Pengesahan yang ditandatangani pejabat yang berwenang dan mencantumkan nominal dana yang diberikan. Dana yang disetujui sebesar **80 juta**.
- b. Hibah Strategis Nasional Tahun Kedua Tahun Anggaran 2013 dengan bukti bagian dari Laporan Ahir Penelitian yang berupa Cover (yang mencantumkan nomor kontrak) dan Halaman Pengesahan yang ditandatangani pejabat yang berwenang dan mencantumkan nominal dana yang diberikan. Dana yang disetujui sebesar **80 juta**.
- c. Hibah Strategis Nasional Tahun Pertama Tahun Anggaran 2012 dengan bukti bagian dari Laporan Ahir Penelitian dan Halaman Pengesahan yang ditandatangani pejabat yang berwenang dan mencantumkan nominal dana yang diberikan. Dana yang disetujui sebesar **100 juta**.

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN STRATEGIS NASIONAL
Tahun Ketiga**



**Pengembangan Metode Prakiraan Banjir dan Sistem Peringatan
Dini melalui *Distributed Hydrology Model* berbasis Sistem
Informasi Geografis**

**Dr. Dyah Indriana Kusumastuti, MSc
Dwi Jokowinarno, S.T., M.Eng
Yulianto Raharjo, S.T., M.T.
Siti Nurul Khotimah, S.T., M.Sc.**

**DIBIYAI MELALUI
DIREKTORAT PENELITIAN & PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT (DP2M)
DITJEN DIKTI DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
NO. KONTRAK: 291/UN/26/8/PL/2014**

**UNIVERSITAS LAMPUNG
NOVEMBER 2014**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Kegiatan : Pengembangan Metode Prakiraan Banjir dan Sistem Peringatan Dini melalui Distributed Hydrology Model berbasis Sistem Informasi Geografis

Peneliti / Pelaksana
Nama Lengkap : Dr. DYAH INDRIANA KUSUMASTUTI S.T.,M.Sc.
NIDN : 0019126902
Jabatan Fungsional :
Program Studi : Teknik Sipil
Nomor HP : 085279794487
Surel (e-mail) : kusumast@gmail.com

Anggota Peneliti (1)
Nama Lengkap : DWI JOKOWINARNO M.Eng.
NIDN : 0021036901
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Anggota Peneliti (2)
Nama Lengkap : YULLIARTO RAHARJO S.T., M.T.
NIDN : 0013076603
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Anggota Peneliti (3)
Nama Lengkap : SITI NURUL KHOTIMAH M.Sc.
NIDN : 0028038003
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Institusi Mitra (jika ada)
Nama Institusi Mitra : Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung
Alamat : Jl. Gatot Subroto No.57 Bandar Lampung
Penanggung Jawab :
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 3 dari rencana 3 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp. 80.000.000,00
Biaya Keseluruhan : Rp. 0,00

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik



NIP/NIK 196207171987031002

Bandar Lampung, 27 - 11 - 2014,
Ketua Peneliti,

(Dr. DYAH INDRIANA KUSUMASTUTI
S.T.,M.Sc.)

NIP/NIK196912191995122001

Menyetujui
Ketua Lembaga Penelitian

(Dr. Eng. Almi Syarif)
NIP/NIK 196701031997031003

RINGKASAN

Pada penelitian Tahun Ketiga ini telah dikembangkan sistem peringatan dini banjir. Sistem peringatan dini ini berbasis otomatis data hujan yang dikirimkan melalui sms. Alat ukur yang dibuat bertipe *tipping bucket* atau *jungkat-jungkit*, dan dapat mengukur kedalaman hujan dengan akurat. Alat ini juga dihubungkan dengan GSM, sehingga dapat mengirimkan data hujan tersebut dalam bentuk pesan singkat atau sms. Data hujan yang tercatat serta debit puncak dan waktu yang sudah diperkirakan dalam penelitian Tahun Pertama hingga Tahun Ketiga menjadi acuan dalam sistem peringatan dini yang dibangun.

Pada Tahun Ketiga ini juga dilanjutkan pemodelan distributed hydrology model dan validasi hasil pemodelan HSS Nakayasu dengan Hidrograf Satuan Terukur (HST). Terdapat dua DAS besar di Bandar Lampung, yaitu Way Kuala Garuntang dan Way Kuripan dan sejumlah DAS kecil. Untuk mendapatkan gambaran yang detail tentang respon DAS tersebut, maka pemodelan yang dilakukan harus mencakup skala spasial dimana DAS harus dibagi menjadi beberapa Sub DAS kecil. Pengukuran dan pembuatan Hidrograf satuan terukur sudah dilakukan di 3 DAS yaitu DAS Way Simpung, DAS Way Awi dan DAS Way Kuala Garuntang. Hasil validasi menunjukkan puncak banjir HSS Nakayasu mendekati hasil puncak banjir HST.

Kata kunci: sistem peringatan dini banjir, DAS, banjir, hidrograf satuan, *land use*, debit puncak.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Urgensi (Keutamaan Penelitian)	3
BAB 2. STUDI PUSTAKA	5
2.1 Pendekatan model hidrologi dalam prediksi banjir	5
2.2 Transformasi hujan-aliran	6
2.3 Hidrograf	7
2.4 Hidrograf Satuan	8
2.5 Hidrograf Satuan Sintetik	9
2.5.1. Hidrograf Satuan Sintetik Gamma 1	10
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	14
3.1 Tujuan Penelitian	14
3.2 Manfaat Penelitian	14
BAB 4. METODE PENELITIAN	15
4.1 Prosedur Pengembangan Hidrograf Sintetik Satuan (HSS) Nakayasu	19
4.2 Prosedur Penelitian Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Pada Fluktuasi Debit DAS Kota Bandar Lampung	20

4.2.1. Tahap Pengumpulan Data	21
4.2.2. Analisis Hidrologi	21
4.2.3. Analisis Data Spasial	22
4.2.4. Analisis Sensivitas Dan Skenario Penggunaan Lahan.....	22
4.2.5. Overlay.....	23

BAB 5 HASIL YANG DICAPAI

5.1 Distributed Hydrologic Mode.....	26
5.2.1. Analisis Data Spasial	26
5.2.2. Analisis Hidrolog.....	29
5.2 Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Pada Fluktuasi Debit DAS	44
5.2.1. Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan di DAS Kuala Garuntang	44
5.2.2. Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan di DAS Kuripan	72
5.3 Pengembangan Sistem Peringatan Dini.....	91
5.3.1 Pembuatan Alat Ukur Hujan Otomatis	92
5.3.2 Diagram Blok Sistem	92
5.3.3 Perancangan Perangkat Keras	93
5.3.4 Diagram Alir Sistem.....	96
5.3.5 Data Alat yang Dihasilkan.....	101

BAB 6. BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan.....	109
6.2 Saran	109

LAMPIRAN.....	110
---------------	-----

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 5.1. Pengelompokkan neighbour watershed dan cascade watershed	27
Tabel 5.2. Kurva naik.....	30
Tabel 5. 3. Kurva turun ke 1	32
Tabel 5.4. Kurva turun ke 2	34
Tabel 5.5. Koordinat Stasiun Curah Huja DAS Way Kuala Garuntang	46
Tabel 5.6 Luas Pengaruh Stasiun Hujan Terhadap DAS Stasiun	47
Tabel 5.7 Curah Hujan Rerata Harian Maksimum Tahunan DAS Way Kuala Garuntang	50
Tabel 5.8 Parameter Statistik Curah Hujan.....	51
Tabel 5.9. Analisis Jenis Sebaran.....	52
Tabel 5.11 Uji Smirnov Kolmogorov	53
Tabel 5.12. Curah Hujan Rencana	54
Tabel 5.13 Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman Selama 3 Jam	55
Tabel 5.14 Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman Selama 4 Jam	56
Tabel 5.15 Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman Selama 5 Jam	57
Tabel 5.16 Intensitas Hujan Tiap periode Ulang	58
Tabel 5.17 Luasan Masing-Masing Penggunaan Lahan DAS Way Kuala Garuntang.....	67
Tabel 5.18. Koefisien Aliran Untuk Masing-Masing Jenis Tata Guna Lahan	68
Tabel 5.19. Nilai Koefisien Aliran DAS Way Kuala Garuntang Kondisi Eksisting	69
Tabel 5.20. Nilai Koefisien Aliran DAS Way Kuala Garuntang Kondisi Eksisting	70
Tabel 5.21. Rekapitulasi Pengaruh Tata Guna Lahan Terhadap Nilai Debit	70
Tabel 5.22. Rekapitulasi Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Persentase Perubahan Nilai Debit	71
Tabel 5.23. Koordinat Stasiun Curah Hujan DAS Way Kuripan	75

Tabel 5.24. Luas Pengaruh Stasiun Hujan Terhadap DAS	76
Tabel 5.25. Curah Hujan Rerata Harian Maksimum Tahunan DAS Way Kuripan	77
Tabel 5.26. Parameter Statistik Curah Hujan	78
Tabel 5.27. Analisis Jenis Sebaran	79
Tabel 5.28. Uji Chi-kuadrat	80
Tabel 5.29. Uji Smirnov Kolmogorov	80
Tabel 5.30. Intensitas Hujan Tiap periode Ulang	82
Tabel 5.31. Koefisien Aliran Untuk Masing - Masing Jenis Tata Guna Lahan.....	87
Tabel 5.32. Nilai Koefisien DAS Way Kuripan Kondisi Eksisting	88
Tabel 5.33. Nilai Koefisien Aliran DAS Way Kuripan	89
Tabel 5.34. Rekapitulasi Pengaruh Tata Guna Lahan Terhadap Nilai Debit	89
Tabel 5.35. Rekapitulasi Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Persentase Perubahan Nilai Debit	90
Tabel 5.36. Data Curah Hujan 11 November 2014 Alat yang diuji	101
Tabel 5.37. Data Curah Hujan 13 November 2014 Alat yang diuji	102

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Hidrograf Satuan Sintetik Gamma 1 (Sumber: Triatmodjo, 2008)....	11
Gambar 2.2 Sketsa Penetapan WF (Sumber: Triatmodjo, 2008).....	12
Gambar 2.3 Sketsa Penetapan RUA (Sumber: Triatmodjo, 2008)	12
Gambar 2.4 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (Sumber: Triatmodjo, 2008) ...	13
Gambar 4.1 Peta Sungai Way Kuala Garuntang.....	20
Gambar 4.2 Peta Sungai Way Kuripan	20
Gambar 4.3 Diagram Alir Penelitian Distributed Hydrologic Model.....	24
Gambar 4.4 Diagram Alir Penelitian Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan pada Fluktuasi Debit di DAS di Bandar Lampung	25
Gambar 5.1. Delinasi DAS di overlay dengan sungai pada Sub DAS Bandar Lampung.....	28
Gambar 5.2. HSS Nakayasu – Sub DAS Way Kemiling 1	36
Gambar 5.3 HSS DAS Way Simpur	37
Gambar 5.4 HSS DAS Way Garuntang	37
Gambar 5.5 HSS DAS Way Kanan	38
Gambar 5.6 HSS DAS Way Betung	38
Gambar 5.7 HSS DAS Way Simpang Kiri	39
Gambar 5.8 HSS DAS Way Kuripan.....	39
Gambar 5.9 HSS DAS Way Kupang	40
Gambar 5.10 HSS DAS Way Kunyit.....	40
Gambar 5.11 HSS DAS Way Lunik 1	41
Gambar 5.12 HSS DAS Way Lunik 2	41
Gambar 5.13 HSS DAS Way Galih.....	42
Gambar 5.14 HSS DAS Way Keteguhan.....	42
Gambar 5.15 HSS DAS Way Sukamaju.....	43

Gambar 5.16 HSS DAS Way Gebang	43
Gambar 5.17 DAS Way Kuala Garuntang	45
Gambar 5.18 Kondisi Eksisting Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang...	45
Gambar 5.19. Letak Stasiun Hujan dan Polygon Thiessen	47
Gambar 5.20 Kurva Massa Ganda Data Curah Hujan Awal	48
Gambar 5.21 Kurva Massa Ganda Data Curah Hujan (Data Terkoreksi)	49
Gambar 5.22 Skenario I Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang.....	60
Gambar 5.23 Skenario II Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang	61
Gambar 5.24 Skenario III Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang	62
Gambar 5.25 Skenario IV Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang.....	63
Gambar 5.26 Skenario V Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang	64
Gambar 5.27 Skenario VI Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang.....	65
Gambar 5.28 Skenario VII Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang	66
Gambar 5.29 Peta Sungai Way Kuripan	73
Gambar 5.30 Peta DAS Way Kuripan	73
Gambar 5.31 Peta Tata Guna Lahan Kondisi Eksistin.....	74
Gambar 5.32. Peta Titik Stasiun Hujan.....	75
Gambar 5.33. Peta Poligon Thiessen	76
Gambar 5.34. Peta Tata Guna Lahan Skenario 1	83
Gambar 5.35. Peta Tata Guna Lahan Skenario 2	84
Gambar 5.36. Peta Tata Guna Lahan Skenario 3	85
Gambar 5.37. Peta Tata Guna Lahan Skenario 4	85
Gambar 5.38. Peta Tata Guna Lahan Skenario 5	86
Gambar 5.39. Peta Tata Guna Lahan Skenario 6	87
Gambar 5.40. Diagram Blok Sistem	93
Gambar 5.41. Rangkaian Pengkondisi Sinyal.....	93
Gambar 5.42. Sensor Tegangan	94
Gambar 5.42. Sensor Tegangan	94
Gambar 5.44. Rangkaian Penyimpan Data (SD Card	95
Gambar 5.45. Komunikasi SIM900 GSM Shield	95
Gambar 5.46. Diagram Alir Sistem Penyimpanan.....	96
Gambar 5.47. Diagram Alir Pengiriman Data Per 60 Menit.....	98

Gambar 5.48. Diagram Alir Pengiriman Data Setiap Pukul 23:59	99
Gambar 5.49. Alat ukur hujan otomatis	100
Gambar 5.50. Isi SMS Data Curah Hujan 11 November 2014.....	106
Gambar 5.51. Isi SMS Data Curah Hujan 13 November 2014.....	106

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di Indonesia banjir merupakan bencana yang setiap tahun dimana dalam beberapa tahun terakhir intensitas dan frekuensinya semakin meningkat. Bahkan banjir juga terjadi pada beberapa tempat yang belum pernah terjadi banjir sebelumnya. Kerugian yang disebabkan banjir baik material maupun immaterial sangat tak ternilai harganya. Untuk mengurangi dampak akibat banjir, perlu diberikan suatu informasi tentang respon banjir pada daerah tersebut yang meliputi waktu puncak, debit puncak serta waktu dasar yang merupakan karakteristik banjir dan juga merupakan karakteristik hidrograf. Jika karakteristik hidrograf untuk suatu DAS diperoleh, maka akan dapat diprediksi seberapa besar banjir yang terjadi, kapan banjir akan datang, dan berapa lama banjir akan menggenang.

Untuk mendapatkan karakteristik hidrograf suatu DAS, ada beberapa pendekatan analisis yang dapat dilakukan tergantung kebutuhan, tujuan analisis dan ketersediaan data. Dalam penelitian ini, analisis yang dilakukan yaitu dengan pemodelan hidrologi DAS. Harto (1993) menyatakan bahwa model hidrologi dibuat bertujuan untuk : (1) meramal secara probabilitas atas besaran dan waktu kejadian hidrologi, (2) meramal besaran dan kejadian hidrologi pada waktu yang akan datang, (3) mendeteksi dalam hal pengendalian sumber daya air, (4) mengidentifikasi potensi hidrologi dalam perencanaan, (5) mengekstrapolasi data/informasi, (6) memperkirakan kondisi lingkungan akibat perubahan perilaku manusia. (7) penelitian dasar dalam hidrologi.

Pemodelan yang dilakukan adalah dengan pemodelan secara distributed pada DAS di Bandar Lampung. Dengan model distributed model, proses hidrologi dengan mekanisme fisik dan keruangan akan tergambarkan dengan jelas. Adapun penerapan pemodelan yang dilakukan adalah DAS di Kota Bandar Lampung dibuat beberapa Sub DAS-Sub DAS yang jauh lebih kecil. Kemudian disetiap Sub DAS ini akan dilihat

respon DAS menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu. HSS Nakayasu digunakan dalam pendekatan pemodelan distributed hydrologic model karena pada penelitian sebelumnya, metode ini terbukti lebih cocok pada DAS yang berukuran kecil. Dalam penelitian ini, menarik pula untuk diperhatikan dari penelitian ini bagaimana pola kuantitatif dari DAS yang bertetangga (*neighbouring watershed*) dan *cascade watershed*.

Penelitian mengenai *Distributed Hydrologic Model* pada DAS di Kota Bandar Lampung berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Dengan perkembangan teknologi SIG dapat digunakan untuk mempercepat proses hitungan dan mengolah peta khususnya dalam penentuan karakteristik pengaliran DAS yang (SIG) dibutuhkan berupa data dalam perhitungan HSS Nakayasu.

Selain didapatkan pola karakteristik hidrograf pada DAS di Bandar Lampung dengan pendekatan distributed hydrologic model, penelitian ini juga melihat bagaimana pengaruh perubahan tata guna lahan atas fluktuasi debit di sungai di Bandar Lampung. Dalam penelitian ini, penelitian pengaruh perubahan tata guna lahan dibatasi pada dua DAS terbesar di Bandar Lampung, yaitu DAS Kuala Garuntang dan DAS Kuripan.

Pengidentifikasian perubahan tata guna lahan dan pengukuran fungsi hidrologi DAS dilapangan memerlukan pemahaman tentang banyak proses yang terlibat sehingga membutuhkan tenaga, waktu dan biaya yang banyak. Dengan demikian ketersediaan sebuah sistem dalam bidang penyajian data geospasial yang didukung oleh kemajuan teknologi jaringan komputer sangat diperlukan. Kemampuan teknologi komputer yang semakin berkembang membuat komputer saat ini dapat digunakan untuk berbagai bidang, salah satunya adalah bidang geografi, yaitu untuk membuat sistem informasi geografis (SIG). SIG adalah suatu sistem yang men-capture, mengecek, mengintegrasikan, memanipulasi, menganalisa, dan menampilkan data yang secara spasial (keruangan) mereferensikan kepada kondisi bumi. Teknologi SIG mengintegrasikan operasi operasi umum database, seperti query dan analisa statistik, dengan kemampuan visualisasi dan analisa yang unik yang dimiliki oleh pemetaan. Kemampuan inilah yang membedakan SIG dengan Sistem Informasi lainnya yang membuatnya menjadi berguna bidang penyajian data geospasial guna membantu kita dalam mempelajari proses perubahan debit sungai akibat perubahan tata guna lahan pada suatu DAS.

Lebih lanjut, fundamental ilmu hidrologi ini bisa diaplikasikan untuk memberikan manfaat pada masyarakat dan lingkungan. Sebagai contoh, pemahaman menyeluruh mengenai pembangkitan aliran sungai sangat penting untuk prediksi debit, dimana prediksi debit ini sangat penting dalam perencanaan tata guna lahan, perancangan bangunan pengendali banjir, konstruksi dan operasi bendung. Demikian juga, sifat alami dari tampungan dan drainasi air pada lereng (*hillslope*) mempunyai implikasi yang penting pada kestabilan lereng, erosi, dan aspek geomorfologi terkait.

1.2. Urgensi (Keutamaan Penelitian)

Prediksi banjir dan sistem peringatan dini merupakan hal utama yang diperlukan di dalam pengelolaan bencana banjir. Metode yang dikembangkan untuk prediksi banjir melibatkan model hidrologi. Pemilihan model hidrologi yang tepat sangat tergantung pada data yang tersedia serta *output* yang diinginkan. Data hidrometri serta meteorologi di Indonesia masih belum banyak, bahkan masih banyak *ungauged catchment* atau DAS yang tidak memiliki data pengukuran. Jika dikembangkan *physically based-fully distributed hydrological model* akan mengalami banyak kesulitan karena model tersebut sangat tergantung pada tersedianya data terukur secara *spatial* maupun *temporal* dengan kerapatan data yang cukup tinggi. Data semacam ini biasanya didapat dari *Remote Sensing* data dengan bantuan satelit. Oleh karena secara umum data tersebut susah diperoleh, maka model hidrologi yang lebih cocok untuk dikembangkan di daerah-daerah di Indonesia adalah *conceptual model* atau *semi-distributed model*. *Distributed model* juga dapat dikembangkan sebagai peningkatan dari *conceptual model* atau *semi-distributed model* dengan melibatkan data dari sistem informasi geografis. Dalam penelitian ini dikembangkan menjadi *distributed hydrology model*. Model tersebut dapat digunakan untuk melakukan prediksi banjir dengan baik dengan data yang tersedia ditambah dengan pengukuran langsung di lapangan baik untuk data variabel aliran maupun data hujan. Metode prediksi banjir dengan menggunakan *distributed hidrology model* ini dapat dikembangkan menjadi sistem peringatan dini dengan menghubungkan alat pengukur hujan maupun alat ukur aliran otomatis secara *online*. Sehingga berdasarkan *real time data* serta hasil prediksi tersebut terbentuklah sistem peringatan dini banjir.

Pada tahun kedua penelitian ini, *Distributed hydrology model* yang dikembangkan

dalam penelitian ini adalah Hidrograf Satuan Sintetik (HSS), yaitu hidrograf satuan yang tidak berdasarkan data terukur namun menggunakan suatu pendekatan terhadap karakteristik DAS (Kusumastuti, 2008a). Kelanjutan penelitian pada tahun pertama, model yang dilakukan tidak terbatas pada sebagian DAS di Bandar Lampung. Pada tahun kedua ini, seluruh DAS di Bandar Lampung dilakukan pendeteksian hidrograf satuannya. Dari seluruh DAS di Bandar Lampung ini, dilakukan kembali deliniasi DAS menggunakan SIG hingga didapatkan kembali Sub DAS terkecil sehingga didapatkan level sungai orde 1 atau orde 2 dan dilakukan perhitungan HSS-nya pada sub-sub DAS terkecil tersebut. HSS yang digunakan adalah HSS Nakayasu. Arti penting pengukuran untuk mendapatkan data primer baik data aliran maupun data hujan telah ditekankan pada penelitian sebelumnya. Data hidrologi daerah setempat (data primer) akan membantu memahami kondisi DAS setempat serta respon DAS terhadap hujan (Kusumastuti, 2008b). Proses transformasi hujan menjadi aliran pada suatu DAS sangat dipengaruhi oleh kondisi geografi, topografi, serta sifat hujan (Kusumastuti dkk, 2007; 2008a; 2008b, Kusumastuti 2008a; 2008b). Suatu metode yang akurat yang dapat dijadikan pedoman di dalam melihat respon suatu DAS terhadap bahaya banjir adalah dengan hidrograf satuan (Kusumastuti, 2008a).

Penelitian tentang kajian perubahan tata guna lahan untuk mengetahui fluktuasi debit yang terjadi yang di sungai yang dilakukan pada penelitian di periode tahun kedua, juga menjadi kajian yang sangat penting sebagai masukan bagi stakeholder pada pengelolaan sumber daya air di Kota Bandar Lampung. Sehingga dapat terdeteksi seberapa besar pengaruh perubahan tata guna lahan atas peningkatan debit di sungai di Bandar Lampung. Dengan skenario yang dibuat atas perubahan tata guna lahan yang ada di Bandar Lampung juga menjadi masukan seberapa besar perubahan tata guna lahan yang diizinkan untuk menjadikan wilayah Bandar Lampung masih aman dari banjir.

Output yang dihasilkan dari penelitian ini yaitu peta respon DAS terhadap banjir akan sangat membantu bagi penduduk setempat, para pengambil kebijakan maupun pemerintah daerah dalam mengambil tindakan-tindakan preventif yang diperlukan maupun untuk perencanaan di masa depan.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. Pendekatan model hidrologi dalam prediksi banjir

Model hidrologi pada awalnya dioptimasi berdasar pada pengukuran pada beberapa titik dan bukan data yang terdistribusi pada skala ruang dan waktu. Metoda yang paling banyak dikenal adalah pendekatan hidrograf satuan yang diperkenalkan oleh Sherman (1932, dalam Harto, 1993). Metode ini kemudian dikembangkan oleh Snyder, Nakayasu, hingga Sri Harto (1993). Aplikasi praktis dari metode hidrograf satuan ini dilakukan melalui pengembangan HEC-1 dan HEC-HMS yang dilakukan oleh US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Centre (1981, 2000). Metode ini beranggapan bahwa parameter maupun input DAS atau sub DAS adalah sama, sehingga termasuk dalam kriteria *lumped model*. Derivasi dari hidrograf satuan bergantung pada pengukuran tinggi muka air atau pendekatan estimasi sintetik.

Distributed model berusaha untuk tidak melakukan perata-rataan parameter maupun input untuk lebih dapat merepresentasikan karakteristik DAS. Skema komputasi dengan *runoff routing* dari *grid cell* ke *grid cell* atau elemen berikutnya yang mewakili lanskap dari DAS tersebut dengan menggunakan analogi persamaan matematika. Misalnya analogi *kinematic wave* biasanya diaplikasikan di tempat dengan kemiringan lereng yang curam dan efek backwater tidak terlalu signifikan. *Physics-based model* menggunakan persamaan massa, momentum dan energi untuk mewakili proses hidrologi, sedangkan *conceptual model* menggunakan hubungan empiris dengan analogi *bucket* atau tangki untuk merepresentasi proses komponen hidrologi.

Kekuatan dari *physically-based fully distributed model* pada saat yang sama juga menjadikan kelemahannya, karena representasi variabilitas spasial dari karakteristik hidrologi memerlukan data dalam jumlah yang sangat besar. Problem dari penggunaan parameter yang terlalu banyak membuat hasil yang didapatkan lebih buruk sehingga

Beven (1989, 1996) menganggap bahwa model ini masih berupa *lumped conceptual model* dengan jumlah parameter yang bertambah yang dapat diubah selama proses kalibrasi. Refsgaard dan Storm (1996) menekankan bahwa harus ada prosedur parameterisasi yang memadai; *spatial pattern* dari nilai parameter tadi harus spesifik agar parameter-parameter tersebut merefleksikan variasi spasial yang sistematis dan signifikan.

2.2. Transformasi hujan-aliran

Karakteristik hujan meliputi durasi, intensitas, *interstorm period* (waktu antara dua kejadian hujan), *within storm pattern* (pola/variabilitas satu kejadian hujan), dan musim bervariasi terhadap ruang dan waktu. Karakteristik hujan tersebut mempunyai dampak terhadap respon sistem DAS. Respon hidrologi suatu DAS, terkait dengan waktu konsentrasi dari tempat terjauh hingga ke outlet DAS, dapat dikategorikan sebagai DAS sangat cepat hingga DAS sangat lambat. Interaksi antara karakteristik hujan dalam skala waktu seperti tersebut di atas terhadap karakteristik DAS menentukan respon aliran pada DAS tersebut (Kusumastuti dkk, 2004; Kusumastuti dkk, 2005; Kusumastuti dkk, 2007).

Pengalihragaman hujan menjadi aliran terjadi di dalam ruang dan waktu. Kedalaman hujan yang terakumulasi pada suatu titik di permukaan tanah dialihragamkan menjadi aliran permukaan dan kandungan kelembaban tanah, yang dikontrol oleh keragaman karakteristik tanah dan kandungan kelembaban tanah sebelum hujan (*antecedent moisture content*). Dalam dimensi ruang transformasi ini disebut aksi konsentrasi (*concentrating action*) atau *convergence* (Sivapalan *et al.*, 2001) dimana kedalaman hujan awalnya dialihragamkan menjadi aliran permukaan yang terdistribusi secara baik. Pergerakan air dalam dimensi ruang disebabkan oleh gravitasi, topografi dan keberadaan jaringan sungai. *Runoff* yang semula terdistribusi secara merata menjadi terkonsentrasi dalam suatu alur yang dibatasi oleh jaringan sungai (Sivapalan *et al.*, 2001). Air yang masuk ke dalam tanah bergerak melalui bawah tanah dari *hillslope* yang disebabkan oleh gravitasi. Pergerakan air ini pada awalnya memiliki arah vertikal dan dipengaruhi oleh lapisan-lapisan tanahnya, menyebabkan air mengalir menuju bawah *hillslope*. Tindakan penyaringan (*filtering action*) pada *hillslope* ini membagi

pergerakan air melalui atas dan bawah *hillslope* dengan berbagai alur aliran (*pathway*), seperti limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran antara (*subsurface runoff*) dan aliran air tanah dengan berbagai skala waktu.

Daerah Aliran Sungai (*catchment, basin, watershed*) merupakan daerah dimana semua airnya mengalir ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, yang berarti ditetapkan berdasar aliran air permukaan. Batas ini tidak ditetapkan berdasar air bawah tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat kegiatan pemakaian. Air yang jatuh di permukaan tanah terpisah menjadi dua bagian, yaitu bagian yang mengalir di permukaan yang selanjutnya menjadi aliran limpasan (*overland flow*) yang selanjutnya dapat menjadi *runoff*, yang seterusnya mengalir ke sungai dan kemudian ke laut. Aliran limpasan sebelum mencapai saluran dan sungai, mengalir dan tertahan di permukaan tanah dalam cekungan-cekungan, dan sampai jumlah tertentu merupakan bagian air yang hilang karena infiltrasi, yang disebut sebagai tampungan-cekungan (*depression storage*). Bagian lainnya masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi (*infiltration*). Tergantung dari struktur geologinya, dapat terjadi aliran mendatar yang disebut aliran antara (*interflow, subsurface flow*). Bagian air ini juga mencapai sungai dan/atau laut. Bagian lain dari air yang terinfiltrasi dapat diteruskan sebagai air perkolasi yang mencapai akuifer (*aquifer, ground water storage*).

2.3. Hidrograf

Hidrograf dapat diberikan sebagai penyajian grafis antara salah satu unsur aliran dengan waktu. Hidrograf menunjukkan tanggapan menyeluruh (*integral response*) DAS terhadap masukan tertentu. Sesuai dengan sifat dan perilaku DAS yang bersangkutan, hidrograf aliran selalu berubah sesuai dengan besaran dan waktu terjadinya masukan.

Waktu naik (TR) adalah waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai waktu terjadinya debit puncak. Debit puncak adalah debit maksimum yang terjadi pada kasus tertentu. Waktu dasar adalah waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai waktu dimana debit kembali pada suatu besaran yang ditetapkan. Besaran-besaran tersebut dapat digunakan sebagai petunjuk tentang kepekaan sistem DAS terhadap pengaruh masukan hujan. Dengan menelaah sifat-sifat hidrograf yang diperoleh dari

pengukuran dalam batas tertentu dapat diperoleh gambaran tentang keadaan DAS, apakah DAS yang bersangkutan mempunyai kepekaan yang tinggi atau rendah. Makin kritis sifat DAS berarti makin jelek kondisi DAS-nya dan demikian pula sebaliknya. Bentuk hidrograf pada umumnya sangat dipengaruhi oleh sifat hujan yang terjadi, akan tetapi dapat dipengaruhi oleh sifat DAS yang lain. Menurut Kennedy dan Watt (1967) sifat hujan yang sangat mempengaruhi bentuk hidrograf ada tiga macam, yaitu intensitas hujan, lama hujan, dan arah gerak hujan. Intensitas hujan yang makin tinggi akan mengakibatkan hidrograf naik dengan cepat, atau dengan kata lain akan terjadi hidrograf dengan waktu naik pendek dan debit puncak tinggi, demikian juga sebaliknya. Intensitas hujan yang tinggi pada umumnya terjadi dalam waktu yang pendek, atau lama hujan pendek, sedangkan intensitas hujan yang rendah pada umumnya terjadi dengan lama hujan yang besar.

2.4. Hidrograf Satuan

Teori klasik hidrograf satuan berasal dari hubungan antara hujan efektif dengan limpasan langsung. Hubungan tersebut merupakan salah satu komponen model *watershed* yang umum. Teori hidrograf satuan merupakan penerapan pertama teori sistem linier dalam hidrologi. Sherman pada tahun 1932 (dalam Sri Harto, 1993) mengemukakan bahwa dalam suatu sistem DAS terdapat suatu sifat khas yang menunjukkan sifat tanggapan DAS terhadap suatu masukan tertentu. Tanggapan ini diandaikan tetap untuk masukan dengan besaran dan penyebaran tertentu. Tanggapan yang demikian dalam konsep model hidrologi dikenal dengan hidrograf satuan. Hidrograf satuan suatu DAS adalah (Soemarto, 1995) suatu limpasan yang diakibatkan oleh satu satuan volume hujan yang efektif yang terbagi rata dalam waktu dan ruang. Asumsi-asumsi yang digunakan dalam hidrograf satuan yang merujuk ke sistem linier berbeda dengan hidrograf aliran yang sebenarnya terjadi selalu berbeda untuk setiap masukan yang terjadi pada saat yang berbeda. Oleh sebab itu, untuk memperoleh hidrograf yang dapat dianggap sebagai hidrograf khas dan mewakili DAS tersebut diperlukan perata-rataan hidrograf satuan yang diperoleh dari beberapa kasus banjir (Sri Harto, 1993). Tidak ada pedoman tentang berapa jumlah kasus yang diperlukan untuk memperoleh hidrograf satuan ini. Sri Harto (1989) menunjukkan bahwa makin sedikit jumlah kasus banjir yang digunakan, makin besar debit puncak yang diperoleh

dibandingkan dengan jumlah kasus banjir yang banyak.

Hidrograf satuan mempunyai dua asumsi utama yaitu hidrograf satuan ini ditimbulkan oleh hujan yang terjadi merata di seluruh DAS (*spatially evenly distributed*) dan ditimbulkan oleh hujan yang terjadi merata selama waktu yang ditetapkan (*constant intensity*). Hidrograf satuan yang dihitung untuk setiap kasus banjir, belum merupakan hidrograf satuan yang dapat dianggap mewakili DAS yang bersangkutan. Untuk itu diperlukan hidrograf satuan yang diturunkan dari banyak kasus banjir, kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh hidrograf satuan yang dianggap mewakili DAS tersebut. Perata-rataan dilakukan dengan merata-rata baik debit puncak maupun waktu mencapai puncak (hidrograf). Di samping itu, sisi resesinya dilakukan dengan menarik liku resesi rata-rata dengan memperhatikan agar volume hidrograf satuan sama dengan satuan volume yang ditetapkan.

2.5. Hidrograf Satuan Sintetik

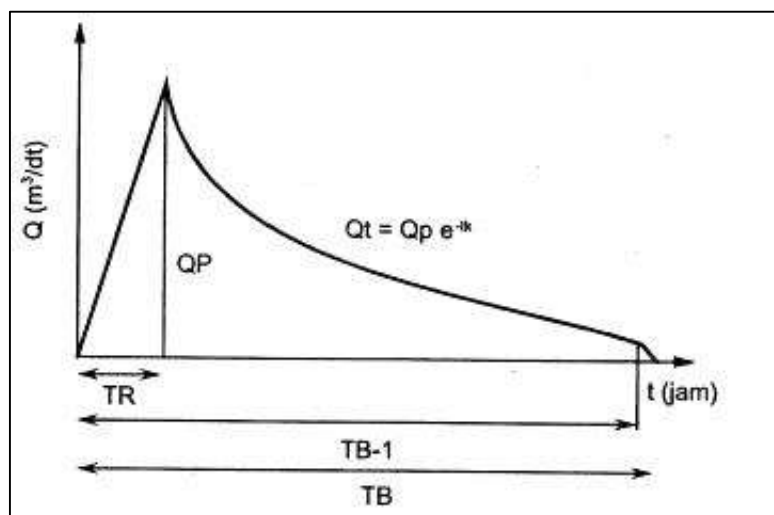
Hidrograf satuan (terukur) dapat dibuat jika tersedia data yang baik, yaitu data tinggi muka air otomatis, data pengukuran debit, data hujan harian, dan data hujan jam-jaman. Karena berbagai sebab data ini sering sulit diperoleh atau tidak tersedia. Untuk mengatasi hal ini, maka dikembangkan suatu cara untuk mendapatkan hidrograf satuan tanpa mempergunakan data seperti tersebut di atas. Berdasarkan prinsip hidrograf satuan, beberapa peneliti telah menghasilkan model-model Hidrograf Satuan Sintetis (model-model HSS), beberapa di antaranya yaitu HSS Snyder (lokasi penelitian di USA, 1938), HSS Nakayasu (lokasi penelitian di Jepang, 1948), dan HSS Gama I (lokasi penelitian di Pulau Jawa, 1985).

HSS Snyder dalam pengujiannya untuk beberapa sungai di Pulau Jawa ternyata menunjukkan penyimpangan yang besar, baik dalam besaran waktu capai puncak (*time to peak*) maupun debit puncak (Sri Harto, 1993). Hal ini dapat dipahami karena memang cara ini mengandung beberapa koefisien empirik yang dikembangkan di daerah Appalachian di Amerika yang kurang sesuai dengan keadaan di Indonesia. Beberapa cara sintetik lain yang digunakan, seperti Nakayasu, US SCS, dan Common juga menunjukkan penyimpangan yang cukup besar dibandingkan dengan hidrograf satuan terukur (Sri Harto, 1993).

Sementara ini penelitian debit puncak banjir dengan menggunakan hidrograf satuan sintetik Gama I di DAS Way Pegadungan (DAS yang termasuk wilayah administratif Kabupaten Lampung Tengah, Propinsi Lampung) telah dilakukan oleh Kusumastuti (2008a) dikarenakan tidak terdapatnya data debit terukur yang dibutuhkan. Dibandingkan dengan hidrograf satuan sintetik yang dihasilkan metode lain, debit banjir puncak terhitung dari HSS Gama I lebih mendekati debit banjir yang pernah teramati oleh penduduk sekitar. Dalam penelitian ini, yaitu untuk prakiraan banjir di Kota Bandar Lampung, selain dilakukan analisa prakiraan banjir menggunakan HST, dilakukan juga pengembangan prakiraan banjir dengan menggunakan HSS Gamma 1 dan HSS Nakayasu untuk menganalisa apakah kedua metode tersebut memiliki trend yang sama seperti yang dihasilkan oleh HST. Selain itu, dalam penelitian ini, kedua metode HSS tersebut dibandingkan yang manakah yang memberikan nilai debit banjir yang lebih mendekati dengan HST. Di bawah ini diberikan penjelasan tentang pendekatan yang dipakai dalam pengembangan HSS Gamma 1 dan HSS Nakayasu.

2.5.1. Hidrograf Satuan Sintetik Gamma 1

HSS Gamma I terdiri dari empat variabel pokok, yaitu waktu naik (*time of rise* –TR), debit puncak (Qp), waktu dasar (TB) dan sisi resesi yang ditentukan oleh nilai koefisien tampungan (K). Sketsa grafik HSS Gamma 1 dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Hidrograf Satuan Sintetik Gamma 1 (Sumber: Triatmodjo, 2008)

Untuk menghitung keempat variabel pokok tersebut, dipakai persamaan-persamaan sebagai berikut:

1. Waktu puncak HSS Gamma 1 (TR)

$$TR = 0,43 \left(\frac{L}{100SF} \right)^3 + 1,0665SIM + 1,2775 \dots\dots\dots \text{(Pers 2.1)}$$

2. Debit puncak banjir (Q_p)

$$QP = 0,1836A^{0,5886}TR^{-0,4008}JN^{0,2381} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.2)}$$

3. Waktu Dasar (TB)

$$TB = 27,4132TR^{0,1457}S^{0,00986}SN^{0,7344}RUA^{0,2574} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.3)}$$

4. Koefisien resesi (K)

$$K = 0,5617A^{0,1798}S^{-0,1446}SF^{-1,0897}D^{0,0452} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.4)}$$

5. Aliran Dasar (QB)

$$B = 0,4715A^{0,1798}D^{0,9430} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.5)}$$

dengan:

- A : luas DAS (km²).
- L : panjang sungai utama (km).
- S : kemiringan dasar sungai.
- SF : faktor sumber, perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat satu dengan jumlah panjang sungai semua tingkat.
- SN : frekuensi sumber, perbandingan antara jumlah pangsa sungai tingkat satu dengan jumlah pangsa sungai semua tingkat.
- WF : faktor lebar, perbandingan antara lebar DAS yang diukur di titik sungai yang berjarak 0,75 L dengan lebar DAS yang diukur di sungai yang berjarak 0,25 L dari stasiun hidrometri (Gambar 2.2).
- JN : jumlah pertemuan sungai.
- SIM : faktor simetri, hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas DAS sebelah hulu (RUA).
- RUA : luas DAS sebelah hulu, perbandingan antara luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun hidrometri dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS, melalui titik tersebut (Gambar 2.3).
- D : kerapatan jaringan kuras, jumlah panjang sungai semua tingkat tiap satuan luas DAS.

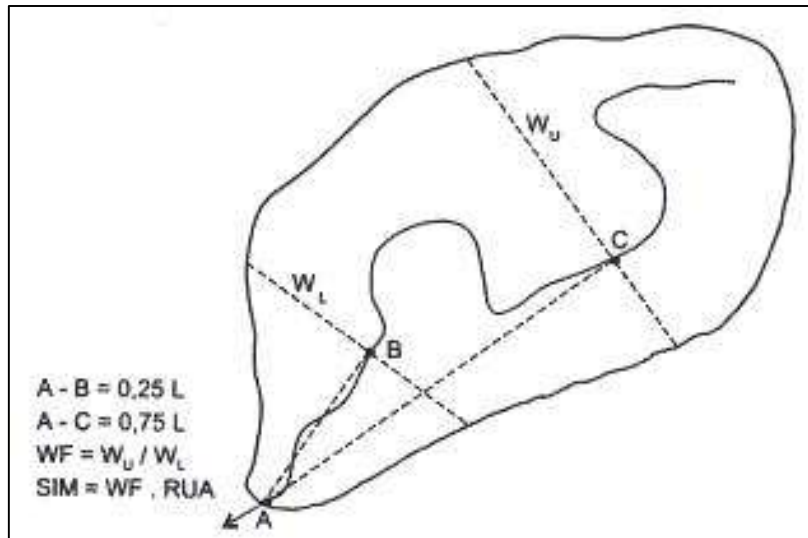
Perhitungan debit banjir pada jam tertentu untuk sisi resesi dihitung mengikuti persamaan sebagai berikut:

$$Q_t = Q_p e^{-t/K} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.6)}$$

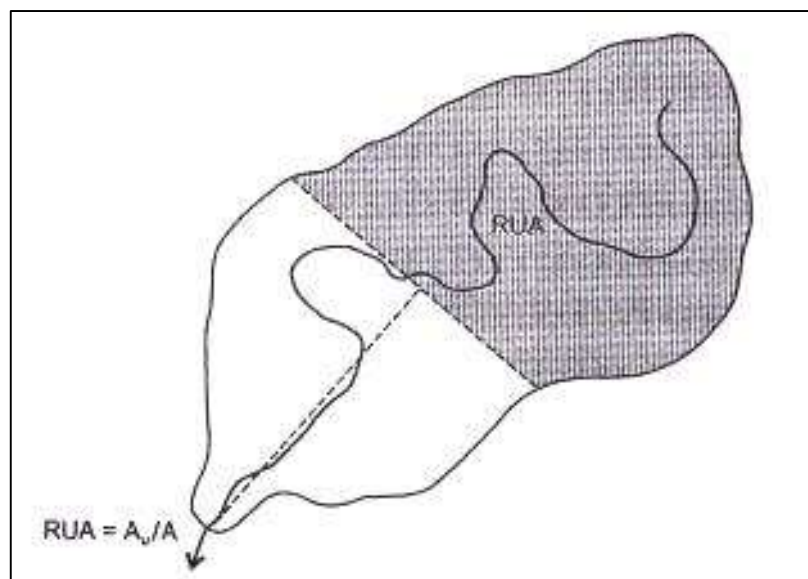
Q_t : debit pada jam ke t (m³/d)

- Q_p : debit puncak (m^3/d)
- t : waktu dari saat terjadinya debit puncak (jam)
- k : koefisien tampungan (jam)

Konsekuensi dari persamaan eksponensial yang digunakan pada sisi resisi adalah tidak dimungkinkannya debit sama dengan nol, sehingga seperti yang terlihat pada Gambar 2.1 Sketsa HSS Gamma 1 terdapat patahan dalam sisi resisi.



Gambar 2.2 Sketsa Penetapan WF (Sumber: Triatmodjo, 2008)



Gambar 2.3 Sketsa Penetapan RUA (Sumber: Triatmodjo, 2008)

2.5.2. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Sketsa grafik HSS Nakayasu dapat dilihat pada Gambar 2.4. Grafik ini dibangun oleh rumus-rumus sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{1}{6} \left(\frac{ARe}{0,3t_p + T_{0,3}} \right) \dots\dots\dots \text{(Pers 2.7)}$$

$$T_p = T_g + 0,8 T_r \dots\dots\dots \text{(Pers 2.8)}$$

$$t_g = 0,4 + 0,058 L \text{ untuk } L > 15 \text{ km} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.9)}$$

$$T_g = 0,21L^{0,7} \text{ untuk } L < 15 \text{ km} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.10)}$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \dots\dots\dots \text{(Pers 2.11)}$$

a. Pada kurva naik ($0 < t < T_p$)

$$Q_t = Q_p \frac{t^{2,4}}{T_p} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.12)}$$

b. Pada kurva turun ($T_p < t < T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{(t-T_p)/T_{0,3}} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.13)}$$

c. Pada kurva turun ($T_{0,3} < t < T_{0,3}^2$)

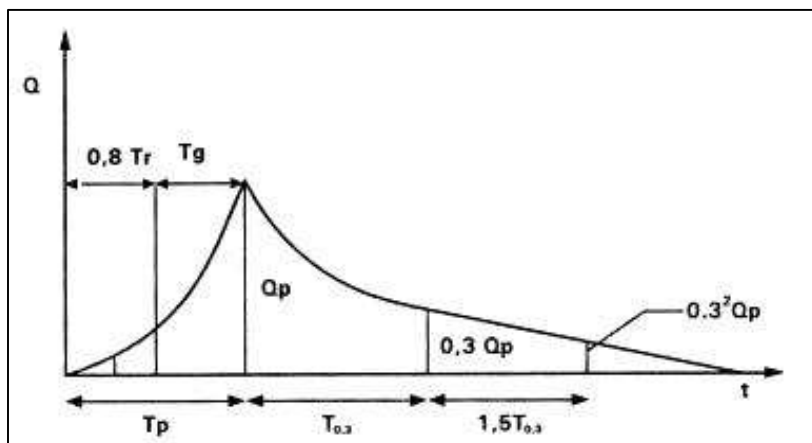
$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t-t_p)+(0,5T_{0,3})]/(1,5T_{0,3})} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.14)}$$

d. Pada kurva turun ($t > T_{0,3}^2$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t-t_p)+(1,5T_{0,3})]/(2T_{0,3})} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.15)}$$

Dengan;

- Q_p : debit puncak banjir
- A : luas DAS (km^2)
- Re : curah hujan efektif (mm)
- T_p : waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf banjir (wm)
- $T_{0,3}$: waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak banjir (jam)
- t_g : waktu konsentrasi
- T_r : satuan waktu dari curah hujan (jam)
- α : koefisien karakteristik DAS
- L : panjang sungai utama (km)



Gambar 2.4 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (Sumber: Triatmodjo, 2008)

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

Secara umum tujuan penelitian ini untuk mengembangkan suatu metode prediksi banjir serta sistem peringatan dini di kota Bandar Lampung. Sedangkan tujuan khusus penelitian untuk Tahun Kedua yaitu untuk :

- Mengembangkan hidrograf satuan sintetik (HSS) untuk sub sub DAS di Bandar Lampung
- Membuat peta respon DAS yang berdasarkan debit puncak banjir, waktu puncak banjir serta lama banjir.
- Membuat peta respon DAS untuk beberapa tahun ke depan dengan mempertimbangkan perubahan *land use*.

3.2. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat diterapkan untuk memecahkan isu strategis berskala nasional yaitu masalah banjir. Air akan menjadi suatu permasalahan jika keberadaannya dalam status: (1) terlalu banyak; (2) terlalu sedikit; ataupun (3) terlalu kotor. Banjir merupakan musibah yang kerap terjadi yang menimpa sebagian daerah di Indonesia pada saat musim penghujan.

Banjir di Indonesia umumnya disebabkan oleh kombinasi antara karakteristik hujan (intensitas tinggi, durasi lama, dan frekuensi yang sering); perubahan tata guna lahan (berkurang atau hilangnya daerah resapan dan tampungan), serta rusaknya sistem drainase (penyempitan sungai, terhambatnya aliran pada saluran, kenaikan muka air laut).

Penelitian ini diharapkan memberi manfaat antara lain:

- a. Pemecahan permasalahan banjir secara kuantitatif, komprehensif dan bertahap, yang dimulai dengan pembuatan hidrograf satuan terukur. Hal ini dikaitkan dengan fakta ketika bencana banjir di Bandar Lampung pada tanggal 18 Desember 2008, tidak terdapat data terukur semisal data hujan dan data aliran yang cukup handal, sedemikian rupa sehingga pemecahan permasalahan banjir masih berupa kualitatif. Dari Penelitian Strategis Nasional yang Pengusul lakukan pada tahun 2009 terukur bahwa terbesar pada tahun 2009 adalah yang bertepatan dengan tahun baru imlek dengan kedalaman hujan sebesar 76mm, dengan durasi yang relatif pendek.
- b. Mengetahui karakteristik hujan dan respon DAS dengan mengembangkan *cascade hydrograph* yaitu pengembangan HST pada bagian hulu, tengah, dan hilir pada suatu DAS.
- c. Mengetahui karakteristik hujan dan respon DAS dengan pembuatan *neighboring hydrograph* yaitu pengembangan HST pada bagian hulu, tengah, dan hilir pada DAS yang lain yang letaknya berdekatan.
- d. Mengelaborasi lebih lanjut keterkaitan antara HST yang didapat dari pengembangan *cascade hydrograph* dan *neighboring hydrograph* dengan kurva IDF (Intensitas-Durasi-Frekuensi), sehingga watak banjir pada DAS di Bandar Lampung bisa dikenali dengan baik.
- e. Mitigasi bencana banjir dengan pendekatan kuantitatif (terukur) sehingga terjadi pengurangan resiko akibat bencana. Setelah didapatkannya hidrograf satuan terukur yang terdistribusi pada bagian hulu, tengah, dan hilir, kurva IDF (Intensitas-Durasi-Frekuensi), bisa dibangun basis data untuk pengembangan Sistem Informasi Geografis. Selanjutnya, dengan piranti pada SIG, akan memudahkan untuk melakukan analisis respon DAS pada kondisi eksisting dan respon DAS pada kondisi mendatang sebagai fungsi dari land use dan *probability* dari suatu *event* (kejadian banjir).
- f. Penelitian ini dilakukan di DAS di Kota Bandar Lampung, namun demikian bisa juga diaplikasikan di tempat lain (nasional) dalam rangka mitigasi bencana banjir. Sistem peringatan dini yang dihasilkan dari penelitian ini dibatasi dengan pengukuran hujan, namun demikian bisa dikembangkan lebih lanjut dengan melakukan sistem peringatan yang lebih dini hingga ke pemantauan dengan radar cuaca, maupun yang lebih dini lagi.

BAB IV

METODE PENELITIAN

Tahun pertama penelitian difokuskan pada pengembangan *cascade observed unit hydrograph* dan *neighbouring observed unit hydrograph*. Dari hasil penelitian pada Tahun Pertama tersebut kemudian dicari hubungan antara HST-HST pada suatu sistem yang berturutan (yaitu HST-HST daerah hulu, tengah hingga hilir pada DAS yang sama) serta hubungan antara HST DAS yang satu dan HST DAS yang lain dalam sistem DAS yang berbeda namun letak DASnya berdekatan.

Untuk tahun kedua fokus penelitian adalah pengembangan *distributed hydrology model* dengan pemanfaatan Sistem Informasi Geografis untuk mendapatkan data digital tentang topografi, *land use* serta tutupan vegetasi. Analisis selanjutnya yaitu dengan menggunakan pendekatan *hydrologic similarity* untuk menghitung respon banjir di DAS atau sub DAS yang tidak terukur. Pendekatan *hydrologic similarity* didasarkan pada perbandingan HST dan HSS di DAS atau sub DAS yang sama, sehingga dapat dilakukan derivasi pada sub DAS yang lain. Selain itu, pada tahun kedua juga dibuat peta respon banjir kondisi *existing* dan peta respon banjir sebagai fungsi perubahan *land use*.

Tahun ketiga penelitian difokuskan pada pengembangan sistem peringatan dini banjir dengan mengandalkan alat ukur yang terhubung online serta peta respon DAS dan HST.

Berikut ini adalah disampaikan prosedur penelitian dalam pengembangan HST yang merupakan tahapan penelitian yang akan dilakukan pada tahun pertama.

Untuk memperoleh hidrograf satuan dalam suatu kasus banjir, maka diperlukan data sebagai berikut :

1. Rekaman AWLR (*Automatic Water Level Recorder*)

Untuk mendapatkan rekaman AWLR perlu dipasang alat ukur *water level recorder* di sungai yang ditinjau, untuk mengukur tinggi muka air sungai. Untuk melindungi alat pengukur tinggi muka air tersebut, ditanamkan pipa PVC. Pipa PVC solid akan ditanamkan di sungai, dimana *water level probe* akan digantungkan di atasnya sehingga tinggi muka air sungai dapat terukur dengan *time step* yang kecil, misalnya per 10 menit.

2. Pengukuran debit

Pengukuran debit dilakukan pada beberapa kondisi, yaitu pada saat aliran rendah, sedang, maupun tinggi. Tujuannya agar didapat liku kalibrasi (grafik hubungan antara tinggi muka air dan debit) yang memadai.

Cara yang lazim digunakan dalam hidrometri adalah pengukuran debit dengan pengukuran kecepatan aliran. Pengukuran baku yang dilakukan dengan *current meter* dilakukan sebagai berikut :

- a. Membagi penampang sungai menjadi beberapa bagian vertikal.
- b. Mengukur kecepatan rata-rata dalam masing-masing vertikal. Hal ini dapat dilakukan dengan pengukuran satu titik ($0,6 H$ (kedalaman air)) maupun pengukuran dua titik ($0,2$ dan $0,8 H$ (kedalaman air)).
- c. Untuk menghitung debit aliran pada penampang tersebut dapat dilakukan dengan *mean area method* maupun *mid area method*.

3. Data hujan biasa (manual)

Data ini diperlukan sebagai pembanding dari data hujan yang terukur pada alat ukur hujan otomatis.

4. Data hujan otomatis

Data hujan otomatis diperoleh dari *automatic raingauge* yang dipasang di DAS tersebut. *Automatic raingauge* jenis *tipping bucket* akan dipakai dalam penelitian ini. Setiap 0,2 mm air hujan yang tertampung dalam *raingauge* tersebut akan dicatat. Sebagai data pendukung, data hujan otomatis juga bisa didapatkan dari Biro Meteorologi terdekat, misalnya Biro Meteorologi yang terletak di Panjang dan Natar. Selanjutnya perlu dipilih kasus yang menguntungkan dalam analisis, yaitu dipilih hidrograf yang terpisah dan mempunyai satu puncak dan hujan yang cukup serta distribusi jam-jamannya. Syarat di atas sebenarnya bukan merupakan keharusan, kecuali untuk mempermudah hitungan yang dilakukan. Analisis numerik untuk memisahkan hidrograf satuan dari banjir pengamatan dapat dilakukan dengan Metode Collins (Sri Harto, 1993).

Cara penyelesaian Metode Collins dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Hidrograf tinggi muka air (*stage hydrograph*) dialihragamkan menjadi hidrograf debit (*discharge hydrograph*) dengan liku kalibrasi.
2. Aliran dasar dipisahkan dari hidrografnya dengan salah satu cara, yaitu : pemisahan aliran dasar dengan *straight line method*, *fixed base length*, atau *variable slope method*.
3. Hujan efektif yang menyebabkan banjir tersebut ditetapkan, misalnya dengan menggunakan indeks infiltrasi ϕ (Phi index).
4. Diandaikan hidrograf satuan yang terjadi mempunyai ordinat berturut-turut U_1 , U_2 , dan seterusnya.

5. Hidrograf satuan tersebut dikalikan dengan hujan efektif yang bersangkutan, maka akan diperoleh hidrograf limpasan langsung.

Dengan membandingkan ordinat hidrograf limpasan langsung yang didapat dari hitungan ini dengan ordinat hidrograf limpasan langsung yang terukur, maka akan diperoleh ordinat-ordinat hidrograf satuan.

4.1. Prosedur Pengembangan Hidrograf Sintetik Satuan (HSS) Nakayasu

Untuk pembuatan HSS ini, sebelumnya diperlukan data spasial serta pengolahannya. Data spasial yang dibutuhkan adalah data peta Daerah Aliran Sungai (DAS) dan peta sungai. Data spasial ini disiapkan dengan berbasis Sistem Informasi Geografis.

Untuk mendapatkan peta DAS, dilakukan proses *generate* dari peta *Digital Elevation Model* (DEM). Dimana peta DEM didapatkan secara gratis dari laman CGIAR-CSI *research center*. Untuk membuat Sistem Informasi Geografis pada peta DAS, dilakukan peng-*input*-an data ke dalam atribut ID Sungai, Nama Sungai dan Luas DAS. Sedangkan untuk mendapatkan peta sungai, dilakukan proses digitasi *on screen* yang mengacu pada citra satelit *google earth*. Pada peta sungai dirancang memiliki atribut ID Sungai, Nama Sungai, Orde Sungai, dan Panjang Sungai. Atribut yang dirancang di dalam Sistem Informasi Geografis peta DAS dan Sungai, disesuaikan dengan kebutuhan perhitungan pengembangan HSS HSS Nakayasu.

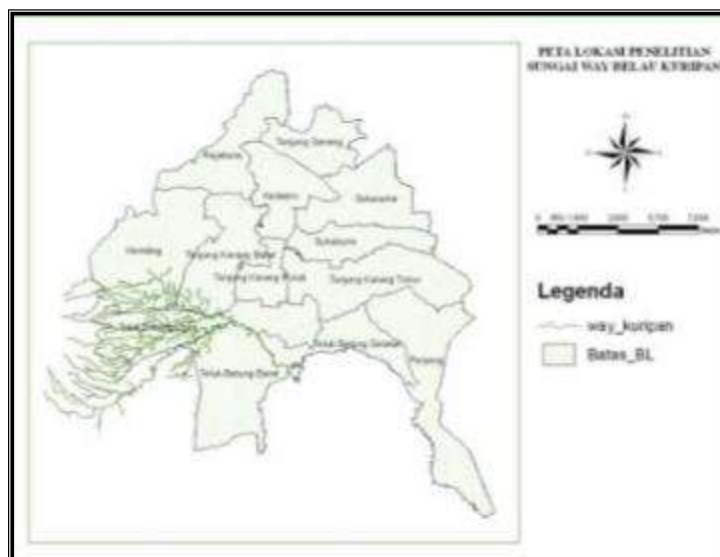
Dalam pembuatan HSS Nakayasu data yang diperlukan dari Sistem Informasi Geografis Peta DAS dan Sungai hanya luas dan panjang sungai. Perhitungan HSS Nakayasu juga dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Office Excel.

4.2. Prosedur Penelitian Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Pada Fluktuasi Debit DAS Kota Bandar Lampung

Pada penelitian pengaruh perubahan tata guna lahan pada fluktuasi debit DAS di Kota Bandar Lampung, dibatasi pada dua DAS terbesar di Kota Bandar Lampung, yaitu DAS Kuala Garuntang dan DAS Kuripan. Lokasi penelitian pada DAS Kuala Garuntang dan Kuripan dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Peta Sungai Way Kuala Garuntang



Gambar 4.2 Peta Sungai Way Kuripan

4.2.1. Tahap Pengumpulan Data

1. Data primer

Data primer antara lain adalah *Ground Control Point* (GCP) dari stasiun curah hujan dengan terlebih dahulu mensurvey titik stasiun curah hujan menggunakan GPS (*global positioning system*) untuk diplotkan pada koordinat peta.

2. Data Sekunder

Data sekunder antara lain adalah peta sungai yang bersal dari hasil digitasi dari google earth dan informasi data sungai dari Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung, Peta tata guna lahan merupakan peta RTRW 2010 yang berasal dari BAPEDA Lampung, dan data curah hujan yang berasal dari Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung.

4.2.2. Analisis Hidrologi

Adapun langkah yang dilakukan dalam analisis hidrologi adalah sebagai berikut:

1. Penyiapan data curah hujan yaitu menentukan stasiun hujan dengan menggunakan poligon thiessen
2. Melengkapi data curah hujan
3. Melakukan tes konsistensi
4. Melakukan analisis frekuensi curah hujan dengan menggunakan statistika yang bertujuan untuk memprediksi suatu besaran hujan atau debit dengan masa ulang tertentu. dan distribusi dengan metode gumbel, log pearson type III, dan log normal. Dari ketiga metode tersebut dipilih metode yang paling sesuai dengan metode chi kuadrat (*chi square*).
5. Menentukan Distribusi Hujan Jam-jaman dan mengubah data curah hujan menjadi intensitas hujan
6. Menetapkan persamaan intensitas hujan.

4.2.3. Analisis Data Spasial

Analisis data spasial dilakukan sebagai berikut:

1. Pembentukan Sungai Way Kuala Garuntang dan Way Kuripan

Pembentukan data sungai DAS Way Kuala Garuntang dan Way Kuripan dibuat dengan berdasarkan citra google earth yang kemudian didigitasi untuk mendapatkan data-data sungai itu sendiri.

2. Membentuk DAS Way Kuala Garuntang dan DAS Wayk Kuripan.

Pembentukan DAS Way Kuala Garuntang dilakukan dengan menggunakan data RSTM yang di generate interval 1 meter.

3. Plotting Stasiun Curah Hujan.

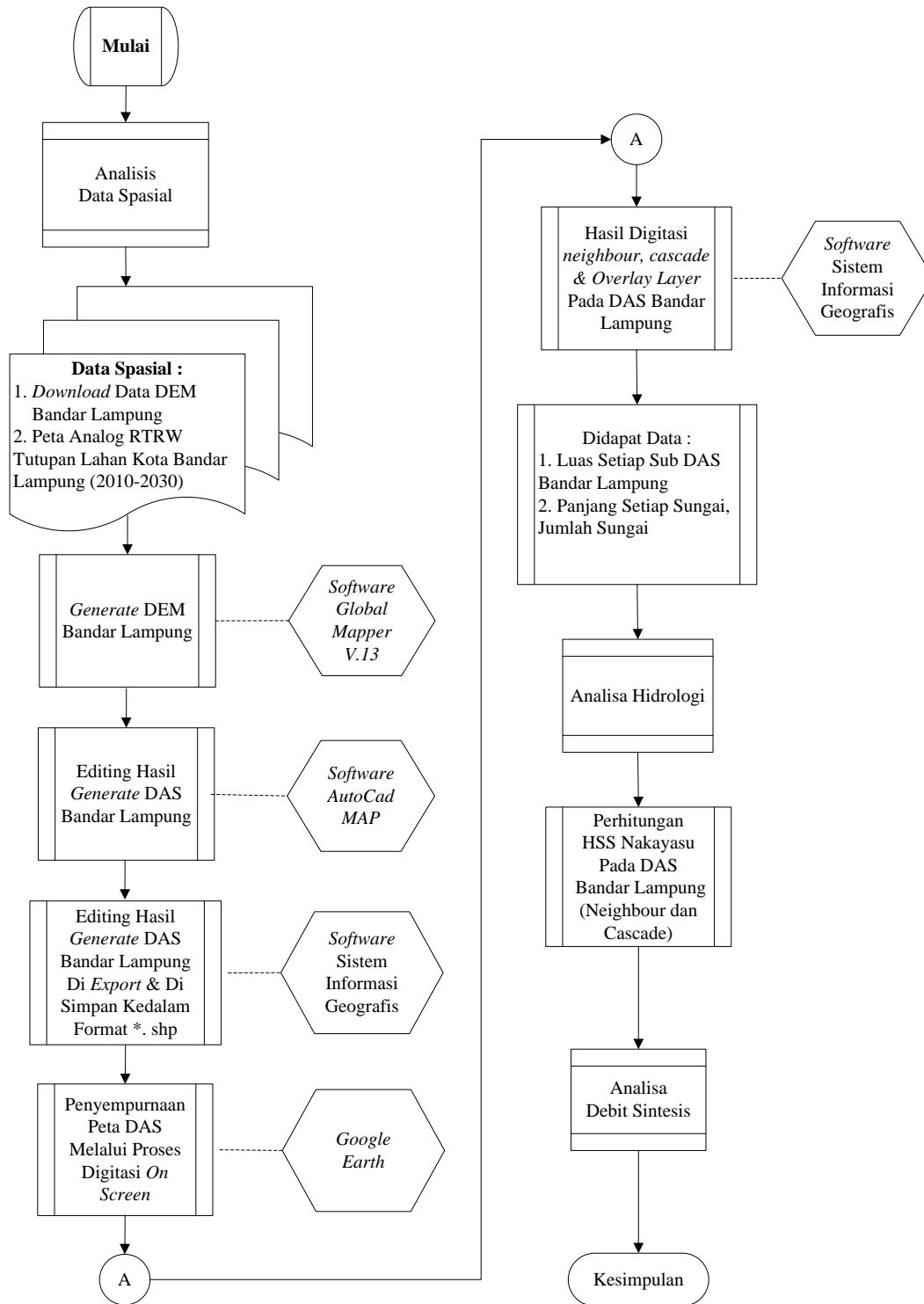
4. Pembuatan Poligon Thiessen.

4.2.4. Analisis Sensivitas Dan Skenario Penggunaan Lahan

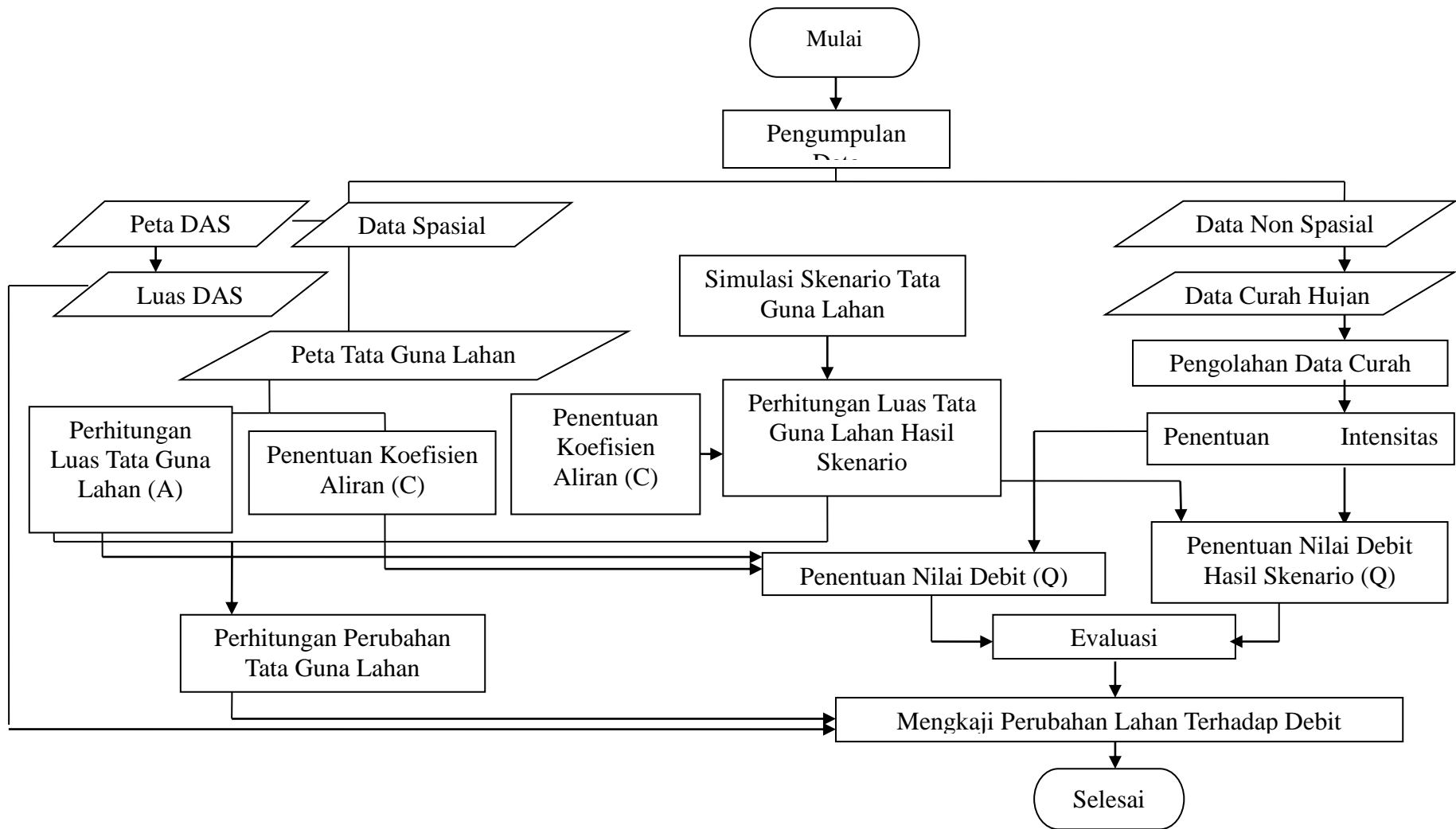
Simulasi skenario perubahan tata guna lahan dilakukan dengan mengadakan penambahan atau pengurangan terhadap luas hutan dan tata guna lahan lainnya. Simulasi tersebut dilakukan dengan jalan mengubah perkebunan, ladang, pemukiman, aau kawasan lain menjadi hutan ataupun sebaliknya kemudian dilihat pengaruhnya terhadap kehilangan tanah,limpasan dan debit puncak yang terjadi, hingga mencapai besaran angka yang tidak melebihi batas arahan yang ditetapkan. Setelah proses simulasi skenario skenario selesai dengan hasil keluaran yang diharapkan maka perlu ditetapkan batasan penggunaan lahan berdasarkan hasil analisis tersebut yang merupakan konsep tata guna lahan yang seharusnya diterapkan. Analisa sensitivitas dimaksudkan untuk mengetahui parameter yang paling berpengaruh terhadap hasil keluaran yang akan digunakan sebagai pedoman terhadap pengelolaan DAS.

4.2.5. Overlay

Menyusun (overlay) peta tematik hasil digitasi menggunakan program Quantum GIS 1.7.4 seperti peta tata guna lahan yang harus diidentifikasi nilai koefisien alirannya (C) sesuai dengan tata guna lahan masing-masing daerah serta dihitung luas masing-masing tata guna lahan (A) untuk mendapatkan nilai debit (Q) yang dihitung menggunakan metode rasional.



Gambar 4.3 Diagram Alir Penelitian Distributed Hydrologic Model



Gambar 4.4 Diagram Alir Penelitian Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan pada Fluktuasi Debit di DAS di Bandar Lampung

BAB V

HASIL YANG DICAPAI

5.1 Distributed Hydrologic Model

5.1.1 Analisis Data Spasial

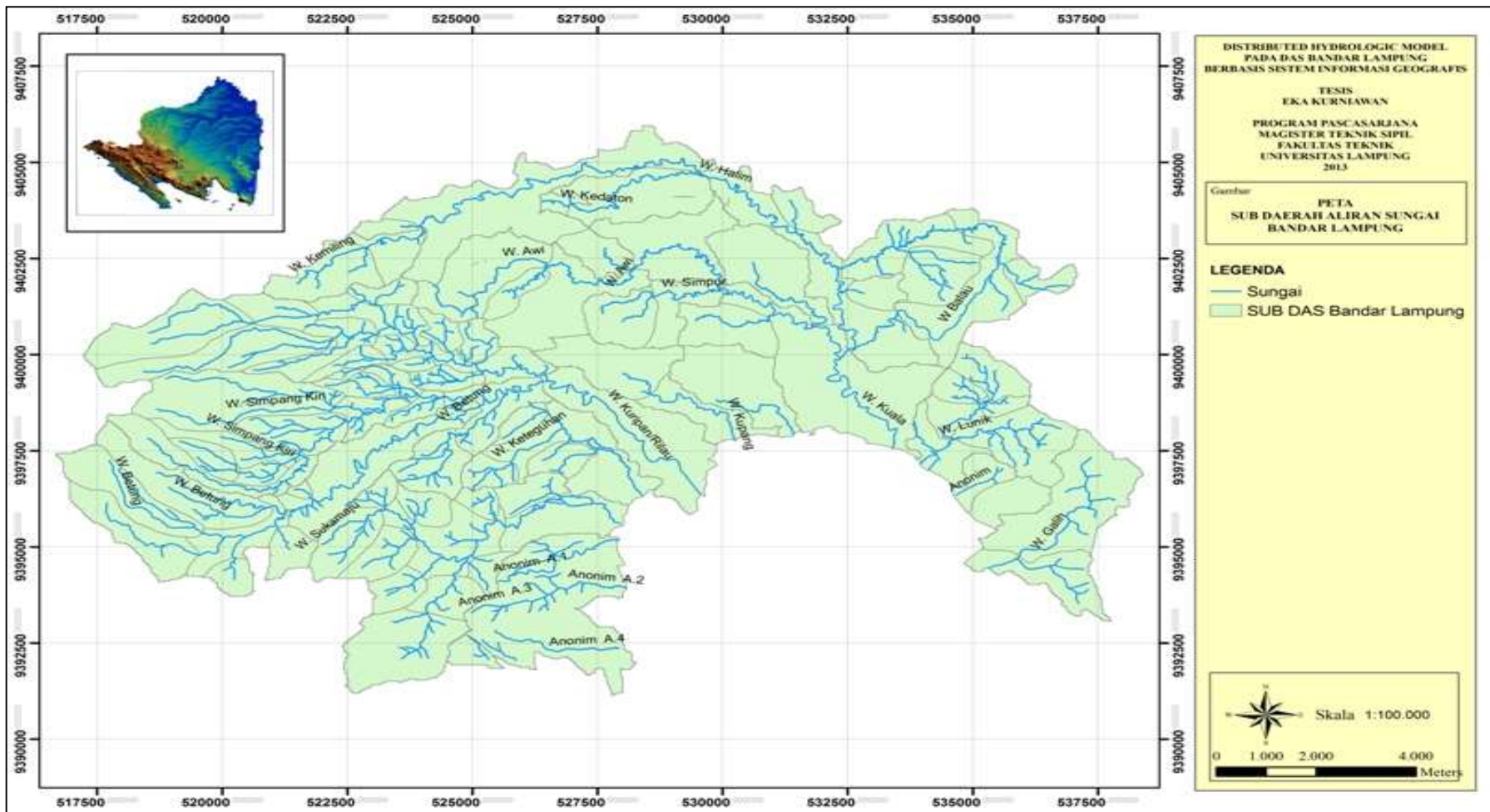
Dari hasil delinasi DAS Bandar Lampung dan sungai berdasarkan keadaan sebenarnya dilapangan, menggunakan *google earth* dan *generate* data DEM didapat data :

1. DAS Bandar Lampung terbagi menjadi Way Simpur, Way Garuntang, Way Simpang Kanan, Way Betung, Way Simpang Kiri, Way Kuripan, Way Kupang, Way Kunit, Way Lunik 1, Way Lunik 2, Way Galih, Way Keteguhan, Way Sukamaju, Way Gebang.
2. Karena Way Garuntang dan Way Kuripan merupakan 2 DAS terbesar di Kota Bandar Lampung dilakukan delinasi DAS menjadi Sub DAS terkecil.
3. Sungai di DAS Way Garuntang berjumlah 11 sungai, dengan nama sungai yaitu : Way Awi, Way Balau, Way Halim, Way Kedamaian, Way Kedaton, Way Kemiling, Way Kuala, Way Langkapura, Way Pemanggilan, Way Penengahan, Way Simpur.
4. Sungai di DAS Way Kuripan berjumlah 4 sungai, dengan nama sungai yaitu : Way Betung, Way Simpang Kanan, Way Simpang Kiri, Way Kuripan.
5. Sungai di luar DAS tersebut adalah Way Galih, Way Keteguhan, Way Kupang, Way Lunik, Way Sukamaju, Way Kunit, Way Gebang.

Hasil delinasi DAS di *overlay* dengan sungai pada Sub DAS Bandar Lampung dapat dilihat pada Gambar 5.1, Hasil delinasi tersebut dikelompokkan kedalam *neighbour watershed* dan *cascade watershed* dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Pengelompokkan *neighbour watershed* dan *cascade watershed*

No.	Nama DAS	<i>Neighbour Watershed</i>	<i>Cascade Watershed</i>
1	Way Simpurn	Way Kemiling 2 - Way Pemanggilan 4	Way Kemiling 1 - Way Kemiling 2
		Way Pemanggilan 1 - Way Kedaton	Way Pemanggilan 4 - Way Pemanggilan 1
		Way Halim 1 - Way Halim 2	Way Langkapura - Way Kedaton
2	Way Garuntang	Way Awi 2 - Way Awi 3	Way Awi 2 - Way Awi 1
		Way Pemanggilan 3 - Way Awi 1	Way Awi 1 - Way Kuala 3
		Way Kuala 3 - Way Simpurn 2	Way Simpurn 1 - Way Simpurn 2
		Way Kuala 2 - Way Kuala 1	Way Simpurn 2 - Way Kuala 1
		Way Kuala 1 - Way Kedamaian	Way Balau 3 - Way Halim 1
		Way Balau 2 - Way Balau 3	Way Balau 3 - Way Balau 1
		Way Balau 1 - Way Balau 4	Way Halim 3 - Way Halim 1
3	Way Simpang Kanan	Way Sp. Kanan 2 - Way Sp. Kanan 3	Way Sp. Kanan 2 - Way Sp. Kanan 4
		Way Sp. Kanan 7 - Way Sp. Kanan 8	Way Sp. Kanan 3 - Way Sp. Kanan 12
		Way Sp. Kanan 10 - Way Sp. Kanan 1	Way Sp. Kanan 12 - Way Sp. Kanan 13
			Way Sp. Kanan 11 - Way Sp. Kanan 1
		Way Sp. Kanan 13 - Way Sp. Kanan 1	
4	Way Betung	Way Betung 2 - Way Betung 3	Way Betung 6 - Way Betung 7
		Way Betung 2 - Way Betung 6	Way Betung 2 - Way Betung 7
			Way Betung 3 - Way Betung 7
			Way Betung 4 - Way Betung 7
			Way Betung 5 - Way Betung 7
			Way Betung 7 - Way Betung 1
			Way Betung 8 - Way Betung 1
5	Way Simpang Kiri	Way Sp. Kiri 7 - Way Sp. Kiri 6	Way Sp. Kiri 2 - Way Sp. Kiri 6
		Way Sp. Kiri 5 - Way Sp. Kiri 4	Way Sp. Kiri 3 - Way Sp. Kiri 4
		Way Sp. Kiri 5 - Way Sp. Kiri 6	Way Sp. Kiri 7 - Way Sp. Kiri 10
		Way Sp. Kiri 8 - Way Sp. Kiri 9	Way Sp. Kiri 10 - Way Sp. Kiri 8
			Way Sp. Kiri 11 - Way Sp. Kiri 1
		Way Sp. Kiri 12 - Way Sp. Kiri 1	
6	Way Kuripan	-	-
7	Way Kupang	-	Way Kupang 1 - Way Kupang 2
8	Way Kunyi	-	-
9	Way Lunik 1	Way Lunik 1.2 - Way Lunik 1.3	Way Lunik 1.2 - Way Lunik 1.5
			Way Lunik 1.4 - Way Lunik 1.5
			Way Lunik 1.1 - Way Lunik 1.6
10	Way Lunik 2	-	-
11	Way Galih	-	Way Galih 1 - Way Galih 2
12	Way Keteguhan	Way Keteguhan 3 - Way Keteguhan 1	Way Keteguhan 2 - Way Keteguhan 1
		Way Keteguhan 4 - Way Keteguhan 1	
13	Way Sukamaju	Way Sukamaju 2 - Way Sukamaju 4	Way Sukamaju 7 - Way Sukamaju 8
		Way Sukamaju 12 - Way Sukamaju 1	Way Sukamaju 6 - Way Sukamaju 11
			Way Sukamaju 8 - Way Sukamaju 11
			Way Sukamaju 10 - Way Sukamaju 11
			Way Sukamaju 3 - Way Sukamaju 11
			Way Sukamaju 5 - Way Sukamaju 11
		Way Sukamaju 9 - Way Sukamaju 11	
14	Way Gebang	-	-



Gambar 5.1. Delinasi DAS di *overlay* dengan sungai pada Sub DAS Bandar Lampung

5.1.2 Analisis Hidrologi

Data yang didapat dari hasil pengolahan menggunakan *software* Sistem Informasi Geografis berupa data karakteristik DAS yaitu :

1. Panjang sungai (km)
2. Luas DAS (km²)

Dengan beberapa data yang diketahui tersebut, dapat dihitung beberapa parameter HSS Nakayasu. Contoh perhitungan HSS Nakayasu pada DAS Way Simpurn Sub DAS Way Kemiling 1, dijelaskan sebagai berikut dengan data :

- Panjang Sungai (L) : 3.734 km
- Luas DAS : 2.177 km²
- Koef. Pengaliran DAS : 0.4
 - $T_g = 0.21 \times L^{0.7}$ Untuk $L < 15$ km
 $T_g = 0.21 \times 3.734^{0.7} = 0.528$ Jam
 - $T_r = 0.6 \times T_g$
 $T_r = 0.6 \times 0.528 = 0.317$ Jam
 - $T_p = T_g + 0.8 \times T_r$
 $T_p = 0.528 + 0.8 \times 0.317 = 0,78$ Jam
 - $T_{0.3} = \alpha \times T_g$ dimana $\alpha = 1.5 - 3$; nilai $\alpha = 2.95$
 $T_{0.3} = 2.95 \times 0.528 = 1.558$ Jam
 - $Q_p = \frac{A \times R}{3.6(0.3T_p + T_{0.3})}$
 $Q_p = \frac{2.177 \times 1}{3.6(0.3 \times 0.78 + 1.558)} = 1.30$ m³/detik

Parameter hidrograf satuan sintetis Nakayasu tersebut digunakan untuk menghitung ordinat hidrograf pada beberapa waktu yang ditetapkan ($t=0, 1, 2, \dots, n$) seperti diberikan dalam tabel berikut ini.

a. Pada kurva naik

$$0 < t < T_p$$

$$0 < t < 0.78$$

Kurva dihitung dengan persamaan berikut, dan hasilnya diberikan dalam tabel dibawah ini :

$$Q_t = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2.4}$$

$$Q_t = 0,01 \left(\frac{t}{1,06} \right)^{2.4}$$

Tabel 5.2. Kurva naik

Waktu	Kurva Naik	Debit
t	0 < t < T_p	Unit Hidrograf
jam	(t/T_p)^{2.4}	Q_t
		m³/dt
-	-	0,000000
0,016	0,000	0,000028
0,031	0,000	0,000149
0,047	0,001	0,000394
0,062	0,002	0,000785
0,078	0,004	0,001342
0,094	0,006	0,002078
0,109	0,009	0,003008
0,125	0,012	0,004145
0,140	0,016	0,005499
Waktu	Kurva Naik	Debit
t	0 < t < T_p	Unit Hidrograf
jam	(t/T_p)^{2.4}	Q_t
		m³/dt
0,156	0,021	0,007081
0,172	0,026	0,008901
0,187	0,033	0,010968
0,203	0,039	0,013291
0,218	0,047	0,015878
0,234	0,056	0,018738
0,250	0,065	0,021877
0,265	0,075	0,025303
0,281	0,086	0,029024
0,296	0,098	0,033045
0,312	0,111	0,037374
0,328	0,125	0,042017
0,343	0,139	0,046980
0,359	0,155	0,052270
0,374	0,172	0,057891
0,390	0,189	0,063850
0,406	0,208	0,070152
0,421	0,228	0,076802

Waktu	Kurva Naik	Debit
0,437	0,249	0,083807
0,452	0,271	0,091171
0,468	0,293	0,098899
0,484	0,317	0,106997
0,499	0,343	0,115468
0,515	0,369	0,124318
0,530	0,396	0,133552
0,546	0,425	0,143174
0,562	0,455	0,153189
0,577	0,485	0,163601
0,593	0,518	0,174414
0,608	0,551	0,185634
0,624	0,585	0,197263
0,640	0,621	0,209307
0,655	0,658	0,221769
0,671	0,696	0,234653
Waktu	Kurva Naik	Debit
t	$0 < t < T_p$ $(t/T_p)^{2.4}$	Unit Hidrograf Qt m ³ /dt
jam		
0,686	0,736	0,247964
0,702	0,777	0,261705
0,718	0,819	0,275880
0,733	0,862	0,290494
0,749	0,907	0,305549
0,764	0,953	0,321050
0,780	1,000	0,337000

Sumber : Hasil Perhitungan

b. Pada kurva turun ke 1

$$T_p < t < T_p + T_{0.3}$$

$$0.78 < t < 2.338$$

Kurva dihitung dengan persamaan berikut, dan hasilnya diberikan dalam tabel dibawah

ini :

$$Q_r = Q_p \times 0.3^{(t-T_p)/T_{0.3}}$$

$$Q_r = 0,01 \times 0.3^{(t-1.06)/2.104}$$

Tabel 5. 3. Kurva turun ke 1

Waktu	Lengkung Turun	Debit
t	$T_p < t < T_{0,3}$	Unit Hidrograf
jam	$(t-T_p)$ $T_{0,3}$	Q_t m^3/dt
0,795	0,010	0,332993
0,811	0,020	0,329033
0,826	0,030	0,325121
0,842	0,040	0,321255
0,857	0,050	0,317435
0,872	0,060	0,313660
0,888	0,070	0,309931
0,903	0,079	0,306245
0,919	0,089	0,302604
0,934	0,099	0,299006
0,949	0,109	0,295450
0,965	0,119	0,291937
0,980	0,129	0,288466
0,996	0,139	0,285036
1,011	0,149	0,281646
1,026	0,159	0,278297
1,042	0,169	0,274988
1,057	0,179	0,271718
1,073	0,189	0,268487
1,088	0,199	0,265295
1,103	0,209	0,262140
1,119	0,219	0,259023
1,134	0,229	0,255943
1,150	0,238	0,252900
1,165	0,248	0,249893
1,180	0,258	0,246921
1,196	0,268	0,243985
1,211	0,278	0,241084
Waktu	Lengkung Turun	Debit
1,227	0,288	0,238217
1,242	0,298	0,235385
1,257	0,308	0,232586
1,273	0,318	0,229820
1,288	0,328	0,227087
1,304	0,338	0,224387
1,319	0,348	0,221719
1,334	0,358	0,219083
1,350	0,368	0,216478
1,365	0,378	0,213903
1,381	0,387	0,211360
1,396	0,397	0,208847
1,411	0,407	0,206363
1,427	0,417	0,203910

Waktu	Lengkung Turun	Debit
1,442	0,427	0,201485
1,458	0,437	0,199089
1,473	0,447	0,196722
1,488	0,457	0,194383
1,504	0,467	0,192071
1,519	0,477	0,189787
1,535	0,487	0,187531
1,550	0,497	0,185301
1,566	0,505	0,183574
1,581	0,511	0,182100
1,597	0,518	0,180638
1,612	0,525	0,179188
1,628	0,531	0,177750
1,644	0,538	0,176322
1,659	0,545	0,174907
1,675	0,551	0,173503
1,690	0,558	0,172110
1,706	0,565	0,170728
1,722	0,572	0,169357
1,737	0,578	0,167997
1,753	0,585	0,166649
Waktu	Lengkung Turun	Debit
1,768	0,592	0,165311
1,784	0,598	0,163984
1,800	0,605	0,162667
1,815	0,612	0,161361
1,831	0,618	0,160066
1,846	0,625	0,158780
1,862	0,632	0,157506
1,878	0,638	0,156241
1,893	0,645	0,154987
1,909	0,652	0,153742
1,924	0,659	0,152508
1,940	0,665	0,151284
1,956	0,672	0,150069
1,971	0,679	0,148864
1,987	0,685	0,147669
2,002	0,692	0,146484
2,018	0,699	0,145307
2,034	0,705	0,144141
2,049	0,712	0,142984
2,065	0,719	0,141836
2,080	0,725	0,140697
2,096	0,732	0,139567
2,112	0,739	0,138447
2,127	0,746	0,137335
2,143	0,752	0,136233
2,158	0,759	0,135139
2,174	0,766	0,134054

Waktu	Lengkung Turun	Debit
2,190	0,772	0,132978
2,205	0,779	0,131910
2,221	0,786	0,130851
2,236	0,792	0,129801
2,252	0,799	0,128758
2,268	0,806	0,127725
2,283	0,813	0,126699
2,299	0,819	0,125682
2,314	0,826	0,124673
2,330	0,833	0,123672

c. Pada kurva turun ke 2

$$T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1.5 \times T_{0,3}$$

$$0.78 + 1.558 < t < 0.78 + 1.558 + 1.5 \times 0.78$$

$$2.338 < t < 3.896$$

Kurva dihitung dengan persamaan berikut, dan hasilnya diberikan dalam tabel dibawah

ini :

$$Q_t = Q_p \times 0.3^{\left[\frac{(t-T_p) + (0.5 \times T_{0,3})}{(1.5 \times T_{0,3})}\right]}$$

$$Q_t = 0.01 \times 0.3^{\left[\frac{(t-1.06) + (0.5 \times 2.104)}{(1.5 \times 2.104)}\right]}$$

Tabel 5.4. Kurva turun ke 2

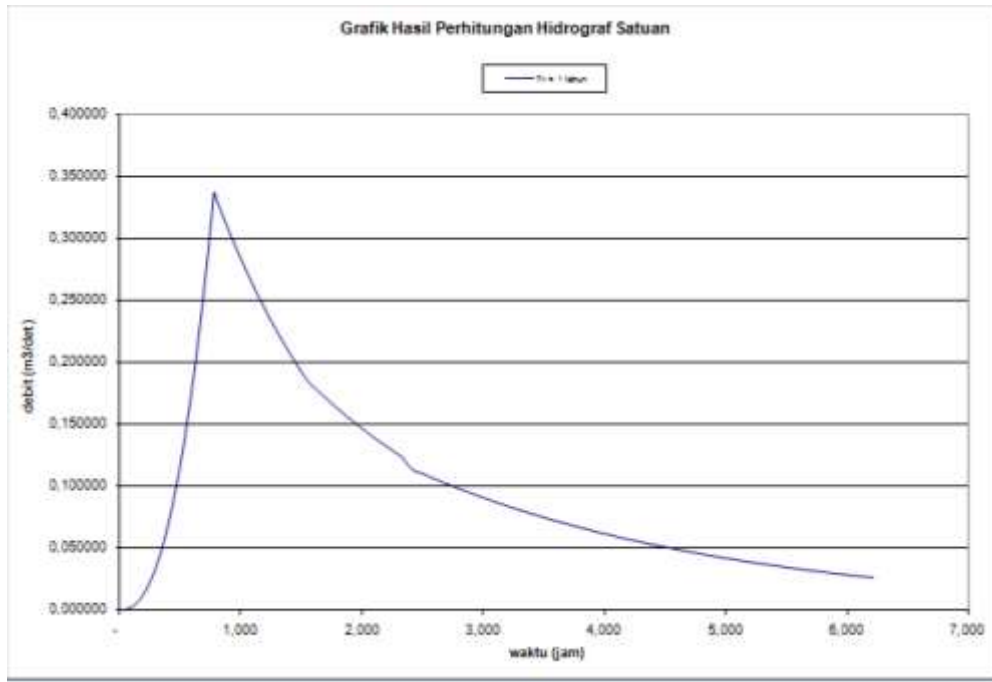
Waktu	Lengkung Turun	Debit
t	$T_{0,3} < t < 1,5T_{0,3}$	Unit Hidrograf
jam	$\frac{(t-T_p+0.5T_p)}{(1.5T_{0,3})}$	Qt m ³ /dt
2,408	0,900	0,114088
2,486	0,925	0,110703
2,563	0,950	0,107419
2,641	0,975	0,104232
2,719	1,000	0,101139
2,797	1,025	0,098138
2,875	1,050	0,095227
2,952	1,075	0,092401
3,030	1,100	0,089660
3,108	1,125	0,087000
3,186	1,150	0,084418
3,264	1,175	0,081914

Waktu	Lengkung Turun	Debit
t	$T_{0,3} < t < 1,5T_{0,3}$	Unit Hidrograf
jam	$(t - T_p + 0,5T_p)$ $(1,5T_{0,3})$	Qt m^3/dt
3,341	1,200	0,079483
3,419	1,225	0,077125
3,497	1,250	0,074837
3,575	1,275	0,072616
3,653	1,300	0,070462
3,730	1,325	0,068371
3,808	1,350	0,066343
3,886	1,375	0,064374
2,408	0,900	0,114088
2,486	0,925	0,110703
2,563	0,950	0,107419
2,641	0,975	0,104232
2,719	1,000	0,101139
2,797	1,025	0,098138
2,875	1,050	0,095227
2,952	1,075	0,092401
3,030	1,100	0,089660
3,108	1,125	0,087000
3,186	1,150	0,084418
3,264	1,175	0,081914
3,341	1,200	0,079483
3,419	1,225	0,077125
3,497	1,250	0,074837
3,575	1,275	0,072616
3,653	1,300	0,070462
3,730	1,325	0,068371
3,808	1,350	0,066343
3,886	1,375	0,064374

Sumber : Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan hidrograf satuan sintesis Nakayasu pada DAS Way Simpur Sub DAS

Way Kemiling 1 dapat dilihat pada Gambar 5.2.

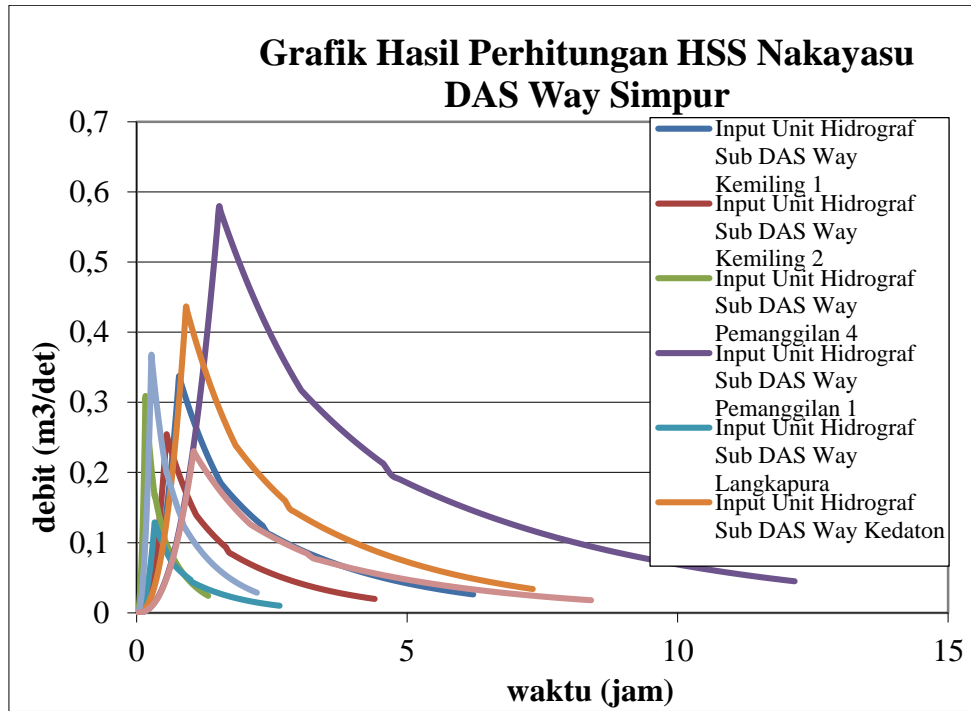


Gambar 5.2. HSS Nakayasu – Sub DAS Way Kemiling 1

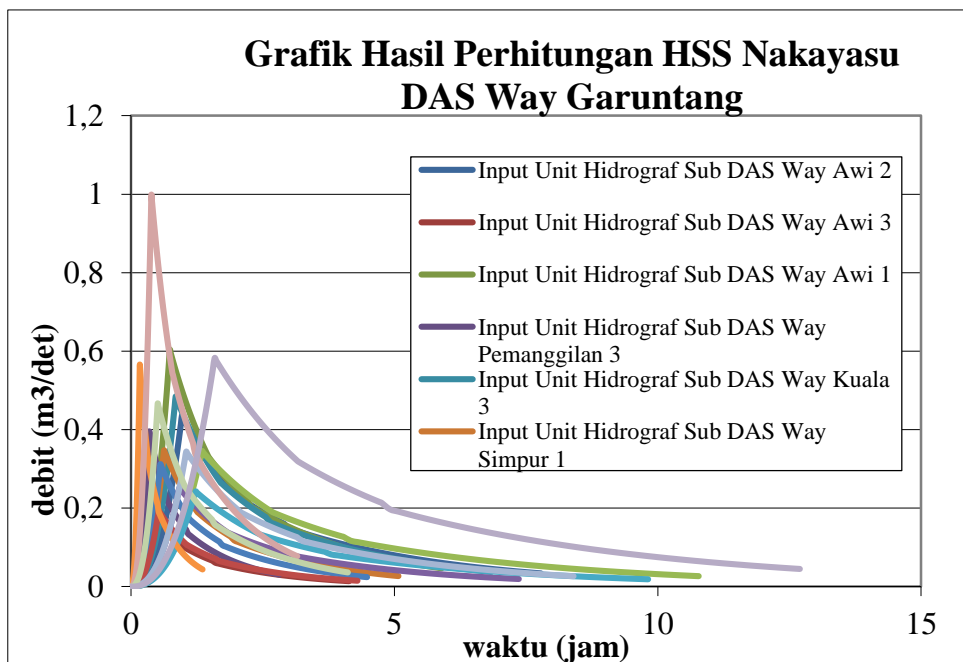
Berdasarkan hasil perhitungan HSS Nakayasu pada DAS Bandar Lampung di dapat nilai komulatif debit puncak (Q_p) sebesar :

1. DAS Way Simpurn = 2,645 m³/detik.
2. DAS Way Garuntang = 6,757 m³/detik.
3. DAS Way Simpang Kanan = 2,297 m³/detik.
4. DAS Way Betung = 1,820 m³/detik.
5. DAS Way Simpang Kiri = 2,077 m³/detik.
6. DAS Way Kuripan = 6,720 m³/detik.
7. DAS Way Kupang = 0,891 m³/detik.
8. DAS Way Kuyit = 0,472 m³/detik.
9. DAS Way Lunik 1 = 1,253 m³/detik.
10. DAS Way Lunik 2 = 0,385 m³/detik.
11. DAS Way Galih = 0,842 m³/detik.
12. DAS Way Keteguhan = 0,936 m³/detik.
13. DAS Way Sukamaju = 2,862 m³/detik.
14. DAS Way Gebang = 0,489 m³/detik.

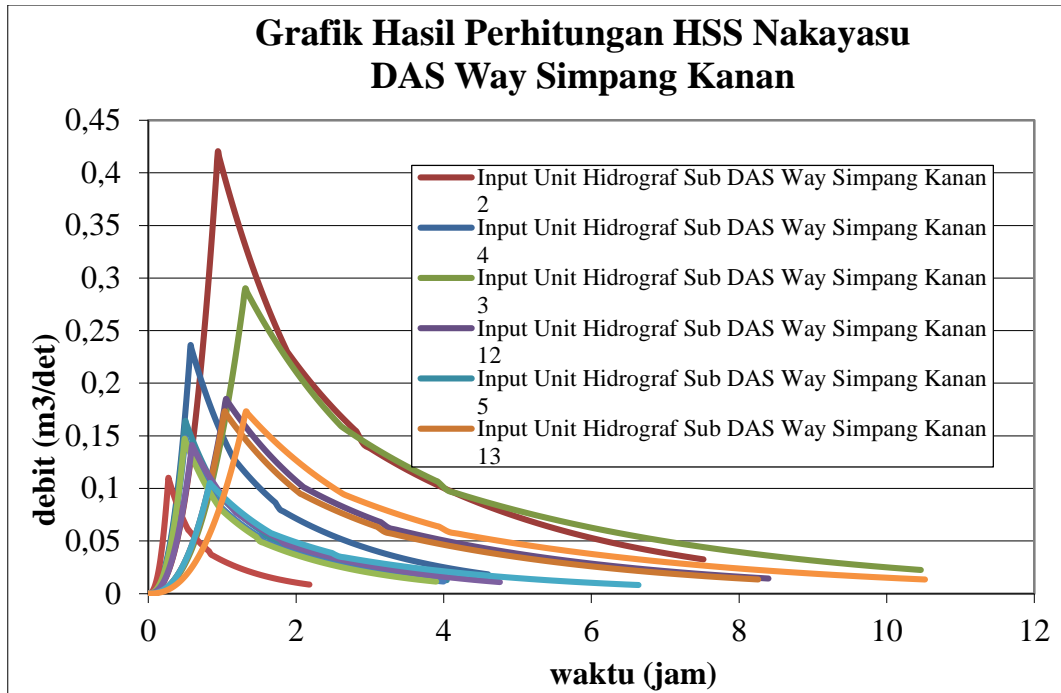
Hasil perhitungan analisis HSS Nakayasu pada DAS Bandar Lampung dapat dilihat pada lampiran B. dan Grafik hasil perhitungan HSS Nakayasu nilai debit puncak pada DAS Bandar Lampung dapat dilihat pada Gambar 5.3 sampai dengan Gambar 5.16.



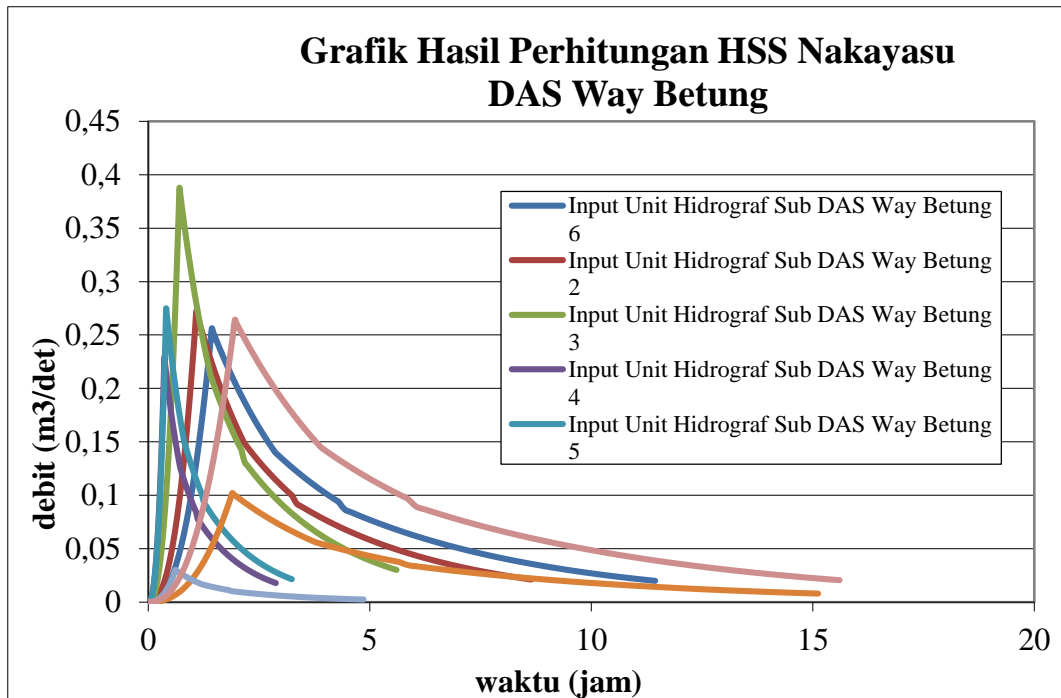
Gambar 5.3 HSS DAS Way Simpurr



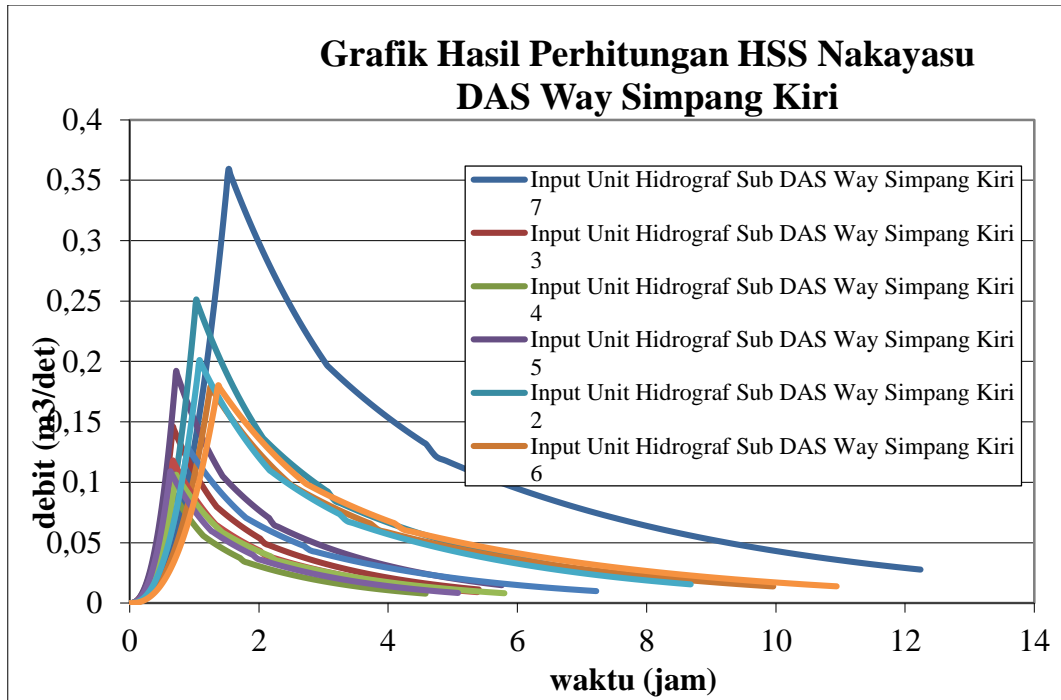
Gambar 5.4 HSS DAS Way Garuntang



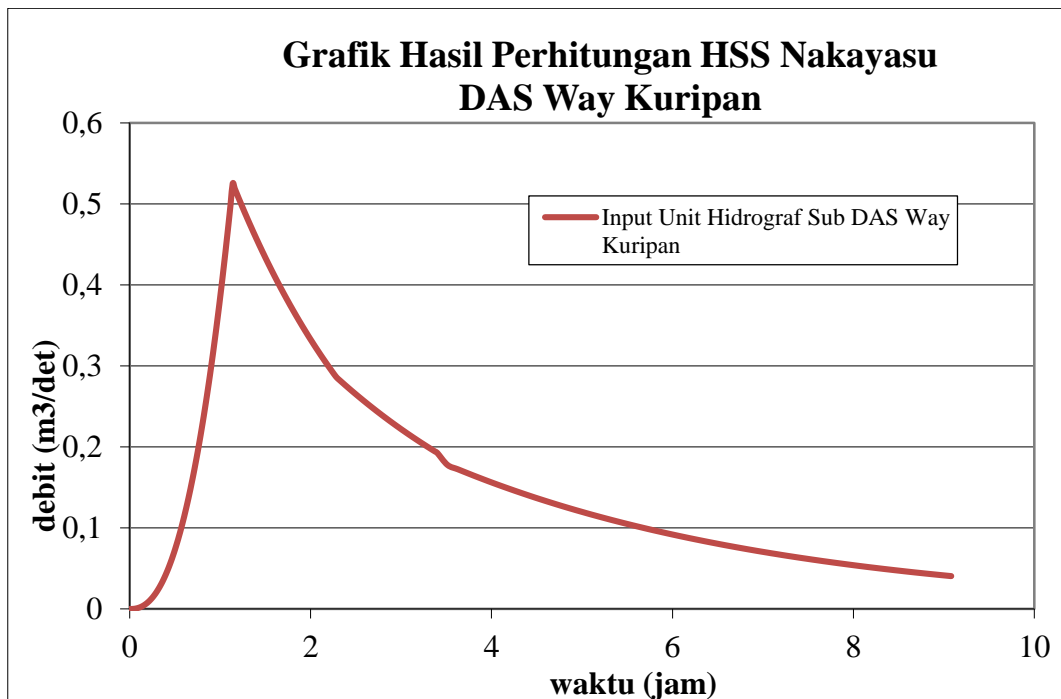
Gambar 5.5 HSS DAS Way Kanan



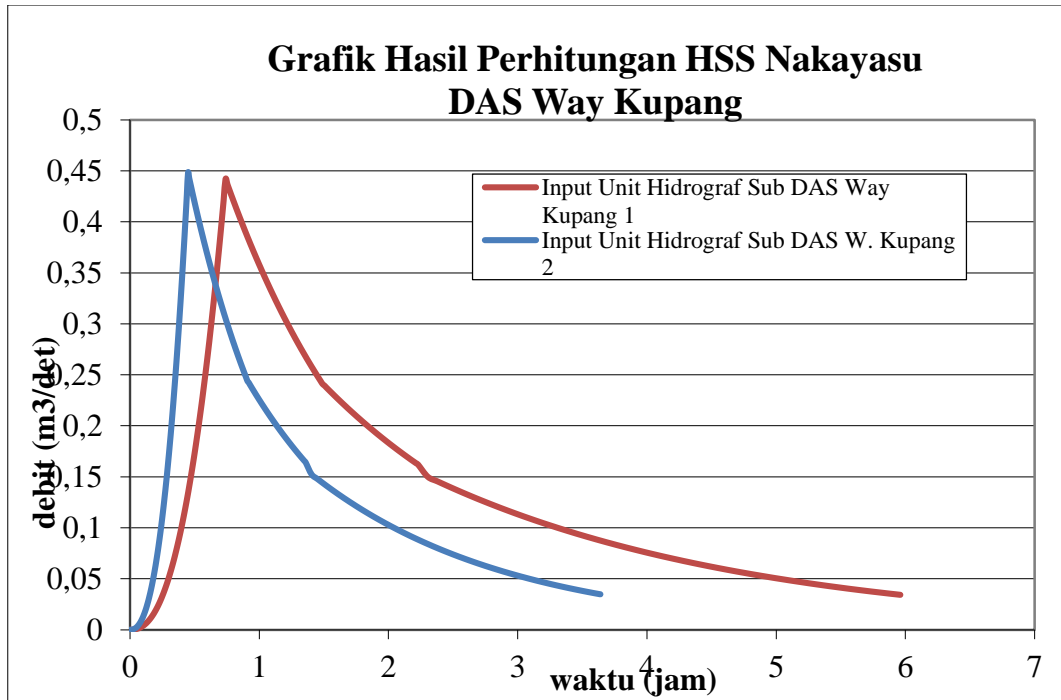
Gambar 5.6 HSS DAS Way Betung



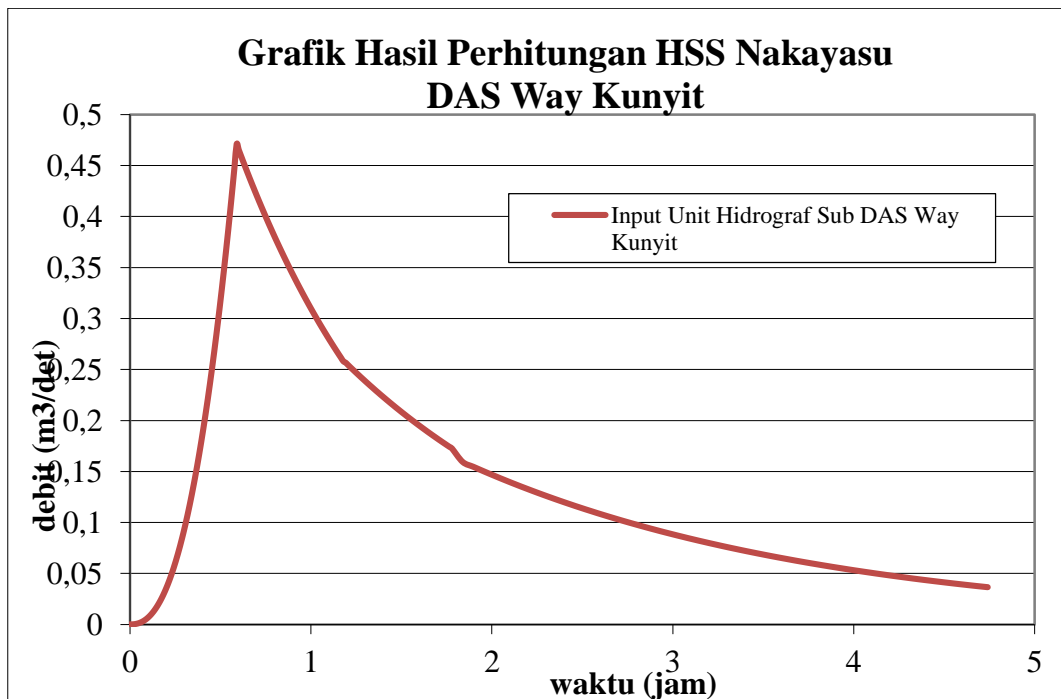
Gambar 5.7 HSS DAS Way Simpang Kiri



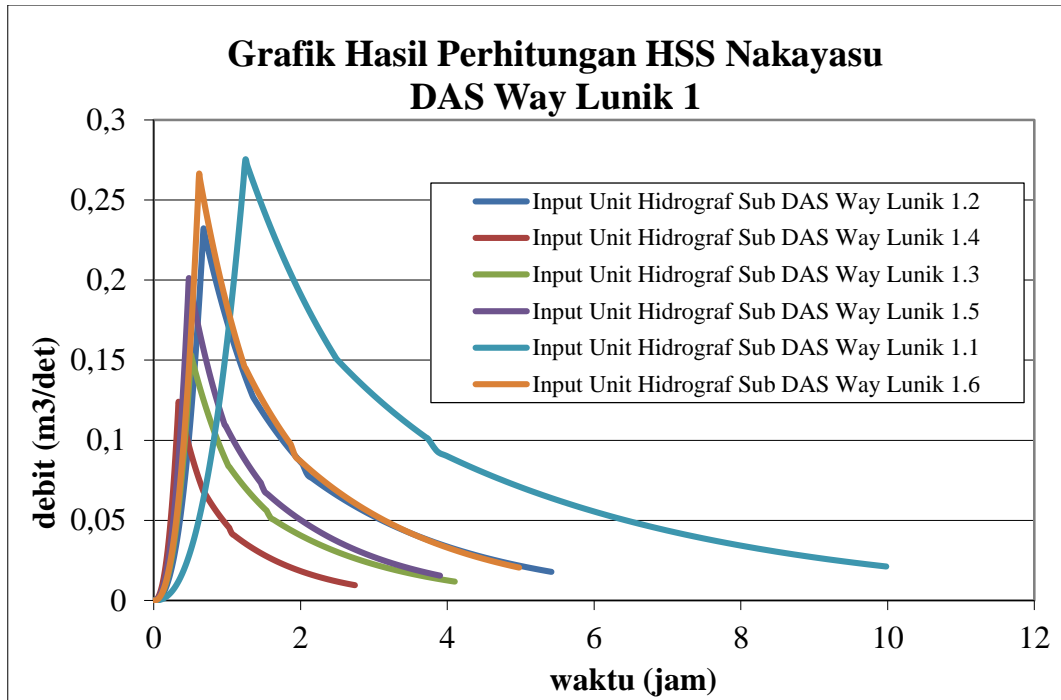
Gambar 5.8 HSS DAS Way Kuripan



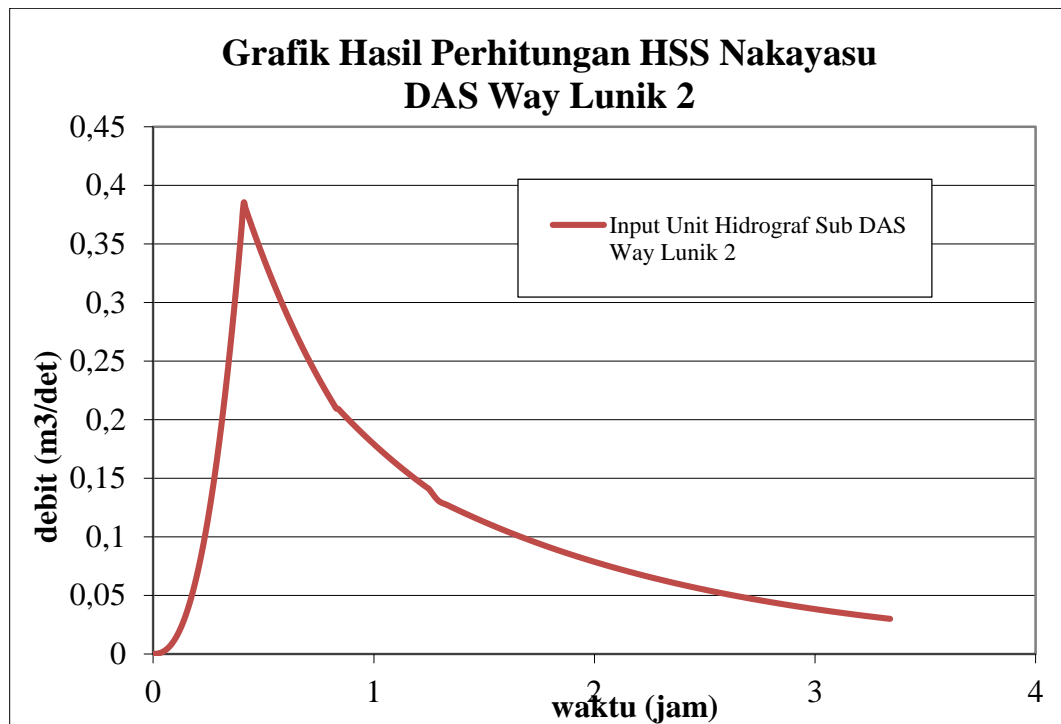
Gambar 5.9 HSS DAS Way Kupang



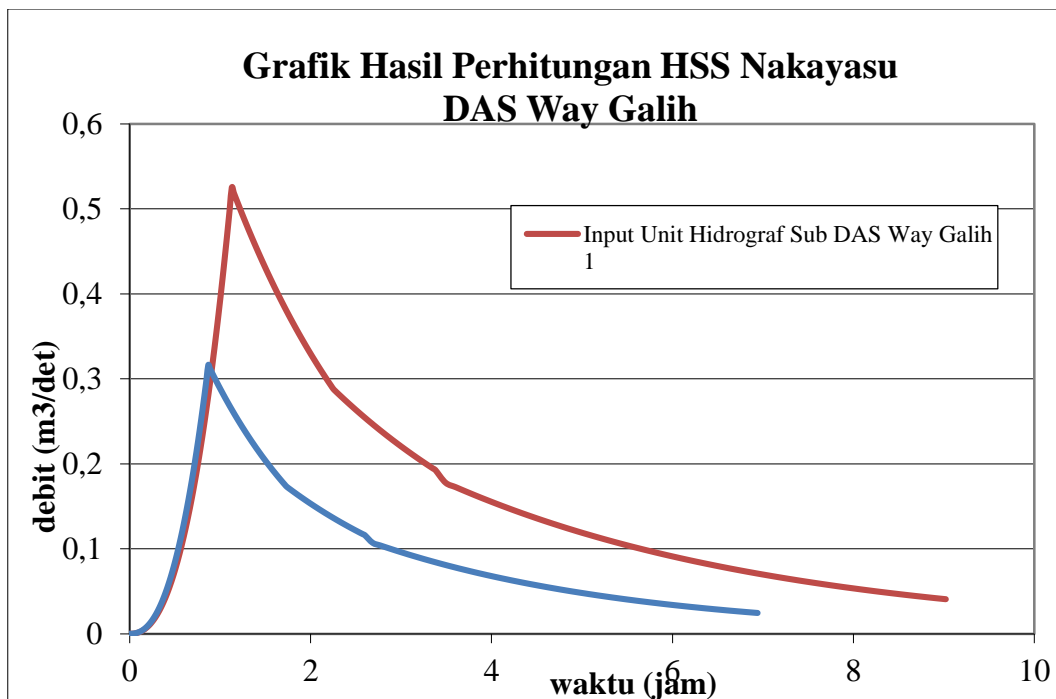
Gambar 5.10 HSS DAS Way Kuyit



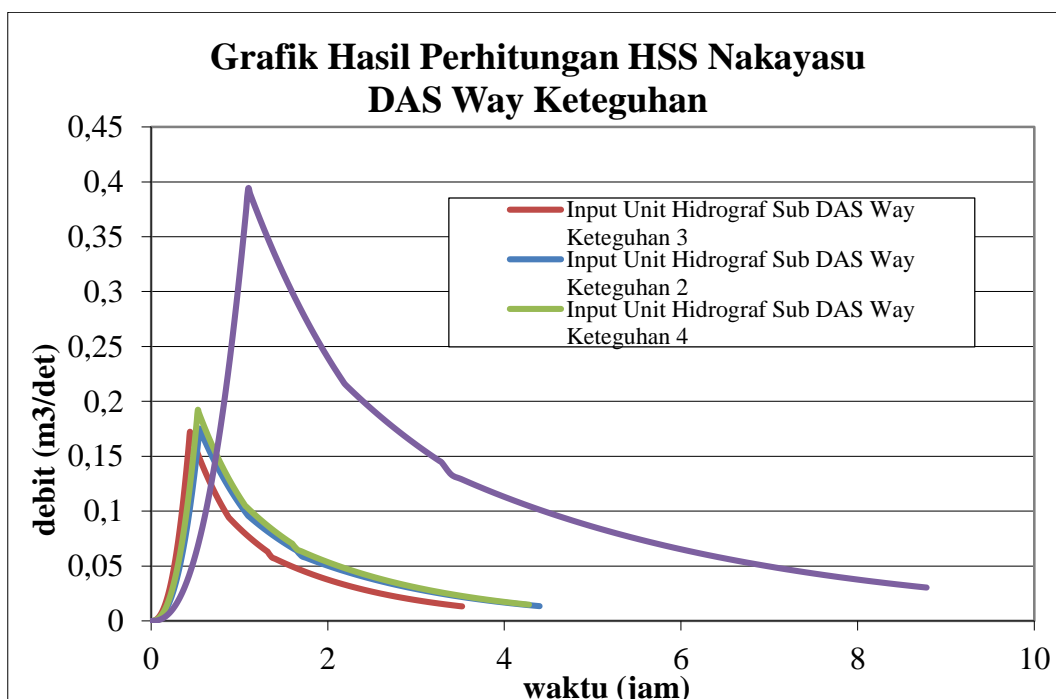
Gambar 5.11 HSS DAS Way Lunik 1



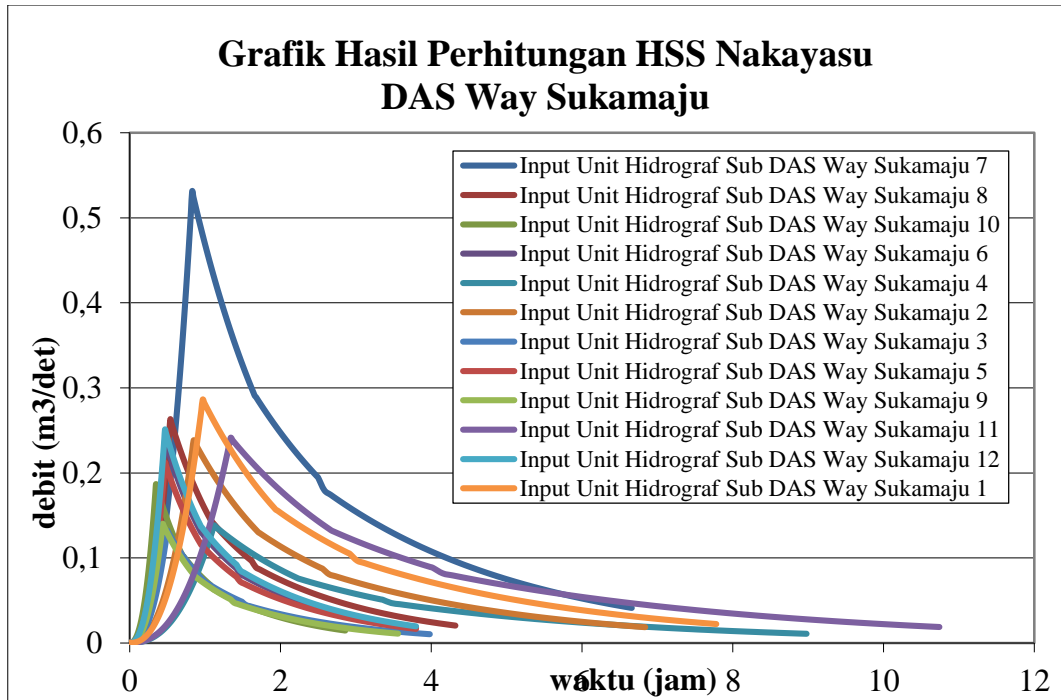
Gambar 5.12 HSS DAS Way Lunik 2



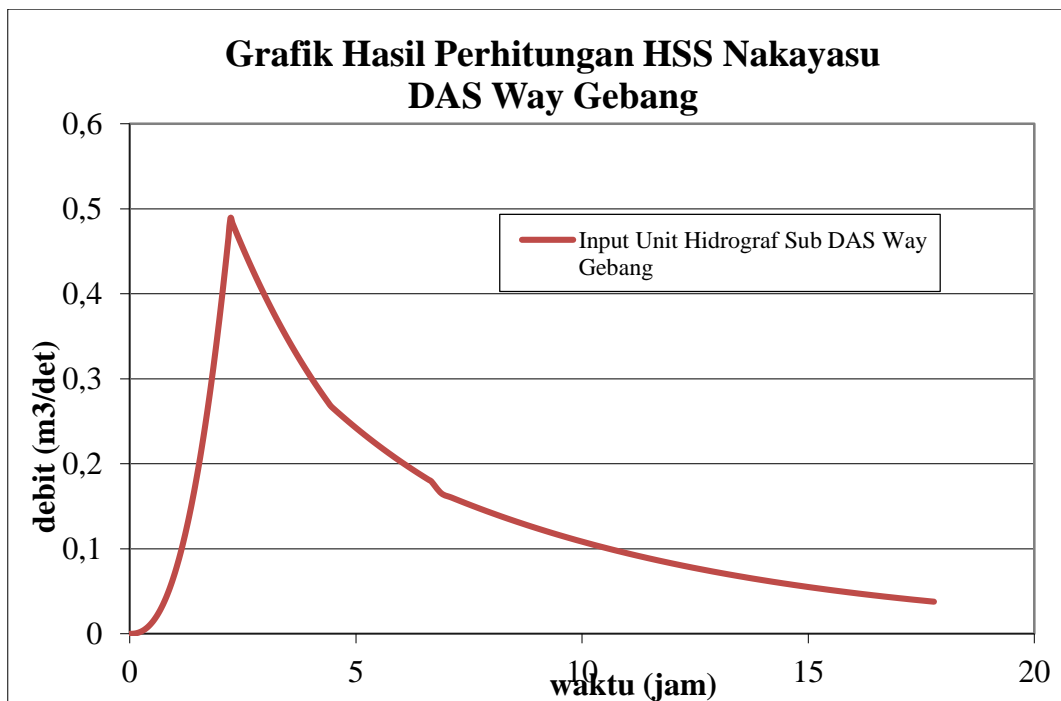
Gambar 5.13 HSS DAS Way Galih



Gambar 5.14 HSS DAS Way Keteguhan



Gambar 5.15 HSS DAS Way Sukamaju



Gambar 5.16 HSS DAS Way Gebang

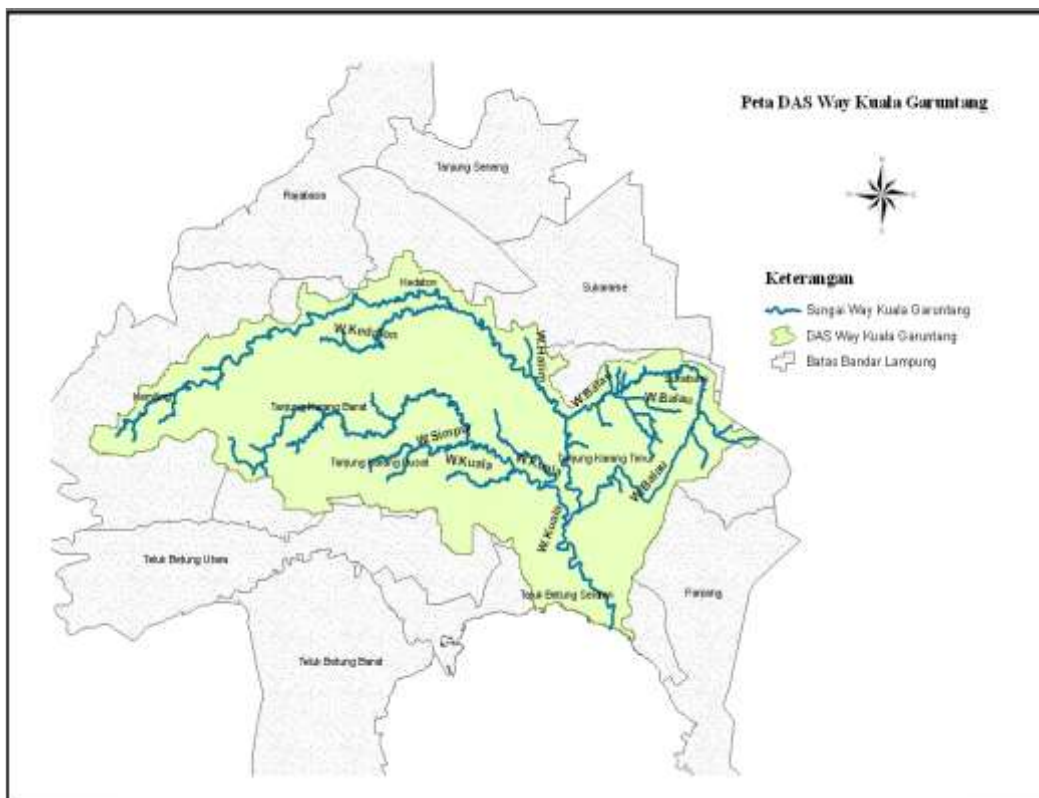
5.2 Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Pada Fluktuasi Debit DAS di Kota Bandar Lampung

Penelitian pengaruh perubahan tata guna lahan pada perubahan debit di DAS di Kota Bandar Lampung, dibatasi pada dua DAS terbesar di Kota Bandar Lampung, yaitu DAS Kuala Garuntang dan DAS Kuripan.

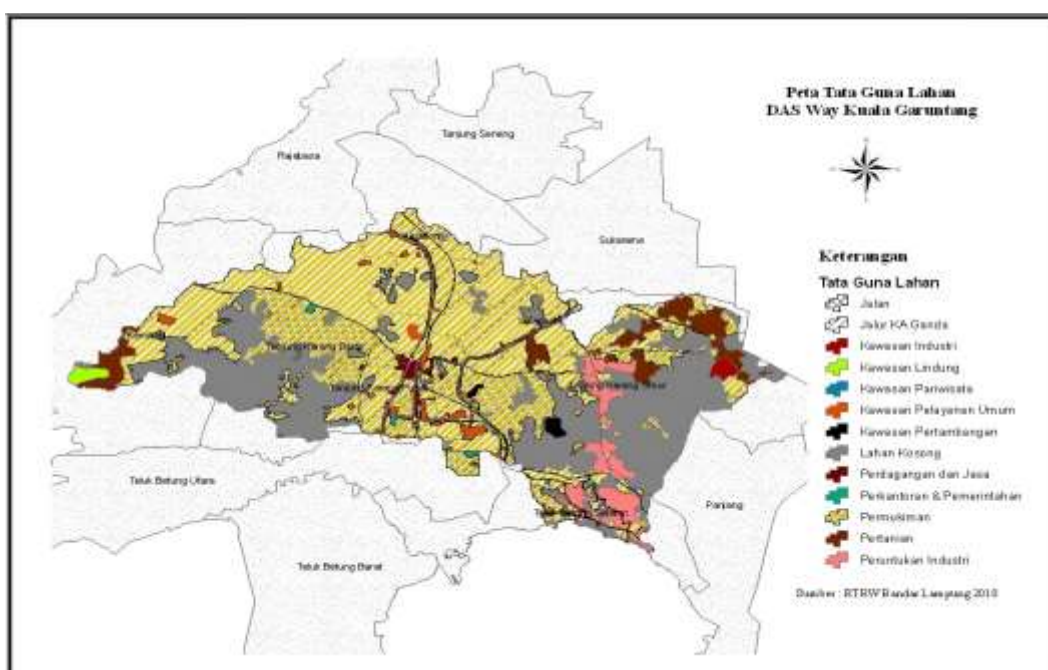
5.2.1 Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan di DAS Kuala Garuntang

A. Analisa Data Spasial

Dari hasil pembentukan sungai Way Kuala Garuntang diketahui bahwa DAS Way Kuala Garuntang Memiliki 11 anak sungai yaitu Way Kemiling, Way Langkapura, Way Pemanggilan, Way Balau, Way Kedaton, Way Penengahan, Way Awi, Way Simpurn, Way Halim, Way Kedamaian, dan Way Kuala. Dan Setelah menambahkan dengan layer batas administrasi pada peta diketahui bahwa hulu sungai berada pada kecamatan kemiling dan hilir sungai berada pada kecamatan teluk betung selatan. Gambar peta sungai Way Kuala Garuntang merupakan hasil spasial dari tahap pembentukan sungai ini Dari hasil pembentukan DAS Way Kuala Garuntang dapat diketahui bahwa luas DAS Way Kuala Garuntang adalah 60,39 km². Hasil dari pembentukan sungai dan DAS Way Kuala Garuntang dapat dilihat pada Gambar 5.17 Data Tutupan Lahan DAS Way Kuala Garuntang dibuat berdasarkan data RTRW Bandar Lampung tahun 2010. Setelah menampilkan layer tutupan lahan dan layer DAS Way kuala garuntang, dilakukan pemotongan pada layer tutupan lahan, sehingga didapatkan tutupan lahan sesuai dengan luas DAS Way Kuala Garuntang Dari tahap pembentukan data tutupan lahan ini didapatkan 11 jenis tutupan lahan pada DAS Way Kuala Garuntang, dengan 0,4% pertambangan, 54,14% pemukiman, 4,10% peruntukan industri, 31,22% lahan kosong, 1,79% daerah perdagangan dan jasa, 0,23% perkantoran pemerintahan, 0,04% kawasan pariwisata, 0,38% kawasan industri, 0,46% kawasan lindung, 4,72% lahan pertanian , 1,26% merupakan kawasan pelayanan umum, 1,16% areal jalan dan 0,07% merupakan jalur kereta api ganda dari luas DAS Way Kuala Garuntang sebesar 60,392 km². Hasil dari pembentukan tutupan lahan DAS Way Kuala Garuntang dapat dilihat pada Gambar 5.18



Gambar 5.17 DAS Way Kuala Garuntang



Gambar 5.18 Kondisi Eksisting Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang

B. Analisa Hidrologi

1. Penyiapan Data Curah Hujan

Penentuan stasiun curah hujan yang datanya akan dipakai untuk menentukan curah hujan rata-rata DAS dengan terlebih dahulu mensurvey titik stasiun curah hujan menggunakan GPS (*global positioning system*) untuk diplotkan pada koordinat peta. Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat pada tabel berikut. Dari data diatas setelah diplot kedalam peta dasar, daerah penelitian tepat berada di antara stasiun curah hujan dan sepenuhnya dipengaruhi oleh stasiun tersebut, sehingga dengan ini maka data curah hujan dari 4 stasiun tersebut yang akan dipakai dalam penelitian ini.

Tabel 5.5. Koordinat Stasiun Curah Hujan DAS Way Kuala Garuntang

No	Nama Stasiun	Koordinat
1	PH-001	X = 529317 Y = 9399387
2	PH-003	X = 532121 Y = 9403604
3	PH-004	X = 537328 Y = 9398872
4	PH-005	X = 523794 Y = 9402646

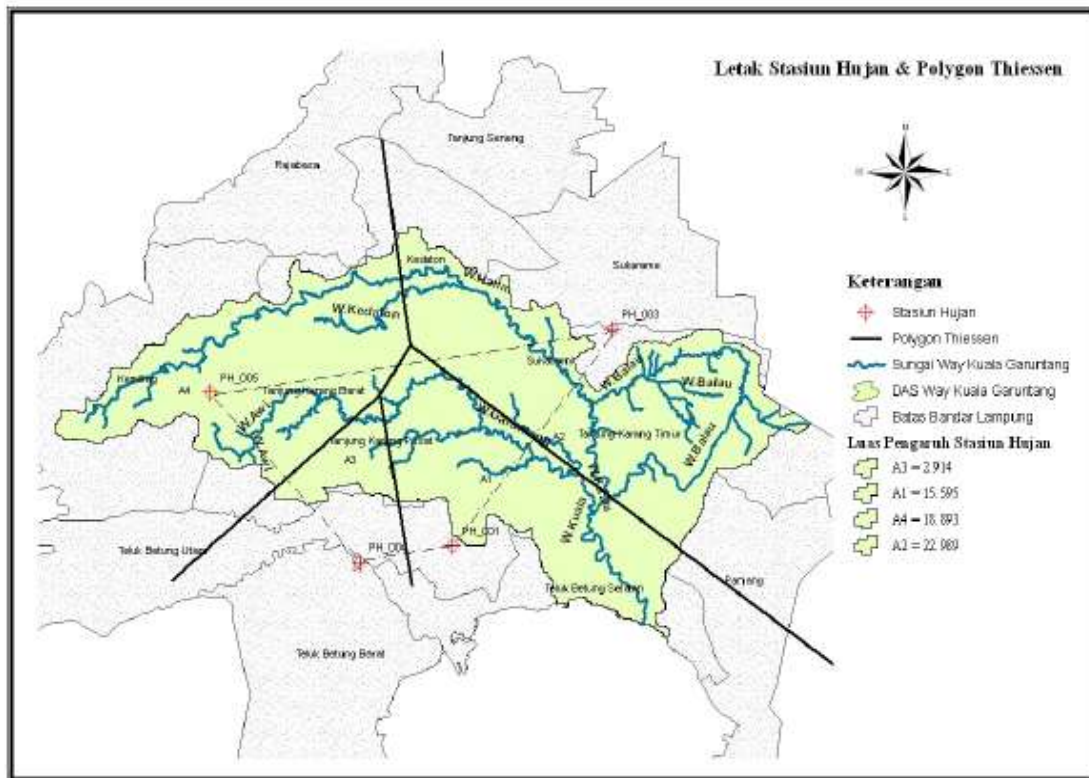
Keempat stasiun hujan yang telah diplotting ke dalam arcGIS bisa dilihat pada Gambar 5.19.

2. Penentuan Luas Pengaruh Stasiun Hujan

Penentuan Luas Pengaruh Stasiun Hujan dalam penelitian ini dihitung menggunakan metode Poygon Thiessen. Peta Poligon Thiessen dibuat dengan menggunakan create polygon thiessen, yaitu dengan melakukan tumpang susun antara Peta Wilayah DAS dengan letak stasiun pengamatan hujan . Dengan demikian, akan diketahui persentase pengaruh luasan wilayah curah hujan tertentu terhadap luasan wilayah masing-masing DAS. Dari gambar 5.19 terlihat bahwa DAS Kuala Garuntang dipengaruhi curah hujan pada stasiun pengamatan PH001, PH003, PH004 dan PH005.

Tabel 5.6 Luas Pengaruh Stasiun Hujan Terhadap DAS Stasiun

No	Nama Stasiun	Koordinat
1	PH-001	X = 529317 Y = 9399387
2	PH-003	X = 532121 Y = 9403604
3	PH-004	X = 537328 Y = 9398872
4	PH-005	X = 523794 Y = 9402646



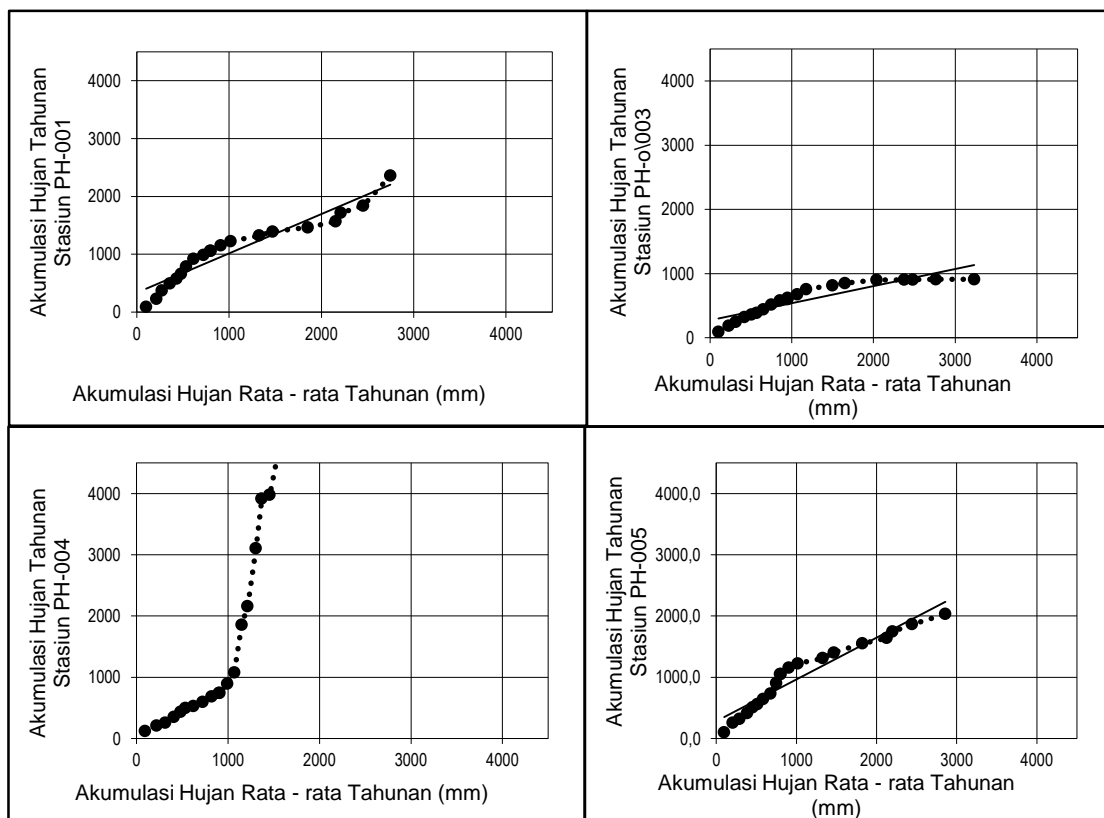
Gambar 5.19. Letak Stasiun Hujan dan Polygon Thiessen

3. Melengkapi Data Curah Hujan dan Uji Konsistensi

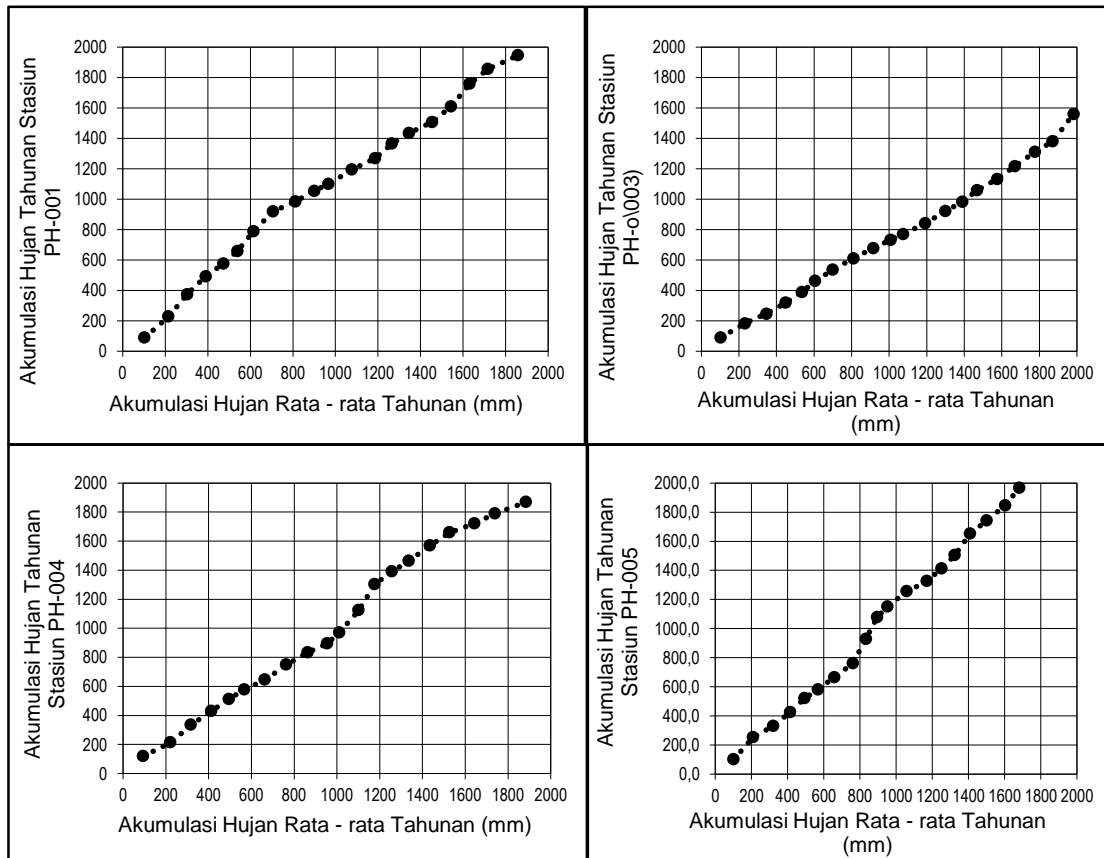
Dari data curah hujan yang ada perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode *reciprocal method*. Cara ini dilakukan dengan memperhitungkan jarak antar stasiun. Persamaan yang digunakan adalah :

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{p_i}{L_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i^2}}$$

Data curah hujan yang sudah dilengkapi selanjutnya akan dilakukan uji konsistensi untuk mendapatkan factor koreksi. Gambar 5.20 memperlihatkan bentuk kurva massa ganda dari data hujan yang belum dilengkapi dan dikoreksi. Sedangkan pada Gambar 5.21 memperlihatkan bentuk kurva massa ganda dari data hujan yang telah dilengkapi.



Gambar 5.20 Kurva Massa Ganda Data Curah Hujan Awal



Gambar 5.21 Kurva Massa Ganda Data Curah Hujan (Data Terkoreksi)

4. Analisis Curah Hujan Area

Analisis ini dimaksudkan untuk mengetahui curah hujan rata-rata yang terjadi pada daerah tangkapan (*catchment area*) tersebut, yaitu dengan menganalisis data curah hujan maksimum yang didapat dari empat stasiun hujan. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah Metode Poligon Thiessen seperti Persamaan berikut ini (Triatmodjo, 2008) :

$$P_{rerata} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Dengan:

- P_{rerata} = hujan rerata kawasan
- P_1, P_2, P_n = hujan pada stasiun kawasan 1.2.n
- A_1, A_2, A_n = luas daerah yang mewakili stasiun 1,2,3 n

Tabel 5.7 Curah Hujan Rerata Harian Maksimum Tahunan DAS Way Kuala Garuntang

Tahun	Curah Hujan (mm)
2010	77,22
2009	72,83
2008	94,42
2007	43,68
2006	81,91
2005	71,61
2004	74,66
2003	70,76
2002	68,31
2001	63,59
2000	30,95
1999	69,60
1998	40,26
1997	58,04
1996	71,30
1995	96,70
1994	72,02
1993	95,08
1992	65,61
1991	78,85

5. Pengukuran Dispersi

Besarnya dispersi dapat dilakukan pengukuran dispersi, yakni melalui perhitungan parametrik statistik untuk $(X_i - X_r)$, $(X_i - X_r)^2$, $(X_i - X_r)^3$, $(X_i - X_r)^4$ terlebih dahulu. Pada Tabel 5.8, dapat dilihat bahwa nilai koefisien Skewness (C_s) sebesar - 0,60 dan nilai koefisien kurtosis (C_k) sebesar 3,92. Nilai ini digunakan untuk memilih jenis sebaran, yaitu dengan membandingkan nilainya terhadap parameter pemilihan distribusi.

Tabel 5.8 Parameter Statistik Curah Hujan

Tahun	Ri	(Ri -Rt)	(Ri -Rt) ²	(Ri -Rt) ³	(Ri-Rt) ⁴
1991	77,2	7,3	53,97	396,54	2913,25
1992	72,8	3,0	8,78	26,02	77,11
1993	94,4	24,6	602,91	14804,10	363504,20
1994	43,7	-26,2	686,06	-17969,71	470675,30
1995	81,9	12,0	145,01	1746,27	21028,85
1996	71,6	1,7	3,02	5,26	9,15
1997	74,7	4,8	22,97	110,07	527,52
1998	70,8	0,9	0,80	0,71	0,63
1999	68,3	-1,6	2,44	-3,81	5,95
2000	63,6	-6,3	39,43	-247,61	1554,83
2001	31,0	-38,9	1514,62	-58946,28	2294079,68
2002	69,6	-0,3	0,07	-0,02	0,01
2003	40,3	-29,6	876,63	-25955,20	768480,02
2004	58,0	-11,8	139,91	-1654,98	19575,96
2005	71,3	1,4	2,05	2,93	4,19
2006	96,7	26,8	719,81	19311,94	518124,87
2007	72,0	2,1	4,62	9,93	21,35
2008	95,1	25,2	635,35	16014,76	403670,65
2009	65,6	-4,3	18,16	-77,42	329,95
2010	78,8	9,0	80,62	723,84	6499,12
Jumlah	1397,4	0,0	5557,2	-51702,7	4871082,6
Rerata	69,9				
SD (σ)	17,10				
Cv	0,24				
Cs	-0,60				
Ck	3,92				

6. Pemilihan Sebaran

Berdasarkan hitungan parameter ditetapkan bahwa jenis distribusi untuk menghitung curah hujan rancangan dengan berbagai kala ulang, yang cocok dengan sebaran data curah hujan harian maksimum di DAS Way Kuala Garuntang adalah distribusi Log Pearson Type III (Tabel 5.9). Hal ini ditunjukkan oleh nilai parameter statistik yang diperoleh tidak mengikuti distribusi untuk dua metode lainnya.

Tabel 5.9. Analisis Jenis Sebaran

Jenis Distribusi	Syarat	Hasil	Keterangan
Metode Normal	$C_s \approx 0$	-0,60	Tidak Memenuhi
	$C_k \approx 3$	3,92	Tidak Memenuhi
Metode Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$	-0,60	Tidak Memenuhi
	$= 3,011$		
	$C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$	3,92	Tidak Memenuhi
$= 38,05$			
Metode Gumbel	$C_s \leq 1,14$	-0,60	Tidak Memenuhi
	$C_k \leq 5,4$	3,92	Tidak Memenuhi
Metode Log Pearson III	$C_s \neq 0$	-0,60	Memenuhi

7. Pengujian Kecocokan Sebaran

Pengujian kecocokan sebaran menggunakan metode Chi-kuadrat dan smirnov kolmogorov.

a. Uji Chi-Kuadrat

$$\begin{aligned}
 G &= 1 + (3,22 \text{ Log } n) \\
 &= 1 + (3,22 \text{ Log } 20) \\
 &= 5,1919 \approx 6DK = G - (R + 1) \\
 &= 6 - (2 + 1) = 3
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 5.10. Dari perhitungan, diperoleh nilai Chi-kuadrat X^2 hitung = 5,2 untuk kedua DAS. Batas kritis nilai Chikuadrat untuk $dk = 3$, dengan $\alpha = 5\%$ dari tabel Chi-kuadrat : $X^2_{cr} = 12,592$. Terlihat bahwa X^2 hitung < X^2_{cr} . Ini berarti bahwa pemilihan jenis distribusi Log Pearson Type III sudah memenuhi syarat.

Tabel 5.10 Uji Chi Square

Batas Kelas	EF	OF	(EF - OF)	(EF - OF) ² /EF
1,459123 - 1,54562	3,333333	3	0,33333333	0,03333333
1,54562 - 1,632117	3,333333	5	-1,66666667	0,83333333
1,632117 - 1,718613	3,333333	6	-2,66666667	2,13333333
1,718613 - 1,80511	3,333333	1	2,33333333	1,63333333
1,80511 - 1,891607	3,333333	3	0,33333333	0,03333333
1,891607 - 1,978104	3,333333	2	1,33333333	0,53333333
		20		5,2

b. Uji Smirnov Kolmogorov

Hasil perhitungan uji kecocokan sebaran dengan metode Smirnov Kolmogorov ditunjukkan dalam Tabel 5.11. Dari perhitungan diatas, diperoleh nilai Δ_{max} hitung = 0,1002. Batas kritis nilai Δ_{cr} untuk $n = 20$, dengan $\alpha = 5\%$ dari tabel Smirnov kolmogorof yaitu, $\Delta_{cr} = 0,290$. Nilai Δ_{max} hitung $< \Delta_{cr}$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa H_0 terima. Hal ini berarti bahwa distribusi observasi (pengamatan) dan distribusi teoritis (yang diharapkan) tidak berbeda secara nyata atau dapat dinyatakan pola distribusi Log Pearson Type III.

Tabel 5.11 Uji Smirnov Kolmogorov

M	Xi	Px	P(X<)	P'X	P'(X<)	Δ
1	77,21734	0,047619	0,952381	0,052632	0,947368	0,005013
2	72,83396	0,095238	0,904762	0,105263	0,894737	0,010025
3	94,42489	0,142857	0,857143	0,157895	0,842105	0,015038
4	43,6779	0,190476	0,809524	0,210526	0,789474	0,02005
5	81,91275	0,238095	0,761905	0,263158	0,736842	0,025063
6	71,60972	0,285714	0,714286	0,315789	0,684211	0,030075
7	74,66307	0,333333	0,666667	0,368421	0,631579	0,035088
8	70,76245	0,380952	0,619048	0,421053	0,578947	0,0401
9	68,30882	0,428571	0,571429	0,473684	0,526316	0,045113
10	63,59117	0,47619	0,52381	0,526316	0,473684	0,050125
11	30,95246	0,52381	0,47619	0,578947	0,421053	0,055138
12	69,59718	0,571429	0,428571	0,631579	0,368421	0,06015
13	40,26267	0,619048	0,380952	0,684211	0,315789	0,065163
14	58,04207	0,666667	0,333333	0,736842	0,263158	0,070175
15	71,30099	0,714286	0,285714	0,789474	0,210526	0,075188
16	96,69986	0,761905	0,238095	0,842105	0,157895	0,080201
17	72,02008	0,809524	0,190476	0,894737	0,105263	0,085213
18	95,07677	0,857143	0,142857	0,947368	0,052632	0,090226
19	65,6086	0,904762	0,095238	1,000000	0,000000	0,095238
20	78,84931	0,952381	0,047619	1,052632	-0,05263	0,100251
				Δ_{maks}		0,100251

8. Curah Hujan Rencana

Berdasarkan analisis frekuensi yang dilakukan pada data curah hujan harian maksimum diperoleh bahwa jenis distribusi yang paling cocok dengan sebaran data curah hujan harian maksimum DAS Way Kuala Garuntang adalah distribusi Log Pearson Type III.

Untuk itu, data curah hujan harian maksimum yang diperoleh diubah dalam bentuk logaritmik sehingga parameter statistik berubah. Tujuan pengukuran curah hujan rencana adalah untuk mendapatkan curah hujan periode ulang tertentu yang akan digunakan untuk mencari debit banjir rencana. Dari perhitungan parameter pemilihan distribusi curah hujan untuk menghitung curah hujan rencana digunakan metode Distribusi Log Pearson Tipe III. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai Cs adalah untuk DAS Way KualaGaruntang adalah -0,601. Oleh karna itu, dihitung nilai k untuk masingmasing periode ulang, menggunakan nilai k pada tabel distribusi log Pearson Tipe III kemencengan positif (Triatmodjo, 2008 sesuai nilai Cs).

Tabel 5.12. Curah Hujan Rencana

Periode Ulang (T)	2	5	10	25	50	100	200
Hujan (mm)	68,521	76,964	81,117	85,297	87,842	90,021	91,915

9. Pola Distribusi Hujan

Untuk dapat mengubah hujan rancangan ke dalam besaran hujan jam-jaman perlu didapatkan terlebih dahulu suatu pola distribusi hujan jam-jaman. Pola distribusi untuk DAS Way Kuala Garuntang didapat dengan melakukan pengamatan dari kejadian-kejadian hujan besar. Dengan mereratakan pola distribusi hujan hasil pengamatan tersebut, kemudian didapatkan pola distribusi rerata yang selanjutnya dianggap mewakili kondisi hujan dan dipakai sebagai pola untuk mendistribusikan hujan rancangan menjadi besaran hujan jam-jaman. Analisa pola distribusi hujan dihitung menggunakan data curah hujan kotabaru dan panjang. Dari hasil perhitungan didapatkan pola distribusi hujan yang 90% hujan di Bandar Lampung terjadi pada 3 jam, 4 jam, 5 jam, 6 jam, 7 jam, 8 jam, 9 jam dan 13 jam. Namun, kejadian terbanyak 90% hujan terjadi pada 3 jam, 4 jam dan 5 jam. Pada Tabel 5.13 sampai dengan Tabel 5.15.

Dari tahap ini diketahui bahwa 90% hujan di Bandar Lampung terjadi dalam waktu 4 jam dengan pola distribusi 40% di jam pertama, 40% di jam kedua, 15% di jam ketiga dan 5% di jam keempat.

10. Intensitas Curah Hujan

Perhitungan intensitas curah hujan ini menggunakan pola distribusi hujan yang telah didapatkan dan hasil perhitungan intensitas curah hujan disajikan pada Tabel 5.16.

Tabel 5.13 Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman Selama 3 Jam

Tanggal	Hujan Jam Ke-1	Hujan Jam Ke-2	Hujan Jam Ke-3	Tinggi Hujan 24 jam	Total hujan jam2an	% dlm 1 hr	% jam ke-1	% jam ke-2	% jam ke-3
26-01-11	44,8	11,0	1,4	58,4	57,2	98	78	19	2
28-01-11	0,4	19	0,6	36,6	20	54,64	2	95	3
27-01-11	20,6	10,6	3,6	34,8	34,8	100	59	30	10
29-01-11	45	25,8	2,2	75	73	97,33	61,64	35,34	3,014
9-06-01	28,7	0,5	0,7	34,4	29,9	86,92	95,99	1,67	2,34
18-07-01	20	2	5	33	27	81,82	60,61	6,06	15,15
16-01-04	20	34,2	3,6	72,0	57,8	80,28	34,60	59,17	6,23
28-02-04	19	10	0,8	29,8	29,8	100	63,76	33,56	2,68
5-03-05	34	3,5	0,3	37,8	37,8	100	89,95	9,26	0,79
24-08-05	34,4	22	11,3	67,7	67,7	100	50,81	32,50	16,69
17-12-06	2	53	4,8	59,8	59,8	100	3,34	88,63	8,03
26-12-03	51,5	4	13,7	69,2	69,2	100	74,42	5,78	19,80
26-12-09	18,97	16,60	49,43	85,0	100,00	0,00	22,32	19,53	58,15
27-06-09	4,04	35,42	1,08	43,5	40,54	93,19	9,97	87,38	2,66
13-02-10	0,54	20,21	2,80	37	23,5	63,51	2,13	85,96	11,91
23-01-07	23,5	6,8	9,8	40,1	40,1	100	58,60	16,96	24,44
6-04-07	40	60,6	3,5	104,1	104,1	100	38,42	58,21	3,36
11-03-07	4	28,7	14,3	47	47	100	8,51	61,06	30,43
1-01-08	2,2	14	19,1	35,4	35,3	99,7	6,23	39,66	54,11
20-01-08	0,6	55,4	2,4	58,4	58,4	100	1,03	94,86	4,11
9-02-08	24	22	0,6	46,6	46,6	100	51,50	47,21	1,29
15-02-10	28,4	42,2	0,2	75,6	70,8	93,65	40,11	59,60	0,28
13-04-10	23,2	30	0,2	53,4	53,4	100	43,45	56,18	0,37
6-06-10	8,4	31,8	0,4	40,8	40,6	99,51	20,69	78,33	0,99
9-06-10	0,8	28,8	3,4	33	33	100	2,42	87,27	10,30
11-06-10	4,4	32	4,8	41,2	41,2	100	10,68	77,67	11,65
18-07-10	13,2	15,6	0,4	35,6	29,2	82,02	45,21	53,42	1,37
04-12-10	15,8	21	0,6	37,8	37,4	98,94	42,25	56,15	1,60

Tabel 5.14 Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman Selama 4 Jam

Tanggal	Hujan Jam Ke-1	Hujan Jam Ke-2	Hujan Jam Ke-3	Hujan Jam Ke-4	Tinggi Hujan 24 jam	total hujan jam2an	% dlm 1 hr	% jam ke-1	% jam ke-2	% jam ke-3	% jam ke-4
17-07-01	10,2	10	0,4	5,4	26	26,0	100,0	39,2	38,5	1,5	20,8
19-02-03	42,8	5,2	0,8	0,2	49	49,0	100,0	87,3	10,6	1,6	0,4
05-10-03	45	49	46,9	4,9	145,8	145,8	100,0	30,9	33,6	32,2	3,4
05-12-03	25	8,5	4	2,5	40	40,0	100,0	62,5	21,3	10,0	6,3
21-02-04	0,2	15,2	16,1	1,2	37,7	32,7	86,7	0,6	46,5	49,2	3,7
13-04-10	5,43	64,28	14,40	0,09	84,2	84,2	100,0	6,4	76,4	17,1	0,1
9-04-11	6	68,3	1,9	0,2	76,4	76,4	100,0	7,9	89,4	2,5	0,3
7-01-10	11,30	9,49	20,52	0,09	41,5	41,4	99,8	27,3	22,9	49,6	0,2
4-01-11	43,9	12,3	9,7	11,9	83	77,8	93,7	56,4	15,8	12,5	15,3
15-03-10	17,88	2,12	8,85	7,17	38,5	36,0	93,6	49,6	5,9	24,6	19,9
27-03-10	12,78	18,37	0,76	0,09	32	32,0	100,0	39,9	57,4	2,4	0,3
18-02-10	17,04	1,90	17,14	5,41	41,8	41,4	99,0	41,1	4,6	41,3	13,0
12-02-07	0,6	8	45,6	5,8	60	60,0	100,0	1,0	13,3	76,0	9,7
10-03-07	37	5,3	13,2	1,7	57,2	57,2	100,0	64,7	9,3	23,1	3,0
15-0507	17	28	6,2	0,1	51,3	51,3	100,0	33,1	54,6	12,1	0,2
10-01-10	12,8	12,4	5,2	1,6	32,4	32,0	98,8	40,0	38,8	16,3	5,0
27-01-10	38,2	7	0,4	1,2	46,8	46,8	100,0	81,6	15,0	0,9	2,6
14-02-10	1,4	16,8	4	0,6	34,6	22,8	65,9	6,1	73,7	17,5	2,6
15-03-10	19	5,8	6,2	23,2	56,6	54,2	95,8	35,1	10,7	11,4	42,8
27-03-10	16,2	19	0,6	0,4	36,4	36,2	99,5	44,8	52,5	1,7	1,1
14-07-10	4,6	8,4	8,6	14,6	36,2	36,2	100,0	12,7	23,2	23,8	40,3
26-08-10	1	0,4	6,8	1,6	44	9,8	22,3	10,2	4,1	69,4	16,3

Tabel 5.15 Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman Selama 5 Jam

Tanggal	Hjn Jam Ke-1	Hjn Jam Ke-2	Hjn Jam Ke-3	Hjn Jam Ke-4	Hjn Jam Ke-5	Tinggi Hjn 24 jam	Total hjn jam2an	% dlm 1 hr	% jam ke-1	% jam ke-2	% jam ke-3	% jam ke-4	% jam ke-5
10-01-11	0,6	18,8	1	0,8	0,4	25,6	21,6	84,38	2,78	87,04	4,63	3,70	1,85
20-02-01	4	9,3	3,7	11	0,1	31,6	28,1	88,92	14,23	33,10	13,17	39,15	0,36
16-07-01	22,9	0,7	4,8	2,5	14,8	49,5	45,7	92,32	50,11	1,53	10,50	5,47	32,39
15-10-03	6	2,2	2,8	39,8	0,1	51,5	50,9	98,83	11,79	4,32	5,50	78,19	0,20
29-10-03	0,1	8	38,6	6,2	0,1	86,3	53	61,41	0,19	15,09	72,83	11,70	0,19
1-02-04	17	12,2	5,1	1,2	0,1	35,6	35,6	100,00	47,75	34,27	14,33	3,37	0,28
3-02-04	20	11,5	3,7	4,4	0,1	39,7	39,7	100,00	50,38	28,97	9,32	11,08	0,25
4-10-09	8,8	9,3	14,9	2,7	0,5	45,8	36,2	79,04	24,31	25,69	41,16	7,46	1,38
3-02-08	30,3	4,3	2,8	1,4	0,4	39,2	39,2	98,25	77,30	10,97	7,14	3,57	1,02
4-02-08	5	9	6,3	0,5	0,4	21,2	21,2	56,99	23,58	42,45	29,72	2,36	1,89
17-03-10	19,2	31,8	3	2,2	1,4	57,6	57,6	100,00	33,33	55,21	5,21	3,82	2,43

Tabel 5.16 Intensitas Hujan Tiap periode Ulang

T	R	90%.R	Intensitas Hujan			
			Jam ke-1	Jam ke-2	jam ke-3	jam ke-4
2	68,52	61,67	24,67	24,67	9,25	3,08
5	76,96	69,27	27,71	27,71	10,39	3,46
10	81,12	73,01	29,20	29,20	10,95	3,65
25	85,30	76,77	30,71	30,71	11,52	3,84
50	87,84	79,06	31,62	31,62	11,86	3,95
100	90,02	81,02	32,41	32,41	12,15	4,05
200	91,91	82,72	33,09	33,09	12,41	4,14

C. Analisis Sensitivitas Simulasi Skenario Tata Guna Lahan

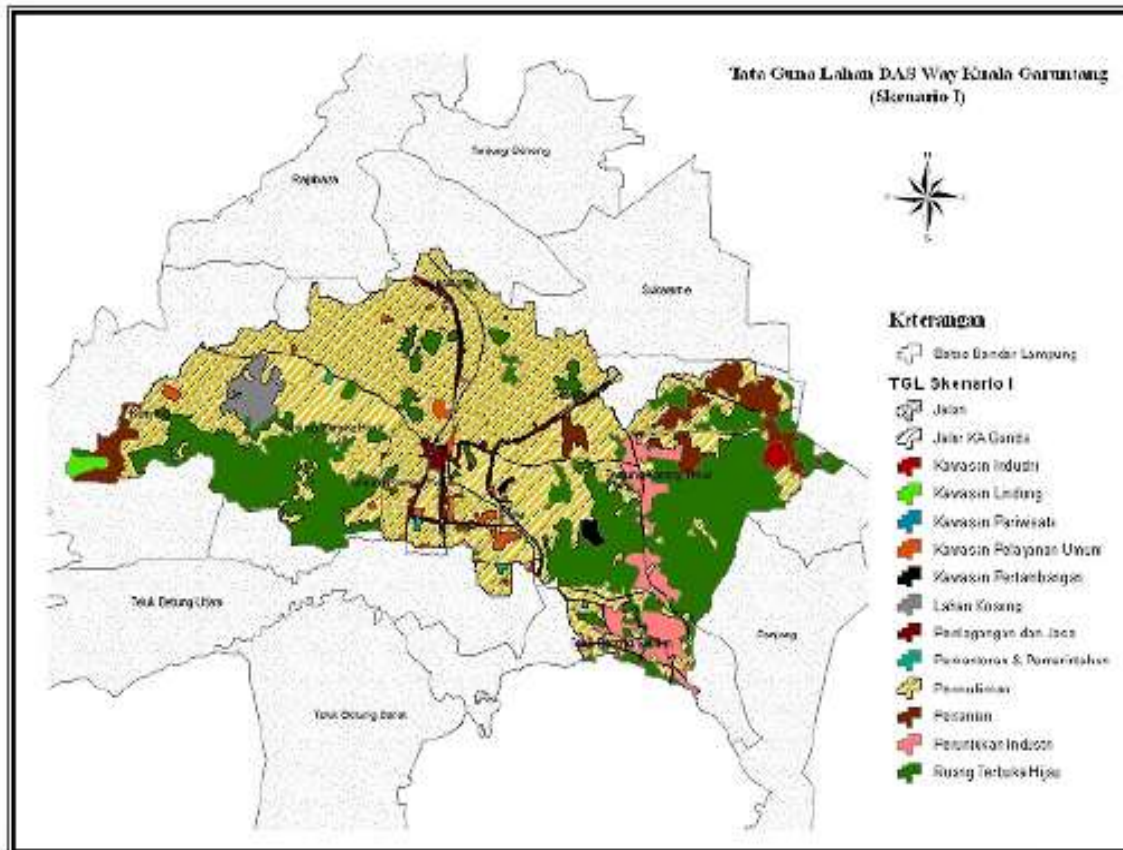
Untuk mengetahui besarnya perubahan nilai debit puncak yang terjadi di DAS Way Kuala Garuntang akibat perubahan tata guna lahan perlu dilakukan simulasi dengan beberapa skenario perubahan tata guna lahan . Simulasi merupakan salah satu kegiatan analisis sistem yang secara garis besar terdiri atas kegiatan utama, yaitu :

1. Merumuskan model yang menggambarkan sistem dan proses di dalamnya
2. Melakukan eksperimentasi
3. Menggunakan model dan data untuk memecahkan atau menyelesaikan persoalan.

Luas DAS adalah 60,39 km², kawasan pertambangan sebesar 0,4% dari luas DAS, pemukiman sebesar 54,14% dari luas DAS, luas peruntukan industry sebesar 4,10% dari luas DAS, luas lahan kosong sebesar 31,22% dari luas DAS, luas perdagangan dan jasa sebesar 1,79% dari luas DAS, luas perkantoran pemerintahan sebesar 0,23% dari luas DAS, luas kawasan pariwisata sebesar 0,04% dari luas DAS, luas kawasan industri sebesar 0,38% dari luas DAS, luas kawasan lindung sebesar 0,46% dari luas DAS, luas pertanian sebesar 4,72% dari luas DAS, luas kawasan pelayanan umum sebesar 1,28%, luas areal jalan sebesar 1,16% dan jalur Kereta Api ganda sebesar 0,07% dari luas DAS.

Pembuatan Skenario I

Pembuatan Skenario I ini dilakukan dengan mengubah 30% penutupan lahan yang lahan kosong menjadi ruang terbuka hijau. Pembuatan skenario ini berdasarkan pada RTRW Kota Bandar Lampung 2010 – 2030 yang menyatakan bahwa Undang Undang penataan ruang yang baru juga memberikan amanah baru bagi Kota Bandar Lampung, diantaranya perubahan jangka waktu berlakunya dokumen rencana menjadi 20 tahun, ketentuan tentang keharusan tersedianya 30% Ruang Terbuka Hijau (RTH) dengan komposisi 20% RTH Publik dan 10% RTH Private (swasta/masyarakat), penyediaan Ruang Terbuka Non Hijau (RTNH), ruang evakuasi bencana, ruang sektor informal, pedestrian, kebijakan penyediaan dan pemanfaatan kawasan strategis kota serta ketentuan pengendalian pemanfaatan ruang melalui peraturan umum zonasi dan pola insentif dan disinsentif maupun sanksi. Proses pembuatan skenario ini dilakukan dengan bantuan Ms. Excel, dan program Quantum GIS 1.7.4. Dilakukan pengurangan dan penambahan luas pada tata guna lahan yang ingin diubah. Setelah didapat luas seperti yang akan dibuat, dilakukan pengisian atribut sesuai dengan skenario yang akan dilakukan dengan menggunakan software Quantum GIS 1.7.4. Dengan perubahan ini maka luas lahan kosong yang tersisa menjadi 1,22% dari luas DAS yaitu seluas 0,73 km² dari luas DAS sebesar 60,39 km². Sedangkan terdapat penambahan deskripsi tata guna lahan yaitu ruang terbuka hijau sebesar 30% dari luas DAS yaitu 18,11 km². Untuk luas tata guna lahan lainnya belum berubah pada skenario pertama ini yaitu kawasan lindung sebesar 4,72% dari luas DAS (4,73 km²), kawasan pertambangan sebesar 0,4% dari luas DAS (0,24 km²), luas kawasan pemukiman sebesar 54,14% dari luas DAS (32,69 km²), luas peruntukan industri 4,10% dari luas DAS (2,48 km²), luas kawasan perdagangan & jasa sebesar 1,79% dari luas DAS (1,08 km²), luas perkantoran pemerintahan sebesar 0,23% dari luas DAS (0,14 km²), luas kawasan pariwisata sebesar, 0,4% dari luas DAS (0,02 km²), luas kawasan industri sebesar 0,38% dari luas DAS (0,23 km²), luas kawasan pelayanan umum sebesar 1,28% dari luas DAS (0,77 km²).

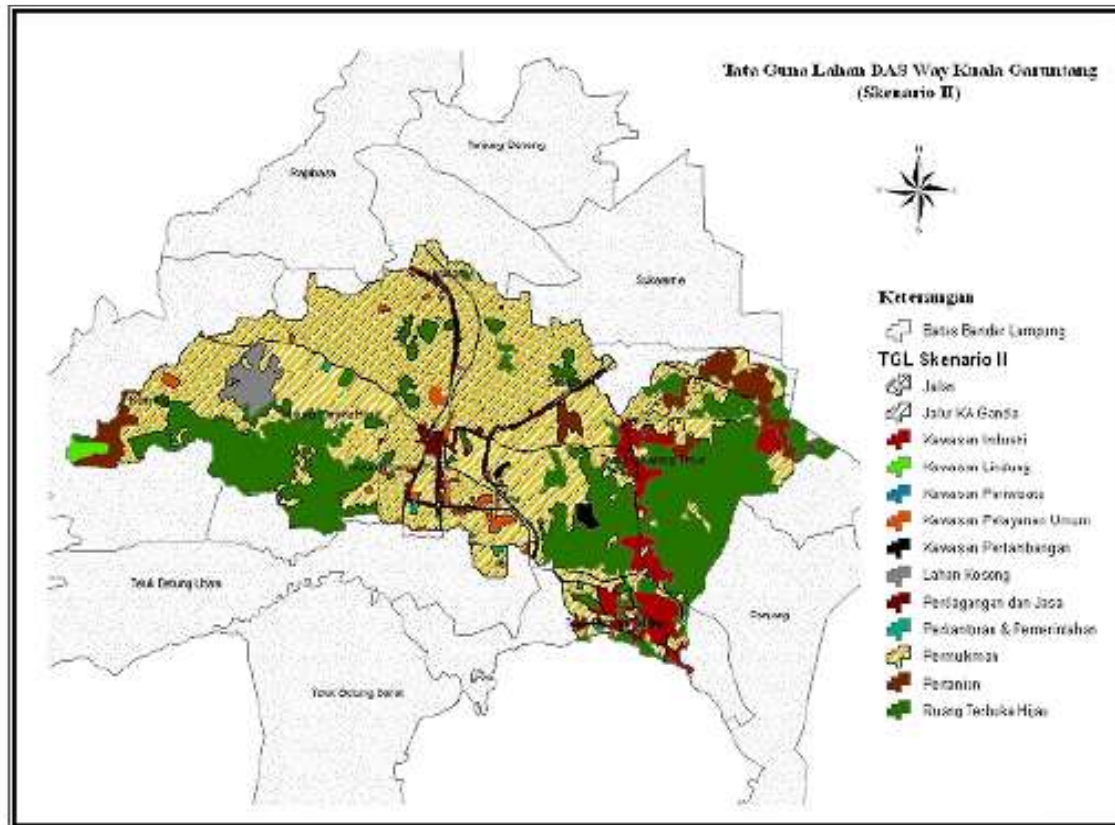


Gambar 5.22 Skenario I Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang

Pembuatan Skenario II

Pembuatan Skenario II ini dilakukan dengan mengubah 30% luas lahan kosong pada kondisi eksisting menjadi ruang terbuka hijau dan mengubah 50% luas lahan pertanian yang ada pada skenario eksisting menjadi daerah pemukiman. Berdasarkan RTRW Kota Bandar Lampung 2010 - 2030, hasil analisis proyeksi terhadap tingkat kepadatan penduduk menunjukkan bahwa secara umum kepadatan penduduk di Kota Bandar Lampung masih dalam kategori sedang sampai akhir tahun perencanaan 2030. Berdasarkan hasil proyeksi kepadatan penduduk sampai akhir tahun rencana 2030 Kota Bandar Lampung yang berkategori tinggi berada di Kecamatan Tanjung Karang Pusat sebesar 123 jiwa/ha, Kemiling sebesar 110 jiwa/ha, Rajabasa 139 jiwa/ha, Tanjung Seneng 175 jiwa/ha, Sukarame 128 jiwa/ha, Sukabumi 138 jiwa/ha. Oleh karena itu, pada skenario ini dilakukan perubahan 50% lahan pertanian yang terletak di kecamatan Sukabumi menjadi kawasan pemukiman. Dari hasil simulasi skenario II ini didapat ruang terbuka hijau sebesar 30% dari luas DAS yaitu 18,11 km², luas lahan kosong yang tersisa menjadi 1,22% dari luas DAS yaitu seluas 0,73 km², luas daerah

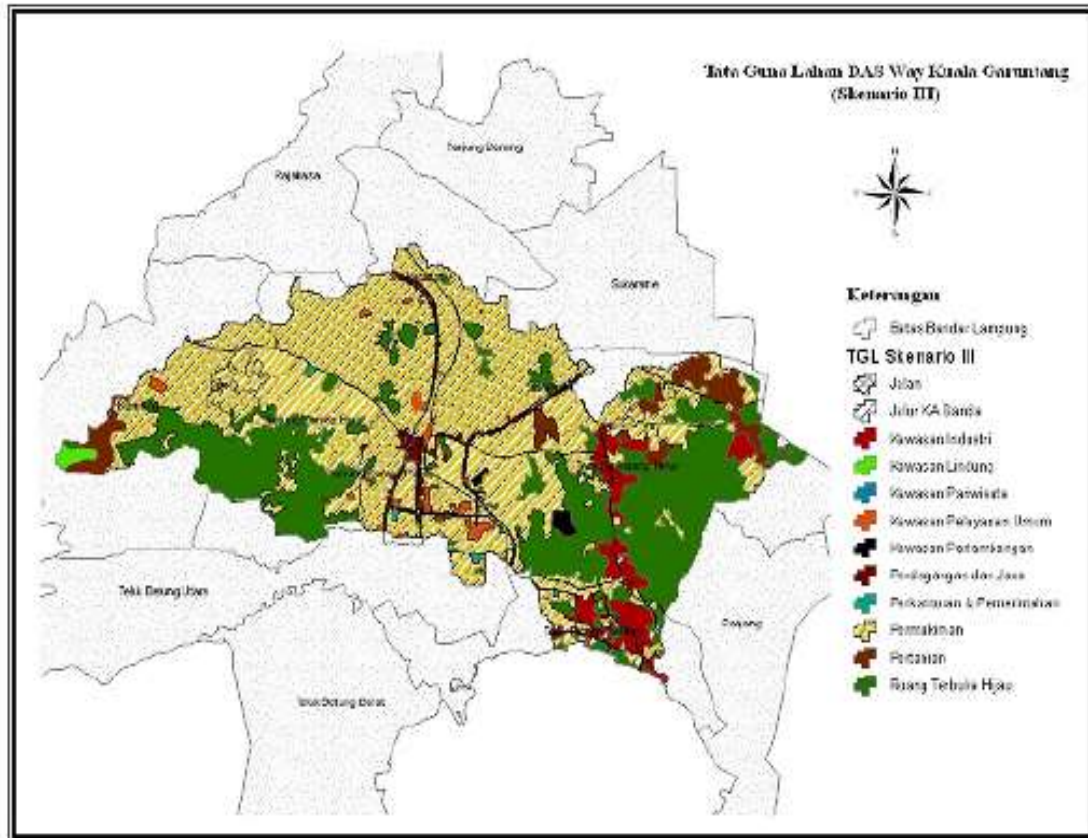
pemukiman bertambah menjadi 56,50% dari luas DAS yaitu sebesar 34,12 km², sedangkan luas lahan pertanian berkurang menjadi 2,36% dari luas DAS yaitu sebesar 1,42 km². Mengubah seluruh lahan peruntukan industri menjadi kawasan industri sehingga kawasan industri bertambah menjadi 4,49% dari luas DAS yaitu sebesar 2,71 km². Untuk luas tata guna lahan lainnya masih tetap sama dengan skenario eksisting.



Gambar 5.23 Skenario II Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang

Pembuatan Skenario III

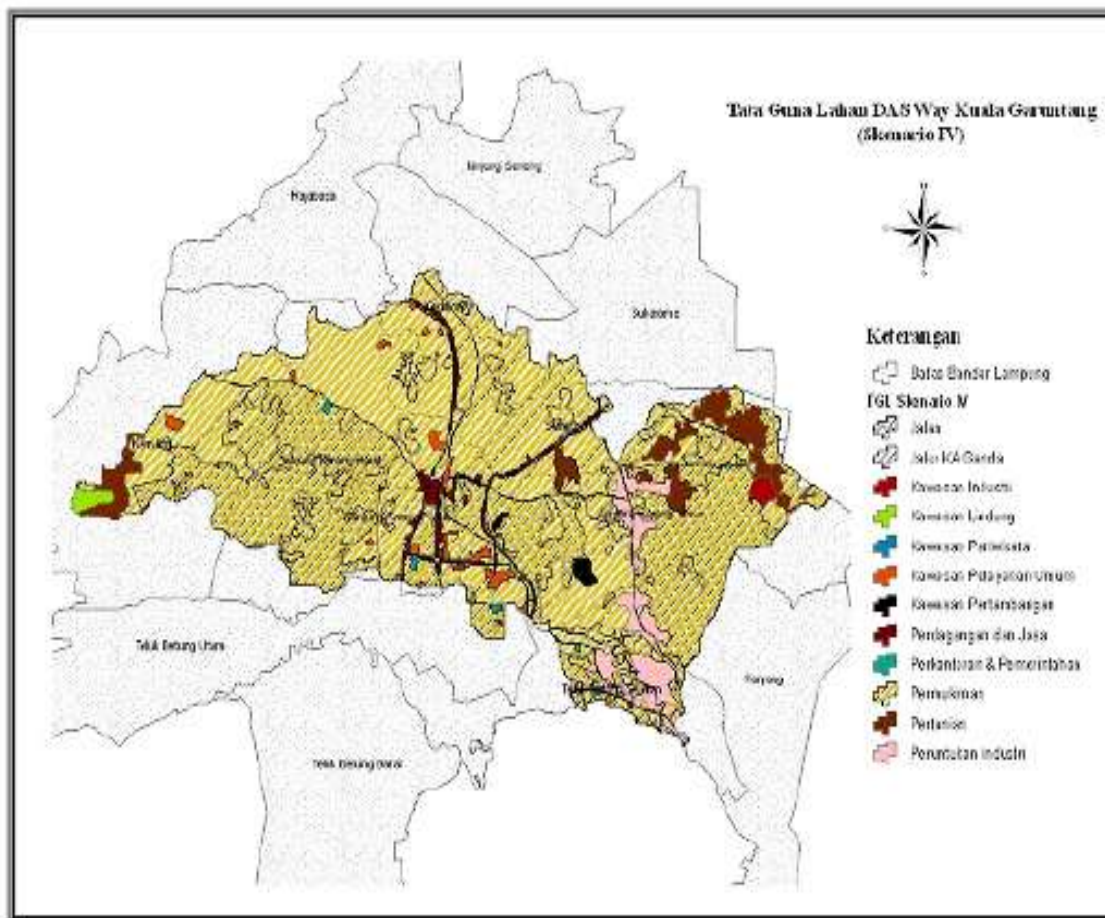
Pembuatan skenario III ini dilakukan dengan 30 % lahan kosong menjadi ruang terbuka hijau, 50% lahan pertanian menjadi kawasan pemukiman dan lahan kosong yang tersisa menjadi kawasan pemukiman. Perubahan sisa lahan kosong menjadi kawasan pemukiman berdasarkan pada RTRW Kota Bandar Lampung 2010 - 2030 yang menyatakan bahwa menurut proyeksi kepadatan penduduk sampai akhir tahun 2030 pada daerah yang dibuat skenario yaitu kecamatan kemiling termasuk dalam kategori tinggi. Sehingga luas kawasan pemukiman bertambah menjadi 57,72% dari luas DAS yaitu sebesar 34,86 km². Untuk luas tata guna lahan lainnya masih tetap sama seperti dengan skenario eksisting.



Gambar 5.24 Skenario III Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang

Pembuatan Skenario IV

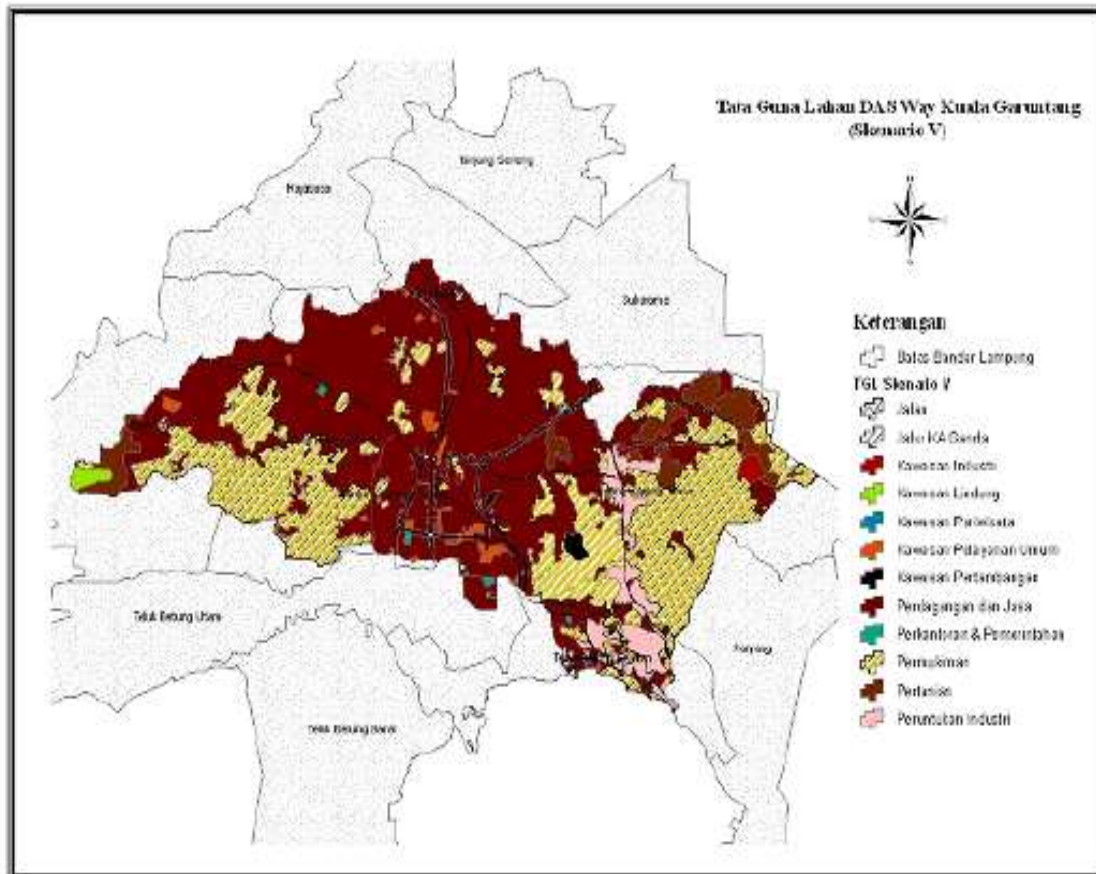
Pembuatan skenario IV ini dilakukan dengan mengubah deskripsi lahan pada atribut tata guna lahan pada peta tata guna lahan DAS Way Kuala Garuntang. Pada skenario ini tidak dilakukan perubahan 30% lahan kosong menjadi ruang terbuka hijau, tetapi Skenario yang dilakukan adalah dengan mengubah semua lahan kosong pada kondisi eksisting menjadi daerah pemukiman. Skenario ini dilakukan karena sebagian besar lahan kosong terletak pada kawasan yang berdasarkan proyeksi kepadatan penduduk pada RTRW Kota Bandar Lampung 2010 – 2030 memiliki kategori tinggi dan tidak dipertahankan 30% Ruang Terbuka Hijau dari luas DAS karena diperkirakan arahan pembangunan yang terkadang tidak sesuai dengan kondisi dan fungsi yang ditetapkan. Dengan dilakukannya perubahan ini, luas kawasan pemukiman bertambah menjadi 85,36% dari luas DAS yaitu sebesar 51,55 km².



Gambar 5.25 Skenario IV Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang

Pembuatan Skenario V

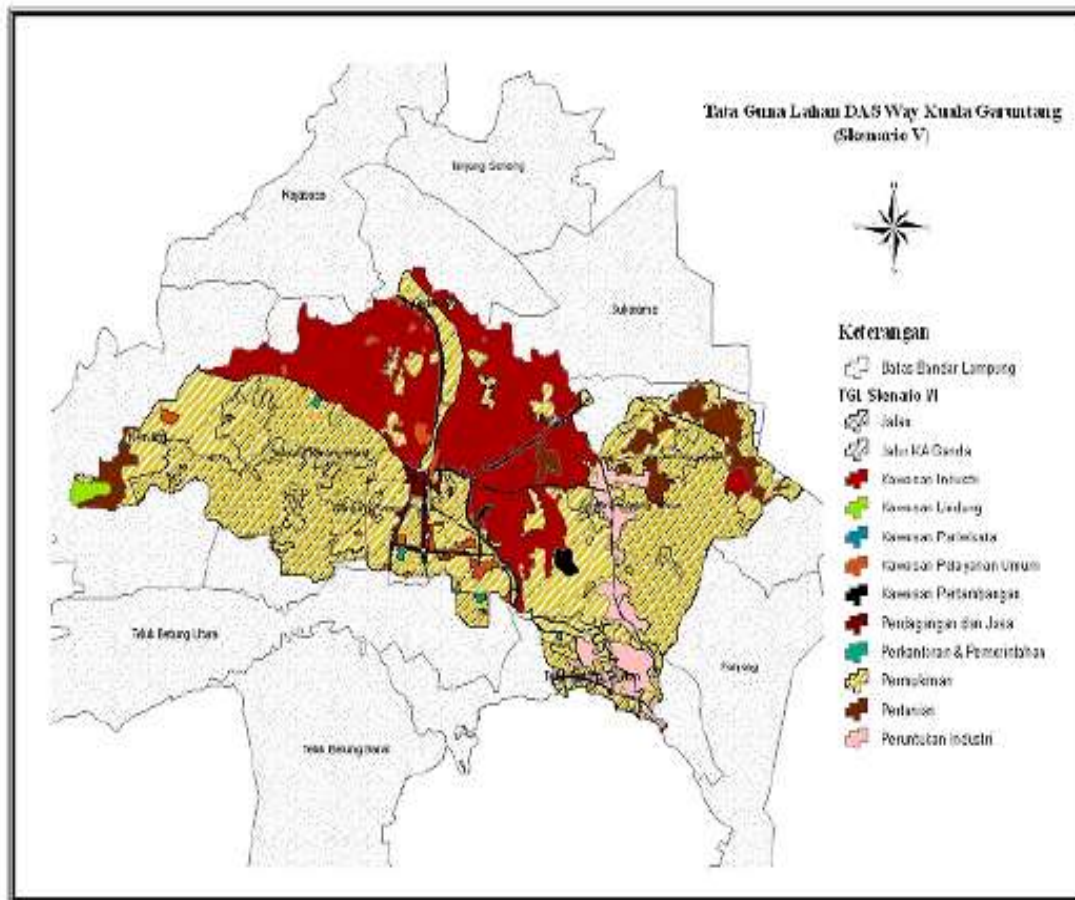
Pembuatan skenario V ini dilakukan dengan mengubah semua lahan kosong pada kondisi eksisting menjadi kawasan pemukiman dan mengubah semua kawasan pemukiman pada kondisi eksisting menjadi daerah perdagangan dan jasa. Pada skenario ini juga tidak dilakukan perubahan 30% lahan kosong menjadi ruang terbuka hijau. Dengan dilakukannya perubahan ini, didapat luas kawasan pemukiman yang sudah berubah menjadi 31,22% dari luas DAS yaitu sebesar 18,85 km², daerah perdagangan dan jasa sebesar 55,94% dari luas DAS yaitu sebesar 33,78 km².



Gambar 5.26 Skenario V Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang

Pembuatan Skenario VI

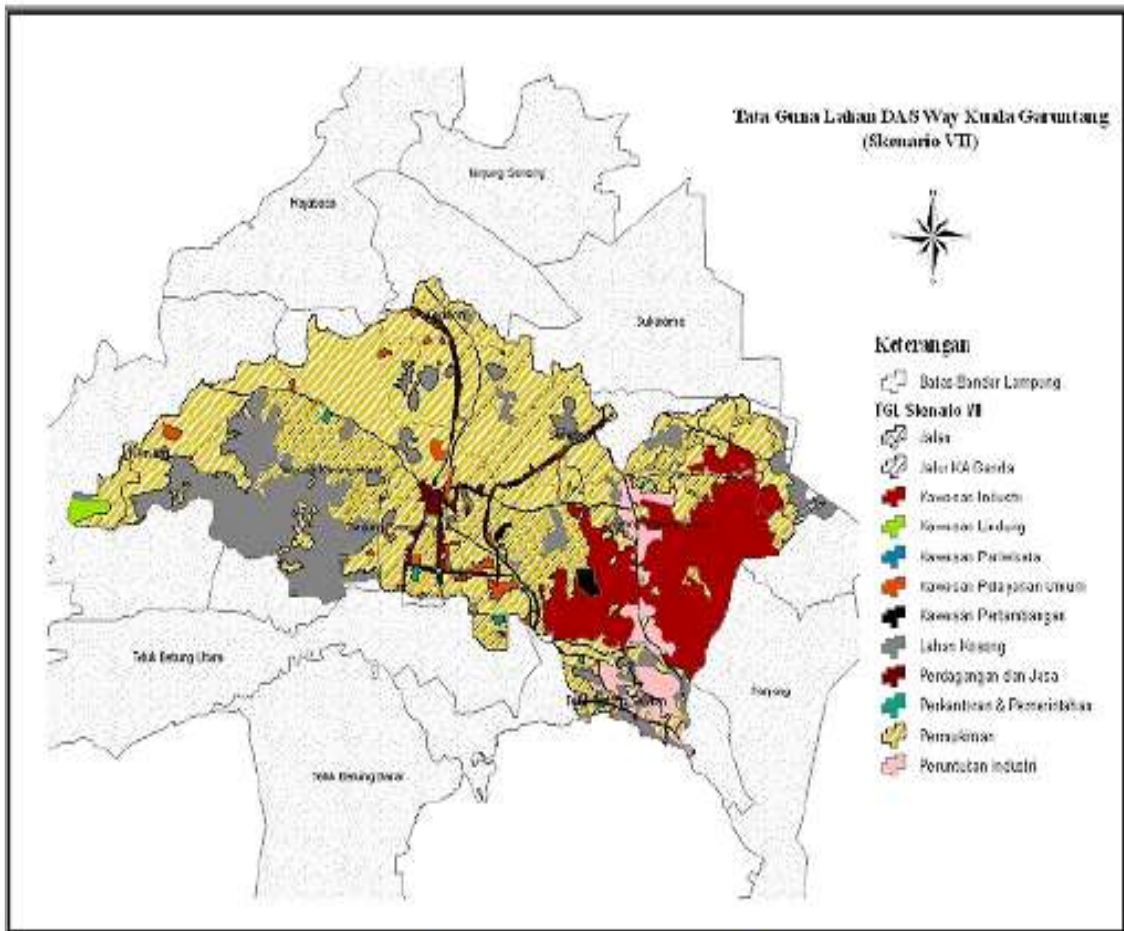
Pembuatan skenario VI ini dilakukan dengan tetap tidak menambah adanya ruang terbuka hijau pada DAS Way Kuala Garuntang melainkan mengubah semua lahan kosong pada kondisi eksisting menjadi kawasan pemukiman dan mengubah 50% kawasan pemukiman pada kondisi eksisting menjadi kawasan industri. Dengan demikian, pada skenario VI ini tidak ada lahan kosong yang tersisa dan luas kawasan pemukiman bertambah menjadi 59,08% dari luas DAS yaitu sebesar 35,68 km² dan luas kawasan industri bertambah menjadi 26,66% dari luas DAS yaitu sebesar 16,10 km².



Gambar 5.27 Skenario VI Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang

Pembuatan Skenario VII

Perubahan yang dilakukan pada skenario VII ini adalah mengubah semua lahan pertanian pada kondisi eksisting menjadi kawasan pemukiman dan mengubah sebagian lahan kosong menjadi kawasan industri. Luas lahan kosong yang tersisa adalah 16,76% dari luas DAS yaitu sebesar 10,12 km², luas kawasan pemukiman menjadi 58,86% dari luas DAS yaitu sebesar 35,54 km² dan luas kawasan industri 14,85% dari luas DAS.



Gambar 5.28 Skenario VII Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang

Tabel 5.17 Luasan Masing-Masing Penggunaan Lahan DAS Way Kuala Garuntang

TGL	Kondisi Eksisting		Skenario I		Skenario II		Skenario III		Skenario IV		Skenario V		Skenario VI		Skenario VII	
	A (km ²)	%	A (km ²)	%	A (km ²)	%	A (km ²)	%	A (km ²)	%	A (km ²)	%	A (km ²)	%	A (km ²)	%
Kawasan Pertambangan	0,24	0,40	0,24	0,40	0,24	0,40	0,24	0,40	0,24	0,40	0,24	0,40	0,24	0,40	0,24	0,40
pemukiman	32,70	54,14	32,70	54,14	34,12	56,50	34,86	57,72	51,55	85,36	18,86	31,22	35,68	59,08	35,55	58,86
peruntukan industri	2,48	4,10	2,48	4,10	-	-	-	-	2,48	4,10	2,48	4,10	2,48	4,10	2,48	4,10
lahan kosong	18,86	31,22	0,74	1,22	0,74	1,22	-	-	-	-	-	-	-	-	10,12	16,76
perdagangan&jasa	1,08	1,79	1,08	1,79	1,08	1,79	1,08	1,79	1,08	1,79	33,78	55,94	1,08	1,79	1,08	1,79
perkantoran pemerintahan	0,14	0,23	0,14	0,23	0,14	0,23	0,14	0,23	0,14	0,23	0,14	0,23	0,14	0,23	0,14	0,23
kawasan pariwisata	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04
kawasan industri	0,23	0,38	0,23	0,38	2,71	4,49	2,71	4,49	0,23	0,38	0,23	0,38	16,10	26,66	8,97	14,85
kawasan lindung	0,28	0,46	0,28	0,46	0,28	0,46	0,28	0,46	0,28	0,46	0,28	0,46	0,28	0,46	0,28	0,46
pertanian	2,85	4,72	2,85	4,72	1,42	2,36	1,42	2,36	2,85	4,72	2,85	4,72	2,85	4,72	-	-
Kawasan pelayanan umum	0,77	1,28	0,77	1,28	0,77	1,28	0,77	1,28	0,77	1,28	0,77	1,28	0,77	1,28	0,77	1,28
Jalan	0,70	1,16	0,70	1,16	0,70	1,16	0,70	1,16	0,70	1,16	0,70	1,16	0,70	1,16	0,70	1,16
Jalur KA Ganda	0,04	0,07	0,04	0,07	0,04	0,07	0,04	0,07	0,04	0,07	0,04	0,07	0,04	0,07	0,04	0,07
Ruang Terbuka Hijau		-	18,12	30,00	18,12	30,00	18,12	30,00		-		-		-		-

D. Koefisien Aliran (C)

Koefisien aliran mempunyai peranan yang sangat penting yaitu sebagai indikator aliran permukaan dalam DAS dan dapat dipakai sebagai tolok ukur untuk mengevaluasi aliran dalam kaitannya dengan pengelolaan DAS. Sebagai indikator aliran permukaan biasanya dipakai dalam menentukan debit puncak suatu banjir, sedangkan sebagai tolok ukur dalam mengevaluasi pengelolaan DAS, koefisien aliran dipakai sebagai salah satu indikator pengaruh Pengelolaan DAS terhadap penurunan besarnya aliran permukaan. Untuk mendapatkan koefisien aliran untuk DAS Way Kuala Garuntang, perlu diketahui jenis koefisien aliran untuk masing-masing jenis tata guna lahan di DAS Way Kuala Garuntang.

Tabel 5. 18. Koefisien Aliran Untuk Masing-Masing Jenis Tata Guna Lahan

Tata Guna Lahan	C
Kawasan Pertambangan	0,95
Pemukiman	0,65
Peruntukan industri	0,55
Lahan kosong	0,4
Perdagangan&jasa	0,8
Perkantoran pemerintahan	0,75
Kawasan pariwisata	0,7
Kawasan industri	0,85
Kawasan lindung	0,3
Pertanian	0,35
Kawasan pelayanan umum	0,75
Jalan	0,9
Jalur KA Ganda	0,35

Untuk DAS yang terdiri dari beberapa jenis tata guna lahan, maka nilai C pada DAS dihitung menggunakan rumus :

$$C_{DAS} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i * C_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Dengan :

A_i = luas lahan dengan jenis penutup tanah i

C_i = koefisien aliran permukaan jenis penutup tanah i

n = jumlah jenis penutup lahan.

Tabel 5. 19. Nilai Koefisien Aliran DAS Way Kuala Garuntang Kondisi Eksisting

TGL	C	A	C x A
Kawasan Pertambangan	0,95	238630,13	226698,6
pemukiman	0,65	32696595,47	21252787
peruntukan industri	0,55	2479064,49	1363485
lahan kosong	0,4	18856469,02	7542588
perdagangan&jasa	0,8	1083636,49	866909,2
perkantoran pemerintahan	0,75	137310,74	102983,1
kawasan pariwisata	0,7	25005,39	17503,77
kawasan industri	0,85	231886,70	197103,7
kawasan lindung	0,3	277339,95	83201,98
pertanian	0,35	2849774,52	997421,1
kawasan pelayanan umum	0,75	773459,17	580094,4
Jalan	0,9	699392,37	629453,1
Jalur KA Ganda	0,35	43043,08	15065,08
		60391607,51	33875294
			0,561

Nilai koefisien aliran dapat juga digunakan untuk menentukan kondisi fisik dari suatu DAS. Dari nilai koefisien aliran sebesar 0.561, maka dapat dinyatakan bahwa DAS Way Kuala Garuntang memiliki kondisi yang kurang baik. Hal ini sesuai dengan pernyataan yang menyatakan bahwa koefisien aliran permukaan itu merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS. Nilai C berkisar antara 0 -1 . Nilai C = 0 menunjukkan bahwa semua air hujan terinfiltrasi dan terintersepsi ke dalam tanah, sebaliknya untuk nilai C = 1 menunjukkan bahwa air hujan mengalir sebagai aliran permukaan. Pada DAS yang baik harga C mendekati 0 dan semakin rusak suatu DAS maka harga C semakin mendekati 1.

Tabel 5. 20. Nilai Koefisien Aliran DAS Way Kuala Garuntang Kondisi Eksisting

Kondisi	C
Kondisi Eksisting	0,56
Skenario I	0,50
Skenario II	0,52
Skenario III	0,52
Skenario IV	0,64
Skenario V	0,72
Skenario VI	0,69
Skenario VII	0,64

E. Debit Puncak

Seperti diuraikan apada metode, estimasi debit puncak dilakukan dengan menggunakan rumus rasional, yang menggunakan masukan variabel berupa koefisien aliran permukaan, intensitas hujan dan luas DAS. Dari hasil simulasi 7 skenario tata guna lahan serta dan kondisi eksisting, diperoleh hasil perhitungan debit untuk masig-masing kondisi.

Tabel 5.21. Rekapitulasi Pengaruh Tata Guna Lahan Terhadap Nilai Debit

Kala Ulang	Debit (m3/det)							
	Kondisi Eksisting	Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV	Skenario V	Skenario VI	Skenario VII
2	232,30	207,45	215,48	216,12	264,63	298,26	286,40	265,12
5	260,93	233,02	242,04	242,75	297,24	335,01	321,69	297,79
10	275,01	245,59	255,10	255,85	313,28	353,09	339,05	313,86
25	289,18	258,25	268,24	269,03	329,42	371,29	356,52	330,03
50	297,81	265,95	276,25	277,06	339,25	382,37	367,16	339,88
100	305,19	272,55	283,10	283,93	347,66	391,85	376,26	348,31
200	311,61	278,28	289,05	289,90	354,98	400,09	384,18	355,64

Tabel 5.22. Rekapitulasi Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Persentase Perubahan Nilai Debit

Kala Ulang	Kondisi Eksisting	Perubahan Nilai Debit (%)						
	Q	Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV	Skenario V	Skenario VI	Skenario VII
2	232,42	-10,697	-7,239	-6,967	13,916	28,394	23,287	14,128
5	260,86							
10	274,82							
25	288,85							
50	297,39							
100	304,68							
200	311,02							

Dari hasil simulasi tersebut dapat dilihat bahwa rasio debit terkecil terjadi pada skenario I yaitu kondisi dimana dilakukan perubahan lahan kosong menjadi runag terbuka hijau. Dengan dilakukannya simulasi menggunakan skenario I ini dapat dilihat bahwa fluktuasi debit menjadi lebih kecil karena menurunnya nilai koefisien aliran (C) sehingga makin banyak air yang dapat terfiltrasi oleh tanah.

Simulasi lain yang dilakukan dengan mempertahankan ruang terbuka hijau adalah skenario II dan III. Namun, dengan dilakukannya skenario ini tidak menunjukkan pengaruh yang besar. Rasio debit yang dihasilkan tidak jauh berbeda dengan kondisi I, dimana rasio debitnya berturut-turut adalah -10,69%, -7,23% dan 6,96%. Hal ini dikarenakan luas ruang terbuka hijau yang masih tetap 30% besarnya dari luas DAS. Selain itu, pola tata guna lahan pada skenario II dan III tidak jauh berbeda dengan kondisi I. Ruang terbuka hijau merupakan areal lahan di sekitar kota yang keberadaannya harus ditetapkan secara permanen dan didukung peraturan yang kuat sebagai kawasan hijau dan bebas dari bentuk struktur bangunan. Dari hasil simulasi skenario tersebut dapat disimpulkan bahwa tindakan yang mempertahankan adanya ruang terbuka hijau untuk DAS Way Kuala Garuntang sangat diperlukan. Tindakan ini perlu dilakukan dengan tujuan untuk memberikan ruang yang cukup bagi peresapan air hujan pada suatu daerah tertentu guna keperluan penyediaan kebutuhan air tanah serta penanggulangan banjir, baik kawasan bawahnya maupun kawasan yang bersangkutan. Pada kondisi skenario IV, rasio debit mencapai nilai 13,91%. Hal ini dapat diartikan bahwa pada kondisi ini debit mencapai fluktuasi yang tidak merata. Pada kondisi ini keberadaan 30% ruang terbuka hijau tidak dipertahankan karena pada kondisi ini terjadi

konversi semua lahan kosong menjadi kawasan pemukiman.

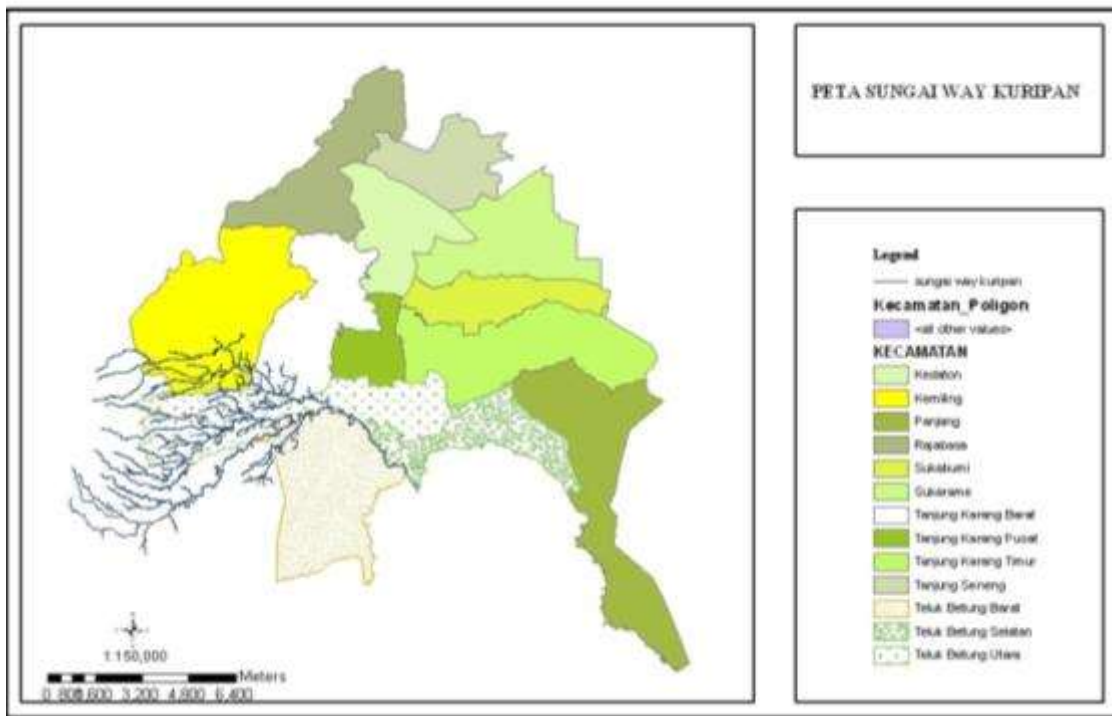
Alternatif skenario tata guna lahan yang menunjukkan rasio debit yang besar terjadi pada skenario V dan VI, dimana rasio yang dihasilkan berturut-turut adalah 28,38% dan 23,287%. Pada kondisi ini tindakan yang dilakukan adalah sama-sama merubah sebagian kawasan pemukiman menjadi daerah perdagangan dan jasa serta kawasan industri, di samping merubah sebagian lahan kosong menjadi pemukiman. Selain itu, tidak ada ruang terbuka hijau yang dipertahankan pada skenario ini. Tindakan tersebut berakibat pada semakin sedikit air yang dapat diretensi oleh tanah sehingga semakin besar curah hujan yang langsung menjadi debit. Debit akan semakin tinggi di musim hujan dan semakin rendah di musim kemarau karena berkurangnya pengisian air bawah tanah. Hal ini membuktikan bagaimana kontribusi ruang terbuka hijau dalam konservasi air, terutama berkaitan dengan persediaan simpanan air. Skenario VI dan skenario VII yang tidak melakukan perubahan lahan kosong menjadi ruang terbuka hijau ini menunjukkan kondisi yang tidak terlalu berbeda walaupun tetap terjadi peningkatan rasio dibandingkan dengan skenario I, II dan III yang tetap mempertahankan keberadaan ruang terbuka hijau sebanyak 30% dari luas DAS. Hal ini dapat diartikan bahwa perubahan lahan pertanian menjadi kawasan pemukiman ataupun perubahan lahan kosong menjadi pemukiman menunjukkan pengaruh yang tidak jauh berbeda terhadap fluktuasi debit sungai.

5.2.2 Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan di DAS Kuripan

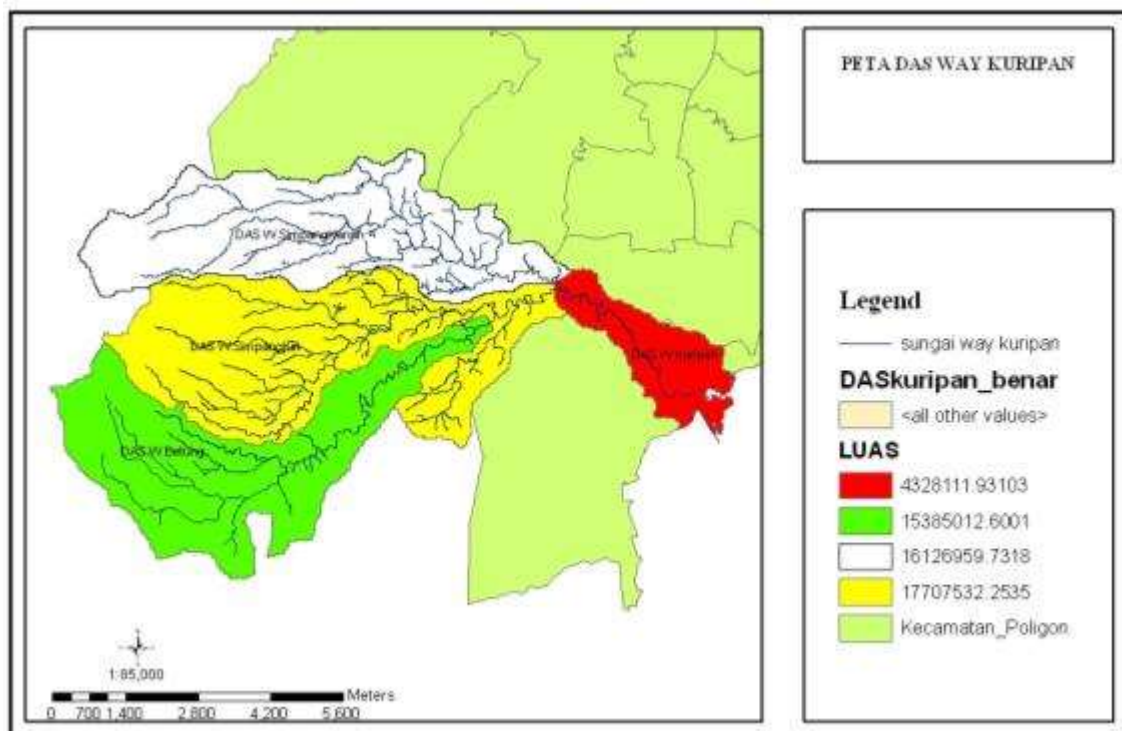
A. Data Spasial

Sungai Way Kuripan melewati 5 kecamatan di Kota Bandar Lampung, yaitu Kecamatan Kemiling, Tanjung Karang Barat, Teluk Betung Utara, Teluk Betung Barat, dan Teluk Betung Selatan. Sungai Way Kuripan juga melewati 3 kecamatan di Kabupaten Pesawaran, yaitu Kecamatan Padang Cermin, Way Lima, dan Gedong

DAS Way Kuripan memiliki 4 anak sungai yaitu Way Simpang Kanan, Way Simpang Kiri, Way Betung, dan Way Kuripan. Dimana DAS Way Kuripan memiliki luas DAS sebesar 53,54 km².

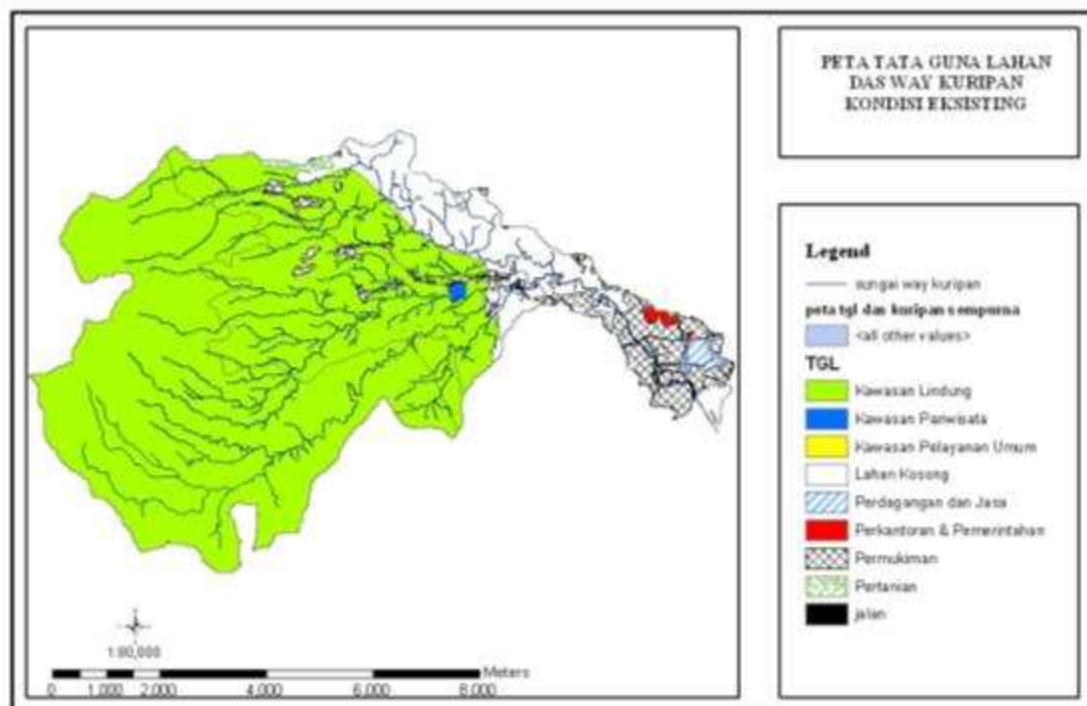


Gambar 5.29 Peta Sungai Way Kuripan



Gambar 5.30 Peta DAS Way Kuripan

Data Tutupan Lahan DAS Way Kuripan dibuat berdasarkan data Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Bandar Lampung tahun 2010 dan Kabupaten Pesawaran tahun 2011. Dari tahap pembentukan data tutupan lahan ini didapatkan 9 jenis tutupan lahan pada DAS Way Kuripan. Peta Tata Guna Lahan DAS Way Kuripan, dengan 80,15% kawasan lindung, 0,19% kawasan pariwisata, 0,02% kawasan pelayanan umum, 11,69% lahan kosong, 0,63% daerah perdagangan dan jasa, 0,27% perkantoran pemerintahan, 6,29% kawasan permukiman, 0,34% kawasan pertanian, dan 0,42% areal jalan dari luas DAS Way Kuripan sebesar 53,54 km².



Gambar 5.31 Peta Tata Guna Lahan Kondisi Eksisting

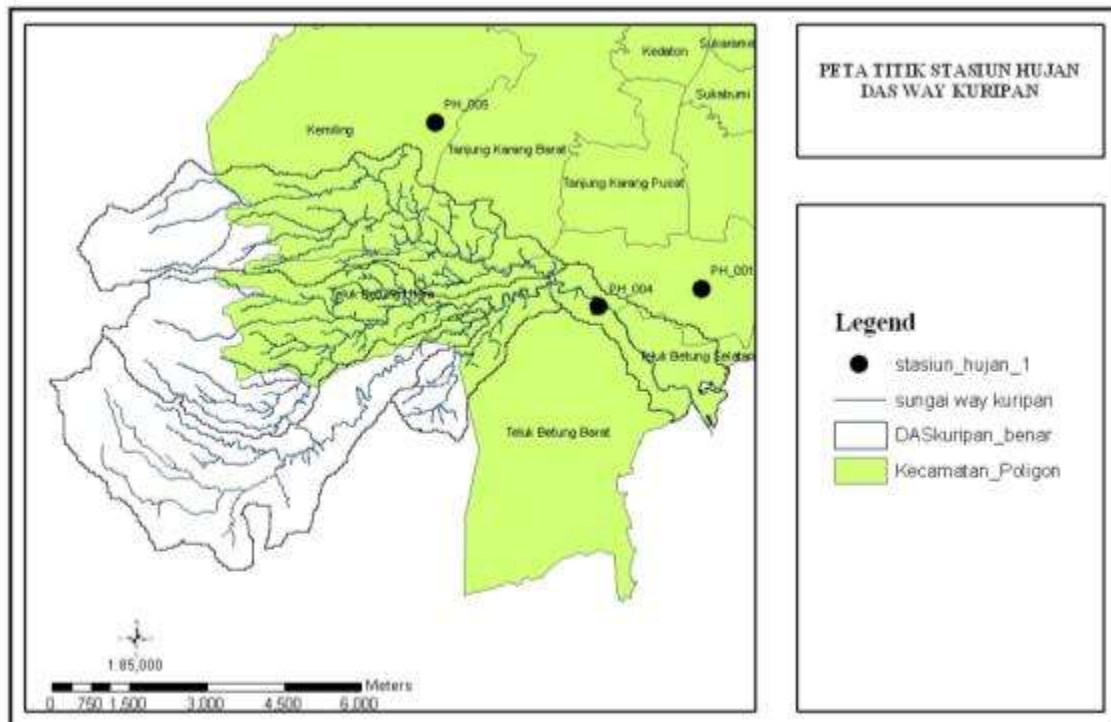
B. Analisis Hidrologi Penelitian

Untuk mendapatkan koordinat stasiun hujan dilakukan survey lapangan ke setiap titik stasiun hujan. Setelah stasiun hujan ditemukan kemudian dengan menggunakan GPS koordinat titik stasiun hujan didapatkan. Hasil Survey Lapangan dengan GPS kedalam peta dengan program SIG.

Tabel 5.23. Koordinat Stasiun Curah Hujan DAS Way Kuripan

No	Nama Stasiun	Koordinat
1	PH-001	X = 529317 Y = 9399387
2	PH-004	X = 537328 Y = 9398872
3	PH-005	X = 523794 Y = 9402646

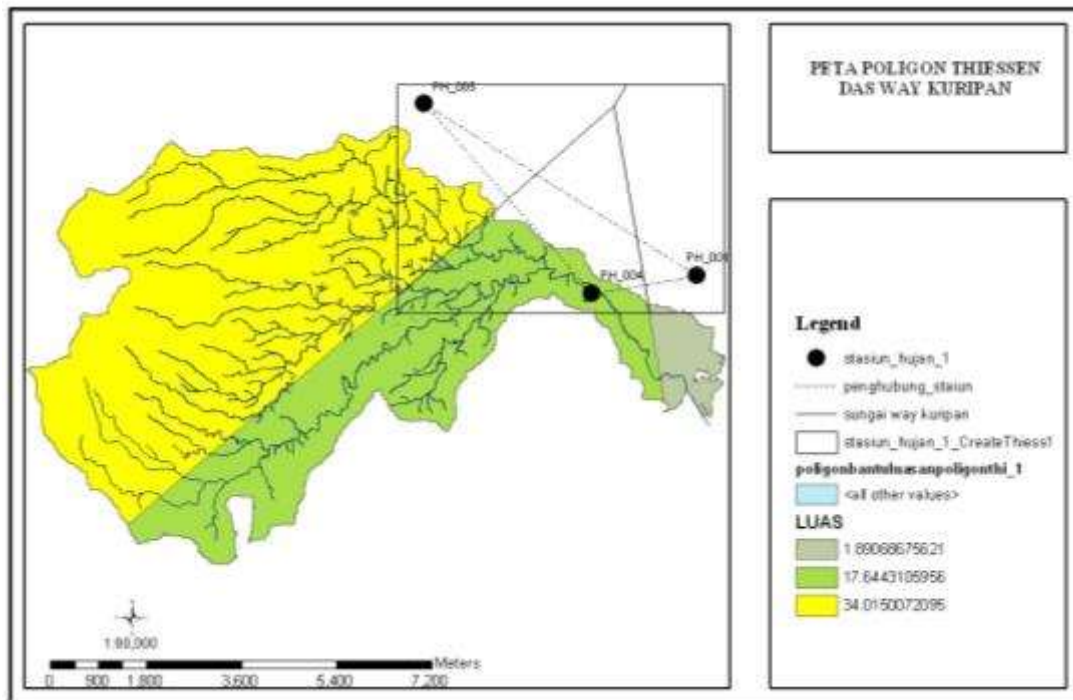
Setelah titik stasiun hujan diplotkan pada program SIG, kemudian dilakukan tumpang susun peta.



Gambar 5.32. Peta Titik Stasiun Hujan

B.2. Penentuan Luas Pengaruh Stasiun Hujan dengan Metode Poligon Thiessen

Dengan SIG, ditentukan pengaruh setiap stasiun hujan terhadap luas DAS.



Gambar 5.33. Peta Poligon Thiessen

Dari gambar Peta Poligon Thiessen terlihat bahwa DAS Way Kuripan dipengaruhi curah hujan pada stasiun pengamatan PH-001, PH-004, dan PH-005.

Tabel 5.24. Luas Pengaruh Stasiun Hujan Terhadap DAS

Stasiun	<i>Polygon Thiessen Factor</i>	
	A (km ²)	Prosentase (%)
PH - 001	1,89	3,53
PH - 004	17,64	32,94
PH - 005	34,01	63,53
Jumlah	53,54	100,00

B.3. Melengkapi Data Curah Hujan Dan Uji Konsistensi

Dari data curah hujan yang ada perhitungan dilakukan dengan menggunakan *reciprocal method*. Cara ini dilakukan dengan memperhitungkan jarak antar stasiun. Data curah hujan yang sudah dilengkapi selanjutnya akan dilakukan uji

konsistensi untuk mendapatkan faktor koreksi. Dari hasil perhitungan uji konsistensi didapatkan kurva massa ganda dan faktor koreksi serta data curah hujan yang telah terkoreksi.

B.4. Analisis Curah Hujan Area

Untuk mengetahui curah hujan rata-rata yang terjadi pada daerah tangkapan (*catchment area*) tersebut, ditentukan dengan menganalisis data curah hujan maksimum yang didapat dari tiga stasiun hujan. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah Metode Poligon Thiessen seperti Persamaan berikut ini (Triatmodjo, 2008) :

$$P_{\text{rerata}} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Keterangan :

P_{rerata} = Hujan rerata kawasan

P_1, P_2, \dots, P_n = Hujan pada stasiun kawasan 1.2...n

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah yang mewakili stasiun 1,2,...n

Perhitungan untuk analisis curah hujan menggunakan Metode Poligon Thiessen terdapat pada lampiran B. Kemudian didapatkan curah hujan rerata harian maksimum tahunan DAS Way Kuripan. Curah hujan rerata harian maksimum tahunan DAS Way Kuripan tersebut dimulai dari tahun 1991 sampai dengan tahun 2010.

Tabel 5.25. Curah Hujan Rerata Harian Maksimum Tahunan DAS Way Kuripan

Tahun	Curah Hujan (mm)
2010	118,40
2009	76,75
2008	68,60
2007	57,17
2006	118,01
2005	84,47
2004	77,44
2003	67,36
2002	101,92
2001	58,91
2000	96,00
1999	110,80

Tahun	Curah Hujan (mm)
1998	99,95
1997	61,77
1996	63,46
1995	81,57
1994	71,45
1993	78,91
1992	114,59
1991	84,20

B.5. Pengukuran Dispersi

Besarnya dispersi dapat dilakukan pengukuran dispersi, yakni melalui perhitungan parametrik statistik untuk $(X_i - X_r)$, $(X_i - X_r)^2$, $(X_i - X_r)^3$, dan $(X_i - X_r)^4$ terlebih dahulu.

Hasil dari pengukuran dispersi didapat nilai koefisien Skewness (Cs) sebesar 0,42 dan nilai koefisien kurtosis (Ck) sebesar 2,33. Nilai tersebut digunakan untuk memilih jenis sebaran, yaitu dengan membandingkan nilainya terhadap parameter pemilihan distribusi.

Tabel 5.26. Parameter Statistik Curah Hujan

Tahun	Ri	(Ri - Rt)	(Ri - Rt) ²	(Ri - Rt) ³	(Ri - Rt) ⁴
1991	84,2	-0,4	0,15	-0,06	0,02
1992	114,6	30,0	900,28	27012,46	810498,39
1993	78,9	-5,7	32,28	-183,36	1041,70
1994	71,4	-13,1	172,64	-2268,28	29803,12
1995	81,6	-3,0	9,09	-27,42	82,68
1996	63,5	-21,1	446,18	-9424,62	199075,78
1997	61,8	-22,8	520,50	-11874,89	270919,01
1998	100,0	15,4	236,08	3627,23	55731,46
1999	110,8	26,2	687,12	18011,29	472128,00
2000	96,0	11,4	130,18	1485,25	16945,98
2001	58,9	-25,7	659,08	-16920,37	434389,86
2002	101,9	17,3	300,50	5209,07	90298,46
2003	67,4	-17,2	296,60	-5107,94	87968,61
2004	77,4	-7,2	51,14	-365,72	2615,32
2005	84,5	-0,1	0,01	0,00	0,00
2006	118,0	33,4	1117,06	37334,86	1247822,24
2007	57,2	-27,4	751,46	-20599,66	564694,38
2008	68,6	-16,0	255,65	-4087,68	65358,60
2009	76,8	-7,8	61,42	-481,30	3771,82

Tahun	Ri	(Ri -Rt)	(Ri -Rt) ²	(Ri -Rt) ³	(Ri-Rt) ⁴
2010	118,4	33,8	1143,06	38645,69	1306576,42
Jumlah	1691,7	0,0	7770,40	59984,60	5659721,80
Rerata	84,6				
SD (σ)	20,22				
Cv	0,24				
Cs	0,42				
Ck	2,33				

B.6. Pemilihan Jenis Sebaran

Berdasarkan perhitungan parameter statistic pada lampiran B yang diperoleh tersebut ditetapkan bahwa jenis distribusi untuk menghitung curah hujan rancangan dengan berbagai kala ulang, yang cocok dengan sebaran data curah hujan harian maksimum di DAS Way Kuripan adalah distribusi Log Pearson Type III. Hal ini ditunjukkan oleh nilai parameter statistik yang diperoleh tidak mengikuti distribusi untuk dua metode lainnya.

Tabel 5.27. Analisis Jenis Sebaran

Jenis Distribusi	Syarat	Hasil	Keterangan
metode Normal	$Cs \approx 0$	0,42	Tidak Memenuhi
	$Ck \approx 3$	2,33	Tidak Memenuhi
Metode Log Normal	$Cs = Cv^3 + 3Cv$ $= 3,011$	0,42	Tidak Memenuhi
	$Ck = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$ $= 38,05$	2,33	Tidak Memenuhi
Metode Gumbel	$Cs \leq 1,14$	0,42	Tidak Memenuhi
	$Ck \leq 5,4$	2,33	Tidak Memenuhi
Metode Log Pearson III	$Cs \neq 0$	0,42	Memenuhi

B.7. Pengujian Kecocokan Sebaran

Pengujian kecocokan sebaran menggunakan metode Chi-kuadrat dan Smirnov-kolmogorov.

a. Uji Chi-kuadrat

$$\begin{aligned}
 K &= 1 + (3,22 \text{ Log } n) \\
 &= 1 + (3,22 \text{ Log } 20) \\
 &= 5,19 \approx 6 \\
 DK &= G - (R + 1) \\
 &= 6 - (2 + 1) \\
 &= 3
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan, diperoleh nilai Chi-kuadrat X_2 hitung = 5,2 untuk kedua DAS. Batas kritis nilai Chi-kuadrat untuk $dk = 3$, dengan $\alpha = 5\%$ dari tabel Chi-kuadrat: $X_2 \text{ cr} = 12,59$. Terlihat bahwa $X_2 \text{ hitung} < X_2 \text{ cr}$. Ini berarti bahwa pemilihan jenis distribusi Log Pearson Type III sudah memenuhi syarat.

Tabel 5.28. Uji Chi-kuadrat

batas kelas	EF	OF	(EF - OF)	(EF - OF) ² /EF
1,76 - 1,81	3,33	3	0,33	0,03
1,81 - 1,86	3,33	5	1,67	0,83
1,86 - 1,92	3,33	6	2,67	2,13
1,92 - 1,97	3,33	1	2,33	1,63
1,97 - 2,02	3,33	3	0,33	0,03
2,02 - 2,07	3,33	2	1,33	0,53
		20		5,2

b. Uji Smirnov-kolmogorov

Dari perhitungan diatas, diperoleh nilai Δ_{max} hitung = 0,10. Batas kritis nilai Δ_{cr} untuk $n = 20$, dengan $\alpha = 5\%$ dari tabel Smirnov-kolmogorov yaitu, $\Delta_{\text{cr}} = 0,29$. Nilai Δ_{max} hitung $< \Delta_{\text{cr}}$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa H_0 terima. Hal ini berarti bahwa distribusi observasi (pengamatan) dan distribusi teoritis (yang diharapkan) tidak berbeda secara nyata atau dapat dinyatakan pola distribusi Log Pearson Type III

Tabel 5.29. Uji Smirnov Kolmogorov

M	Xi	Px	P(X<)	P'X	P'(X<)	Δ
1	84,20	0,05	0,95	0,05	0,95	0,01
2	114,59	0,10	0,90	0,11	0,89	0,01
3	78,91	0,14	0,86	0,16	0,84	0,02
4	71,45	0,19	0,81	0,21	0,79	0,02
5	81,57	0,24	0,76	0,26	0,74	0,03
6	63,46	0,29	0,71	0,32	0,68	0,03
7	61,77	0,33	0,67	0,37	0,63	0,04
8	99,95	0,38	0,62	0,42	0,58	0,04
9	110,80	0,43	0,57	0,47	0,53	0,05
10	96,00	0,48	0,52	0,53	0,47	0,05
11	58,91	0,52	0,48	0,58	0,42	0,06
12	101,92	0,57	0,43	0,63	0,37	0,06
13	67,37	0,62	0,38	0,68	0,32	0,07
14	77,44	0,67	0,33	0,74	0,26	0,07
15	84,47	0,71	0,29	0,79	0,21	0,08
16	118,01	0,76	0,24	0,84	0,16	0,08
17	57,17	0,81	0,19	0,89	0,11	0,09
18	68,60	0,86	0,14	0,95	0,05	0,09
19	76,75	0,90	0,10	1,00	0,00	0,10
20	118,40	0,95	0,05	1,05	-0,05	0,10
					Δmaks	0,10

B.8. Pengukuran Curah Hujan Rencana

Berdasarkan analisis frekuensi yang dilakukan pada data curah hujan harian maksimum diperoleh bahwa jenis distribusi yang paling cocok dengan sebaran data curah hujan harian maksimum DAS Way Kuripan adalah distribusi Log Pearson Type III. Untuk itu, data curah hujan harian maksimum yang diperoleh diubah dalam bentuk logaritmik sehingga parameter statistic berubah. Tujuan pengukuran curah hujan rencana adalah untuk mendapatkan curah hujan periode ulang tertentu yang akan digunakan untuk mencari debit banjir rencana. Dari perhitungan parameter pemilihan distribusi curah hujan untuk menghitung curah hujan rencana digunakan metode Distribusi Log Pearson Tipe III.

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai Cs adalah untuk DAS Way Kuripan adalah 0,0838. Oleh karna itu, dihitung nilai k untuk masing-masing periode ulang, menggunakan nilai k pada tabel distribusi Log Pearson Tipe III.

B.9. Pola Distribusi Hujan

Untuk dapat mengubah hujan rancangan ke dalam besaran hujan jam-jaman perlu didapatkan terlebih dahulu suatu pola distribusi hujan jam-jaman. Pola distribusi untuk DAS Way Kuripan didapat dengan melakukan pengamatan dari kejadian-kejadian hujan besar. Dengan mereratakan pola distribusi hujan hasil pengamatan tersebut, kemudian didapatkan pola distribusi rerata yang selanjutnya dianggap mewakili kondisi hujan dan dipakai sebagai pola untuk mendistribusikan hujan rancangan menjadi besaran hujan jam-jaman.

Dari tahap ini diketahui bahwa 90 % hujan di Bandar Lampung terjadi dalam waktu 4 jam dengan pola distribusi 40 % di jam pertama, 40 % di jam kedua, 15% di jam ketiga dan 5 % di jam keempat.

B.10. Perhitungan Intensitas Curah Hujan

Perhitungan intensitas curah hujan ini menggunakan pola distribusi hujan yang telah didapatkan dan hasil perhitungan intensitas curah hujan disajikan dalam tabel 5.30.

Tabel 5.30. Intensitas Hujan Tiap periode Ulang

T	R	90%.R	Intensitas Hujan			
			Jam ke-1	Jam ke-2	Jam ke-3	Jam ke-4
2	82,24	74,01	29,61	29,61	11,10	3,70
5	89,41	80,47	32,19	32,19	12,07	4,02
10	93,48	84,13	33,65	33,65	12,62	4,21
25	98,08	88,28	35,31	35,31	13,24	4,41
50	101,21	91,09	36,43	36,43	13,66	4,55
100	104,13	93,71	37,49	37,49	14,06	4,69
200	106,89	96,20	38,48	38,48	14,43	4,81

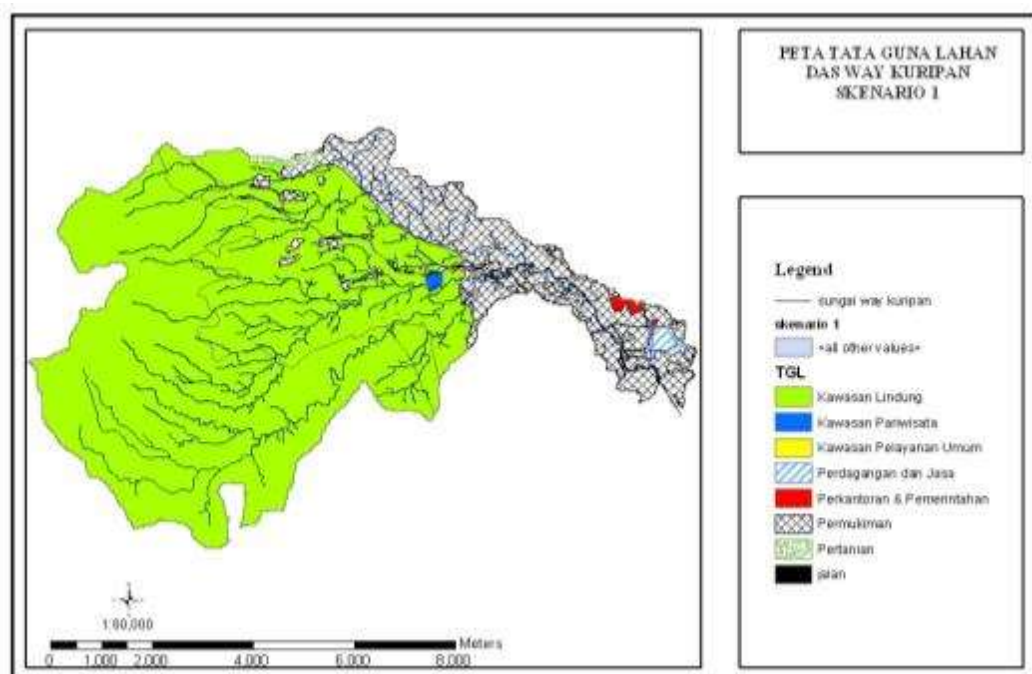
C. Analisis Sensitivitas Simulasi Skenario Tata Guna Lahan

Untuk mengetahui besarnya perubahan nilai debit puncak yang terjadi di DAS Way Kuripan perlu dilakukan simulasi dengan beberapa skenario perubahan tata guna lahan. Luas DAS adalah 53,54 km², kawasan lindung sebesar 80,15% dari luas DAS, kawasan pariwisata sebesar 0,19% dari luas DAS, kawasan pelayanan umum sebesar

0,02% dari luas DAS, luas lahan kosong sebesar 11,69% dari luas DAS, luas perdagangan dan jasa sebesar 0,63% dari luas DAS, luas perkantoran pemerintahan sebesar 0,27% dari luas DAS, luas kawasan permukiman sebesar 6,29% dari luas DAS, luas pertanian sebesar 0,34% dari Luas DAS, dan luas areal jalan sebesar 0,42%.

C.1. Pembuatan Skenario I

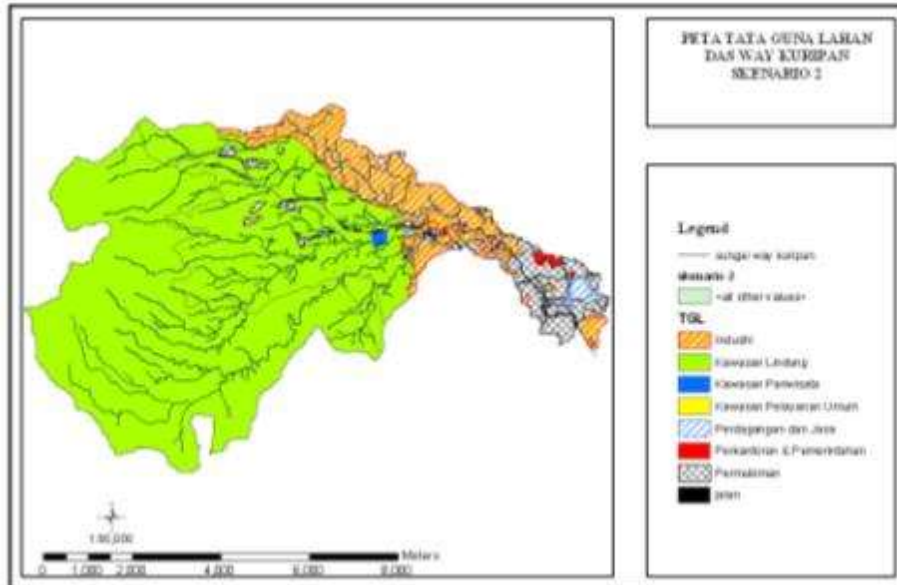
Pembuatan skenario I ini dilakukan dengan mengubah 11,69% penutupan lahan yang lahan kosong menjadi kawasan permukiman, jadi kawasan permukiman sebesar 17,98% dari luas DAS (9,63 km²). Untuk luas tata guna lahan lainnya belum berubah pada skenario pertama ini yaitu kawasan lindung sebesar 80,15% dari luas DAS (42,91 km²), kawasan pariwisata sebesar 0,19% dari luas DAS (0,10 km²), kawasan pelayanan umum sebesar 0,02% dari luas DAS (0,01 km²), luas kawasan perdagangan dan jasa sebesar 0,63% dari luas DAS (0,34 km²), luas perkantoran pemerintahan sebesar 0,27% dari luas DAS (0,14 km²), luas kawasan pertanian sebesar 0,34% dari luas DAS (0,18 km²), dan luas areal jalan 0,42% dari luas DAS (0,22 km²).



Gambar 5.34. Peta Tata Guna Lahan Skenario 1

C.2. Pembuatan Skenario II

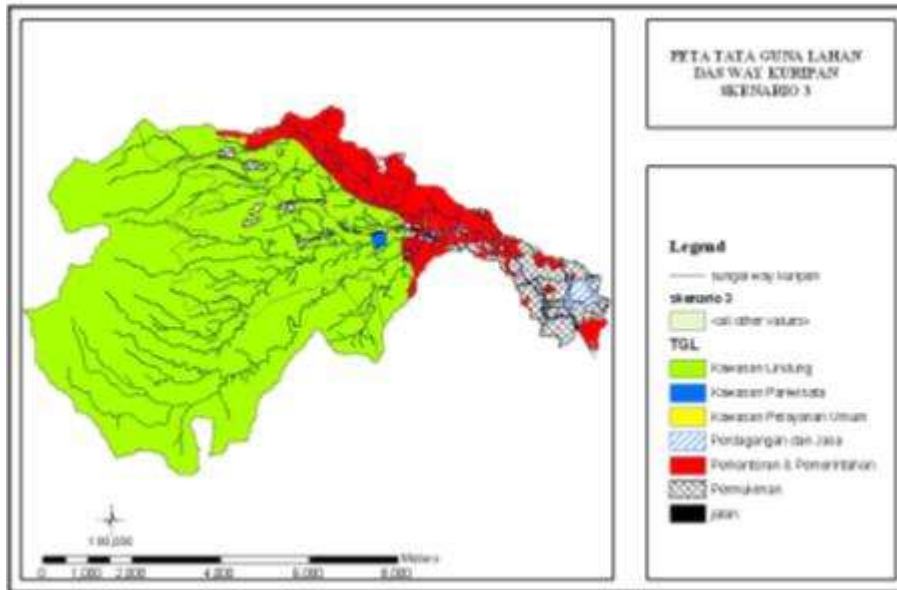
Pembuatan skenario II ini dilakukan dengan mengubah kawasan pertanian 0,34% dari luas DAS ($0,18 \text{ km}^2$) ditambah lahan kosong sebesar 11,69% dari luas DAS ($6,26 \text{ km}^2$) menjadi kawasan industri. Jadi kawasan industri sebesar 12,03% dari luas DAS ($6,44 \text{ km}^2$). Untuk luas tata guna lahan lainnya masih tetap sama dengan kondisi eksisting.



Gambar 5.35. Peta Tata Guna Lahan Skenario 2

C.3. Pembuatan Skenario III

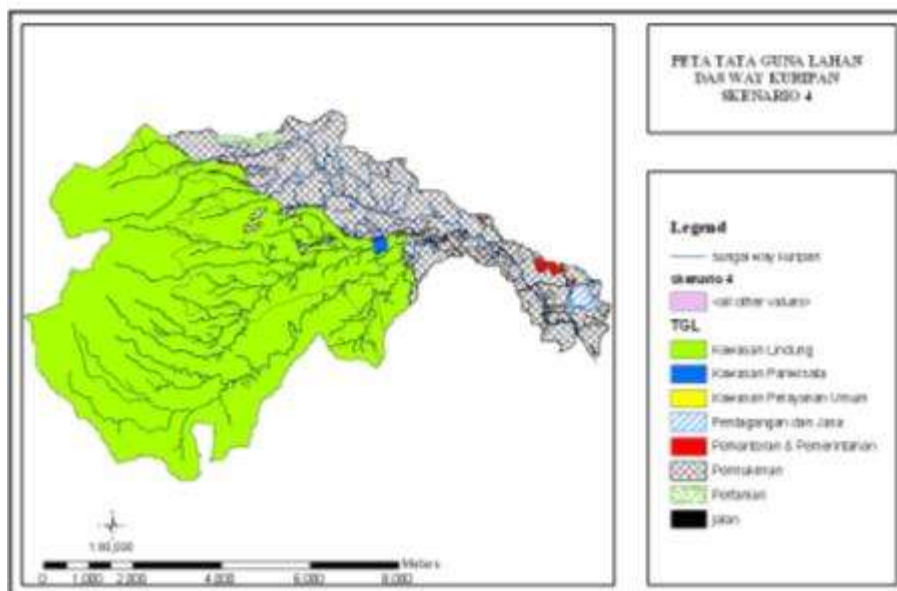
Pembuatan skenario III ini dilakukan dengan mengubah kawasan pertanian sebesar 0,34% dari luas DAS ($0,18 \text{ km}^2$) ditambah dengan lahan kosong sebesar 11,69% dari luas DAS ($6,26 \text{ km}^2$) menjadi kawasan perkantoran pemerintahan. Jadi kawasan perkantoran dan pemerintahan menjadi 12,30% dari luas DAS ($6,59 \text{ km}^2$). Untuk luas tata guna lahan lainnya masih tetap sama seperti dengan kondisi eksisting.



Gambar 5.36. Peta Tata Guna Lahan Skenario 3

C.4. Pembuatan Skenario IV

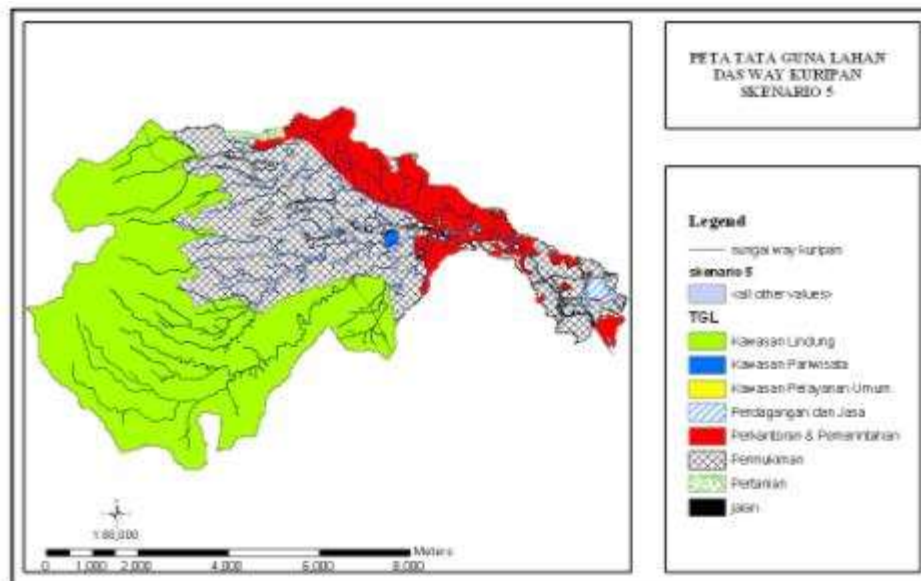
Pembuatan skenario IV ini dilakukan dengan mengubah sebagian kawasan lindung DAS Kuripan kota Bandar Lampung sebesar 7,12% dari Luas DAS ($3,82 \text{ km}^2$) ditambah lahan kosong sebesar 11,69% dari luas DAS ($6,26 \text{ km}^2$) menjadi kawasan permukiman. Jadi kawasan permukiman menjadi 25,11% dari luas DAS ($13,44 \text{ km}^2$).



Gambar 5.37. Peta Tata Guna Lahan Skenario 4

C.5. Pembuatan Skenario V

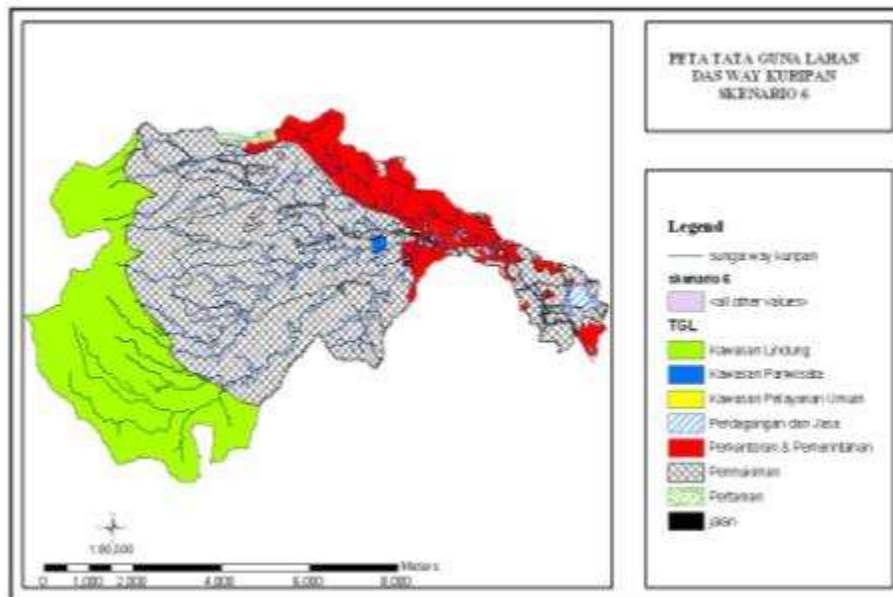
Pembuatan skenario V ini dilakukan dengan mengubah semua lahan kawasan lindung kota Bandar Lampung sebesar 26,80% dari luas DAS (14,36 km²) menjadi kawasan permukiman. Jadi luas kawasan permukiman menjadi 33,10% dari luas DAS (17,72 km²). Dan mengubah lahan kosong sebesar 11,69% dari luas DAS (6,26 km²) menjadi kawasan perkantoran pemerintahan. Jadi kawasan perkantoran pemerintahan menjadi 11,96% dari luas DAS (6,40 km²).



Gambar 5.38. Peta Tata Guna Lahan Skenario 5

C.6. Pembuatan Skenario VI

Pembuatan skenario VI ini dilakukan dengan mengubah semua lahan kawasan lindung kota Bandar Lampung sebesar 50,54% dari luas DAS (14,36 km²) menjadi kawasan permukiman. Jadi luas kawasan permukiman menjadi 56,82% dari luas DAS (17,72 km²). Dan mengubah lahan kosong sebesar 11,69% dari luas DAS (6,26 km²) menjadi kawasan perkantoran pemerintahan. Jadi kawasan perkantoran pemerintahan menjadi 11,96% dari luas DAS (6,40 km²). Serta luas lahan yg digunakan untuk jalan sebesar 0,44% dari luas DAS (0,23 km²).



Gambar 5.39. Peta Tata Guna Lahan Skenario 6

D. Koefisien Aliran Tata Guna Lahan DAS Way Kuripan (C)

Pada masing-masing tata guna lahan memiliki jenis koefisien aliran yang berbeda-beda, koefisien aliran pada masing-masing tata guna lahan pada DAS Way Kuripan dapat dilihat pada Tabel 5.31.

Tabel 5.31. Koefisien Aliran Untuk Masing - Masing Jenis Tata Guna Lahan

Tata Guna Lahan	C
Kawasan Lindung	0,20
Kawasan Pariwisata	0,60
Kawasan Pelayanan Umum	0,70
Lahan kosong	0,40
Perdagangan&jasa	0,80
Perkantoran pemerintahan	0,85
Permukiman	0,65
Pertanian	0,30
Jalan	0,90
Kawasan Industri	0,70

Untuk DAS yang terdiri dari beberapa jenis tata guna lahan, maka nilai C pada DAS dihitung menggunakan rumus :

$$C_{DAS} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i * C_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Keterangan :

A_i = Luas lahan dengan jenis penutup tanah i.

C_i = Koefisien aliran permukaan jenis penutup tanah i.

n = Jumlah jenis penutup lahan.

Tabel 5.32. Nilai Koefisien DAS Way Kuripan Kondisi Eksisting

Tata Guna Lahan	C	A	C x A
Kawasan Lindung	0,20	42915527,57	8583106,00
Kawasan Pariwisata	0,60	101811,42	61086,85
Kawasan Pelayanan Umum	0,70	8812,29	6168,60
Lahan Kosong	0,40	6259503,65	2503801,00
Perdagangan dan Jasa	0,80	335961,81	268769,40
Perkantoran Pemerintahan	0,85	144872,70	123141,80
Permukiman	0,65	3369376,00	2190094,00
Pertanian	0,30	183894,51	55168,35
Jalan	0,90	222335,27	200101,70
		53542095,00	13991438,00
			0,26

Dari nilai koefisien aliran sebesar 0,26, maka dapat dinyatakan bahwa DAS Way Kuripan memiliki kondisi yang cukup baik. Nilai C berkisar antara 0-1. Nilai C sama dengan 0 menunjukkan bahwa semua air hujan terinfiltrasi ke dalam tanah, sebaliknya untuk nilai C = 1 menunjukkan bahwa air hujan mengalir sebagai aliran permukaan. Pada DAS yang baik harga C mendekati 0 dan semakin rusak suatu DAS maka harga C semakin mendekati 1.

Tabel 5.33. Nilai Koefisien Aliran DAS Way Kuripan

Kondisi	C
Kondisi Eksisting	0,26
Skenario I	0,29
Skenario II	0,30
Skenario III	0,32
Skenario IV	0,32
Skenario V	0,43
Skenario VI	0,54

E. Debit Puncak

Estimasi debit puncak dilakukan dengan menggunakan rumus rasional, yang menggunakan masukan variabel berupa koefisien aliran permukaan, intensitas hujan, dan luas DAS.

Tabel 5.34. Rekapitulasi Pengaruh Tata Guna Lahan Terhadap Nilai Debit

Kala Ulang	Debit (m ³ /det)						
	Kondisi Eksisting	I	II	III	IV	V	VI
2	115,15	128,03	133,86	139,16	142,16	191,48	238,58
5	125,19	139,19	145,54	151,30	154,55	208,18	259,39
10	130,89	145,53	152,16	158,19	161,59	217,66	271,20
25	137,34	152,70	159,65	165,98	169,55	228,37	284,55
50	141,71	157,56	164,74	171,26	174,94	235,64	293,61
100	145,80	162,10	169,49	176,20	179,99	242,49	302,08
200	149,67	166,41	173,99	180,88	184,77	248,88	310,10

Tabel 5.35. Rekapitulasi Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Persentase Perubahan Nilai Debit

Kondisi Eksisting	Perubahan Nilai Debit (%)					
	Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV	Skenario V	Skenario VI
Q						
115,15	11,19	16,25	20,85	23,46	66,29	107,19
125,19						
130,89						
137,34						
141,71						
145,80						
149,67						

Dari tabel rekapitulasi pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap persentase perubahan nilai debit dapat disimpulkan bahwa keberadaan kawasan lindung pada DAS Way Kuripan sangat berperan penting untuk memperkecil debit puncak, sehingga potensi terjadinya banjir pada bagian hilir yang merupakan bagian dari Kota Bandar Lampung dapat terhindar.

Pada skenario 1, 2, 3, dan 4 perubahan tata guna lahan pada kawasan lindung tidak terlalu signifikan sehingga nilai debit puncaknya tidak terlalu besar. Sangat berbeda dengan skenario 5 dan 6 dimana terjadi kenaikan debit puncak yang sangat ekstrem, disebabkan kawasan lindung DAS Way Kuripan pada skenario 5 hanya tersisa 53,35% dan pada skenario 6 hanya tersisa 30%.

5.3. Pengembangan Sistem Peringatan Dini

Sistem peringatan dini tentang banjir pada prinsipnya dimaksudkan supaya masyarakat yang bermukim di daerah endemik banjir agar (1) dapat memperoleh informasi lebih awal tentang besaran (magnitude) banjir yang mungkin terjadi, (2) waktu evakuasi korban memadai sehingga risiko yang ditimbulkan dapat diminimalkan. Besaran tersebut meliputi: besarnya debit puncak (peak discharge) dan waktu menuju debit puncak (time to peak discharge). Akan lebih baik lagi apabila dilengkapi dengan informasi tentang tinggi genangan yang mungkin terjadi dan di mana wilayahnya. Dengan Informasi tersebut, selanjutnya pemerintah bersama masyarakat dapat merumuskan bagaimana cara dan prosedur evakuasinya. Sistem peringatan dini tentang banjir di Indonesia sangat penting karena (1) intensitas dan keragaman hujan menurut ruang dan waktu sangat tinggi sehingga banjir bisa terjadi secara tiba-tiba atau yang dikenal sebagai banjir bandang (flash flood), (2) hujan besar umumnya terjadi pada sore sampai malam hari sebagai akibat proses orografis, sehingga terjadinya debit puncak umumnya malam hari di saat masyarakat tidur lelap.

Menurut data penelitian, hampir sebagian besar banjir di Indonesia tidak dapat diantisipasi karena belum tersedianya sistem peringatan dini tentang banjir. Akibatnya, penanganan banjir lebih ditekankan pada rehabilitasi pascabanjir yang tentu memerlukan tenaga, waktu, dan biaya yang sangat besar karena korban cenderung meningkat dengan adanya efek pascabanjir. Untuk membangun sistem peringatan dini tentang banjir, maka diperlukan otomatisasi peralatan pengukur curah hujan dan debit dalam suatu daerah aliran sungai (DAS). Dalam bentuk yang sederhana, sistem peringatan dini dapat dirakit dengan menghubungkan: (1) alat ukur curah hujan otomatis (automatic rain gauge), (2) alat duga muka air sungai otomatis (automatic water level recorder /AWLR) di bagian hulu, (3) alat duga muka air sungai otomatis (automatic water level recorder/AWLR) di bagian hilir yang representatif dengan pusat kendali komputer yang dipantau oleh beberapa operator secara terus-menerus. Bahkan, daerah di negara-negara maju seperti di Nimes, Perancis, operator sistem kendali dilengkapi beberapa peralatan komunikasi baik telephone.

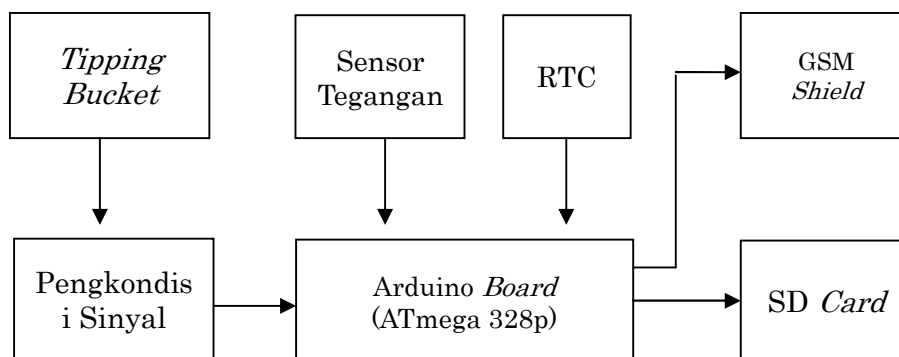
5.3.1. Pembuatan Alat Ukur Hujan Otomatis

Dari uraian singkat di atas disimpulkan akan pentingnya data curah hujan untuk mengatur pengelolaan air dalam pengendalian banjir. Mengingat curah hujan antara daerah satu dengan daerah lainnya berbeda-beda dan dapat terjadi setiap saat, oleh karena itu diperlukan alat yang dapat memantau curah hujan secara otomatis dan mampu menyimpan data curah hujan di masing-masing daerah. Namun pada kenyataannya alat ukur curah hujan yang terdapat di pasaran dijual secara terpisah, dan masih bekerja secara manual serta tidak dapat menyimpan secara otomatis. Hal ini tentu sangat tidak efisien saat digunakan dan dioperasikan. Oleh karena itu diperlukan alat ukur curah hujan yang bekerja secara otomatis dan dapat menyimpan data curah hujan yang turun ke dalam sebuah memori, sehingga data curah hujan yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara optimal.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk 1) Merancang dan membuat alat ukur curah hujan; 2) Menghitung besarnya curah hujan; 3) Membuat sistem penyimpanan pada alat pengukur curah hujan, 4) Membuat sistem pengiriman data curah hujan melalui SMS (*Sort Message Service*).

Dalam penelitian ini sudah dikembangkan alat ukur hujan otomatis di Laboratorium Digital Teknik Elektro Fakultas Teknik universitas Lampung.

5.3.2. Diagram Blok Sistem



Gambar 5.40. Diagram Blok Sistem

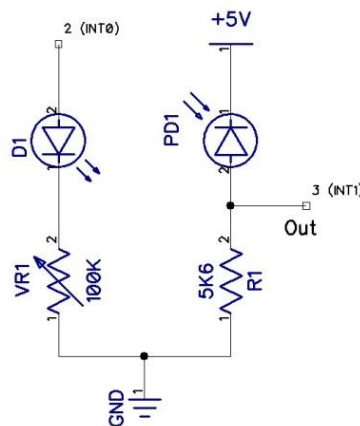
Perancangan alat ukur ini, sesuai dengan diagram blok di atas, air hujan yang turun akan ditampung dan dialirkan menuju *tipping bucket*. Pada volume tertentu, *tipping bucket* akan berubah dari posisi kesetimbangannya dan berjungkit. Pada saat yang sama menggerakkan penghalang cahaya antara LED dan sensor cahaya, sehingga merubah keadaan keluaran pengkondisi sinyanya. Sinyal yang dihasilkan dari perubahan kondisi ini akan dibaca oleh *board* Arduino sebagai penanda bahwa *tipping bucket* telah berubah dan mempunyai nilai tertentu untuk disimpan pada kartu memori yang nanti digunakan untuk mengetahui besarnya curah hujan yang diukur. Selain disimpan, hasil yang diukur juga dikirim melalui SMS.

5.3.3. Perancangan Perangkat Keras

Rangkaian yang digunakan dalam perancangan *hardware* ini adalah sebagai berikut.

5.3.3.1. Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal ini menggunakan sebuah dioda LED D1 sebagai pemancar cahaya ke arah photo dioda PD1 seperti gambar di bawah ini.



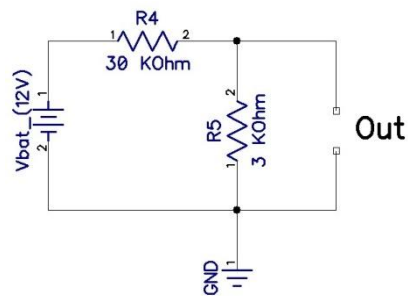
Gambar 5.41. Rangkaian Pengkondisi Sinyal

Rangkaian di atas mempunyai tiga buah pin beserta label yang menyertainya. Pin 3 (INT1) merupakan pin keluaran Arduino yang berfungsi untuk menghidupkan dioda LED D1 yang difungsikan sebagai pemancar terhadap photo dioda PD1. Selain itu, pin ini juga difungsikan sebagai penanda apabila *SD Card* tidak tersedia atau *error* (rusak) dengan memberikan tegangan *high* dan *low*, sehingga

LED D1 akan berkedip. Label +5V adalah tegangan catu yang dibutuhkan rangkaian, sedangkan label *out* merupakan sinyal keluaran yang mempunyai dua kondisi, yaitu *high* dan *low* akibat perubahan *tipping bucket*.

5.3.3.2. Sensor Tegangan

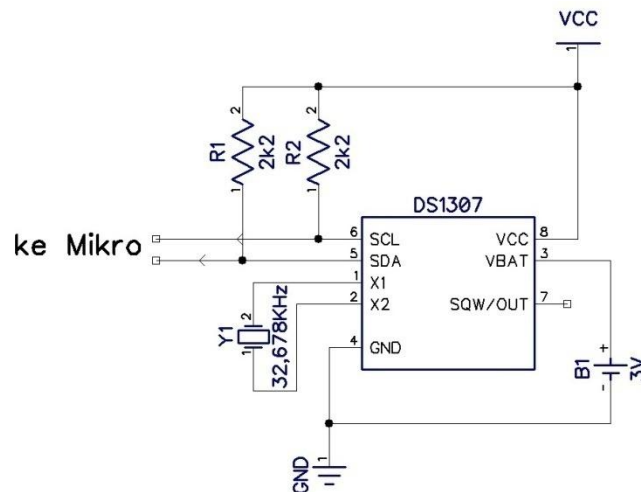
Sensor tegangan digunakan untuk mengukur besar tegangan baterai. Rangkaian ini dibentuk dari dua buah resistor, yaitu R1 dan R2 yang membentuk rangkaian pembagi tegangan.



Gambar 5.42. Sensor Tegangan

5.3.3.3. Rangkaian *Real Time Clock* (RTC)

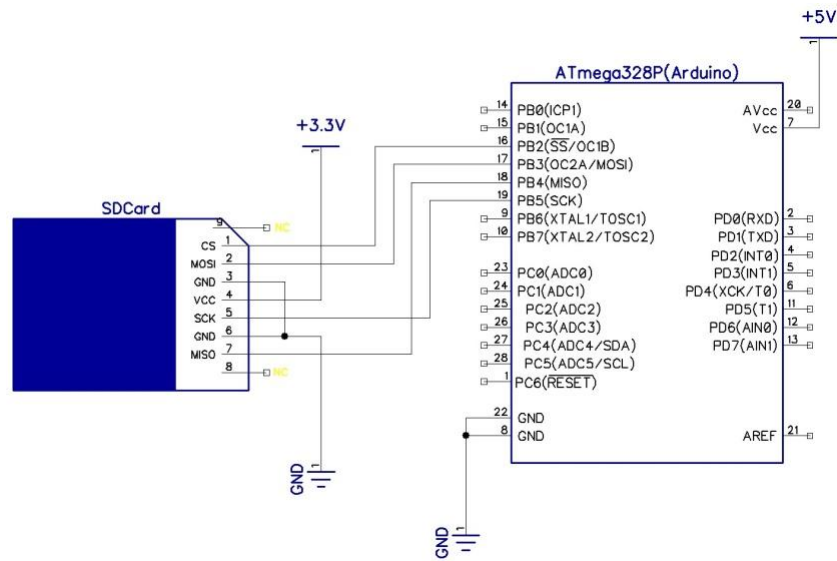
Real Time Clock (RTC) berfungsi sebagai penyimpan waktu dan tanggal.



Gambar 5.43. Rangkaian *Real Time Clock* (RTC)

RTC merupakan jam komputer berupa sirkuit terpadu yang berfungsi sebagai pemelihara waktu. RTC ini memiliki catu daya terpisah dari catu daya PLN, sehingga RTC akan tetap berjalan meskipun PLN dalam keadaan mati. Berikut adalah gambar rangkaian dari RTC.

5.3.3.4. Rangkaian Penyimpanan Data (SD Card)

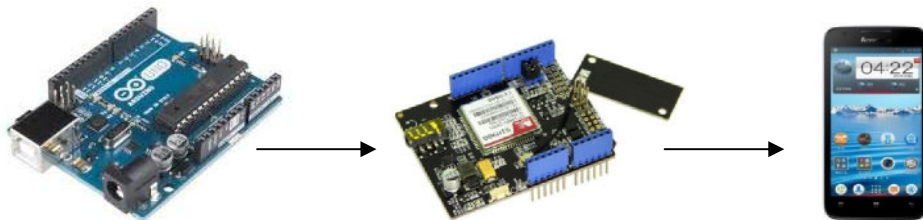


Gambar 5.44. Rangkaian Penyimpanan Data (SD Card)

Gambar di atas merupakan rangkaian dari penyimpanan data curah hujan. Rangkaian penyimpanan ini menggunakan media penyimpanan berupa kartu memori SD Card. Memori ini bekerja dengan tegangan sebesar 3,3V dan proses penyimpanan terhadap ATmega328p (Arduino) menggunakan komunikasi SPI. Data yang diperoleh ini disimpan dalam bentuk file excel.

5.3.3.5. Komunikasi SIM900 GSM Shield

Komunikasi yang dimaksud adalah komunikasi antara SIM900 GSM Shield terhadap ATmega328p (Arduino) yang menggunakan komunikasi serial. Melalui komunikasi ini, data curah hujan dapat dikirim secara rutin berdasarkan waktu tertentu yang telah ditentukan melalui layanan SMS (*Sort Message Service*).



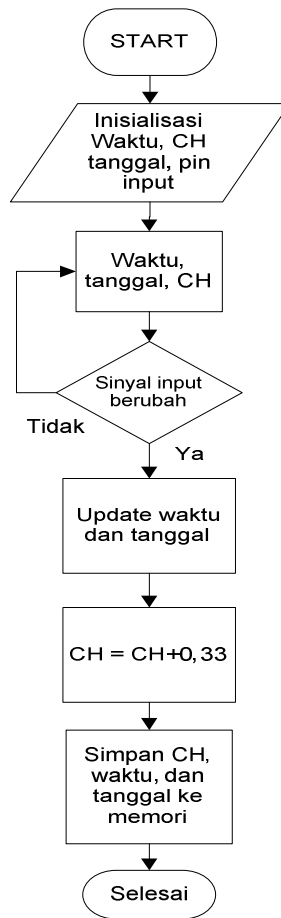
Gambar 5.45. Komunikasi SIM900 GSM Shield

Data yang dikirim meliputi data curah hujan per 60 menit ketika mulai terjadi hujan, data curah hujan harian, dan data curah hujan total selama alat dihidupkan. Selain itu, juga terdapat informasi mengenai waktu, tanggal, dan besar tegangan baterai.

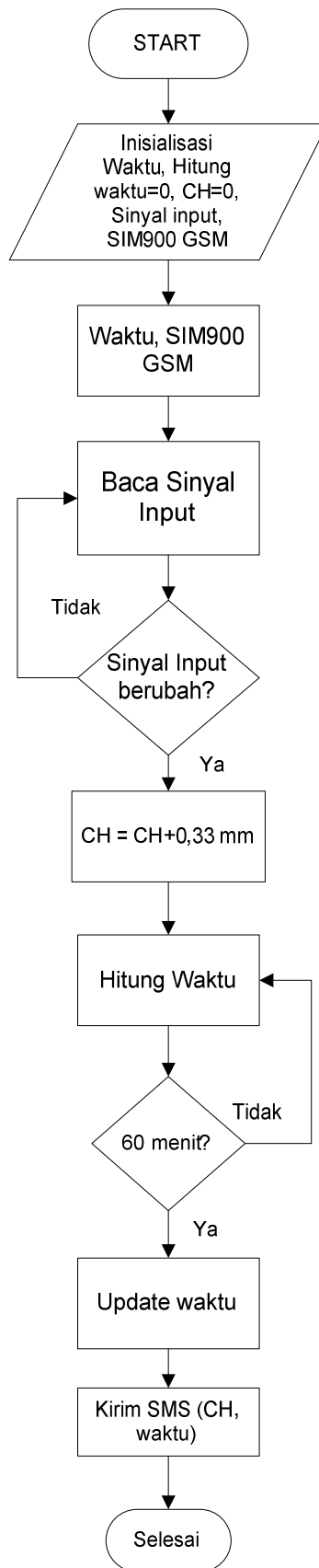
5.3.4. Diagram Alir Sistem

Diagram alir di bawah merupakan urutan kerja sistem yang akan ditanamkan pada alat ukur curah hujan. Dalam penggunaannya, sistem yang akan ditanamkan akan mempunyai tiga fungsi pokok, yaitu melakukan pengukuran besar curah hujan dan menyimpannya ke dalam media penyimpan, mengirimkan data curah hujan pada rentang waktu 60 menit sejak pengukuran pertama ketika terjadi hujan melalui layanan SMS, dan melakukan pengiriman data harian setiap 24 jam sekali yang juga melalui layanan SMS.

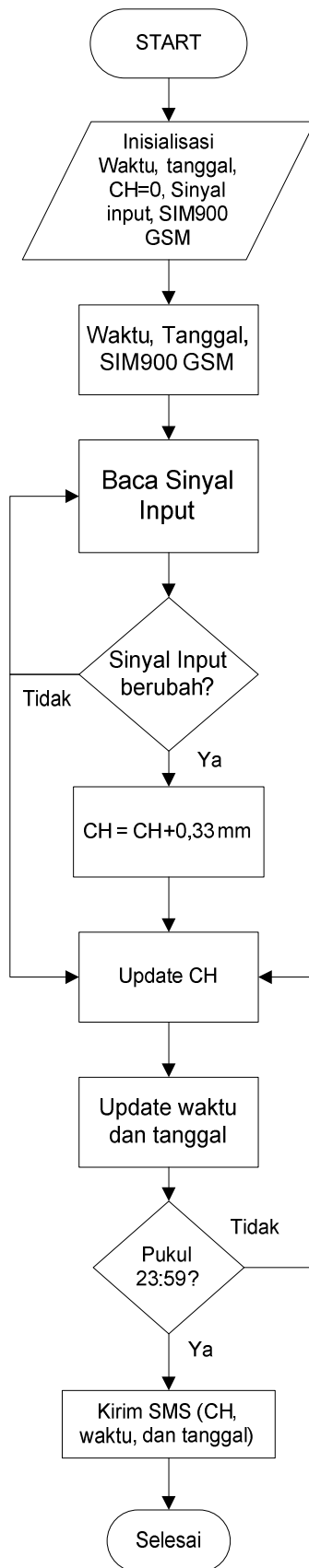
Diagram pada gambar 3.8 berikut merupakan diagram alir pada sistem penyimpanan. Pada diagram alir ini, sistem hanya melakukan kerja untuk melakukan penyimpanan hanya ketika terjadi hujan. Ketika sistem dihidupkan, mikrokontroler ATmega 328p pada *Board* Arduino Uno akan melakukan inisialisasi perintah yang akan dijalankan. Kemudian, mikrokontroler akan membaca waktu dari rangkaian *Real Time Clock* (RTC) dan kondisi sinyal input yang menandakan posisi *tipping bucket* saat ini. Setelah itu, mikrokontroler menunggu perintah selanjutnya untuk menyimpan data curah hujan, yaitu berupa sinyal *high* atau *low* yang dikirimkan dari rangkaian pengkondisi sinyal. Sinyal tersebut dipicu oleh pergerakan *tipping bucket* yang telah melewati batas kesetimbangannya dalam menampung air hujan yang pada dasarnya akan membuka atau menghalangi pancaran cahaya LED terhadap sensor cahaya.



Gambar 5.46. Diagram Alir Sistem Penyimpanan



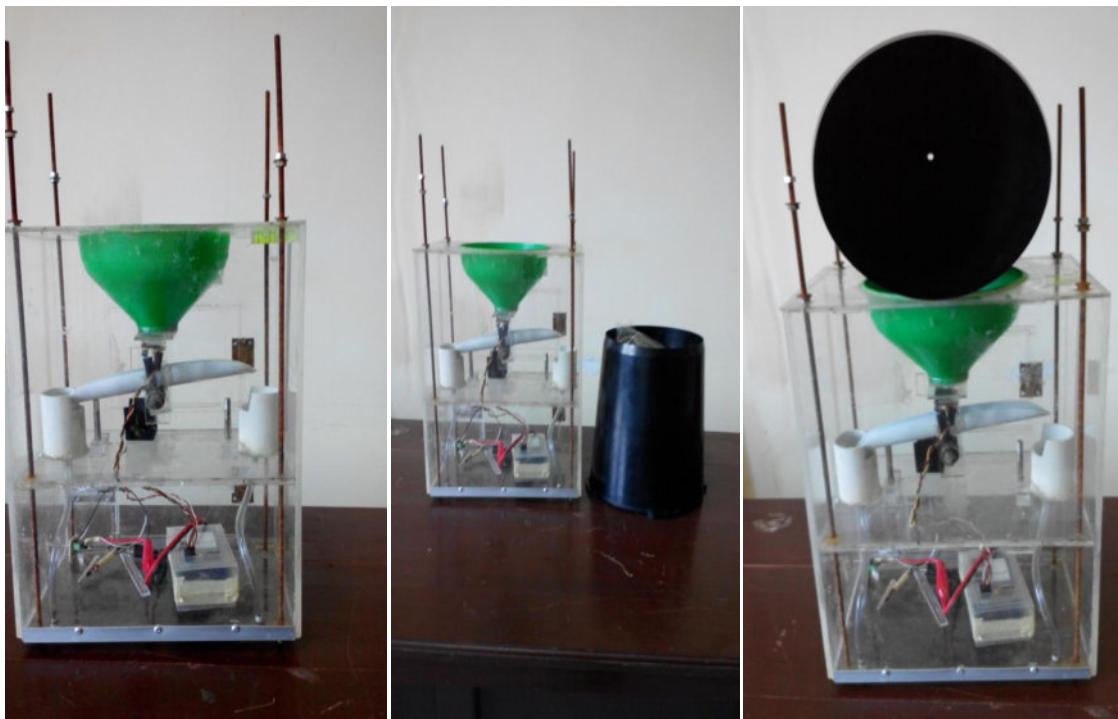
Gambar 5.47. Diagram Alir Pengiriman Data Per 60 Menit



Gambar 5.48. Diagram Alir Pengiriman Data Setiap Pukul 23:59

Fungsi sistem selanjutnya adalah pengiriman data per 60 menit seperti diagram alir pada gambar 3.9 di atas. Pada bagian ini, sistem berfungsi melakukan pengiriman data curah hujan hanya ketika terjadi perubahan sinyal input dari pergerakan *tipping bucket* yang mengindikasikan terjadi hujan. Ketika terjadi hujan, maka pergerakan pertama *tipping bucket* akan dijadikan acuan sebagai menit awal untuk sistem menghitung 60 menit dari pergerakan tadi. Selama proses penghitungan waktu 60 menit tersebut, sistem tetap berjalan wajar melakukan perhitungan curah hujan dalam bentuk akumulasi. Setelah waktu 60 menit terpenuhi, maka data akumulasi curah hujan beserta waktu pengiriman akan dikirim ke nomor tujuan dalam bentuk SMS.

Diagram alir yang terakhir seperti pada Gambar 5.48 di atas menjelaskan pengiriman data setiap 24 jam sekali. Berbeda dengan diagram alir pada gambar 3.9, pada diagram ini sistem akan melakukan pengiriman data secara rutin setiap 24 jam sekali dengan ada maupun tidak adanya data curah hujan. Data yang dikirim meliputi data curah hujan, waktu, dan tanggal data pengiriman.



Gambar 5.49. Alat ukur hujan otomatis

5.3.5. Data Alat yang Dihasilkan

Pengambilan data curah hujan melalui alat yang dibuat pada penelitian ini adalah sebagai berikut. Data yang terekam adalah besar curah hujan total, besar curah hujan per jam, dan besar curah hujan per hari serta pemberitahuan melalui SMS (*Sort Message Service*) yang dikirim ke nomor yang telah ditentukan.

Tabel 5.36. Data Curah Hujan 11 November 2014 Alat yang diuji

No.	Tanggal	Waktu	CH Total (mm)	CH Per Jam (mm/jam)	CH Per Hari (mm/hari)
1	11/11/2014	14:33:47	0.25		
2	11/11/2014	14:34:18	0.51		
3	11/11/2014	14:34:31	0.76		
4	11/11/2014	14:34:51	1.02		
5	11/11/2014	14:35:06	1.27		
6	11/11/2014	14:35:18	1.52		
7	11/11/2014	14:35:30	1.78		
8	11/11/2014	14:35:44	2.03		
9	11/11/2014	14:35:54	2.29		
10	11/11/2014	14:36:07	2.54		
11	11/11/2014	14:36:17	2.79		
12	11/11/2014	14:36:35	3.05		
13	11/11/2014	14:36:49	3.30		
14	11/11/2014	14:37:06	3.55		
15	11/11/2014	14:37:31	3.81		
16	11/11/2014	14:37:51	4.06		
17	11/11/2014	14:38:11	4.32		
18	11/11/2014	14:38:23	4.57		
19	11/11/2014	14:38:35	4.82		
20	11/11/2014	14:38:53	5.08		
21	11/11/2014	14:39:13	5.33		
22	11/11/2014	14:40:32	5.59		
	11/11/2014	15:33:57		5.59	
23	11/11/2014	15:41:46	5.84		
24	11/11/2014	16:22:10	6.09		
25	11/11/2014	16:28:08	6.35		
26	11/11/2014	16:31:25	6.60		
27	11/11/2014	16:34:02	6.86		
28	11/11/2014	16:35:37	7.11		
29	11/11/2014	16:36:25	7.36		
30	11/11/2014	16:37:13	7.62		
31	11/11/2014	16:37:49	7.87		

32	11/11/2014	16:38:38	8.13		
33	11/11/2014	16:39:02	8.38		
34	11/11/2014	16:39:29	8.63		
35	11/11/2014	16:39:49	8.89		
36	11/11/2014	16:40:18	9.14		
37	11/11/2014	16:40:41	9.39		
	11/11/2014	16:41:10		3.81	
38	11/11/2014	16:41:37	9.65		
39	11/11/2014	16:43:01	9.90		

Tabel 5.36. (Lanjutan 1)

40	11/11/2014	16:43:56	10.16		
41	11/11/2014	16:44:25	10.41		
42	11/11/2014	16:45:03	10.66		
43	11/11/2014	16:45:24	10.92		
44	11/11/2014	16:45:47	11.17		
45	11/11/2014	16:46:03	11.43		
46	11/11/2014	16:46:20	11.68		
47	11/11/2014	16:46:34	11.93		
48	11/11/2014	16:46:54	12.19		
49	11/11/2014	16:47:11	12.44		
50	11/11/2014	16:47:32	12.70		
51	11/11/2014	16:47:57	12.95		
52	11/11/2014	16:48:28	13.20		
53	11/11/2014	16:49:08	13.46		
54	11/11/2014	16:51:42	13.71		
55	11/11/2014	17:02:06	13.97		
	11/11/2014	17:41:50		4.57	
	11/11/2014	23:59:00			13.97

Tabel 5.37. Data Curah Hujan 13 November 2014 Alat yang diuji

No.	Tanggal	Waktu	CH Total (mm)	CH Per Jam (mm/jam)	CH Per Hari (mm/hari)
1	13/11/2014	13:27:14	0.25		
2	13/11/2014	13:28:17	0.51		
3	13/11/2014	13:29:01	0.76		
4	13/11/2014	13:29:21	1.02		
5	13/11/2014	13:29:31	1.27		
6	13/11/2014	13:29:50	1.52		
7	13/11/2014	13:30:13	1.78		
8	13/11/2014	13:30:35	2.03		
9	13/11/2014	13:31:10	2.29		

10	13/11/2014	13:31:56	2.54		
11	13/11/2014	13:32:21	2.79		
12	13/11/2014	13:32:43	3.05		
13	13/11/2014	13:33:05	3.30		
14	13/11/2014	13:33:18	3.55		
15	13/11/2014	13:33:40	3.81		
16	13/11/2014	13:33:54	4.06		
17	13/11/2014	13:34:08	4.32		
18	13/11/2014	13:34:23	4.57		
19	13/11/2014	13:34:40	4.82		
20	13/11/2014	13:34:55	5.08		

Tabel 5.37 (Lanjutan 1)

21	13/11/2014	13:35:07	5.33		
22	13/11/2014	13:35:19	5.59		
23	13/11/2014	13:35:31	5.84		
24	13/11/2014	13:35:40	6.09		
25	13/11/2014	13:35:56	6.35		
26	13/11/2014	13:36:05	6.60		
27	13/11/2014	13:36:15	6.86		
28	13/11/2014	13:36:27	7.11		
29	13/11/2014	13:36:40	7.36		
30	13/11/2014	13:36:53	7.62		
31	13/11/2014	13:37:07	7.87		
32	13/11/2014	13:37:23	8.13		
33	13/11/2014	13:37:38	8.38		
34	13/11/2014	13:37:56	8.63		
35	13/11/2014	13:38:11	8.89		
36	13/11/2014	13:38:31	9.14		
37	13/11/2014	13:38:50	9.39		
38	13/11/2014	13:39:11	9.65		
39	13/11/2014	13:39:37	9.90		
40	13/11/2014	13:40:01	10.16		
41	13/11/2014	13:40:22	10.41		
42	13/11/2014	13:40:41	10.66		
43	13/11/2014	13:41:09	10.92		
44	13/11/2014	13:41:30	11.17		
45	13/11/2014	13:41:49	11.43		
46	13/11/2014	13:42:06	11.68		
47	13/11/2014	13:42:28	11.93		
48	13/11/2014	13:42:44	12.19		
49	13/11/2014	13:42:58	12.44		

50	13/11/2014	13:43:10	12.70		
51	13/11/2014	13:43:22	12.95		
52	13/11/2014	13:43:33	13.20		
53	13/11/2014	13:43:44	13.46		
54	13/11/2014	13:43:52	13.71		
55	13/11/2014	13:44:02	13.97		
56	13/11/2014	13:44:11	14.22		
57	13/11/2014	13:44:21	14.47		
58	13/11/2014	13:44:34	14.73		
59	13/11/2014	13:44:49	14.98		
60	13/11/2014	13:45:03	15.23		
61	13/11/2014	13:45:18	15.49		
62	13/11/2014	13:45:36	15.74		
63	13/11/2014	13:45:52	16.00		

Tabel 5.37 (Lanjutan 2)

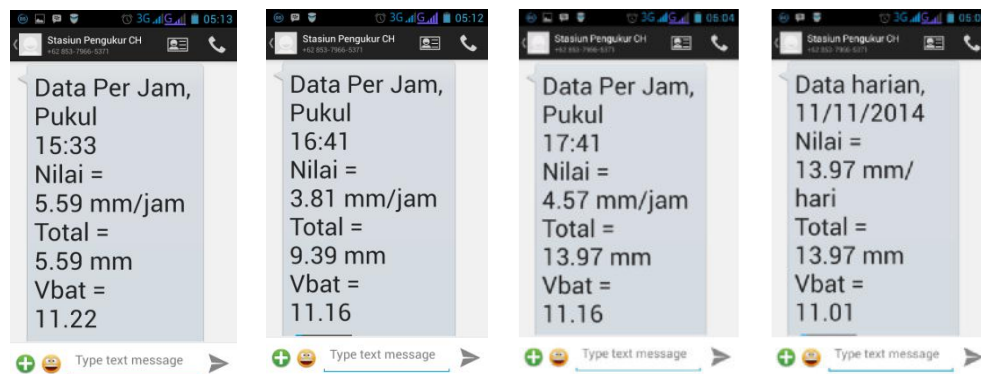
64	13/11/2014	13:46:12	16.25		
65	13/11/2014	13:46:38	16.50		
66	13/11/2014	13:46:58	16.76		
67	13/11/2014	13:47:19	17.01		
68	13/11/2014	13:47:38	17.27		
69	13/11/2014	13:47:55	17.52		
70	13/11/2014	13:48:10	17.77		
71	13/11/2014	13:48:28	18.03		
72	13/11/2014	13:48:50	18.28		
73	13/11/2014	13:49:14	18.54		
74	13/11/2014	13:49:37	18.79		
75	13/11/2014	13:50:02	19.04		
76	13/11/2014	13:50:28	19.30		
77	13/11/2014	13:50:53	19.55		
78	13/11/2014	13:51:16	19.80		
79	13/11/2014	13:51:46	20.06		
80	13/11/2014	13:52:07	20.31		
81	13/11/2014	13:52:29	20.57		
82	13/11/2014	13:52:52	20.82		
83	13/11/2014	13:53:22	21.07		
84	13/11/2014	13:53:49	21.33		
85	13/11/2014	13:54:21	21.58		
86	13/11/2014	13:54:46	21.84		
87	13/11/2014	13:55:20	22.09		
88	13/11/2014	13:55:45	22.34		
89	13/11/2014	13:56:15	22.60		

90	13/11/2014	13:56:38	22.85		
91	13/11/2014	13:57:15	23.11		
92	13/11/2014	13:57:49	23.36		
93	13/11/2014	13:58:30	23.61		
94	13/11/2014	13:59:10	23.87		
95	13/11/2014	13:59:57	24.12		
96	13/11/2014	14:00:29	24.38		
97	13/11/2014	14:01:04	24.63		
98	13/11/2014	14:01:36	24.88		
99	13/11/2014	14:02:18	25.14		
100	13/11/2014	14:02:59	25.39		
101	13/11/2014	14:03:45	25.64		
102	13/11/2014	14:04:28	25.90		
103	13/11/2014	14:05:23	26.15		
104	13/11/2014	14:06:12	26.41		
105	13/11/2014	14:07:13	26.66		
106	13/11/2014	14:07:59	26.91		
107	13/11/2014	14:09:13	27.17		
108	13/11/2014	14:10:14	27.42		
109	13/11/2014	14:11:39	27.68		
110	13/11/2014	14:12:33	27.93		
111	13/11/2014	14:13:37	28.18		
112	13/11/2014	14:14:21	28.44		
113	13/11/2014	14:15:13	28.69		
114	13/11/2014	14:15:58	28.95		
115	13/11/2014	14:16:56	29.20		
116	13/11/2014	14:17:39	29.45		
117	13/11/2014	14:18:34	29.71		
118	13/11/2014	14:19:17	29.96		
119	13/11/2014	14:20:16	30.22		
120	13/11/2014	14:21:06	30.47		
121	13/11/2014	14:22:24	30.72		
122	13/11/2014	14:23:25	30.98		
123	13/11/2014	14:24:50	31.23		
124	13/11/2014	14:26:10	31.48		
	13/11/2014	14:27:30		31.48	
125	13/11/2014	14:28:24	31.74		
126	13/11/2014	14:31:38	31.99		
127	13/11/2014	14:39:15	32.25		
128	13/11/2014	15:07:42	32.50		
	13/11/2014	15:28:40		1.02	
	13/11/2014	23:59:00			32.50

Selain data curah hujan yang telah ditabelkan di atas, pada proses pengukuran dari alat yang dibuat juga melakukan pengiriman data melalui SMS. Berikut ini merupakan gambar dari isi data pada pesan yang diterima.

Data yang dikirim Melalui SMS (*Sort Message Service*) :

11 November 2014



Gambar 5.50. Isi SMS Data Curah Hujan 11 November 2014

13 November 2014



Gambar 5.51. Isi SMS Data Curah Hujan 13 November 2014

Gambar dari isi SMS di atas merupakan data curah hujan yang dikirim dari alat ukur curah hujan dan berisi informasi mengenai jumlah curah hujan setiap jam serta data curah hujan harian. Selain itu, data yang dikirim juga berisi informasi tanggal untuk data harian dan besar tegangan baterai, sehingga memudahkan dalam proses pemantauan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pola hujan di Bandar Lampung terdistribusi menjadi 40% di jam pertama, 40% di jam kedua, 15% di jam ketiga dan 5% di jam keempat.
2. Tindakan yang mempertahankan adanya ruang terbuka hijau untuk DAS Way Kuala Garuntang sangat diperlukan untuk memberikan ruang yang cukup bagi peresapan air hujan pada suatu daerah tertentu guna keperluan penyediaan kebutuhan air tanah serta penanggulangan banjir.
3. Banyaknya kawasan lindung pada DAS Way Kuripan sebesar 80,15% dari luas DAS sebesar 53,54 km², memberikan ruang yang cukup bagi peresapan air hujan, sehingga dapat mengurangi potensi banjir di bagian hilir yang merupakan bagian dari Kota Bandar Lampung.
4. Hasil perhitungan HSS Nakayasu divalidasi dengan Hidrograf satuan Terukur (HST) yang dilakukan di DAS Way Simpur, Way Awi dan Way Kuala Garuntang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit puncak dapat diprediksi dengan baik oleh HSS Nakayasu, sedang waktu puncak *over estimate*.
5. Sistem peringatan dini banjir sudah dikembangkan dengan membuat alat pengukur hujan otomatis tipe jungkat-jungkit (*tipping bucket*) yang dapat menyimpan data dan mengirimkan data hujan melalui sms.

6.2. Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan yang menggabungkan sistem peringatan dini banjir menggunakan alat ukur hujan otomatis yang dapat mengirimkan data hujan baik melalui sms atau internet, dengan alat ukur tinggi muka air otomatis yang

dipasang di sungai untuk mendapatkan data tinggi muka air dan datanya dapat dikirimkan melalui sms maupun internet.

2. Alat ukur hujan otomatis yang dibuat dalam penelitian ini memiliki keterbatasan dalam penyimpanan data serta umur baterai. Perlu dilakukan kajian lagi agar alat tersebut dapat menyimpan data yang cukup panjang.

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN STRATEGIS NASIONAL
Tahun Kedua**

**Pengembangan Metode Prakiraan Banjir dan Sistem Peringatan Dini
melalui *Distributed Hydrology Model*
berbasis Sistem Informasi Geografis**

**Dr. Dyah Indriana Kusumastuti, MSc
Dwi Jokowinarno, S.T., M.Eng
Citra Dewi, S.T., M.Eng.
Siti Nurul Khotimah, S.T., M.Sc.**



**DIBIYAI MELALUI
DIREKTORAT PENELITIAN & PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT (DP2M)
DITJEN DIKTI DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
NO. KONTRAK: 587/UN26/8/PL/2013**

**UNIVERSITAS LAMPUNG
NOVEMBER 2013**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Kegiatan : Pengembangan Metode Prakiraan Banjir dan Sistem Peringatan Dini melalui Distributed Hydrology Model berbasis Sistem Informasi Geografis

Peneliti / Pelaksana

Nama Lengkap : Dr. DYAH INDRIANA KUSUMASTUTI S.T.,M.Sc.
NIDN : 0019126902
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Teknik Sipil
Nomor HP : 085279794487
Surel (e-mail) : kusumast@unila.ac.id

Institusi Mitra (jika ada)

Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -

Tahun Pelaksanaan : Tahun ke dari rencana tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp. 80.000.000,00
Biaya Keseluruhan : Rp. 280.000.000,00

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik


Dr. Lusmeilia Afriani, DEA.)
NIP/NIK 196805101993032008

Bandar Lampung, 30 - 11 - 2013,
Ketua Peneliti,



(Dr. DYAH INDRIANA KUSUMASTUTI
S.T.,M.Sc.)
NIP/NIK 19691219 199512 2001

Menyetujui,


Dr. Eng. Admi Syarif
NIP/NIK 196701031992031003

RINGKASAN

Banjir merupakan suatu respon Daerah Aliran Sungai (DAS) terhadap hujan dimana karakteristik DAS sangat mempengaruhi keluaran debit dari DAS tersebut. Untuk mendapatkan gambaran yang detil tentang respon DAS tersebut, maka pemodelan yang dilakukan harus mencakup skala spasial dimana DAS harus dibagi menjadi beberapa Sub DAS kecil. Pada Tahun Pertama telah dilakukan penelitian yang meliputi pengembangan Hidrograf Satuan Terukur (HST) dan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS). Baik HST maupun HSS diturunkan untuk *cascade hydrograph* (hidrograf untuk sub DAS hulu dan hilir yang saling berhubungan) dan *neighbouring hydrograph* (hidrograf untuk sub DAS yang berdekatan tapi tidak berhubungan). Dengan Hidrograf Satuan tersebut terlihat karakteristik banjir seperti debit puncak, waktu puncak dan waktu dasar. Hasil pengembangan HSS Gamma 1 dan Nakayasu yang berbasis SIG menunjukkan pola untuk DAS yang memiliki luasan yang lebih besar lebih cocok digunakan HSS Gamma 1 sedangkan untuk DAS dengan luasan lebih kecil, lebih cocok digunakan metode HSS Nakayasu.

Pada penelitian Tahun Kedua telah dikembangkan lebih lanjut hidrograf satuan yang telah mulai dikembangkan pada tahun pertama, dengan mempertimbangkan *spatial scale* yang diambil lebih kecil untuk ketelitian yang lebih tinggi. Oleh karena itu deliniasi DAS juga akan dilakukan hingga tingkat sub sub DAS, sehingga satu sub sub DAS hanya mencakup sungai order 1 dan 2 saja. Pada tingkat ini, *cascade hydrograph* dan *neighbouring hydrograph* dapat semakin diamati, dimana penjalaran besar debit dapat terlihat jelas pada *cascading sub catchment*. *Neighbouring hydrograph* sangat dipengaruhi oleh panjang sungai, luas sub DAS maupun bentuk sub DAS.

Pada Tahun Kedua ini juga dilakukan penelitian terhadap pengaruh *land use* terhadap respon banjir. Respon banjir terhadap pengaruh *land use* kondisi eksisting akan dibandingkan terhadap respon banjir terhadap pengaruh *land use* di beberapa tahun akan datang. Hasil yang didapatkan adalah Peta Respon banjir berdasarkan *land use* kondisi eksisting dan *land use* kondisi tahun yang akan datang. Dari simulasi terhadap perubahan tata guna lahan menunjukkan bahwa penyediaan ruang yang diperuntukkan sebagai ruang terbuka hijau menyebabkan penurunan debit puncak. Sebaliknya dampak dari urbanisasi, seperti bertambahnya lahan yang diperuntukkan bagi pemukiman, perindustrian maupun perdagangan, tanpa disertai penyediaan ruang terbuka hijau akan meningkatkan debit yang cukup signifikan.

Kata kunci: DAS, banjir, *cascade hydrograph*, *neighbouring hydrograph*, hidrograf satuan, *land use*, debit puncak.

DAFTAR ISI

Halaman

RINGKASAN

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

BAB I. PENDAHULUAN

- 1.1. Latar Belakang..... 1
- 1.2. Urgensi (Keutamaan Penelitian)..... 3

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

- 2.1. Pendekatan model hidrologi dalam prediksi banjir 5
- 2.2. Transformasi hujan-aliran..... 6
- 2.3. Hidrograf..... 7
- 2.4. Hidrograf Satuan..... 8
- 2.5. Hidrograf Satuan Sintetik 9
 - 2.5.1. Hidrograf Satuan Sintetik Gamma 1 10
 - 2.5.2. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu..... 13

BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

- 3.1. Tujuan Penelitian 14
- 3.2. Manfaat penelitian 14

BAB IV. METODE PENELITIAN

4.1. Prosedur Pengembangan Hidrograf Sintetik Satuan (HSS) Nakayasu.....	19
4.2. Prosedur Penelitian Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Pada Fluktuasi Debit DAS Kota Bandar Lampung.....	20
4.2.1. Tahap Pengumpulan Data.....	21
4.2.2. Analisis Hidrologi.....	21
4.2.3. Analisis Data Spasial	22
4.2.4. Analisis Sensivitas Dan Skenario Penggunaan Lahan	22
4.2.5. Overlay.....	23

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Distributed Hydrologic Model.....	26
5.1.1 Analisis Data Spasial	26
5.1.2 Analisis Hidrologi.....	29
5.2 Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Pada Fluktuasi Debit DAS di Kota Bandar Lampung.....	44
5.2.1 Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan di DAS Kuala Garuntang ..	44
5.2.2 Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan di DAS Kuripan	72

BAB VI. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. Kesimpulan.....	93
7.2. Saran	94

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Instrumen

Personalia Tenaga Peneliti

HKI dan Publikasi

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
5.1 Pengelompokkan <i>neighbour watershed</i> dan <i>cascade watershed</i>	27
5.2 Kurva naik	30
5.3 Kurva Turun ke 1	32
5.4 Kurva Turun ke 2	34
5.5 Koordinat Stasiun Curah Huja DAS Way Kuala Garuntang	46
5.6 Luas Pengaruh Stasiun Hujan Terhadap DAS Stasiun.....	47
5.7 Curah Hujan Rerata Harian Maksimum Tahunan DAS Way Kuala Garuntang	50
5.8 Parameter Statistik Curah Hujan	51
5.9 Analisis Jenis Sebaran	52
5.10 Uji Chi Square	52
5.11 Uji Smirnov Kolmogorov.....	53
5.12 Curah Hujan Rencana.....	54
5.13 Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman Selama 3 Jam.....	55
5.14 Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman Selama 4 Jam.....	56
5.15 Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman Selama 5 Jam.....	57
5.16 Intensitas Hujan Tiap periode Ulang.....	58
5.17 Luasan Masing-Masing Penggunaan Lahan DAS Way Kuala Garuntang	67
5.18 Koefisien Aliran Untuk Masing-Masing Jenis Tata Guna Lahan	68
5.19 Nilai Koefisien Aliran DAS Way Kuala Garuntang Kondisi Eksisting....	69
5.20 Nilai Koefisien Aliran DAS Way Kuala Garuntang Kondisi Eksisting....	70
5.21 Rekapitulasi Pengaruh Tata Guna Lahan Terhadap Nilai Debit	70

5.22	Rekapitulasi Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Persentase Perubahan Nilai Debit	71
5.23	Koordinat Stasiun Curah Hujan DAS Way Kuripan.....	75
5.24	Luas Pengaruh Stasiun Hujan Terhadap DAS	76
5.25	Curah Hujan Rerata Harian Maksimum Tahunan DAS Way Kuripan	78
5.26	Parameter Statistik Curah Hujan	79
5.27	Analisis Jenis Sebaran	80
5.28	Uji Chi-kuadrat.....	81
5.29	Uji Smirnov Kolmogorov.....	81
5.30	Intensitas Hujan Tiap periode Ulang.....	83
5.31	. Koefisien Aliran Untuk Masing - Masing Jenis Tata Guna Lahan	88
5.32	Nilai Koefisien DAS Way Kuripan Kondisi Eksisting	89
5.33	Nilai Koefisien Aliran DAS Way Kuripan.....	89
5.34	Rekapitulasi Pengaruh Tata Guna Lahan Terhadap Nilai Debit	90
5.35	Rekapitulasi Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Persentase Perubahan Nilai Debit	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Hidrograf Satuan Sintetik Gamma 1	10
2.2 Sketsa Penetapan WF	12
2.3 Sketsa Penetapan RUA.....	12
2.4 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu	13
4.1 Peta Sungai Way Kuala Garuntang.....	20
4.2 Peta Sungai Way Kuripan	20
4.3 Diagram Alir Penelitian Distributed Hydrologic Model.....	24
4.4 Diagram Alir Penelitian Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan pada Fluktuasi Debit di DAS di Bandar Lampung	25
5.1 Delinasi DAS di <i>overlay</i> dengan sungai pada Sub DAS Bandar Lampung	28
5.2 HSS Nakayasu – Sub DAS Way Kemiling 1	36
5.3 HSS DAS Way Simpur	37
5.4 HSS DAS Way Garuntang	37
5.5 HSS DAS Way Kanan.....	38
5.6 HSS DAS Way Betung	38
5.7 HSS DAS Way Simpang Kiri	39
5.8 HSS DAS Way Kuripan	39
5.9 HSS DAS Way Kupang	40
5.10 HSS DAS Way Kunyit	40
5.11 HSS DAS Way Lunik 1	41
5.12 HSS DAS Way Lunik 2	41
5.13 HSS DAS Way Galih	42
5.14 HSS DAS Way Keteguhan.....	42

5.15	HSS DAS Way Sukamaju	43
5.16	HSS DAS Way Gebang.....	43
5.17	DAS Way Kuala Garuntang	45
5.18	Kondisi Eksisting Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang.....	45
5.19	Letak Stasiun Hujan dan Polygon Thiessen	47
5.20	Kurva Massa Ganda Data Curah Hujan Awal	48
5.21	Kurva Massa Ganda Data Curah Hujan (Data Terkoreksi).....	49
5.22	Skenario I Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang.....	60
5.23	Skenario II Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang	61
5.24	Skenario III Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang	62
5.25	Skenario IV Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang.....	63
5.26	Skenario V Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang	64
5.27	Skenario VI Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang.....	65
5.28	Skenario VII Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang	66
5.29	Peta Sungai Way Kuripan	73
5.30	Peta DAS Way Kuripan	73
5.31	Peta Tata Guna Lahan Kondisi Eksisting.....	74
5.32	Peta Titik Stasiun Hujan.....	75
5.33	Peta Poligon Thiessen	76
5.34	Peta Tata Guna Lahan Skenario 1	84
5.35	Peta Tata Guna Lahan Skenario 2	85
5.36	Peta Tata Guna Lahan Skenario 3	85
5.37	Peta Tata Guna Lahan Skenario 4	86
5.38	Peta Tata Guna Lahan Skenario 5	87
5.39	Peta Tata Guna Lahan Skenario 6	87

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di Indonesia banjir merupakan bencana yang setiap tahun dimana dalam beberapa tahun terakhir intensitas dan frekuensinya semakin meningkat. Bahkan banjir juga terjadi pada beberapa tempat yang belum pernah terjadi banjir sebelumnya. Kerugian yang disebabkan banjir baik material maupun immaterial sangat tak ternilai harganya. Untuk mengurangi dampak akibat banjir, perlu diberikan suatu informasi tentang respon banjir pada daerah tersebut yang meliputi waktu puncak, debit puncak serta waktu dasar yang merupakan karakteristik banjir dan juga merupakan karakteristik hidrograf. Jika karakteristik hidrograf untuk suatu DAS diperoleh, maka akan dapat diprediksi seberapa besar banjir yang terjadi, kapan banjir akan datang, dan berapa lama banjir akan menggenang.

Untuk mendapatkan karakteristik hidrograf suatu DAS, ada beberapa pendekatan analisis yang dapat dilakukan tergantung kebutuhan, tujuan analisis dan ketersediaan data. Dalam penelitian ini, analisis yang dilakukan yaitu dengan pemodelan hidrologi DAS. Harto (1993) menyatakan bahwa model hidrologi dibuat bertujuan untuk : (1) meramal secara probabilitas atas besaran dan waktu kejadian hidrologi, (2) meramal besaran dan kejadian hidrologi pada waktu yang akan datang, (3) mendeteksi dalam hal pengendalian sumber daya air, (4) mengidentifikasi potensi hidrologi dalam perencanaan, (5) mengekstrapolasi data/informasi, (6) memperkirakan kondisi lingkungan akibat perubahan perilaku manusia. (7) penelitian dasar dalam hidrologi.

Pemodelan yang dilakukan adalah dengan pemodelan secara distributed pada DAS di Bandar Lampung. Dengan model distributed model, proses hidrologi dengan mekanisme fisik dan keruangan akan tergambarkan dengan jelas. Adapun penerapan pemodelan yang dilakukan adalah DAS di Kota Bandar Lampung dibuat beberapa Sub DAS-Sub DAS yang jauh lebih kecil. Kemudian disetiap Sub DAS ini akan dilihat

respon DAS menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu. HSS Nakayasu digunakan dalam pendekatan pemodelan distributed hydrologic model karena pada penelitian sebelumnya, metode ini terbukti lebih cocok pada DAS yang berukuran kecil. Dalam penelitian ini, menarik pula untuk diperhatikan dari penelitian ini bagaimana pola kuantitatif dari DAS yang bertetangga (*neighbouring watershed*) dan *cascade watershed*.

Penelitian mengenai *Distributed Hydrologic Model* pada DAS di Kota Bandar Lampung berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Dengan perkembangan teknologi SIG dapat digunakan untuk mempercepat proses hitungan dan mengolah peta khususnya dalam penentuan karakteristik pengaliran DAS yang (SIG) dibutuhkan berupa data dalam perhitungan HSS Nakayasu.

Selain didapatkan pola karakteristik hidrograf pada DAS di Bandar Lampung dengan pendekatan distributed hydrologic model, penelitian ini juga melihat bagaimana pengaruh perubahan tata guna lahan atas fluktuasi debit di sungai di Bandar Lampung. Dalam penelitian ini, penelitian pengaruh perubahan tata guna lahan dibatasi pada dua DAS terbesar di Bandar Lampung, yaitu DAS Kuala Garuntang dan DAS Kuripan.

Pengidentifikasian perubahan tata guna lahan dan pengukuran fungsi hidrologi DAS dilapangan memerlukan pemahaman tentang banyak proses yang terlibat sehingga membutuhkan tenaga, waktu dan biaya yang banyak. Dengan demikian ketersediaan sebuah sistem dalam bidang penyajian data geospasial yang didukung oleh kemajuan teknologi jaringan komputer sangat diperlukan. Kemampuan teknologi komputer yang semakin berkembang membuat komputer saat ini dapat digunakan untuk berbagai bidang, salah satunya adalah bidang geografi, yaitu untuk membuat sistem informasi geografis (SIG). SIG adalah suatu sistem yang men-capture, mengecek, mengintegrasikan, memanipulasi, menganalisa, dan menampilkan data yang secara spasial (keruangan) mereferensikan kepada kondisi bumi. Teknologi SIG mengintegrasikan operasi operasi umum database, seperti query dan analisa statistik, dengan kemampuan visualisasi dan analisa yang unik yang dimiliki oleh pemetaan. Kemampuan inilah yang membedakan SIG dengan Sistem Informasi lainnya yang membuatnya menjadi berguna bidang penyajian data geospasial guna membantu kita dalam mempelajari proses perubahan debit sungai akibat perubahan tata guna lahan pada suatu DAS.

Lebih lanjut, fundamental ilmu hidrologi ini bisa diaplikasikan untuk memberikan manfaat pada masyarakat dan lingkungan. Sebagai contoh, pemahaman menyeluruh mengenai pembangkitan aliran sungai sangat penting untuk prediksi debit, dimana prediksi debit ini sangat penting dalam perencanaan tata guna lahan, perancangan bangunan pengendali banjir, konstruksi dan operasi bendung. Demikian juga, sifat alami dari tampungan dan drainasi air pada lereng (*hillslope*) mempunyai implikasi yang penting pada kestabilan lereng, erosi, dan aspek geomorfologi terkait.

1.2. Urgensi (Keutamaan Penelitian)

Prediksi banjir dan sistem peringatan dini merupakan hal utama yang diperlukan di dalam pengelolaan bencana banjir. Metode yang dikembangkan untuk prediksi banjir melibatkan model hidrologi. Pemilihan model hidrologi yang tepat sangat tergantung pada data yang tersedia serta *output* yang diinginkan. Data hidrometri serta meteorologi di Indonesia masih belum banyak, bahkan masih banyak *ungauged catchment* atau DAS yang tidak memiliki data pengukuran. Jika dikembangkan *physically based-fully distributed hydrological model* akan mengalami banyak kesulitan karena model tersebut sangat tergantung pada tersedianya data terukur secara *spatial* maupun *temporal* dengan kerapatan data yang cukup tinggi. Data semacam ini biasanya didapat dari *Remote Sensing* data dengan bantuan satelit. Oleh karena secara umum data tersebut susah diperoleh, maka model hidrologi yang lebih cocok untuk dikembangkan di daerah-daerah di Indonesia adalah *conceptual model* atau *semi-distributed model*. *Distributed model* juga dapat dikembangkan sebagai peningkatan dari *conceptual model* atau *semi-distributed model* dengan melibatkan data dari sistem informasi geografis. Dalam penelitian ini dikembangkan menjadi *distributed hydrology model*. Model tersebut dapat digunakan untuk melakukan prediksi banjir dengan baik dengan data yang tersedia ditambah dengan pengukuran langsung di lapangan baik untuk data variabel aliran maupun data hujan. Metode prediksi banjir dengan menggunakan *distributed hidrology model* ini dapat dikembangkan menjadi sistem peringatan dini dengan menghubungkan alat pengukur hujan maupun alat ukur aliran otomatis secara *online*. Sehingga berdasarkan *real time data* serta hasil prediksi tersebut terbentuklah sistem peringatan dini banjir.

Pada tahun kedua penelitian ini, *Distributed hydrology model* yang dikembangkan

dalam penelitian ini adalah Hidrograf Satuan Sintetik (HSS), yaitu hidrograf satuan yang tidak berdasarkan data terukur namun menggunakan suatu pendekatan terhadap karakteristik DAS (Kusumastuti, 2008a). Kelanjutan penelitian pada tahun pertama, model yang dilakukan tidak terbatas pada sebagian DAS di Bandar Lampung. Pada tahun kedua ini, seluruh DAS di Bandar Lampung dilakukan pendeteksian hidrograf satuannya. Dari seluruh DAS di Bandar Lampung ini, dilakukan kembali deliniasi DAS menggunakan SIG hingga didapatkan kembali Sub DAS terkecil sehingga didapatkan level sungai orde 1 atau orde 2 dan dilakukan perhitungan HSS-nya pada sub-sub DAS terkecil tersebut. HSS yang digunakan adalah HSS Nakayasu. Arti penting pengukuran untuk mendapatkan data primer baik data aliran maupun data hujan telah ditekankan pada penelitian sebelumnya. Data hidrologi daerah setempat (data primer) akan membantu memahami kondisi DAS setempat serta respon DAS terhadap hujan (Kusumastuti, 2008b). Proses transformasi hujan menjadi aliran pada suatu DAS sangat dipengaruhi oleh kondisi geografi, topografi, serta sifat hujan (Kusumastuti dkk, 2007; 2008a; 2008b, Kusumastuti 2008a; 2008b). Suatu metode yang akurat yang dapat dijadikan pedoman di dalam melihat respon suatu DAS terhadap bahaya banjir adalah dengan hidrograf satuan (Kusumastuti, 2008a).

Penelitian tentang kajian perubahan tata guna lahan untuk mengetahui fluktuasi debit yang terjadi yang di sungai yang dilakukan pada penelitian di periode tahun kedua, juga menjadi kajian yang sangat penting sebagai masukan bagi stakeholder pada pengelolaan sumber daya air di Kota Bandar Lampung. Sehingga dapat terdeteksi seberapa besar pengaruh perubahan tata guna lahan atas peningkatan debit di sungai di Bandar Lampung. Dengan skenario yang dibuat atas perubahan tata guna lahan yang ada di Bandar Lampung juga menjadi masukan seberapa besar perubahan tata guna lahan yang diizinkan untuk menjadikan wilayah Bandar Lampung masih aman dari banjir.

Output yang dihasilkan dari penelitian ini yaitu peta respon DAS terhadap banjir akan sangat membantu bagi penduduk setempat, para pengambil kebijakan maupun pemerintah daerah dalam mengambil tindakan-tindakan preventif yang diperlukan maupun untuk perencanaan di masa depan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pendekatan model hidrologi dalam prediksi banjir

Model hidrologi pada awalnya dioptimasi berdasar pada pengukuran pada beberapa titik dan bukan data yang terdistribusi pada skala ruang dan waktu. Metoda yang paling banyak dikenal adalah pendekatan hidrograf satuan yang diperkenalkan oleh Sherman (1932, dalam Harto, 1993). Metode ini kemudian dikembangkan oleh Snyder, Nakayasu, hingga Sri Harto (1993). Aplikasi praktis dari metode hidrograf satuan ini dilakukan melalui pengembangan HEC-1 dan HEC-HMS yang dilakukan oleh US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Centre (1981, 2000). Metode ini beranggapan bahwa parameter maupun input DAS atau sub DAS adalah sama, sehingga termasuk dalam kriteria *lumped model*. Derivasi dari hidrograf satuan bergantung pada pengukuran tinggi muka air atau pendekatan estimasi sintetik.

Distributed model berusaha untuk tidak melakukan perata-rataan parameter maupun input untuk lebih dapat merepresentasikan karakteristik DAS. Skema komputasi dengan *runoff routing* dari *grid cell* ke *grid cell* atau elemen berikutnya yang mewakili lanskap dari DAS tersebut dengan menggunakan analogi persamaan matematika. Misalnya analogi *kinematic wave* biasanya diaplikasikan di tempat dengan kemiringan lereng yang curam dan efek backwater tidak terlalu signifikan. *Physics-based model* menggunakan persamaan massa, momentum dan energi untuk mewakili proses hidrologi, sedangkan *conceptual model* menggunakan hubungan empiris dengan analogi *bucket* atau tangki untuk merepresentasi proses komponen hidrologi.

Kekuatan dari *physically-based fully distributed model* pada saat yang sama juga menjadikan kelemahannya, karena representasi variabilitas spasial dari karakteristik hidrologi memerlukan data dalam jumlah yang sangat besar. Problem dari penggunaan parameter yang terlalu banyak membuat hasil yang didapatkan lebih buruk sehingga

Beven (1989, 1996) menganggap bahwa model ini masih berupa *lumped conceptual model* dengan jumlah parameter yang bertambah yang dapat diubah selama proses kalibrasi. Refsgaard dan Storm (1996) menekankan bahwa harus ada prosedur parameterisasi yang memadai; *spatial pattern* dari nilai parameter tadi harus spesifik agar parameter-parameter tersebut merefleksikan variasi spasial yang sistematis dan signifikan.

2.2. Transformasi hujan-aliran

Karakteristik hujan meliputi durasi, intensitas, *interstorm period* (waktu antara dua kejadian hujan), *within storm pattern* (pola/variabilitas satu kejadian hujan), dan musim bervariasi terhadap ruang dan waktu. Karakteristik hujan tersebut mempunyai dampak terhadap respon sistem DAS. Respon hidrologi suatu DAS, terkait dengan waktu konsentrasi dari tempat terjauh hingga ke outlet DAS, dapat dikategorikan sebagai DAS sangat cepat hingga DAS sangat lambat. Interaksi antara karakteristik hujan dalam skala waktu seperti tersebut di atas terhadap karakteristik DAS menentukan respon aliran pada DAS tersebut (Kusumastuti dkk, 2004; Kusumastuti dkk, 2005; Kusumastuti dkk, 2007).

Pengalihragaman hujan menjadi aliran terjadi di dalam ruang dan waktu. Kedalaman hujan yang terakumulasi pada suatu titik di permukaan tanah dialihragamkan menjadi aliran permukaan dan kandungan kelembaban tanah, yang dikontrol oleh keragaman karakteristik tanah dan kandungan kelembaban tanah sebelum hujan (*antecedent moisture content*). Dalam dimensi ruang transformasi ini disebut aksi konsentrasi (*concentrating action*) atau *convergence* (Sivapalan *et al.*, 2001) dimana kedalaman hujan awalnya dialihragamkan menjadi aliran permukaan yang terdistribusi secara baik. Pergerakan air dalam dimensi ruang disebabkan oleh gravitasi, topografi dan keberadaan jaringan sungai. *Runoff* yang semula terdistribusi secara merata menjadi terkonsentrasi dalam suatu alur yang dibatasi oleh jaringan sungai (Sivapalan *et al.*, 2001). Air yang masuk ke dalam tanah bergerak melalui bawah tanah dari *hillslope* yang disebabkan oleh gravitasi. Pergerakan air ini pada awalnya memiliki arah vertikal dan dipengaruhi oleh lapisan-lapisan tanahnya, menyebabkan air mengalir menuju bawah *hillslope*. Tindakan penyaringan (*filtering action*) pada *hillslope* ini membagi

pergerakan air melalui atas dan bawah *hillslope* dengan berbagai alur aliran (*pathway*), seperti limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran antara (*subsurface runoff*) dan aliran air tanah dengan berbagai skala waktu.

Daerah Aliran Sungai (*catchment, basin, watershed*) merupakan daerah dimana semua airnya mengalir ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, yang berarti ditetapkan berdasar aliran air permukaan. Batas ini tidak ditetapkan berdasar air bawah tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat kegiatan pemakaian. Air yang jatuh di permukaan tanah terpisah menjadi dua bagian, yaitu bagian yang mengalir di permukaan yang selanjutnya menjadi aliran limpasan (*overland flow*) yang selanjutnya dapat menjadi *runoff*, yang seterusnya mengalir ke sungai dan kemudian ke laut. Aliran limpasan sebelum mencapai saluran dan sungai, mengalir dan tertahan di permukaan tanah dalam cekungan-cekungan, dan sampai jumlah tertentu merupakan bagian air yang hilang karena infiltrasi, yang disebut sebagai tampungan-cekungan (*depression storage*). Bagian lainnya masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi (*infiltration*). Tergantung dari struktur geologinya, dapat terjadi aliran mendatar yang disebut aliran antara (*interflow, subsurface flow*). Bagian air ini juga mencapai sungai dan/atau laut. Bagian lain dari air yang terinfiltrasi dapat diteruskan sebagai air perkolasi yang mencapai akuifer (*aquifer, ground water storage*).

2.3. Hidrograf

Hidrograf dapat diberikan sebagai penyajian grafis antara salah satu unsur aliran dengan waktu. Hidrograf menunjukkan tanggapan menyeluruh (*integral response*) DAS terhadap masukan tertentu. Sesuai dengan sifat dan perilaku DAS yang bersangkutan, hidrograf aliran selalu berubah sesuai dengan besaran dan waktu terjadinya masukan.

Waktu naik (TR) adalah waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai waktu terjadinya debit puncak. Debit puncak adalah debit maksimum yang terjadi pada kasus tertentu. Waktu dasar adalah waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai waktu dimana debit kembali pada suatu besaran yang ditetapkan. Besaran-besaran tersebut dapat digunakan sebagai petunjuk tentang kepekaan sistem DAS terhadap pengaruh masukan hujan. Dengan menelaah sifat-sifat hidrograf yang diperoleh dari

pengukuran dalam batas tertentu dapat diperoleh gambaran tentang keadaan DAS, apakah DAS yang bersangkutan mempunyai kepekaan yang tinggi atau rendah. Makin kritis sifat DAS berarti makin jelek kondisi DAS-nya dan demikian pula sebaliknya. Bentuk hidrograf pada umumnya sangat dipengaruhi oleh sifat hujan yang terjadi, akan tetapi dapat dipengaruhi oleh sifat DAS yang lain. Menurut Kennedy dan Watt (1967) sifat hujan yang sangat mempengaruhi bentuk hidrograf ada tiga macam, yaitu intensitas hujan, lama hujan, dan arah gerak hujan. Intensitas hujan yang makin tinggi akan mengakibatkan hidrograf naik dengan cepat, atau dengan kata lain akan terjadi hidrograf dengan waktu naik pendek dan debit puncak tinggi, demikian juga sebaliknya. Intensitas hujan yang tinggi pada umumnya terjadi dalam waktu yang pendek, atau lama hujan pendek, sedangkan intensitas hujan yang rendah pada umumnya terjadi dengan lama hujan yang besar.

2.4. Hidrograf Satuan

Teori klasik hidrograf satuan berasal dari hubungan antara hujan efektif dengan limpasan langsung. Hubungan tersebut merupakan salah satu komponen model *watershed* yang umum. Teori hidrograf satuan merupakan penerapan pertama teori sistem linier dalam hidrologi. Sherman pada tahun 1932 (dalam Sri Harto, 1993) mengemukakan bahwa dalam suatu sistem DAS terdapat suatu sifat khas yang menunjukkan sifat tanggapan DAS terhadap suatu masukan tertentu. Tanggapan ini diandaikan tetap untuk masukan dengan besaran dan penyebaran tertentu. Tanggapan yang demikian dalam konsep model hidrologi dikenal dengan hidrograf satuan. Hidrograf satuan suatu DAS adalah (Soemarto, 1995) suatu limpasan yang diakibatkan oleh satu satuan volume hujan yang efektif yang terbagi rata dalam waktu dan ruang. Asumsi-asumsi yang digunakan dalam hidrograf satuan yang merujuk ke sistem linier berbeda dengan hidrograf aliran yang sebenarnya terjadi selalu berbeda untuk setiap masukan yang terjadi pada saat yang berbeda. Oleh sebab itu, untuk memperoleh hidrograf yang dapat dianggap sebagai hidrograf khas dan mewakili DAS tersebut diperlukan perata-rataan hidrograf satuan yang diperoleh dari beberapa kasus banjir (Sri Harto, 1993). Tidak ada pedoman tentang berapa jumlah kasus yang diperlukan untuk memperoleh hidrograf satuan ini. Sri Harto (1989) menunjukkan bahwa makin sedikit jumlah kasus banjir yang digunakan, makin besar debit puncak yang diperoleh

dibandingkan dengan jumlah kasus banjir yang banyak.

Hidrograf satuan mempunyai dua asumsi utama yaitu hidrograf satuan ini ditimbulkan oleh hujan yang terjadi merata di seluruh DAS (*spatially evenly distributed*) dan ditimbulkan oleh hujan yang terjadi merata selama waktu yang ditetapkan (*constant intensity*). Hidrograf satuan yang dihitung untuk setiap kasus banjir, belum merupakan hidrograf satuan yang dapat dianggap mewakili DAS yang bersangkutan. Untuk itu diperlukan hidrograf satuan yang diturunkan dari banyak kasus banjir, kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh hidrograf satuan yang dianggap mewakili DAS tersebut. Perata-rataan dilakukan dengan merata-rata baik debit puncak maupun waktu mencapai puncak (hidrograf). Di samping itu, sisi resesinya dilakukan dengan menarik liku resesi rata-rata dengan memperhatikan agar volume hidrograf satuan sama dengan satuan volume yang ditetapkan.

2.5. Hidrograf Satuan Sintetik

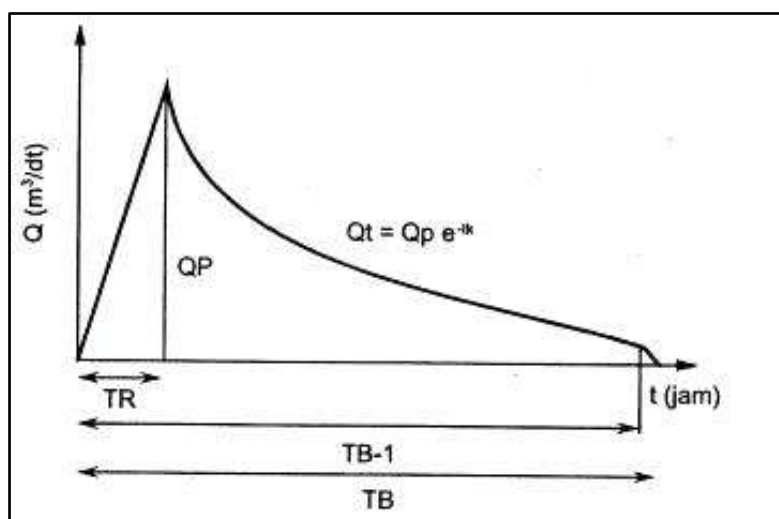
Hidrograf satuan (terukur) dapat dibuat jika tersedia data yang baik, yaitu data tinggi muka air otomatis, data pengukuran debit, data hujan harian, dan data hujan jam-jaman. Karena berbagai sebab data ini sering sulit diperoleh atau tidak tersedia. Untuk mengatasi hal ini, maka dikembangkan suatu cara untuk mendapatkan hidrograf satuan tanpa mempergunakan data seperti tersebut di atas. Berdasarkan prinsip hidrograf satuan, beberapa peneliti telah menghasilkan model-model Hidrograf Satuan Sintetis (model-model HSS), beberapa di antaranya yaitu HSS Snyder (lokasi penelitian di USA, 1938), HSS Nakayasu (lokasi penelitian di Jepang, 1948), dan HSS Gama I (lokasi penelitian di Pulau Jawa, 1985).

HSS Snyder dalam pengujiannya untuk beberapa sungai di Pulau Jawa ternyata menunjukkan penyimpangan yang besar, baik dalam besaran waktu capai puncak (*time to peak*) maupun debit puncak (Sri Harto, 1993). Hal ini dapat dipahami karena memang cara ini mengandung beberapa koefisien empirik yang dikembangkan di daerah Appalachian di Amerika yang kurang sesuai dengan keadaan di Indonesia. Beberapa cara sintetik lain yang digunakan, seperti Nakayasu, US SCS, dan Common juga menunjukkan penyimpangan yang cukup besar dibandingkan dengan hidrograf satuan terukur (Sri Harto, 1993).

Sementara ini penelitian debit puncak banjir dengan menggunakan hidrograf satuan sintetik Gama I di DAS Way Pegadungan (DAS yang termasuk wilayah administratif Kabupaten Lampung Tengah, Propinsi Lampung) telah dilakukan oleh Kusumastuti (2008a) dikarenakan tidak terdapatnya data debit terukur yang dibutuhkan. Dibandingkan dengan hidrograf satuan sintetik yang dihasilkan metode lain, debit banjir puncak terhitung dari HSS Gama I lebih mendekati debit banjir yang pernah teramati oleh penduduk sekitar. Dalam penelitian ini, yaitu untuk prakiraan banjir di Kota Bandar Lampung, selain dilakukan analisa prakiraan banjir menggunakan HST, dilakukan juga pengembangan prakiraan banjir dengan menggunakan HSS Gamma 1 dan HSS Nakayasu untuk menganalisa apakah kedua metode tersebut memiliki trend yang sama seperti yang dihasilkan oleh HST. Selain itu, dalam penelitian ini, kedua metode HSS tersebut dibandingkan yang manakah yang memberikan nilai debit banjir yang lebih mendekati dengan HST. Di bawah ini diberikan penjelasan tentang pendekatan yang dipakai dalam pengembangan HSS Gamma 1 dan HSS Nakayasu.

2.5.1. Hidrograf Satuan Sintetik Gamma 1

HSS Gamma I terdiri dari empat variabel pokok, yaitu waktu naik (*time of rise* –TR), debit puncak (Qp), waktu dasar (TB) dan sisi resesi yang ditentukan oleh nilai koefisien tampungan (K). Sketsa grafik HSS Gamma 1 dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Hidrograf Satuan Sintetik Gamma 1 (Sumber: Triatmodjo, 2008)

Untuk menghitung keempat variabel pokok tersebut, dipakai persamaan-persamaan sebagai berikut:

1. Waktu puncak HSS Gamma 1 (TR)

$$TR = 0,43 \left(\frac{L}{100SF} \right)^3 + 1,0665SIM + 1,2775 \dots\dots\dots \text{(Pers 2.1)}$$

2. Debit puncak banjir (Q_p)

$$QP = 0,1836A^{0,5886} TR^{-0,4008} JN^{0,2381} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.2)}$$

3. Waktu Dasar (TB)

$$TB = 27,4132TR^{0,1457} S^{0,00986} SN^{0,7344} RUA^{0,2574} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.3)}$$

4. Koefisien resesi (K)

$$K = 0,5617A^{0,1798} S^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0452} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.4)}$$

5. Aliran Dasar (QB)

$$B = 0,4715A^{0,1798} D^{0,9430} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.5)}$$

dengan:

- A : luas DAS (km²).
- L : panjang sungai utama (km).
- S : kemiringan dasar sungai.
- SF : faktor sumber, perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat satu dengan jumlah panjang sungai semua tingkat.
- SN : frekuensi sumber, perbandingan antara jumlah pangsa sungai tingkat satu dengan jumlah pangsa sungai semua tingkat.
- WF : faktor lebar, perbandingan antara lebar DAS yang diukur di titik sungai yang berjarak 0,75 L dengan lebar DAS yang diukur di sungai yang berjarak 0,25 L dari stasiun hidrometri (Gambar 2.2).
- JN : jumlah pertemuan sungai.
- SIM : faktor simetri, hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas DAS sebelah hulu (RUA).
- RUA : luas DAS sebelah hulu, perbandingan antara luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun hidrometri dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS, melalui titik tersebut (Gambar 2.3).
- D : kerapatan jaringan kuras, jumlah panjang sungai semua tingkat tiap satuan luas DAS.

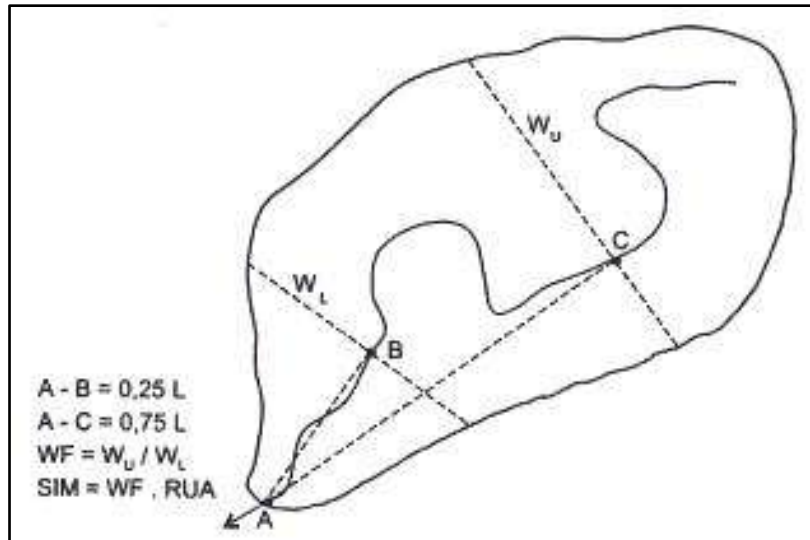
Perhitungan debit banjir pada jam tertentu untuk sisi resesi dihitung mengikuti persamaan sebagai berikut:

$$Q_t = Q_p e^{-t/K} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.6)}$$

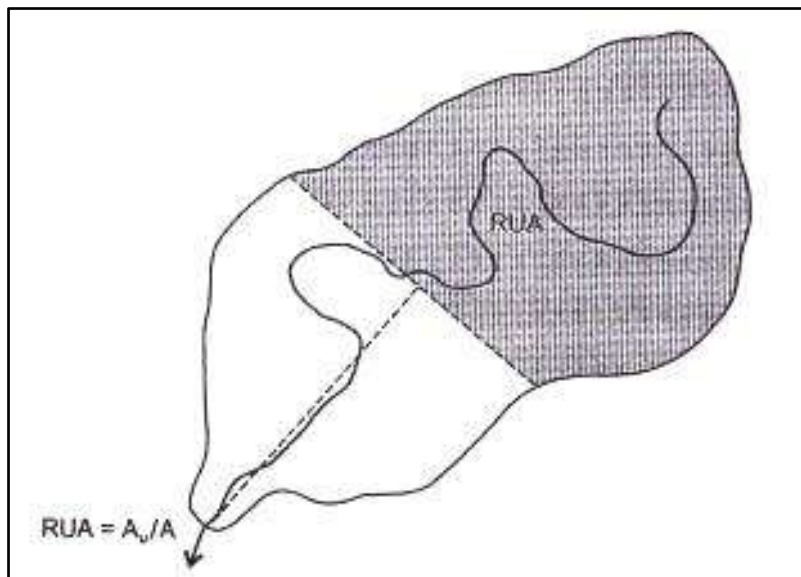
Q_t : debit pada jam ke t (m³/d)

- Q_p : debit puncak (m^3/d)
- t : waktu dari saat terjadinya debit puncak (jam)
- k : koefisien tampungan (jam)

Konsekuensi dari persamaan eksponensial yang digunakan pada sisi resisi adalah tidak dimungkinkannya debit sama dengan nol, sehingga seperti yang terlihat pada Gambar 2.1 Sketsa HSS Gamma 1 terdapat patahan dalam sisi resisi.



Gambar 2.2 Sketsa Penetapan WF (Sumber: Triatmodjo, 2008)



Gambar 2.3 Sketsa Penetapan RUA (Sumber: Triatmodjo, 2008)

2.5.2. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Sketsa grafik HSS Nakayasu dapat dilihat pada Gambar 2.4. Grafik ini dibangun oleh rumus-rumus sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{1}{6} \left(\frac{ARe}{0,3t_p + T_{0,3}} \right) \dots\dots\dots \text{(Pers 2.7)}$$

$$T_p = T_g + 0,8 T_r \dots\dots\dots \text{(Pers 2.8)}$$

$$t_g = 0,4 + 0,058 L \text{ untuk } L > 15 \text{ km} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.9)}$$

$$T_g = 0,21L^{0,7} \text{ untuk } L < 15 \text{ km} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.10)}$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \dots\dots\dots \text{(Pers 2.11)}$$

a. Pada kurva naik ($0 < t < T_p$)

$$Q_t = Q_p \frac{t^{2,4}}{T_p} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.12)}$$

b. Pada kurva turun ($T_p < t < T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{(t-T_p)/T_{0,3}} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.13)}$$

c. Pada kurva turun ($T_{0,3} < t < T_{0,3}^2$)

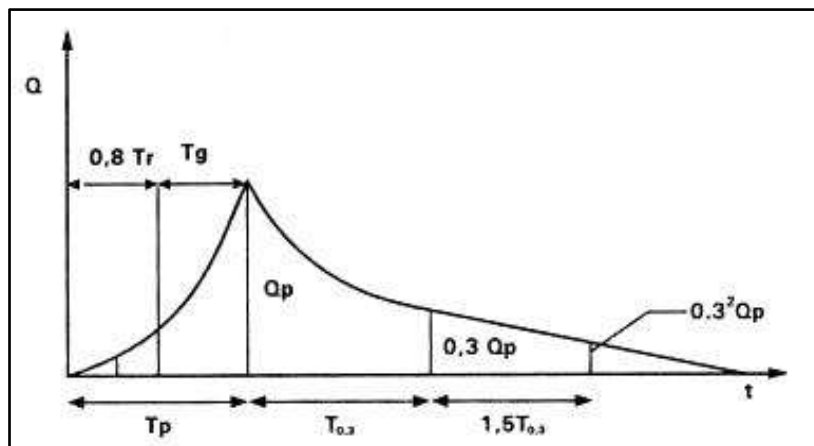
$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t-t_p)+(0,5T_{0,3})]/(1,5T_{0,3})} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.14)}$$

d. Pada kurva turun ($t > T_{0,3}^2$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t-t_p)+(1,5T_{0,3})]/(2T_{0,3})} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.15)}$$

Dengan;

- Q_p : debit puncak banjir
- A : luas DAS (km^2)
- Re : curah hujan efektif (mm)
- T_p : waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf banjir (wm)
- $T_{0,3}$: waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak banjir (jam)
- t_g : waktu konsentrasi
- T_r : satuan waktu dari curah hujan (jam)
- α : koefisien karakteristik DAS
- L : panjang sungai utama (km)



Gambar 2.4 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (Sumber: Triatmodjo, 2008)

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

Secara umum tujuan penelitian ini untuk mengembangkan suatu metode prediksi banjir serta sistem peringatan dini di kota Bandar Lampung. Sedangkan tujuan khusus penelitian untuk Tahun Kedua yaitu untuk :

- Mengembangkan hidrograf satuan sintetik (HSS) untuk sub sub DAS di Bandar Lampung
- Membuat peta respon DAS yang berdasarkan debit puncak banjir, waktu puncak banjir serta lama banjir.
- Membuat peta respon DAS untuk beberapa tahun ke depan dengan mempertimbangkan perubahan *land use*.

3.2. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat diterapkan untuk memecahkan isu strategis berskala nasional yaitu masalah banjir. Air akan menjadi suatu permasalahan jika keberadaannya dalam status: (1) terlalu banyak; (2) terlalu sedikit; ataupun (3) terlalu kotor. Banjir merupakan musibah yang kerap terjadi yang menimpa sebagian daerah di Indonesia pada saat musim penghujan.

Banjir di Indonesia umumnya disebabkan oleh kombinasi antara karakteristik hujan (intensitas tinggi, durasi lama, dan frekuensi yang sering); perubahan tata guna lahan (berkurang atau hilangnya daerah resapan dan tampungan), serta rusaknya sistem drainase (penyempitan sungai, terhambatnya aliran pada saluran, kenaikan muka air laut).

Penelitian ini diharapkan memberi manfaat antara lain:

- a. Pemecahan permasalahan banjir secara kuantitatif, komprehensif dan bertahap, yang dimulai dengan pembuatan hidrograf satuan terukur. Hal ini dikaitkan dengan fakta ketika bencana banjir di Bandar Lampung pada tanggal 18 Desember 2008, tidak terdapat data terukur semisal data hujan dan data aliran yang cukup handal, sedemikian rupa sehingga pemecahan permasalahan banjir masih berupa kualitatif. Dari Penelitian Strategis Nasional yang Pengusul lakukan pada tahun 2009 terukur bahwa terbesar pada tahun 2009 adalah yang bertepatan dengan tahun baru imlek dengan kedalaman hujan sebesar 76mm, dengan durasi yang relatif pendek.
- b. Mengetahui karakteristik hujan dan respon DAS dengan mengembangkan *cascade hydrograph* yaitu pengembangan HST pada bagian hulu, tengah, dan hilir pada suatu DAS.
- c. Mengetahui karakteristik hujan dan respon DAS dengan pembuatan *neighboring hydrograph* yaitu pengembangan HST pada bagian hulu, tengah, dan hilir pada DAS yang lain yang letaknya berdekatan.
- d. Mengelaborasi lebih lanjut keterkaitan antara HST yang didapat dari pengembangan *cascade hydrograph* dan *neighboring hydrograph* dengan kurva IDF (Intensitas-Durasi-Frekuensi), sehingga watak banjir pada DAS di Bandar Lampung bisa dikenali dengan baik.
- e. Mitigasi bencana banjir dengan pendekatan kuantitatif (terukur) sehingga terjadi pengurangan resiko akibat bencana. Setelah didapatkannya hidrograf satuan terukur yang terdistribusi pada bagian hulu, tengah, dan hilir, kurva IDF (Intensitas-Durasi-Frekuensi), bisa dibangun basis data untuk pengembangan Sistem Informasi Geografis. Selanjutnya, dengan piranti pada SIG, akan memudahkan untuk melakukan analisis respon DAS pada kondisi eksisting dan respon DAS pada kondisi mendatang sebagai fungsi dari land use dan *probability* dari suatu *event* (kejadian banjir).
- f. Penelitian ini dilakukan di DAS di Kota Bandar Lampung, namun demikian bisa juga diaplikasikan di tempat lain (nasional) dalam rangka mitigasi bencana banjir. Sistem peringatan dini yang dihasilkan dari penelitian ini dibatasi dengan pengukuran hujan, namun demikian bisa dikembangkan lebih lanjut dengan melakukan sistem peringatan yang lebih dini hingga ke pemantauan dengan radar cuaca, maupun yang lebih dini lagi.

BAB IV

METODE PENELITIAN

Tahun pertama penelitian difokuskan pada pengembangan *cascade observed unit hydrograph* dan *neighbouring observed unit hydrograph*. Dari hasil penelitian pada Tahun Pertama tersebut kemudian dicari hubungan antara HST-HST pada suatu sistem yang berturutan (yaitu HST-HST daerah hulu, tengah hingga hilir pada DAS yang sama) serta hubungan antara HST DAS yang satu dan HST DAS yang lain dalam sistem DAS yang berbeda namun letak DASnya berdekatan.

Untuk tahun kedua fokus penelitian adalah pengembangan *distributed hydrology model* dengan pemanfaatan Sistem Informasi Geografis untuk mendapatkan data digital tentang topografi, *land use* serta tutupan vegetasi. Analisis selanjutnya yaitu dengan menggunakan pendekatan *hydrologic similarity* untuk menghitung respon banjir di DAS atau sub DAS yang tidak terukur. Pendekatan *hydrologic similarity* didasarkan pada perbandingan HST dan HSS di DAS atau sub DAS yang sama, sehingga dapat dilakukan derivasi pada sub DAS yang lain. Selain itu, pada tahun kedua juga dibuat peta respon banjir kondisi *existing* dan peta respon banjir sebagai fungsi perubahan *land use*.

Tahun ketiga penelitian difokuskan pada pengembangan sistem peringatan dini banjir dengan mengandalkan alat ukur yang terhubung online serta peta respon DAS dan HST.

Berikut ini adalah disampaikan prosedur penelitian dalam pengembangan HST yang merupakan tahapan penelitian yang akan dilakukan pada tahun pertama.

Untuk memperoleh hidrograf satuan dalam suatu kasus banjir, maka diperlukan data sebagai berikut :

1. Rekaman AWLR (*Automatic Water Level Recorder*)

Untuk mendapatkan rekaman AWLR perlu dipasang alat ukur *water level recorder* di sungai yang ditinjau, untuk mengukur tinggi muka air sungai. Untuk melindungi alat pengukur tinggi muka air tersebut, ditanamkan pipa PVC. Pipa PVC solid akan ditanamkan di sungai, dimana *water level probe* akan digantungkan di atasnya sehingga tinggi muka air sungai dapat terukur dengan *time step* yang kecil, misalnya per 10 menit.

2. Pengukuran debit

Pengukuran debit dilakukan pada beberapa kondisi, yaitu pada saat aliran rendah, sedang, maupun tinggi. Tujuannya agar didapat liku kalibrasi (grafik hubungan antara tinggi muka air dan debit) yang memadai.

Cara yang lazim digunakan dalam hidrometri adalah pengukuran debit dengan pengukuran kecepatan aliran. Pengukuran baku yang dilakukan dengan *current meter* dilakukan sebagai berikut :

- a. Membagi penampang sungai menjadi beberapa bagian vertikal.
- b. Mengukur kecepatan rata-rata dalam masing-masing vertikal. Hal ini dapat dilakukan dengan pengukuran satu titik ($0,6 H$ (kedalaman air)) maupun pengukuran dua titik ($0,2$ dan $0,8 H$ (kedalaman air)).
- c. Untuk menghitung debit aliran pada penampang tersebut dapat dilakukan dengan *mean area method* maupun *mid area method*.

3. Data hujan biasa (manual)

Data ini diperlukan sebagai pembanding dari data hujan yang terukur pada alat ukur hujan otomatis.

4. Data hujan otomatis

Data hujan otomatis diperoleh dari *automatic raingauge* yang dipasang di DAS tersebut. *Automatic raingauge* jenis *tipping bucket* akan dipakai dalam penelitian ini. Setiap 0,2 mm air hujan yang tertampung dalam *raingauge* tersebut akan dicatat. Sebagai data pendukung, data hujan otomatis juga bisa didapatkan dari Biro Meteorologi terdekat, misalnya Biro Meteorologi yang terletak di Panjang dan Natar. Selanjutnya perlu dipilih kasus yang menguntungkan dalam analisis, yaitu dipilih hidrograf yang terpisah dan mempunyai satu puncak dan hujan yang cukup serta distribusi jam-jamannya. Syarat di atas sebenarnya bukan merupakan keharusan, kecuali untuk mempermudah hitungan yang dilakukan. Analisis numerik untuk memisahkan hidrograf satuan dari banjir pengamatan dapat dilakukan dengan Metode Collins (Sri Harto, 1993).

Cara penyelesaian Metode Collins dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Hidrograf tinggi muka air (*stage hydrograph*) dialihragamkan menjadi hidrograf debit (*discharge hydrograph*) dengan liku kalibrasi.
2. Aliran dasar dipisahkan dari hidrografnya dengan salah satu cara, yaitu : pemisahan aliran dasar dengan *straight line method*, *fixed base length*, atau *variable slope method*.
3. Hujan efektif yang menyebabkan banjir tersebut ditetapkan, misalnya dengan menggunakan indeks infiltrasi ϕ (Phi index).
4. Diandaikan hidrograf satuan yang terjadi mempunyai ordinat berturut-turut U_1 , U_2 , dan seterusnya.

5. Hidrograf satuan tersebut dikalikan dengan hujan efektif yang bersangkutan, maka akan diperoleh hidrograf limpasan langsung.

Dengan membandingkan ordinat hidrograf limpasan langsung yang didapat dari hitungan ini dengan ordinat hidrograf limpasan langsung yang terukur, maka akan diperoleh ordinat-ordinat hidrograf satuan.

4.1. Prosedur Pengembangan Hidrograf Sintetik Satuan (HSS) Nakayasu

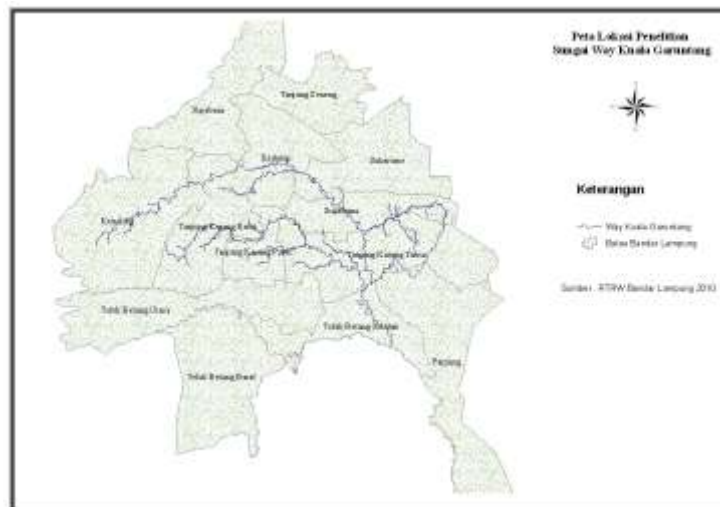
Untuk pembuatan HSS ini, sebelumnya diperlukan data spasial serta pengolahannya. Data spasial yang dibutuhkan adalah data peta Daerah Aliran Sungai (DAS) dan peta sungai. Data spasial ini disiapkan dengan berbasis Sistem Informasi Geografis.

Untuk mendapatkan peta DAS, dilakukan proses *generate* dari peta *Digital Elevation Model* (DEM). Dimana peta DEM didapatkan secara gratis dari laman CGIAR-CSI *research center*. Untuk membuat Sistem Informasi Geografis pada peta DAS, dilakukan peng-*input*-an data ke dalam atribut ID Sungai, Nama Sungai dan Luas DAS. Sedangkan untuk mendapatkan peta sungai, dilakukan proses digitasi *on screen* yang mengacu pada citra satelit *google earth*. Pada peta sungai dirancang memiliki atribut ID Sungai, Nama Sungai, Orde Sungai, dan Panjang Sungai. Atribut yang dirancang di dalam Sistem Informasi Geografis peta DAS dan Sungai, disesuaikan dengan kebutuhan perhitungan pengembangan HSS HSS Nakayasu.

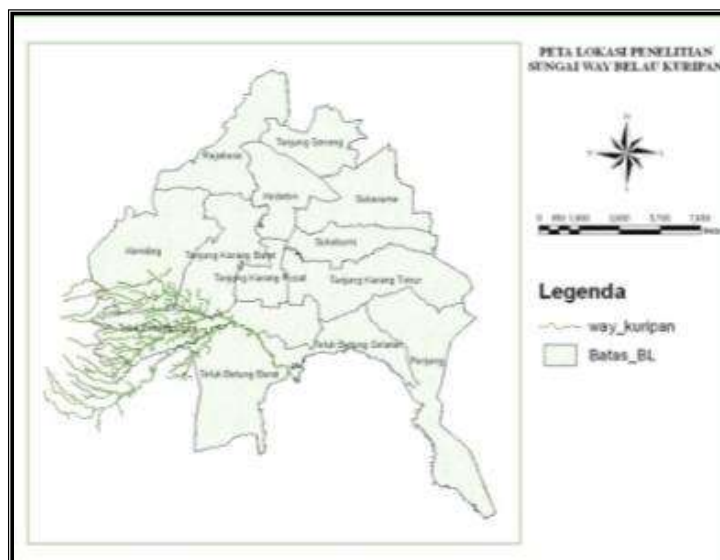
Dalam pembuatan HSS Nakayasu data yang diperlukan dari Sistem Informasi Geografis Peta DAS dan Sungai hanya luas dan panjang sungai. Perhitungan HSS Nakayasu juga dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Office Excel.

4.2. **Prosedur Penelitian Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Pada Fluktuasi Debit DAS Kota Bandar Lampung**

Pada penelitian pengaruh perubahan tata guna lahan pada fluktuasi debit DAS di Kota Bandar Lampung, dibatasi pada dua DAS terbesar di Kota Bandar Lampung, yaitu DAS Kuala Garuntang dan DAS Kuripan. Lokasi penelitian pada DAS Kuala Garuntang dan Kuripan dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Peta Sungai Way Kuala Garuntang



Gambar 4.2 Peta Sungai Way Kuripan

4.2.1. Tahap Pengumpulan Data

1. Data primer

Data primer antara lain adalah *Ground Control Point* (GCP) dari stasiun curah hujan dengan terlebih dahulu mensurvey titik stasiun curah hujan menggunakan GPS (*global positioning system*) untuk diplotkan pada koordinat peta.

2. Data Sekunder

Data sekunder antara lain adalah peta sungai yang bersal dari hasil digitasi dari google earth dan informasi data sungai dari Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung, Peta tata guna lahan merupakan peta RTRW 2010 yang berasal dari BAPEDA Lampung, dan data curah hujan yang berasal dari Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung.

4.2.2. Analisis Hidrologi

Adapun langkah yang dilakukan dalam analisis hidrologi adalah sebagai berikut:

1. Penyiapan data curah hujan yaitu menentukan stasiun hujan dengan menggunakan poligon thiessen
2. Melengkapi data curah hujan
3. Melakukan tes konsistensi
4. Melakukan analisis frekuensi curah hujan dengan menggunakan statistika yang bertujuan untuk memprediksi suatu besaran hujan atau debit dengan masa ulang tertentu. dan distribusi dengan metode gumbel, log pearson type III, dan log normal. Dari ketiga metode tersebut dipilih metode yang paling sesuai dengan metode chi kuadrat (*chi square*).
5. Menentukan Distribusi Hujan Jam-jaman dan mengubah data curah hujan menjadi intensitas hujan
6. Menetapkan persamaan intensitas hujan.

4.2.3. Analisis Data Spasial

Analisis data spasial dilakukan sebagai berikut:

1. Pembentukan Sungai Way Kuala Garuntang dan Way Kuripan

Pembentukan data sungai DAS Way Kuala Garuntang dan Way Kuripan dibuat dengan berdasarkan citra google earth yang kemudian didigitasi untuk mendapatkan data-data sungai itu sendiri.

2. Membentuk DAS Way Kuala Garuntang dan DAS Wayk Kuripan.

Pembentukan DAS Way Kuala Garuntang dilakukan dengan menggunakan data RSTM yang di generate interval 1 meter.

3. Plotting Stasiun Curah Hujan.

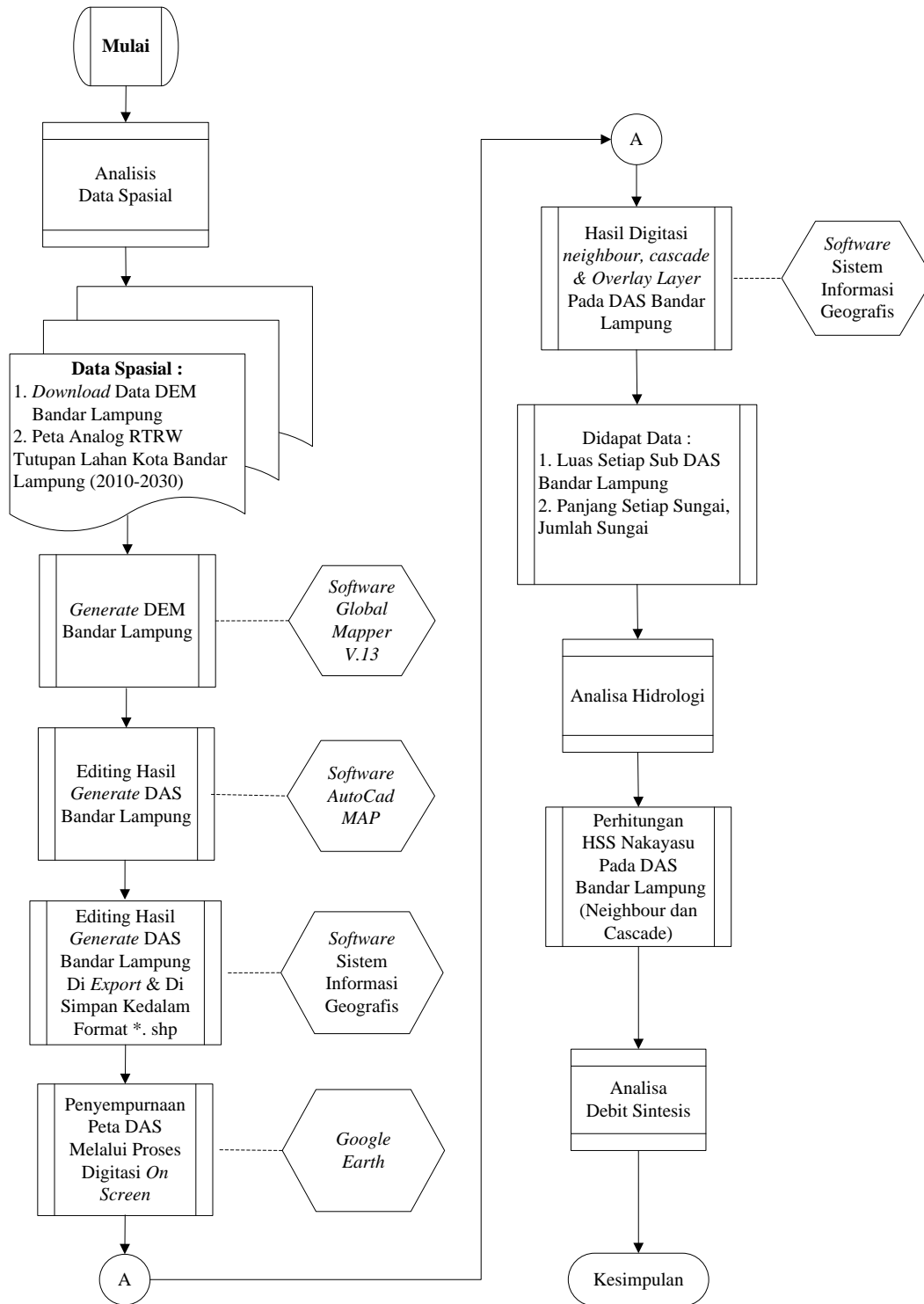
4. Pembuatan Poligon Thiessen.

4.2.4. Analisis Sensivitas Dan Skenario Penggunaan Lahan

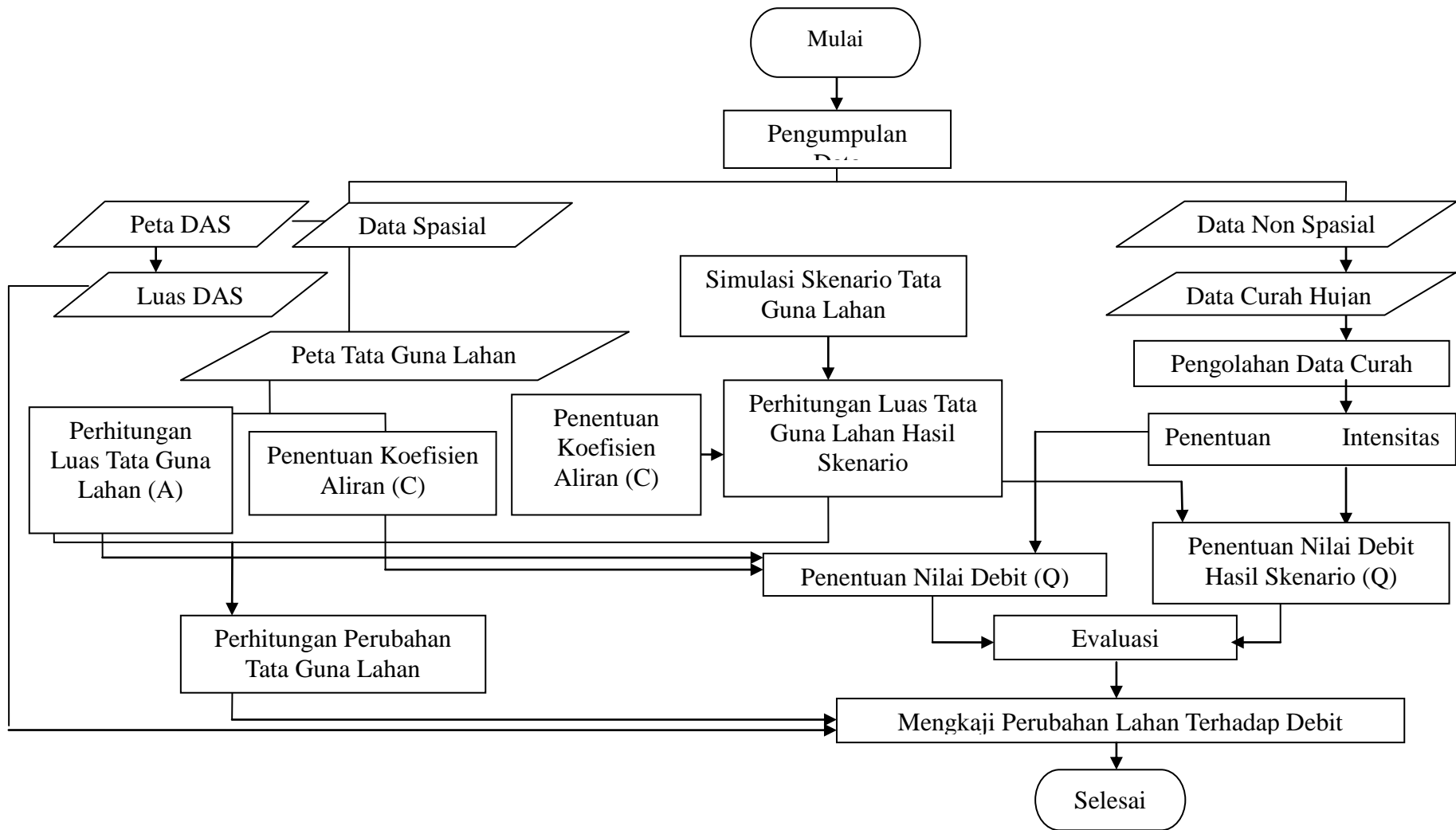
Simulasi skenario perubahan tata guna lahan dilakukan dengan mengadakan penambahan atau pengurangan terhadap luas hutan dan tata guna lahan lainnya. Simulasi tersebut dilakukan dengan jalan mengubah perkebunan, ladang, pemukiman, aau kawasan lain menjadi hutan ataupun sebaliknya kemudian dilihat pengaruhnya terhadap kehilangan tanah,limpasan dan debit puncak yang terjadi, hingga mencapai besaran angka yang tidak melebihi batas arahan yang ditetapkan. Setelah proses simulasi skenario skenario selesai dengan hasil keluaran yang diharapkan maka perlu ditetapkan batasan penggunaan lahan berdasarkan hasil analisis tersebut yang merupakan konsep tata guna lahan yang seharusnya diterapkan. Analisa sensitivitas dimaksudkan untuk mengetahui parameter yang paling berpengaruh terhadap hasil keluaran yang akan digunakan sebagai pedoman terhadap pengelolaan DAS.

4.2.5. Overlay

Menyusun (overlay) peta tematik hasil digitasi menggunakan program Quantum GIS 1.7.4 seperti peta tata guna lahan yang harus diidentifikasi nilai koefisien alirannya (C) sesuai dengan tata guna lahan masing-masing daerah serta dihitung luas masing-masing tata guna lahan (A) untuk mendapatkan nilai debit (Q) yang dihitung menggunakan metode rasional.



Gambar 4.3 Diagram Alir Penelitian Distributed Hydrologic Model



Gambar 4.4 Diagram Alir Penelitian Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan pada Fluktuasi Debit di DAS di Bandar Lampung

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Distributed Hydrologic Model

5.1.1 Analisis Data Spasial

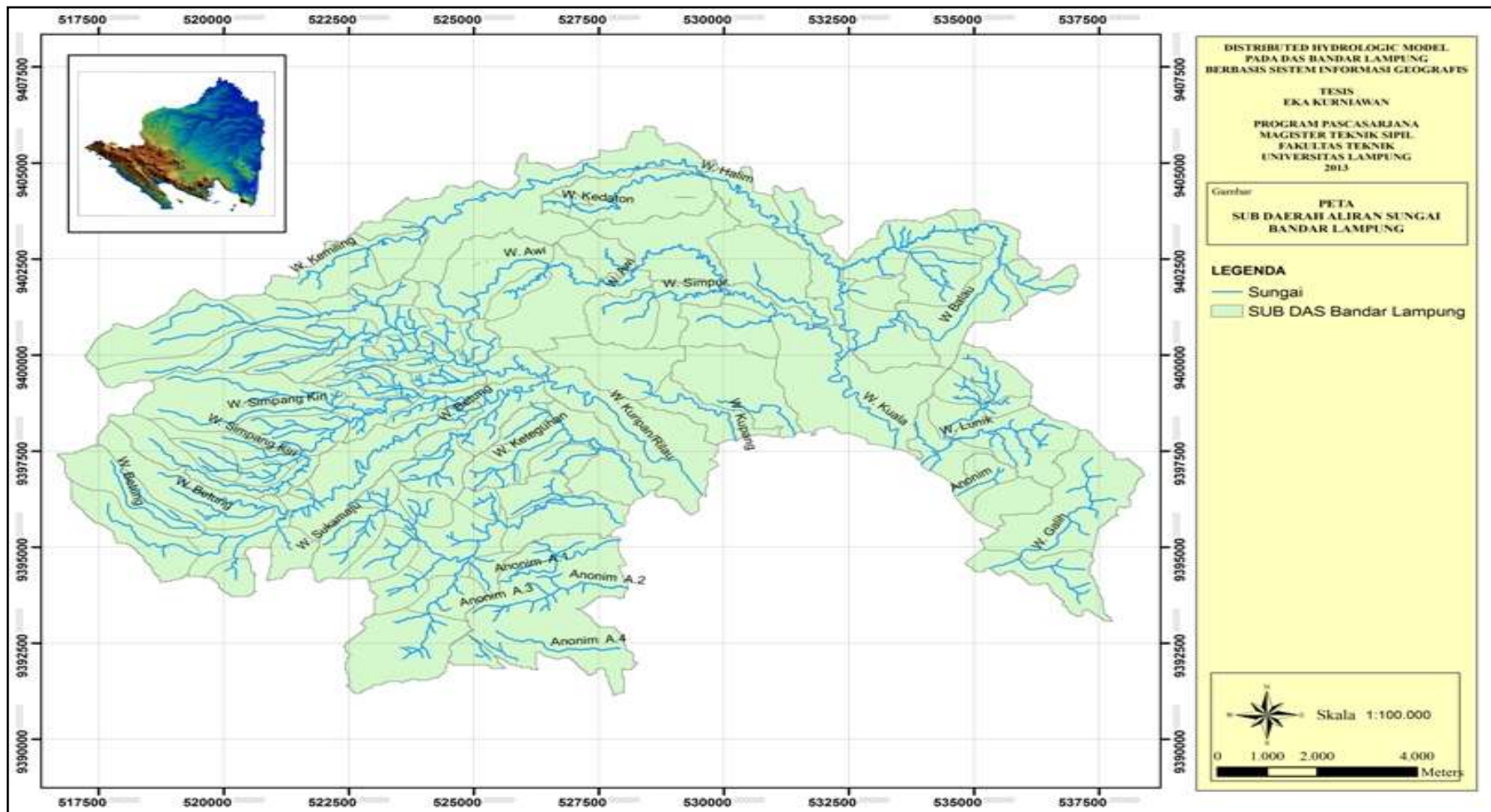
Dari hasil delinasi DAS Bandar Lampung dan sungai berdasarkan keadaan sebenarnya dilapangan, menggunakan *google earth* dan *generate* data DEM didapat data :

1. DAS Bandar Lampung terbagi menjadi Way Simpur, Way Garuntang, Way Simpang Kanan, Way Betung, Way Simpang Kiri, Way Kuripan, Way Kupang, Way Kunit, Way Lunik 1, Way Lunik 2, Way Galih, Way Keteguhan, Way Sukamaju, Way Gebang.
2. Karena Way Garuntang dan Way Kuripan merupakan 2 DAS terbesar di Kota Bandar Lampung dilakukan delinasi DAS menjadi Sub DAS terkecil.
3. Sungai di DAS Way Garuntang berjumlah 11 sungai, dengan nama sungai yaitu : Way Awi, Way Balau, Way Halim, Way Kedamaian, Way Kedaton, Way Kemiling, Way Kuala, Way Langkapura, Way Pemanggilan, Way Penengahan, Way Simpur.
4. Sungai di DAS Way Kuripan berjumlah 4 sungai, dengan nama sungai yaitu : Way Betung, Way Simpang Kanan, Way Simpang Kiri, Way Kuripan.
5. Sungai di luar DAS tersebut adalah Way Galih, Way Keteguhan, Way Kupang, Way Lunik, Way Sukamaju, Way Kunit, Way Gebang.

Hasil delinasi DAS di *overlay* dengan sungai pada Sub DAS Bandar Lampung dapat dilihat pada Gambar 5.1, Hasil delinasi tersebut dikelompokkan kedalam *neighbour watershed* dan *cascade watershed* dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Pengelompokkan *neighbour watershed* dan *cascade watershed*

No.	Nama DAS	<i>Neighbour Watershed</i>	<i>Cascade Watershed</i>
1	Way Simpurn	Way Kemiling 2 - Way Pemanggilan 4	Way Kemiling 1 - Way Kemiling 2
		Way Pemanggilan 1 - Way Kedaton	Way Pemanggilan 4 - Way Pemanggilan 1
		Way Halim 1 - Way Halim 2	Way Langkapura - Way Kedaton
2	Way Garuntang	Way Awi 2 - Way Awi 3	Way Awi 2 - Way Awi 1
		Way Pemanggilan 3 - Way Awi 1	Way Awi 1 - Way Kuala 3
		Way Kuala 3 - Way Simpurn 2	Way Simpurn 1 - Way Simpurn 2
		Way Kuala 2 - Way Kuala 1	Way Simpurn 2 - Way Kuala 1
		Way Kuala 1 - Way Kedamaian	Way Balau 3 - Way Halim 1
		Way Balau 2 - Way Balau 3	Way Balau 3 - Way Balau 1
		Way Balau 1 - Way Balau 4	Way Halim 3 - Way Halim 1
		3	Way Simpang Kanan
Way Sp. Kanan 7 - Way Sp. Kanan 8	Way Sp. Kanan 3 - Way Sp. Kanan 12		
Way Sp. Kanan 10 - Way Sp. Kanan 1	Way Sp. Kanan 12 - Way Sp. Kanan 13		
	Way Sp. Kanan 11 - Way Sp. Kanan 1		
	Way Sp. Kanan 13 - Way Sp. Kanan 1		
4	Way Betung	Way Betung 2 - Way Betung 3	Way Betung 6 - Way Betung 7
		Way Betung 2 - Way Betung 6	Way Betung 2 - Way Betung 7
			Way Betung 3 - Way Betung 7
			Way Betung 4 - Way Betung 7
			Way Betung 5 - Way Betung 7
			Way Betung 7 - Way Betung 1
			Way Betung 8 - Way Betung 1
5	Way Simpang Kiri	Way Sp. Kiri 7 - Way Sp. Kiri 6	Way Sp. Kiri 2 - Way Sp. Kiri 6
		Way Sp. Kiri 5 - Way Sp. Kiri 4	Way Sp. Kiri 3 - Way Sp. Kiri 4
		Way Sp. Kiri 5 - Way Sp. Kiri 6	Way Sp. Kiri 7 - Way Sp. Kiri 10
		Way Sp. Kiri 8 - Way Sp. Kiri 9	Way Sp. Kiri 10 - Way Sp. Kiri 8
			Way Sp. Kiri 11 - Way Sp. Kiri 1
			Way Sp. Kiri 12 - Way Sp. Kiri 1
6	Way Kuripan	-	-
7	Way Kupang	-	Way Kupang 1 - Way Kupang 2
8	Way Kunyit	-	-
9	Way Lunik 1	Way Lunik 1.2 - Way Lunik 1.3	Way Lunik 1.2 - Way Lunik 1.5
			Way Lunik 1.4 - Way Lunik 1.5
			Way Lunik 1.1 - Way Lunik 1.6
10	Way Lunik 2	-	-
11	Way Galih	-	Way Galih 1 - Way Galih 2
12	Way Keteguhan	Way Keteguhan 3 - Way Keteguhan 1	Way Keteguhan 2 - Way Keteguhan 1
		Way Keteguhan 4 - Way Keteguhan 1	
13	Way Sukamaju	Way Sukamaju 2 - Way Sukamaju 4	Way Sukamaju 7 - Way Sukamaju 8
		Way Sukamaju 12 - Way Sukamaju 1	Way Sukamaju 6 - Way Sukamaju 11
			Way Sukamaju 8 - Way Sukamaju 11
			Way Sukamaju 10 - Way Sukamaju 11
			Way Sukamaju 3 - Way Sukamaju 11
			Way Sukamaju 5 - Way Sukamaju 11
14	Way Gebang	-	-



Gambar 5.1. Delinasi DAS di *overlay* dengan sungai pada Sub DAS Bandar Lampung

5.1.2 Analisis Hidrologi

Data yang didapat dari hasil pengolahan menggunakan *software* Sistem Informasi Geografis berupa data karakteristik DAS yaitu :

1. Panjang sungai (km)
2. Luas DAS (km²)

Dengan beberapa data yang diketahui tersebut, dapat dihitung beberapa parameter HSS Nakayasu. Contoh perhitungan HSS Nakayasu pada DAS Way Simpurn Sub DAS Way Kemiling 1, dijelaskan sebagai berikut dengan data :

- Panjang Sungai (L) : 3.734 km
- Luas DAS : 2.177 km²
- Koef. Pengaliran DAS : 0.4
 - $T_g = 0.21 \times L^{0.7}$ Untuk $L < 15$ km
 $T_g = 0.21 \times 3.734^{0.7} = 0.528$ Jam
 - $T_r = 0.6 \times T_g$
 $T_r = 0.6 \times 0.528 = 0.317$ Jam
 - $T_p = T_g + 0.8 \times T_r$
 $T_p = 0.528 + 0.8 \times 0.317 = 0,78$ Jam
 - $T_{0.3} = \alpha \times T_g$ dimana $\alpha = 1.5 - 3$; nilai $\alpha = 2.95$
 $T_{0.3} = 2.95 \times 0.528 = 1.558$ Jam
 - $Q_p = \frac{A \times R}{3.6(0.3T_p + T_{0.3})}$
 $Q_p = \frac{2.177 \times 1}{3.6(0.3 \times 0.78 + 1.558)} = 1.30$ m³/detik

Parameter hidrograf satuan sintetis Nakayasu tersebut digunakan untuk menghitung ordinat hidrograf pada beberapa waktu yang ditetapkan ($t=0, 1, 2, \dots, n$) seperti diberikan dalam tabel berikut ini.

a. Pada kurva naik

$$0 < t < T_p$$

$$0 < t < 0.78$$

Kurva dihitung dengan persamaan berikut, dan hasilnya diberikan dalam tabel dibawah ini :

$$Q_t = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2.4}$$

$$Q_t = 0,01 \left(\frac{t}{1,06} \right)^{2.4}$$

Tabel 5.2. Kurva naik

Waktu	Kurva Naik	Debit
t	0 < t < T_p	Unit Hidrograf
jam	(t/T_p)^{2.4}	Q_t
		m³/dt
-	-	0,000000
0,016	0,000	0,000028
0,031	0,000	0,000149
0,047	0,001	0,000394
0,062	0,002	0,000785
0,078	0,004	0,001342
0,094	0,006	0,002078
0,109	0,009	0,003008
0,125	0,012	0,004145
0,140	0,016	0,005499
Waktu	Kurva Naik	Debit
t	0 < t < T_p	Unit Hidrograf
jam	(t/T_p)^{2.4}	Q_t
		m³/dt
0,156	0,021	0,007081
0,172	0,026	0,008901
0,187	0,033	0,010968
0,203	0,039	0,013291
0,218	0,047	0,015878
0,234	0,056	0,018738
0,250	0,065	0,021877
0,265	0,075	0,025303
0,281	0,086	0,029024
0,296	0,098	0,033045
0,312	0,111	0,037374
0,328	0,125	0,042017
0,343	0,139	0,046980
0,359	0,155	0,052270
0,374	0,172	0,057891
0,390	0,189	0,063850
0,406	0,208	0,070152
0,421	0,228	0,076802

Waktu	Kurva Naik	Debit
0,437	0,249	0,083807
0,452	0,271	0,091171
0,468	0,293	0,098899
0,484	0,317	0,106997
0,499	0,343	0,115468
0,515	0,369	0,124318
0,530	0,396	0,133552
0,546	0,425	0,143174
0,562	0,455	0,153189
0,577	0,485	0,163601
0,593	0,518	0,174414
0,608	0,551	0,185634
0,624	0,585	0,197263
0,640	0,621	0,209307
0,655	0,658	0,221769
0,671	0,696	0,234653
Waktu	Kurva Naik	Debit
t	$0 < t < T_p$ $(t/T_p)^{2.4}$	Unit Hidrograf Qt m^3/dt
jam		
0,686	0,736	0,247964
0,702	0,777	0,261705
0,718	0,819	0,275880
0,733	0,862	0,290494
0,749	0,907	0,305549
0,764	0,953	0,321050
0,780	1,000	0,337000

Sumber : Hasil Perhitungan

b. Pada kurva turun ke 1

$$T_p < t < T_p + T_{0.3}$$

$$0.78 < t < 2.338$$

Kurva dihitung dengan persamaan berikut, dan hasilnya diberikan dalam tabel dibawah

ini :

$$Q_r = Q_p \times 0.3^{(t-T_p)/T_{0.3}}$$

$$Q_r = 0,01 \times 0.3^{(t-1.06)/2.104}$$

Tabel 5. 3. Kurva turun ke 1

Waktu	Lengkung Turun	Debit
t	$T_p < t < T_{0,3}$	Unit Hidrograf
jam	$(t-T_p)$ $T_{0,3}$	Q_t m^3/dt
0,795	0,010	0,332993
0,811	0,020	0,329033
0,826	0,030	0,325121
0,842	0,040	0,321255
0,857	0,050	0,317435
0,872	0,060	0,313660
0,888	0,070	0,309931
0,903	0,079	0,306245
0,919	0,089	0,302604
0,934	0,099	0,299006
0,949	0,109	0,295450
0,965	0,119	0,291937
0,980	0,129	0,288466
0,996	0,139	0,285036
1,011	0,149	0,281646
1,026	0,159	0,278297
1,042	0,169	0,274988
1,057	0,179	0,271718
1,073	0,189	0,268487
1,088	0,199	0,265295
1,103	0,209	0,262140
1,119	0,219	0,259023
1,134	0,229	0,255943
1,150	0,238	0,252900
1,165	0,248	0,249893
1,180	0,258	0,246921
1,196	0,268	0,243985
1,211	0,278	0,241084
Waktu	Lengkung Turun	Debit
1,227	0,288	0,238217
1,242	0,298	0,235385
1,257	0,308	0,232586
1,273	0,318	0,229820
1,288	0,328	0,227087
1,304	0,338	0,224387
1,319	0,348	0,221719
1,334	0,358	0,219083
1,350	0,368	0,216478
1,365	0,378	0,213903
1,381	0,387	0,211360
1,396	0,397	0,208847
1,411	0,407	0,206363
1,427	0,417	0,203910

Waktu	Lengkung Turun	Debit
1,442	0,427	0,201485
1,458	0,437	0,199089
1,473	0,447	0,196722
1,488	0,457	0,194383
1,504	0,467	0,192071
1,519	0,477	0,189787
1,535	0,487	0,187531
1,550	0,497	0,185301
1,566	0,505	0,183574
1,581	0,511	0,182100
1,597	0,518	0,180638
1,612	0,525	0,179188
1,628	0,531	0,177750
1,644	0,538	0,176322
1,659	0,545	0,174907
1,675	0,551	0,173503
1,690	0,558	0,172110
1,706	0,565	0,170728
1,722	0,572	0,169357
1,737	0,578	0,167997
1,753	0,585	0,166649
Waktu	Lengkung Turun	Debit
1,768	0,592	0,165311
1,784	0,598	0,163984
1,800	0,605	0,162667
1,815	0,612	0,161361
1,831	0,618	0,160066
1,846	0,625	0,158780
1,862	0,632	0,157506
1,878	0,638	0,156241
1,893	0,645	0,154987
1,909	0,652	0,153742
1,924	0,659	0,152508
1,940	0,665	0,151284
1,956	0,672	0,150069
1,971	0,679	0,148864
1,987	0,685	0,147669
2,002	0,692	0,146484
2,018	0,699	0,145307
2,034	0,705	0,144141
2,049	0,712	0,142984
2,065	0,719	0,141836
2,080	0,725	0,140697
2,096	0,732	0,139567
2,112	0,739	0,138447
2,127	0,746	0,137335
2,143	0,752	0,136233
2,158	0,759	0,135139
2,174	0,766	0,134054

Waktu	Lengkung Turun	Debit
2,190	0,772	0,132978
2,205	0,779	0,131910
2,221	0,786	0,130851
2,236	0,792	0,129801
2,252	0,799	0,128758
2,268	0,806	0,127725
2,283	0,813	0,126699
2,299	0,819	0,125682
2,314	0,826	0,124673
2,330	0,833	0,123672

c. Pada kurva turun ke 2

$$T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1.5 \times T_{0,3}$$

$$0.78 + 1.558 < t < 0.78 + 1.558 + 1.5 \times 0.78$$

$$2.338 < t < 3.896$$

Kurva dihitung dengan persamaan berikut, dan hasilnya diberikan dalam tabel dibawah

ini :

$$Q_t = Q_p \times 0.3^{\left[\frac{(t - T_p) + (0.5 \times T_{0,3})}{(1.5 \times T_{0,3})} \right]}$$

$$Q_t = 0.01 \times 0.3^{\left[\frac{(t - 1.06) + (0.5 \times 2.104)}{(1.5 \times 2.104)} \right]}$$

Tabel 5.4. Kurva turun ke 2

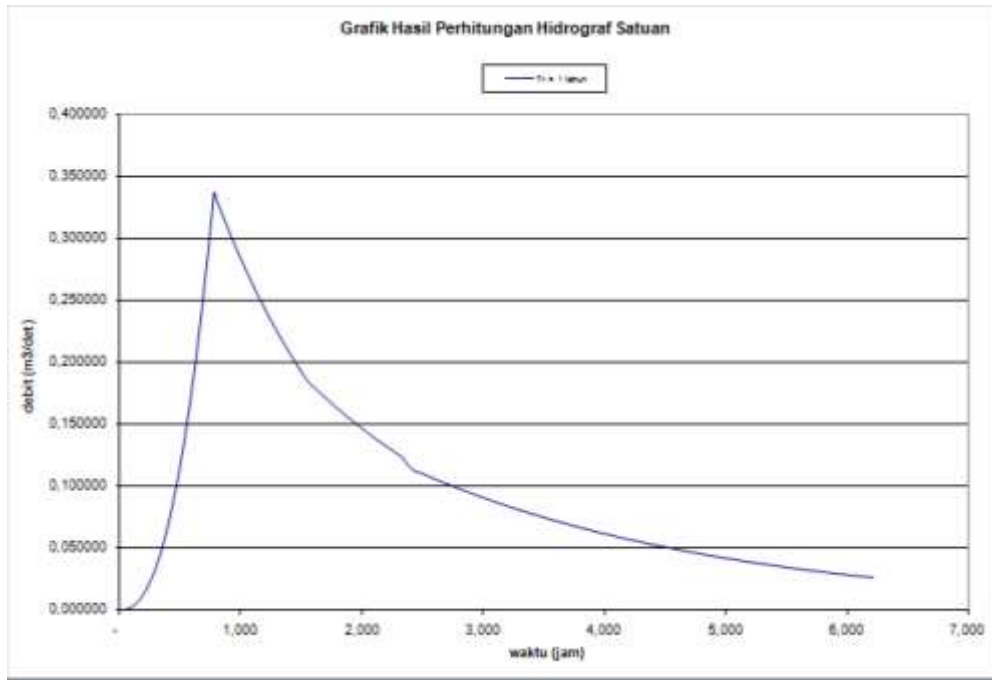
Waktu	Lengkung Turun	Debit
t	$T_{0,3} < t < 1,5T_{0,3}$	Unit Hidrograf
jam	$\frac{(t - T_p + 0.5T_p)}{(1.5T_{0,3})}$	Qt m ³ /dt
2,408	0,900	0,114088
2,486	0,925	0,110703
2,563	0,950	0,107419
2,641	0,975	0,104232
2,719	1,000	0,101139
2,797	1,025	0,098138
2,875	1,050	0,095227
2,952	1,075	0,092401
3,030	1,100	0,089660
3,108	1,125	0,087000
3,186	1,150	0,084418
3,264	1,175	0,081914

Waktu	Lengkung Turun	Debit
t	$T_{0,3} < t < 1,5T_{0,3}$	Unit Hidrograf
jam	$(t-T_p+0.5T_p)$ $(1.5T_{0,3})$	Qt m^3/dt
3,341	1,200	0,079483
3,419	1,225	0,077125
3,497	1,250	0,074837
3,575	1,275	0,072616
3,653	1,300	0,070462
3,730	1,325	0,068371
3,808	1,350	0,066343
3,886	1,375	0,064374
2,408	0,900	0,114088
2,486	0,925	0,110703
2,563	0,950	0,107419
2,641	0,975	0,104232
2,719	1,000	0,101139
2,797	1,025	0,098138
2,875	1,050	0,095227
2,952	1,075	0,092401
3,030	1,100	0,089660
3,108	1,125	0,087000
3,186	1,150	0,084418
3,264	1,175	0,081914
3,341	1,200	0,079483
3,419	1,225	0,077125
3,497	1,250	0,074837
3,575	1,275	0,072616
3,653	1,300	0,070462
3,730	1,325	0,068371
3,808	1,350	0,066343
3,886	1,375	0,064374

Sumber : Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan hidrograf satuan sintesis Nakayasu pada DAS Way Simpung Sub DAS

Way Kemiling 1 dapat dilihat pada Gambar 5.2.

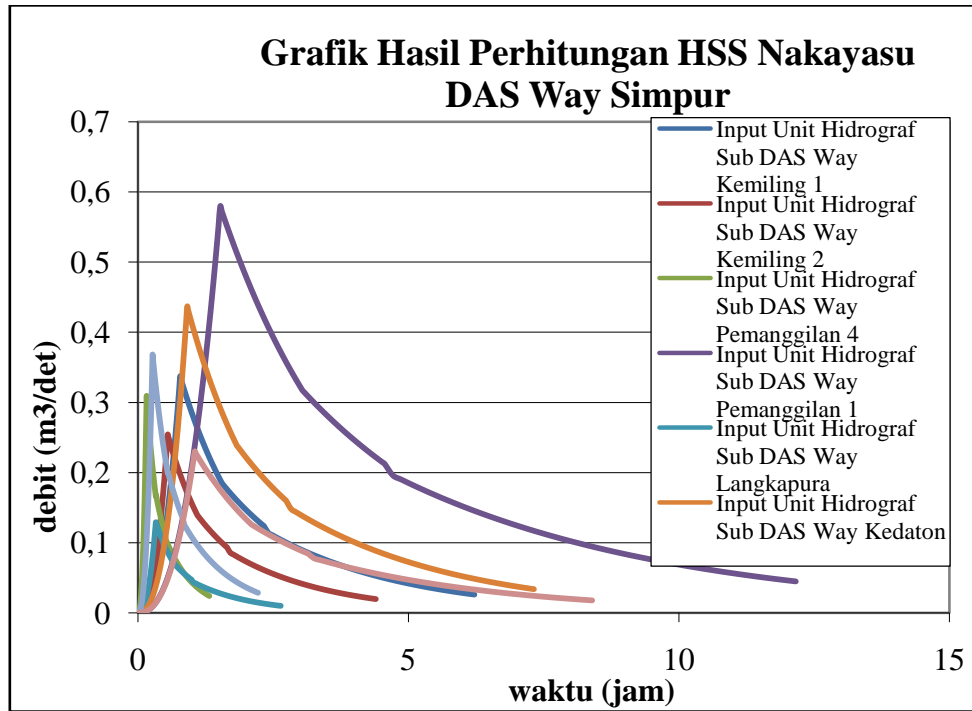


Gambar 5.2. HSS Nakayasu – Sub DAS Way Kemiling 1

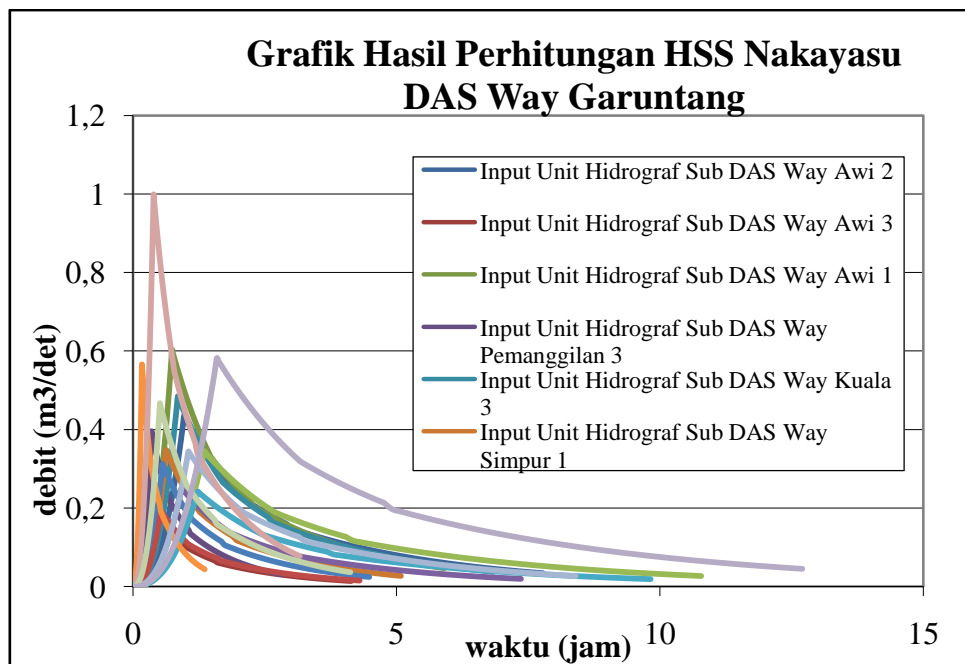
Berdasarkan hasil perhitungan HSS Nakayasu pada DAS Bandar Lampung di dapat nilai komulatif debit puncak (Q_p) sebesar :

1. DAS Way Simpurn = 2,645 m³/detik.
2. DAS Way Garuntang = 6,757 m³/detik.
3. DAS Way Simpang Kanan = 2,297 m³/detik.
4. DAS Way Betung = 1,820 m³/detik.
5. DAS Way Simpang Kiri = 2,077 m³/detik.
6. DAS Way Kuripan = 6,720 m³/detik.
7. DAS Way Kupang = 0,891 m³/detik.
8. DAS Way Kuyit = 0,472 m³/detik.
9. DAS Way Lunik 1 = 1,253 m³/detik.
10. DAS Way Lunik 2 = 0,385 m³/detik.
11. DAS Way Galih = 0,842 m³/detik.
12. DAS Way Keteguhan = 0,936 m³/detik.
13. DAS Way Sukamaju = 2,862 m³/detik.
14. DAS Way Gebang = 0,489 m³/detik.

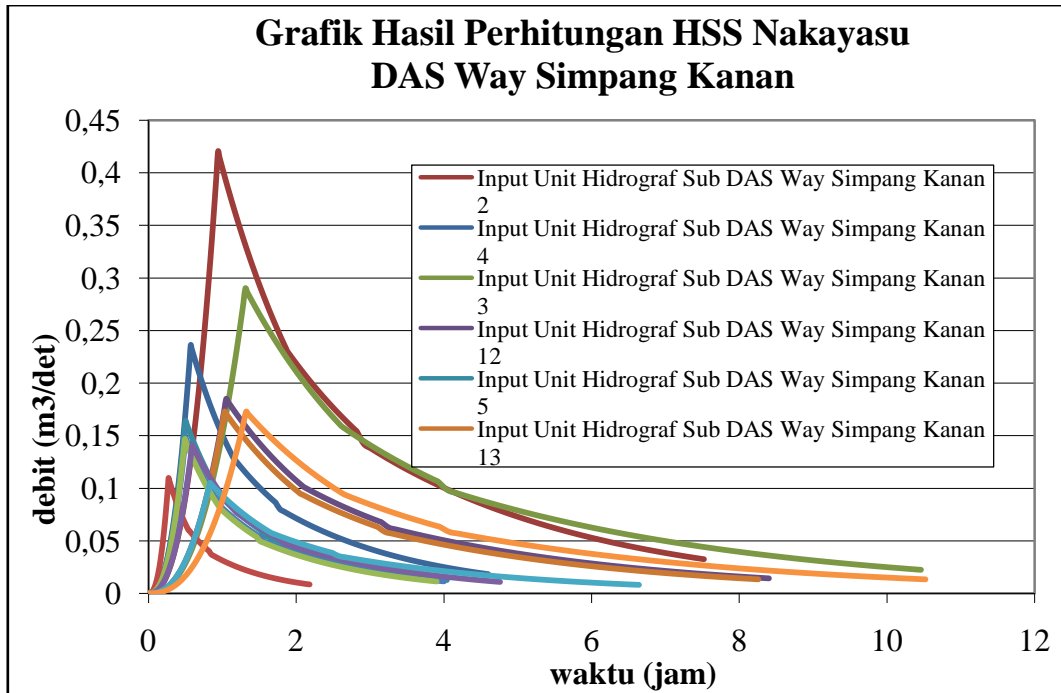
Hasil perhitungan analisis HSS Nakayasu pada DAS Bandar Lampung dapat dilihat pada lampiran B. dan Grafik hasil perhitungan HSS Nakayasu nilai debit puncak pada DAS Bandar Lampung dapat dilihat pada Gambar 5.3 sampai dengan Gambar 5.16.



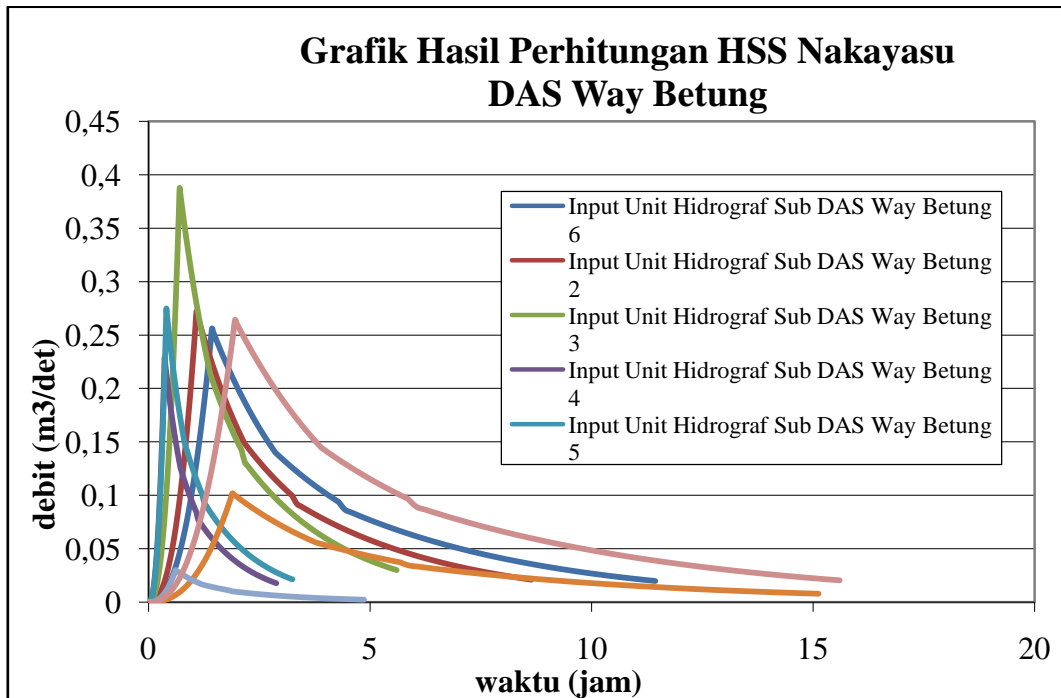
Gambar 5.3 HSS DAS Way Simpurr



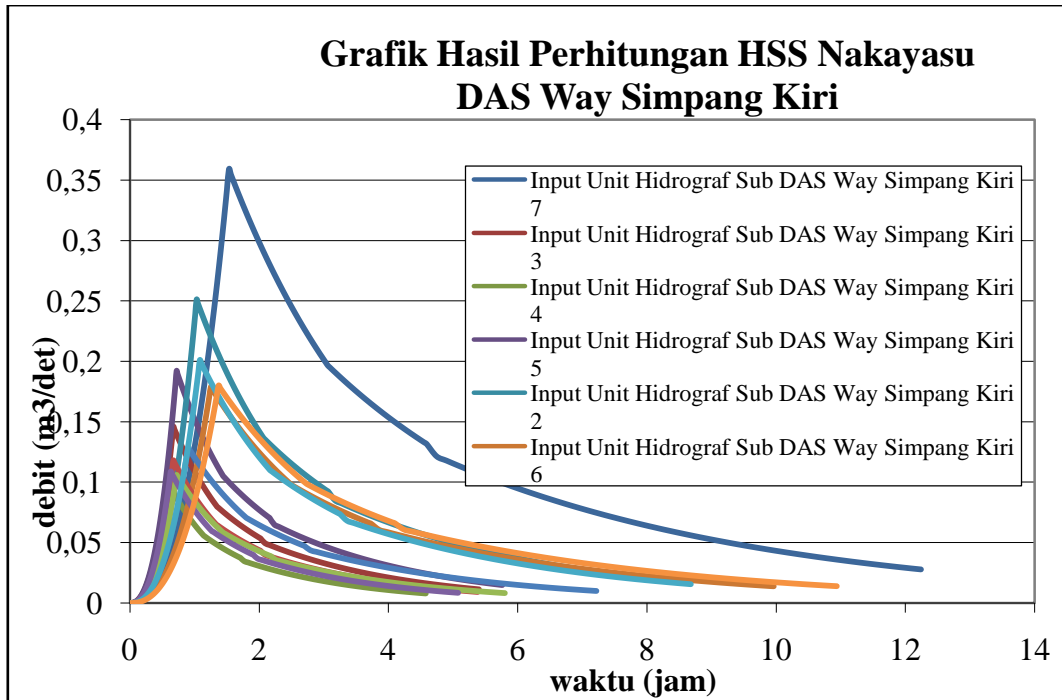
Gambar 5.4 HSS DAS Way Garuntang



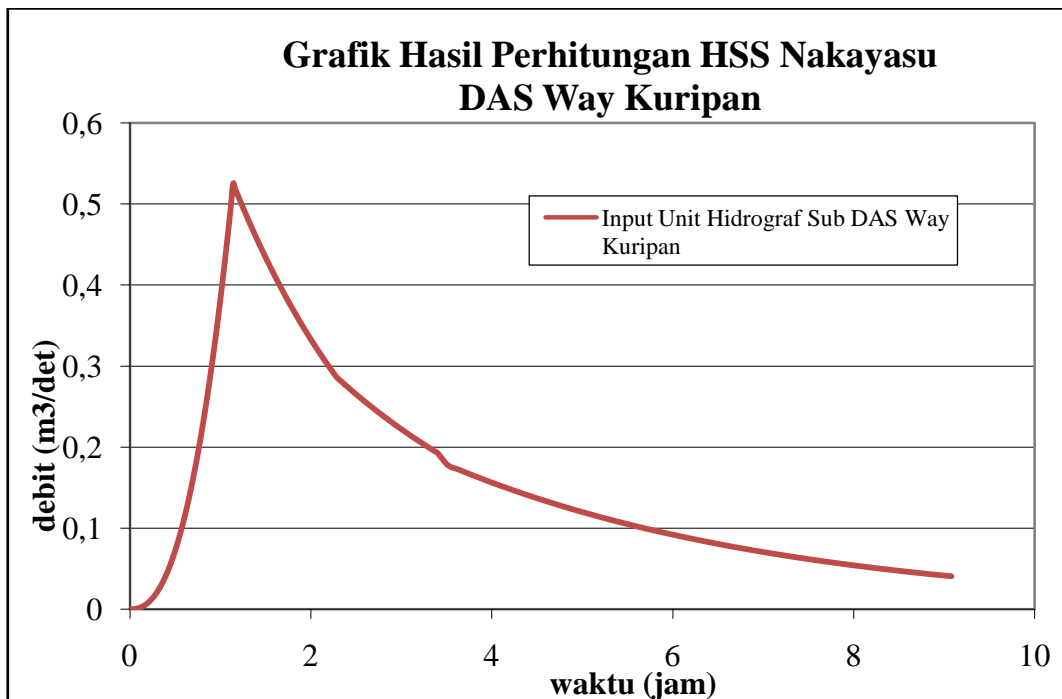
Gambar 5.5 HSS DAS Way Kanan



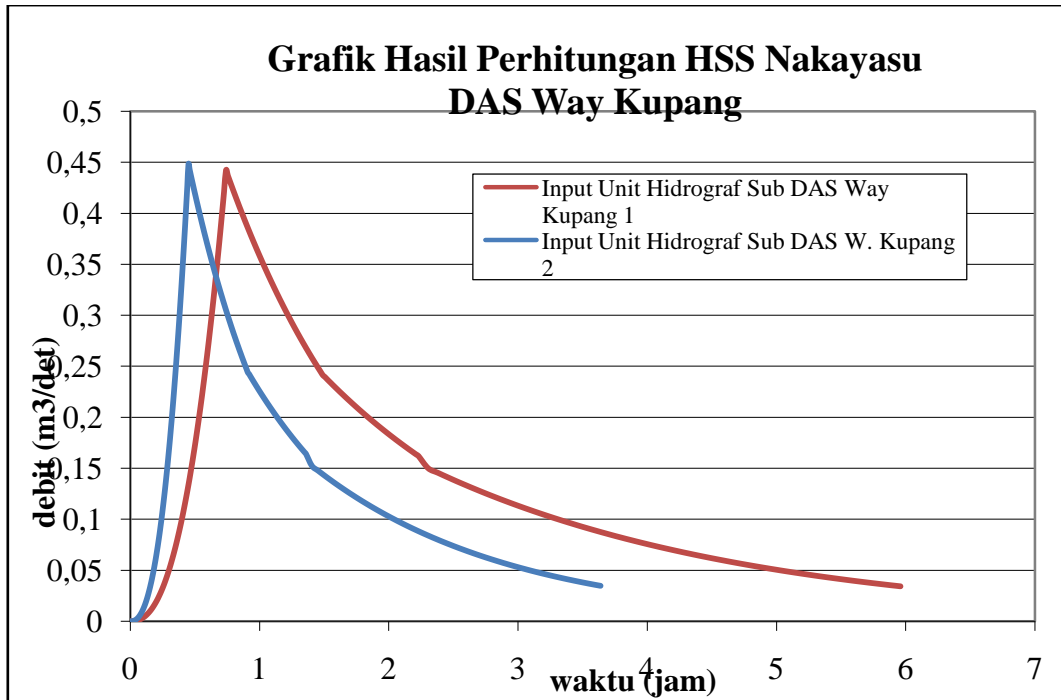
Gambar 5.6 HSS DAS Way Betung



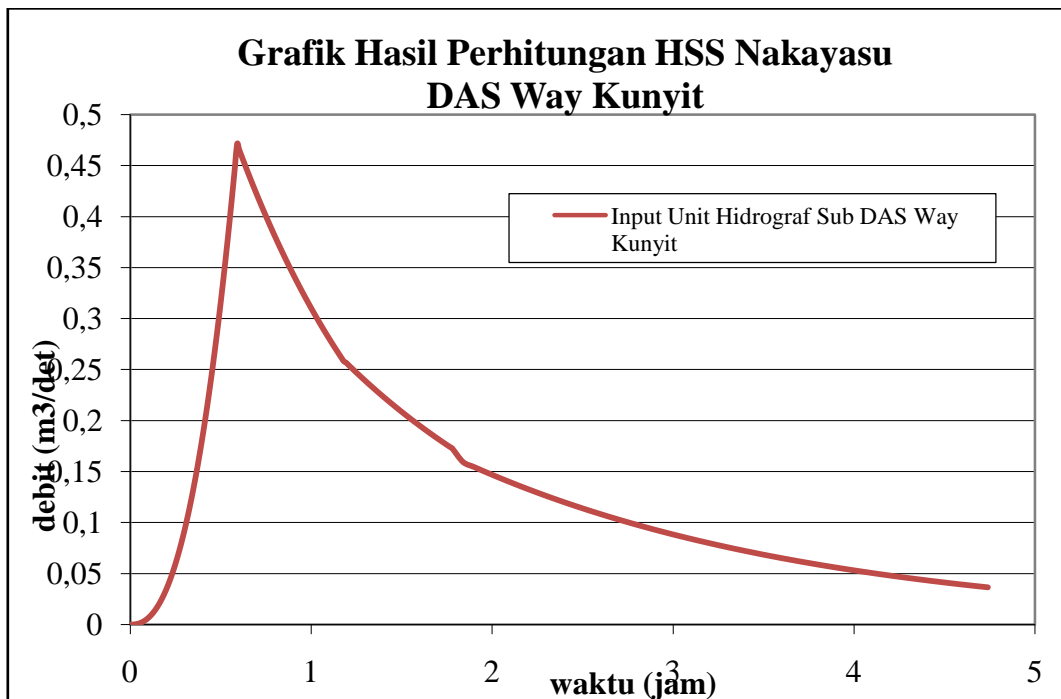
Gambar 5.7 HSS DAS Way Simpang Kiri



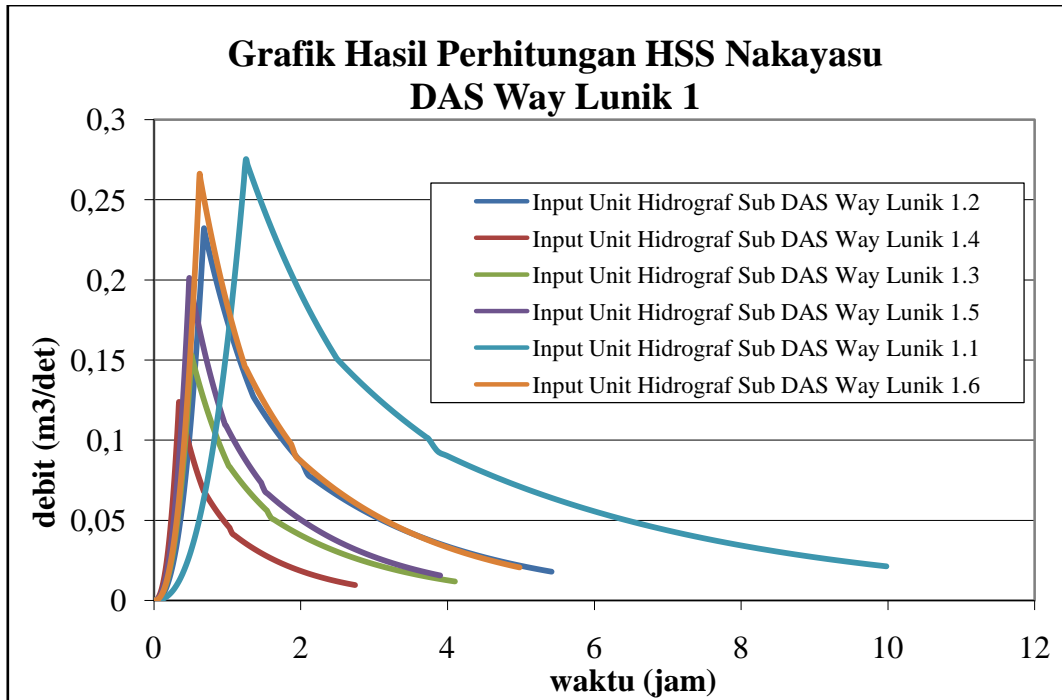
Gambar 5.8 HSS DAS Way Kuripan



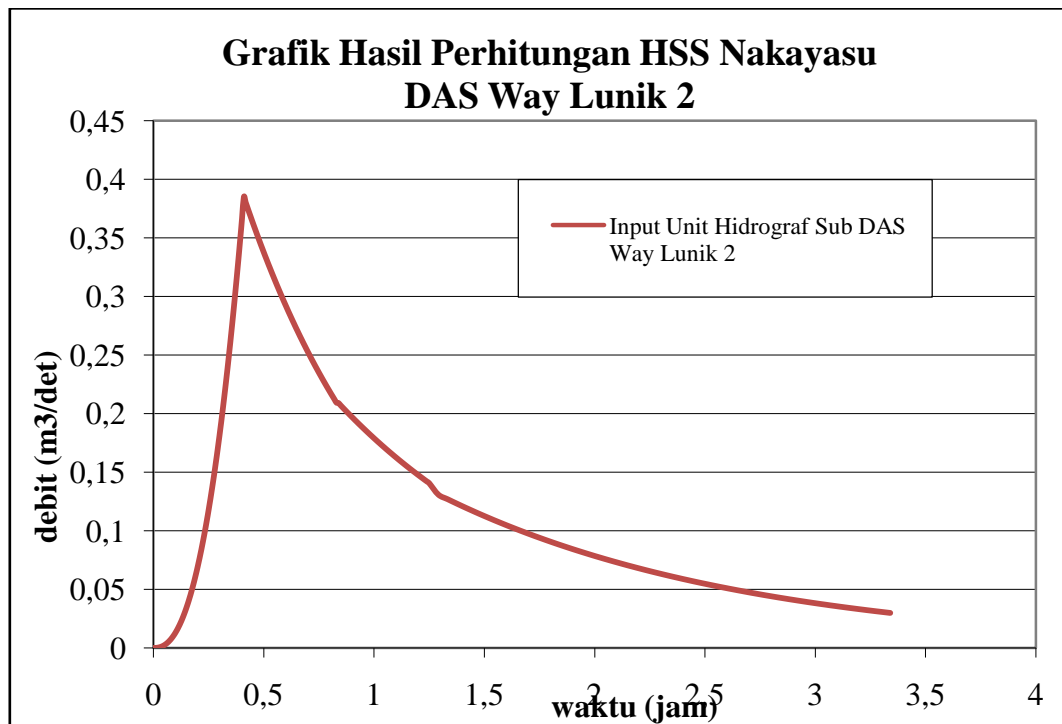
Gambar 5.9 HSS DAS Way Kupang



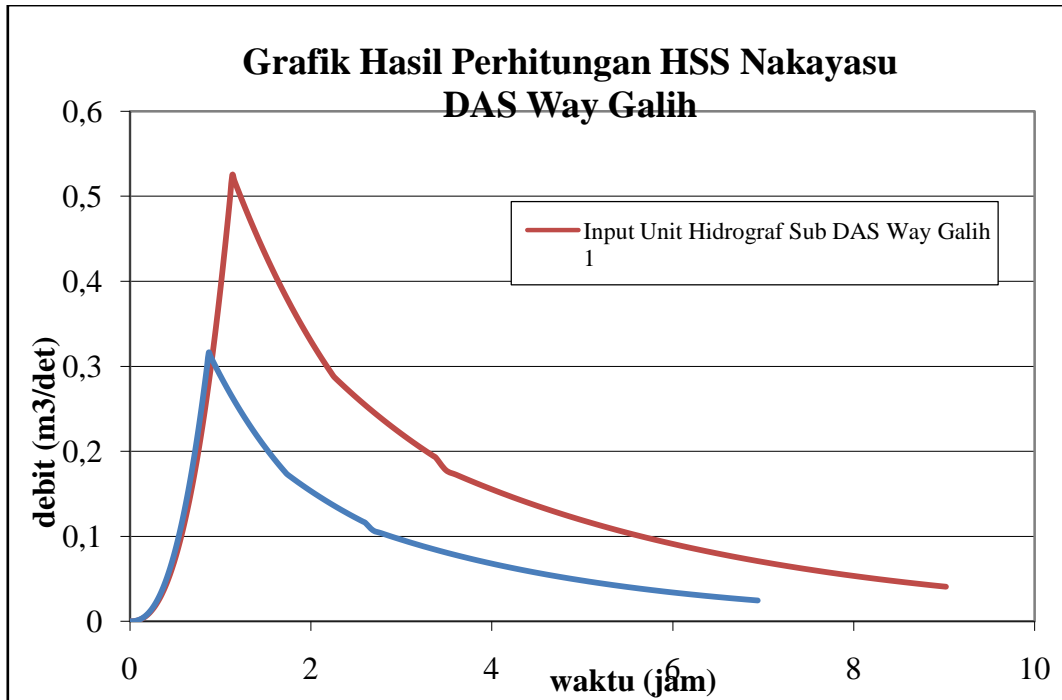
Gambar 5.10 HSS DAS Way Kunit



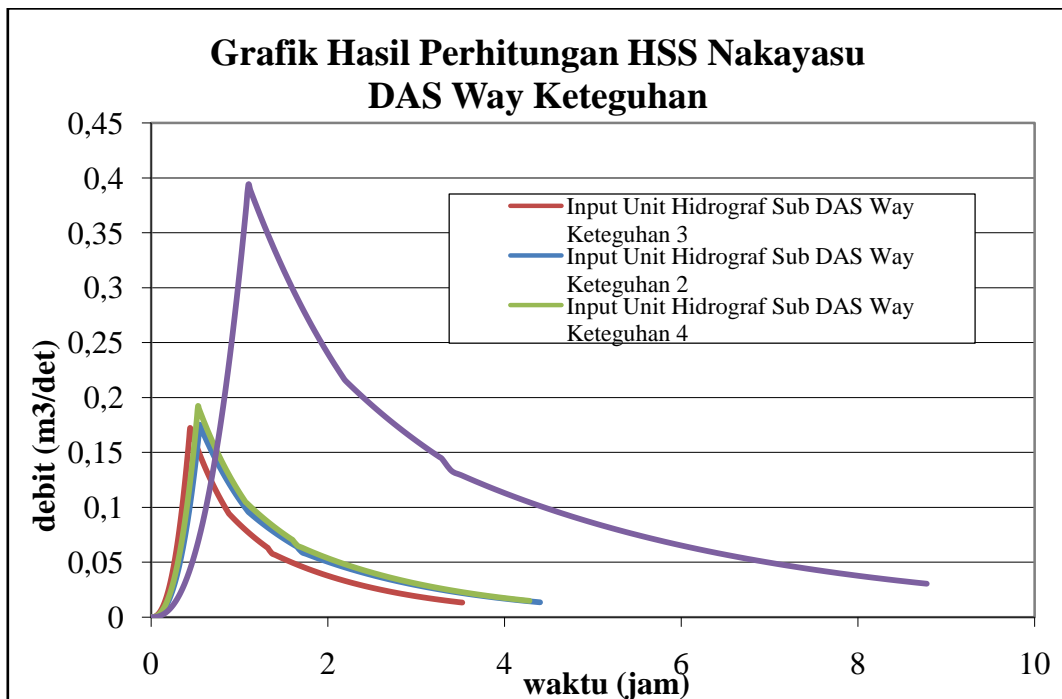
Gambar 5.11 HSS DAS Way Lunik 1



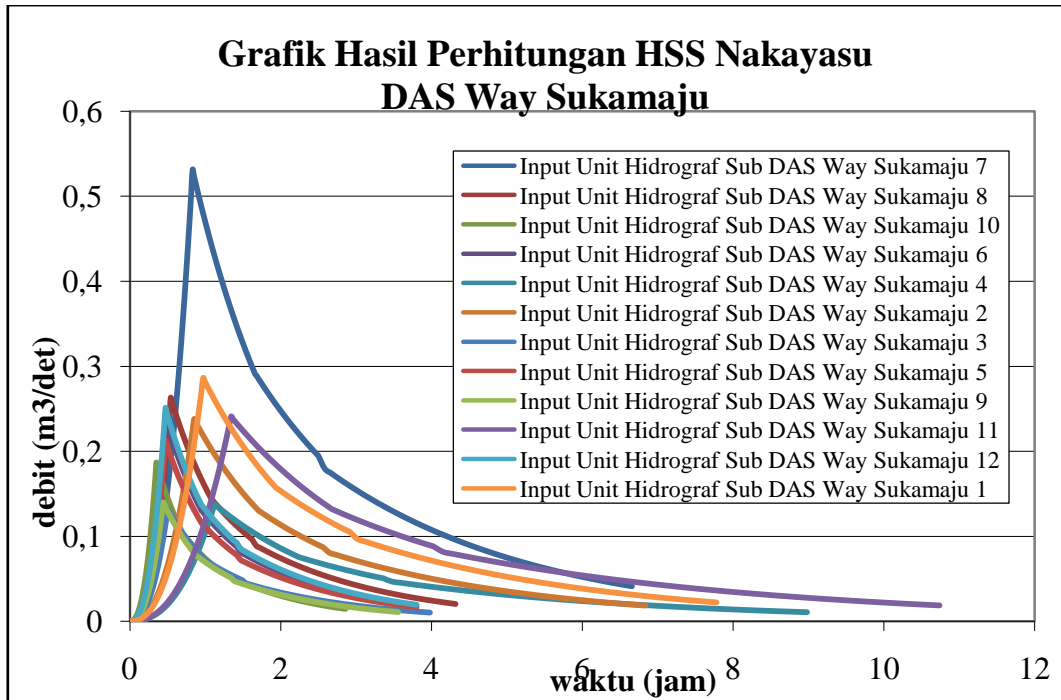
Gambar 5.12 HSS DAS Way Lunik 2



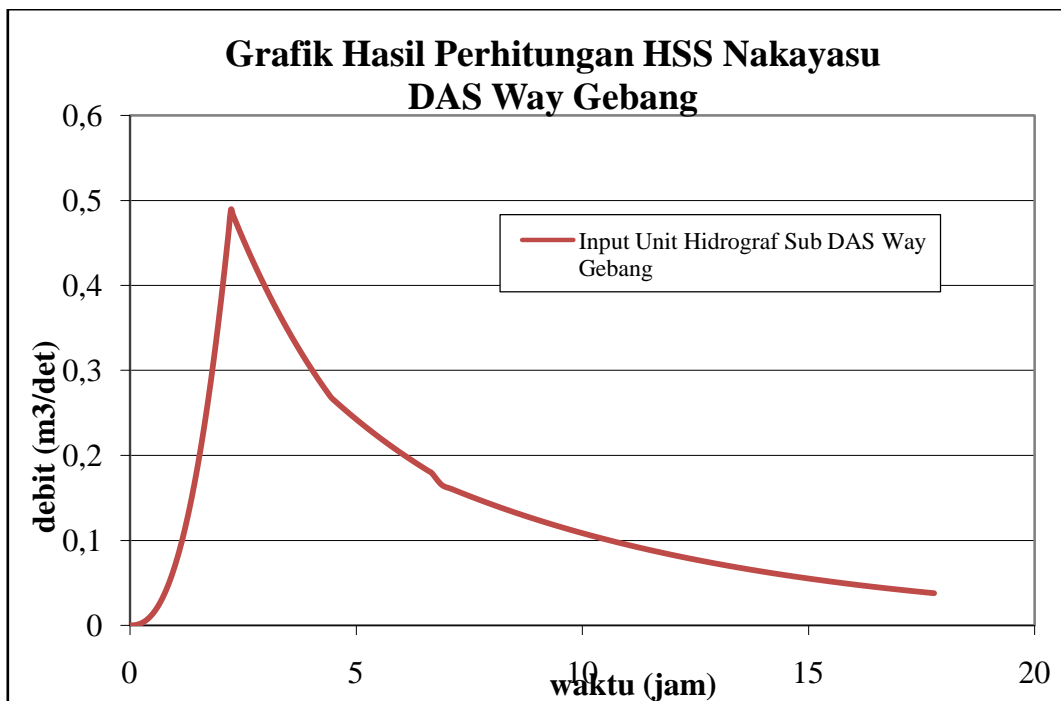
Gambar 5.13 HSS DAS Way Galih



Gambar 5.14 HSS DAS Way Keteguhan



Gambar 5.15 HSS DAS Way Sukamaju



Gambar 5.16 HSS DAS Way Gebang

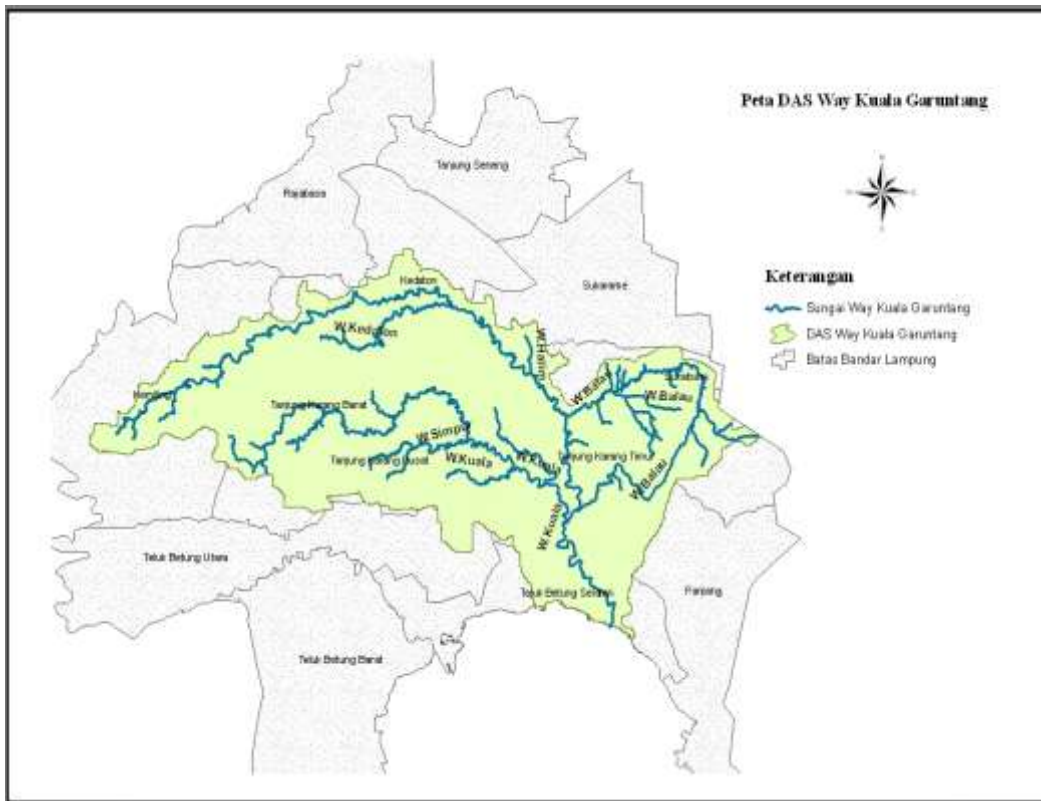
5.2 Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Pada Fluktuasi Debit DAS di Kota Bandar Lampung

Penelitian pengaruh perubahan tata guna lahan pada perubahan debit di DAS di Kota Bandar Lampung, dibatasi pada dua DAS terbesar di Kota Bandar Lampung, yaitu DAS Kuala Garuntang dan DAS Kuripan.

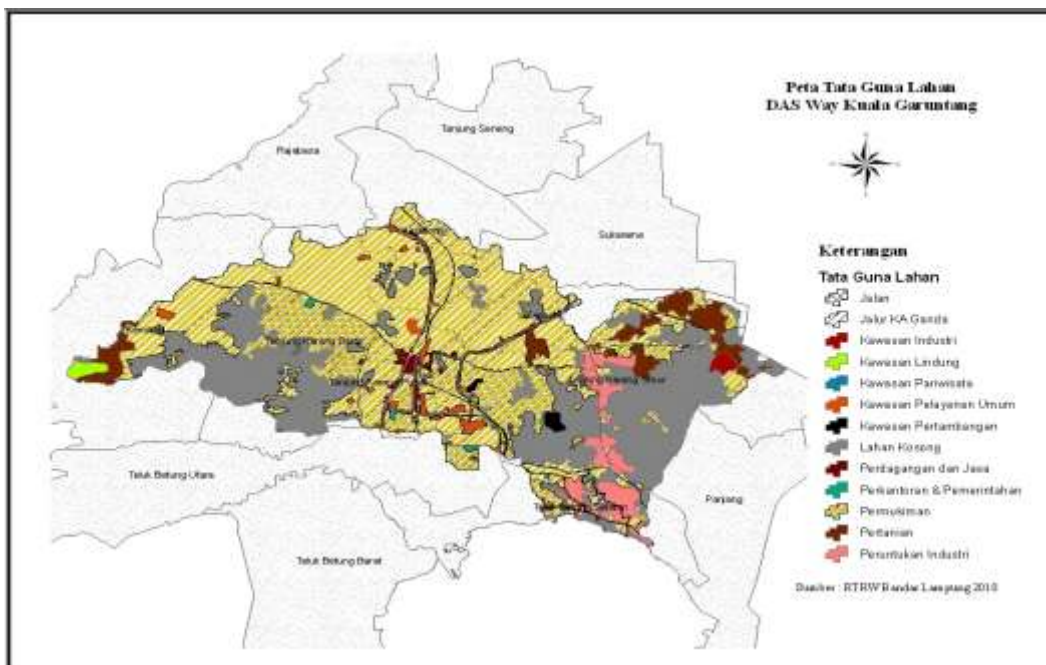
5.2.1 Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan di DAS Kuala Garuntang

A. Analisa Data Spasial

Dari hasil pembentukan sungai Way Kuala Garuntang diketahui bahwa DAS Way Kuala Garuntang Memiliki 11 anak sungai yaitu Way Kemiling, Way Langkapura, Way Pemanggilan, Way Balau, Way Kedaton, Way Penengahan, Way Awi, Way Simpung, Way Halim, Way Kedamaian, dan Way Kuala. Dan Setelah menambahkan dengan layer batas administrasi pada peta diketahui bahwa hulu sungai berada pada kecamatan kemiling dan hilir sungai berada pada kecamatan teluk betung selatan. Gambar peta sungai Way Kuala Garuntang merupakan hasil spasial dari tahap pembentukan sungai ini Dari hasil pembentukan DAS Way Kuala Garuntang dapat diketahui bahwa luas DAS Way Kuala Garuntang adalah 60,39 km². Hasil dari pembentukan sungai dan DAS Way Kuala Garuntang dapat dilihat pada Gambar 5.17 Data Tutupan Lahan DAS Way Kuala Garuntang dibuat berdasarkan data RTRW Bandar Lampung tahun 2010. Setelah menampilkan layer tutupan lahan dan layer DAS Way kuala garuntang, dilakukan pemotongan pada layer tutupan lahan, sehingga didapatkan tutupan lahan sesuai dengan luas DAS Way Kuala Garuntang Dari tahap pembentukan data tutupan lahan ini didapatkan 11 jenis tutupan lahan pada DAS Way Kuala Garuntang, dengan 0,4% pertambangan, 54,14% pemukiman, 4,10% peruntukan industri, 31,22% lahan kosong, 1,79% daerah perdagangan dan jasa, 0,23% perkantoran pemerintahan, 0,04% kawasan pariwisata, 0,38% kawasan industri, 0,46% kawasan lindung, 4,72% lahan pertanian , 1,26% merupakan kawasan pelayanan umum, 1,16% areal jalan dan 0,07% merupakan jalur kereta api ganda dari luas DAS Way Kuala Garuntang sebesar 60,392 km². Hasil dari pembentukan tutupan lahan DAS Way Kuala Garuntang dapat dilihat pada Gambar 5.18



Gambar 5.17 DAS Way Kuala Garuntang



Gambar 5.18 Kondisi Eksisting Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang

B. Analisa Hidrologi

1. Penyiapan Data Curah Hujan

Penentuan stasiun curah hujan yang datanya akan dipakai untuk menentukan curah hujan rata-rata DAS dengan terlebih dahulu mensurvey titik stasiun curah hujan menggunakan GPS (*global positioning system*) untuk diplotkan pada koordinat peta. Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat pada tabel berikut. Dari data diatas setelah diplot kedalam peta dasar, daerah penelitian tepat berada di antara stasiun curah hujan dan sepenuhnya dipengaruhi oleh stasiun tersebut, sehingga dengan ini maka data curah hujan dari 4 stasiun tersebut yang akan dipakai dalam penelitian ini.

Tabel 5.5. Koordinat Stasiun Curah Hujan DAS Way Kuala Garuntang

No	Nama Stasiun	Koordinat
1	PH-001	X = 529317 Y = 9399387
2	PH-003	X = 532121 Y = 9403604
3	PH-004	X = 537328 Y = 9398872
4	PH-005	X = 523794 Y = 9402646

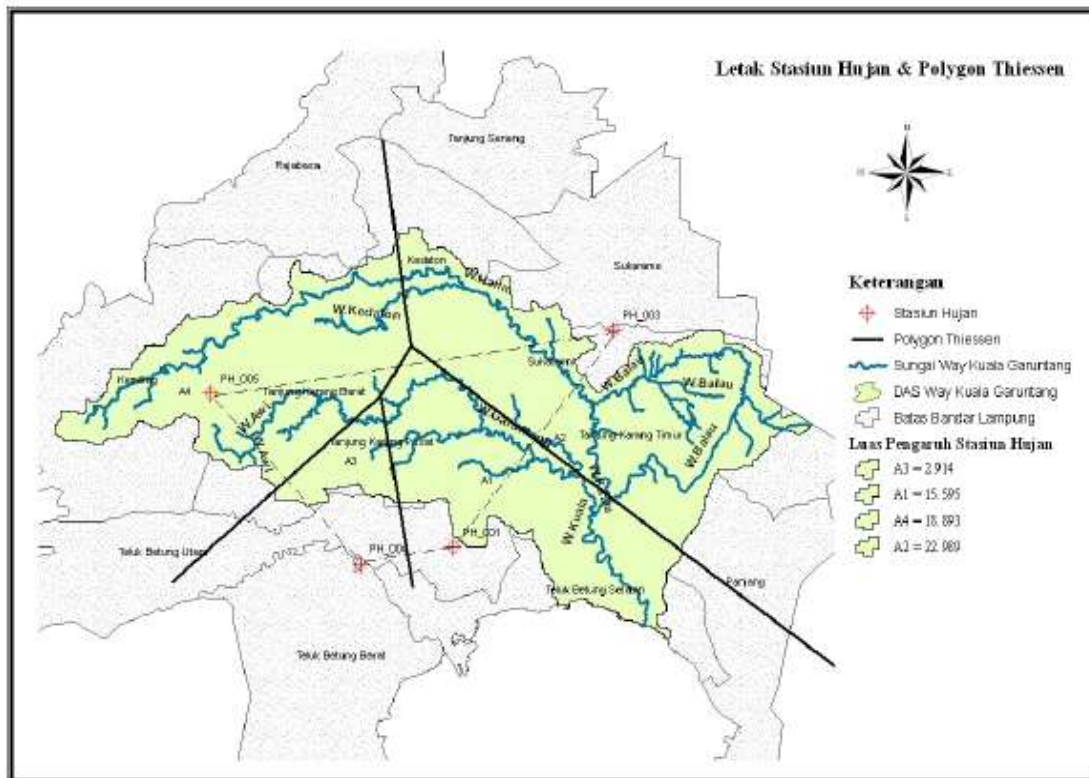
Keempat stasiun hujan yang telah diplotting ke dalam arcGIS bisa dilihat pada Gambar 5.19.

2. Penentuan Luas Pengaruh Stasiun Hujan

Penentuan Luas Pengaruh Stasiun Hujan dalam penelitian ini dihitung menggunakan metode Poygon Thiessen. Peta Poligon Thiessen dibuat dengan menggunakan create polygon thiessen, yaitu dengan melakukan tumpang susun antara Peta Wilayah DAS dengan letak stasiun pengamatan hujan . Dengan demikian, akan diketahui persentase pengaruh luasan wilayah curah hujan tertentu terhadap luasan wilayah masing-masing DAS. Dari gambar 5.19 terlihat bahwa DAS Kuala Garuntang dipengaruhi curah hujan pada stasiun pengamatan PH001, PH003, PH004 dan PH005.

Tabel 5.6 Luas Pengaruh Stasiun Hujan Terhadap DAS Stasiun

No	Nama Stasiun	Koordinat
1	PH-001	X = 529317 Y = 9399387
2	PH-003	X = 532121 Y = 9403604
3	PH-004	X = 537328 Y = 9398872
4	PH-005	X = 523794 Y = 9402646



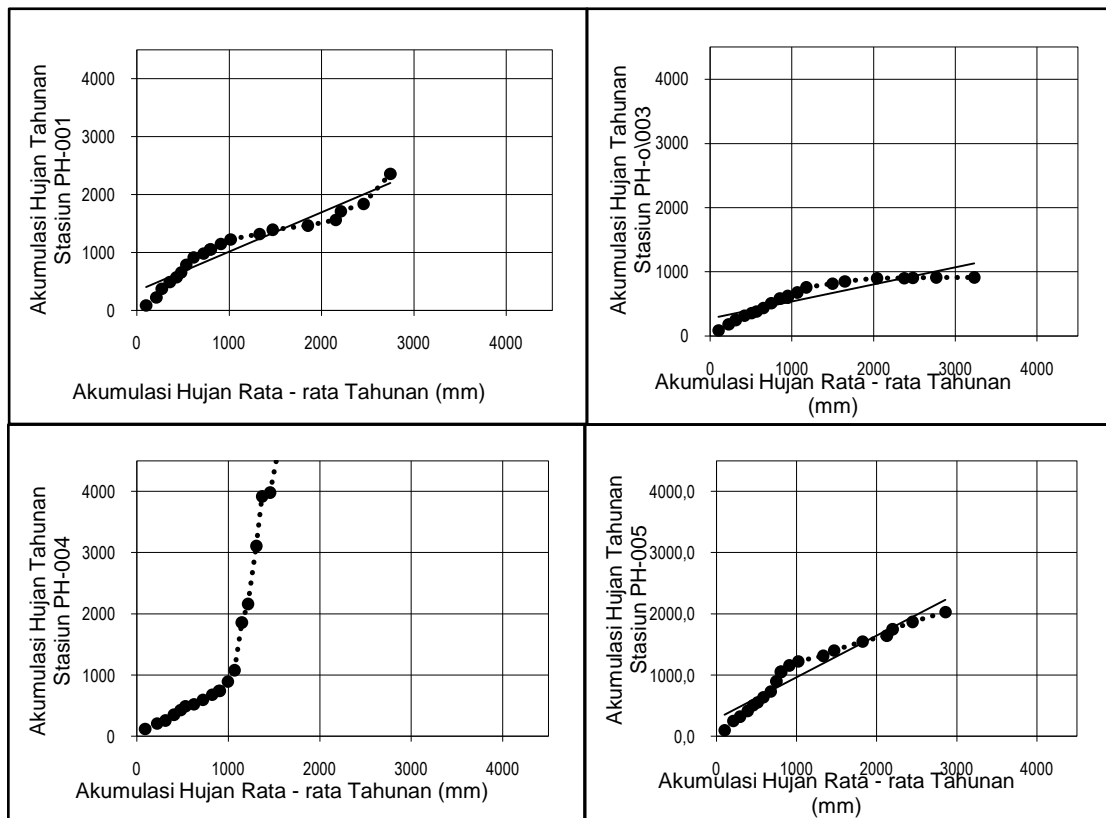
Gambar 5.19. Letak Stasiun Hujan dan Polygon Thiessen

3. Melengkapi Data Curah Hujan dan Uji Konsistensi

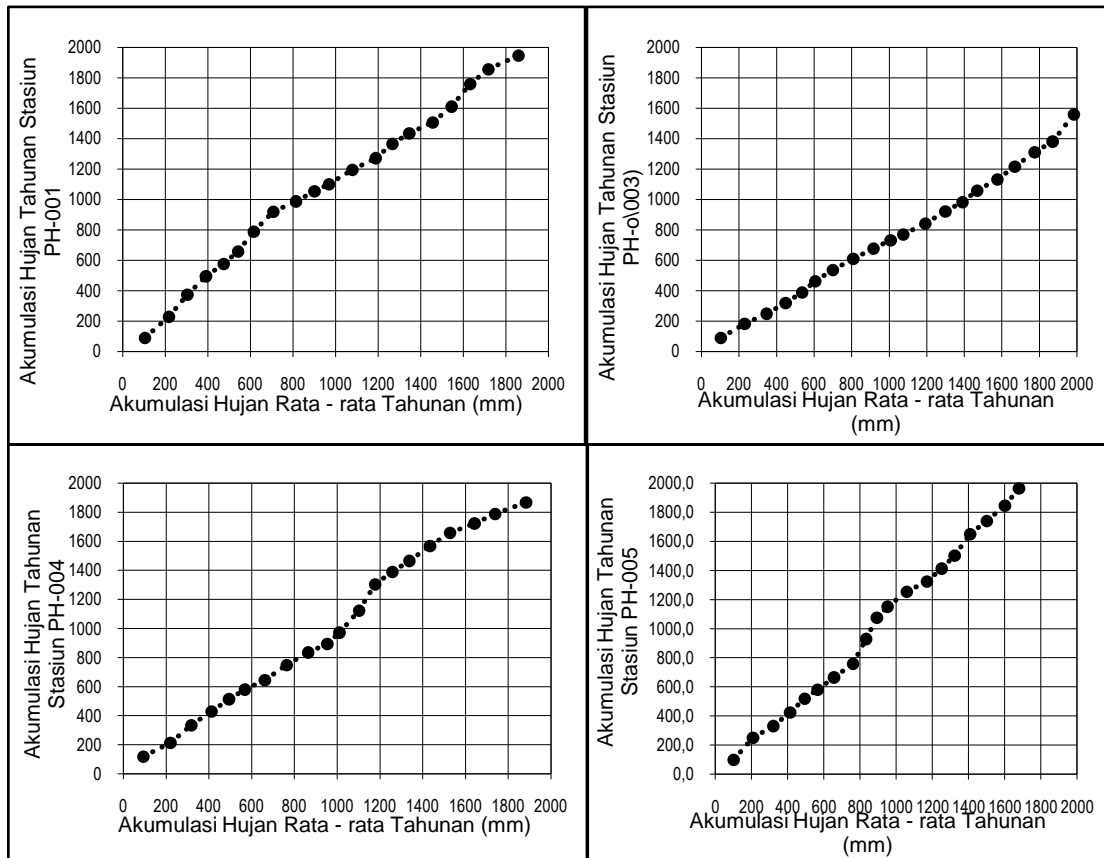
Dari data curah hujan yang ada perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode *reciprocal method*. Cara ini dilakukan dengan memperhitungkan jarak antar stasiun. Persamaan yang digunakan adalah :

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{p_i}{L_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i^2}}$$

Data curah hujan yang sudah dilengkapi selanjutnya akan dilakukan uji konsistensi untuk mendapatkan factor koreksi. Gambar 5.20 memperlihatkan bentuk kurva massa ganda dari data hujan yang belum dilengkapi dan dikoreksi. Sedangkan pada Gambar 5.21 memperlihatkan bentuk kurva massa ganda dari data hujan yang telah dilengkapi.



Gambar 5.20 Kurva Massa Ganda Data Curah Hujan Awal



Gambar 5.21 Kurva Massa Ganda Data Curah Hujan (Data Terkoreksi)

4. Analisis Curah Hujan Area

Analisis ini dimaksudkan untuk mengetahui curah hujan rata-rata yang terjadi pada daerah tangkapan (*catchment area*) tersebut, yaitu dengan menganalisis data curah hujan maksimum yang didapat dari empat stasiun hujan. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah Metode Poligon Thiessen seperti Persamaan berikut ini (Triatmodjo, 2008) :

$$P_{rerata} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Dengan:

- P_{rerata} = hujan rerata kawasan
- P_1, P_2, P_n = hujan pada stasiun kawasan 1.2.n
- A_1, A_2, A_n = luas daerah yang mewakili stasiun 1,2,3 n

Tabel 5.7 Curah Hujan Rerata Harian Maksimum Tahunan DAS Way Kuala Garuntang

Tahun	Curah Hujan (mm)
2010	77,22
2009	72,83
2008	94,42
2007	43,68
2006	81,91
2005	71,61
2004	74,66
2003	70,76
2002	68,31
2001	63,59
2000	30,95
1999	69,60
1998	40,26
1997	58,04
1996	71,30
1995	96,70
1994	72,02
1993	95,08
1992	65,61
1991	78,85

5. Pengukuran Dispersi

Besarnya dispersi dapat dilakukan pengukuran dispersi, yakni melalui perhitungan parametrik statistik untuk $(X_i - X_r)$, $(X_i - X_r)^2$, $(X_i - X_r)^3$, $(X_i - X_r)^4$ terlebih dahulu. Pada Tabel 5.8, dapat dilihat bahwa nilai koefisien Skewness (C_s) sebesar - 0,60 dan nilai koefisien kurtosis (C_k) sebesar 3,92. Nilai ini digunakan untuk memilih jenis sebaran, yaitu dengan membandingkan nilainya terhadap parameter pemilihan distribusi.

Tabel 5.8 Parameter Statistik Curah Hujan

Tahun	Ri	(Ri -Rt)	(Ri -Rt) ²	(Ri -Rt) ³	(Ri-Rt) ⁴
1991	77,2	7,3	53,97	396,54	2913,25
1992	72,8	3,0	8,78	26,02	77,11
1993	94,4	24,6	602,91	14804,10	363504,20
1994	43,7	-26,2	686,06	-17969,71	470675,30
1995	81,9	12,0	145,01	1746,27	21028,85
1996	71,6	1,7	3,02	5,26	9,15
1997	74,7	4,8	22,97	110,07	527,52
1998	70,8	0,9	0,80	0,71	0,63
1999	68,3	-1,6	2,44	-3,81	5,95
2000	63,6	-6,3	39,43	-247,61	1554,83
2001	31,0	-38,9	1514,62	-58946,28	2294079,68
2002	69,6	-0,3	0,07	-0,02	0,01
2003	40,3	-29,6	876,63	-25955,20	768480,02
2004	58,0	-11,8	139,91	-1654,98	19575,96
2005	71,3	1,4	2,05	2,93	4,19
2006	96,7	26,8	719,81	19311,94	518124,87
2007	72,0	2,1	4,62	9,93	21,35
2008	95,1	25,2	635,35	16014,76	403670,65
2009	65,6	-4,3	18,16	-77,42	329,95
2010	78,8	9,0	80,62	723,84	6499,12
Jumlah	1397,4	0,0	5557,2	-51702,7	4871082,6
Rerata	69,9				
SD (σ)	17,10				
Cv	0,24				
Cs	-0,60				
Ck	3,92				

6. Pemilihan Sebaran

Berdasarkan hitungan parameter ditetapkan bahwa jenis distribusi untuk menghitung curah hujan rancangan dengan berbagai kala ulang, yang cocok dengan sebaran data curah hujan harian maksimum di DAS Way Kuala Garuntang adalah distribusi Log Pearson Type III (Tabel 5.9). Hal ini ditunjukkan oleh nilai parameter statistik yang diperoleh tidak mengikuti distribusi untuk dua metode lainnya.

Tabel 5.9. Analisis Jenis Sebaran

Jenis Distribusi	Syarat	Hasil	Keterangan
Metode Normal	$C_s \approx 0$	-0,60	Tidak Memenuhi
	$C_k \approx 3$	3,92	Tidak Memenuhi
Metode Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$	-0,60	Tidak Memenuhi
	$= 3,011$		
	$C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$	3,92	Tidak Memenuhi
$= 38,05$			
Metode Gumbel	$C_s \leq 1,14$	-0,60	Tidak Memenuhi
	$C_k \leq 5,4$	3,92	Tidak Memenuhi
Metode Log Pearson III	$C_s \neq 0$	-0,60	Memenuhi

7. Pengujian Kecocokan Sebaran

Pengujian kecocokan sebaran menggunakan metode Chi-kuadrat dan smirnov kolmogorov.

a. Uji Chi-Kuadrat

$$\begin{aligned}
 G &= 1 + (3,22 \text{ Log } n) \\
 &= 1 + (3,22 \text{ Log } 20) \\
 &= 5,1919 \approx 6DK = G - (R + 1) \\
 &= 6 - (2 + 1) = 3
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 5.10. Dari perhitungan, diperoleh nilai Chi-kuadrat X^2 hitung = 5,2 untuk kedua DAS. Batas kritis nilai Chikuadrat untuk $dk = 3$, dengan $\alpha = 5\%$ dari tabel Chi-kuadrat : $X^2_{cr} = 12,592$. Terlihat bahwa X^2 hitung < X^2_{cr} . Ini berarti bahwa pemilihan jenis distribusi Log Pearson Type III sudah memenuhi syarat.

Tabel 5.10 Uji Chi Square

Batas Kelas	EF	OF	(EF - OF)	$(EF - OF)^2/EF$
1,459123 - 1,54562	3,333333	3	0,33333333	0,03333333
1,54562 - 1,632117	3,333333	5	-1,66666667	0,83333333
1,632117 - 1,718613	3,333333	6	-2,66666667	2,13333333
1,718613 - 1,80511	3,333333	1	2,33333333	1,63333333
1,80511 - 1,891607	3,333333	3	0,33333333	0,03333333
1,891607 - 1,978104	3,333333	2	1,33333333	0,53333333
		20		5,2

b. Uji Smirnov Kolmogorov

Hasil perhitungan uji kecocokan sebaran dengan metode Smirnov Kolmogorov ditunjukkan dalam Tabel 5.11. Dari perhitungan diatas, diperoleh nilai Δ_{max} hitung = 0,1002. Batas kritis nilai Δ_{cr} untuk $n = 20$, dengan $\alpha = 5\%$ dari tabel Smirnov kolmogorof yaitu, $\Delta_{cr} = 0,290$. Nilai Δ_{max} hitung $< \Delta_{cr}$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa H_0 terima. Hal ini berarti bahwa distribusi observasi (pengamatan) dan distribusi teoritis (yang diharapkan) tidak berbeda secara nyata atau dapat dinyatakan pola distribusi Log Pearson Type III.

Tabel 5.11 Uji Smirnov Kolmogorov

M	Xi	Px	P(X<)	P'X	P'(X<)	Δ
1	77,21734	0,047619	0,952381	0,052632	0,947368	0,005013
2	72,83396	0,095238	0,904762	0,105263	0,894737	0,010025
3	94,42489	0,142857	0,857143	0,157895	0,842105	0,015038
4	43,6779	0,190476	0,809524	0,210526	0,789474	0,02005
5	81,91275	0,238095	0,761905	0,263158	0,736842	0,025063
6	71,60972	0,285714	0,714286	0,315789	0,684211	0,030075
7	74,66307	0,333333	0,666667	0,368421	0,631579	0,035088
8	70,76245	0,380952	0,619048	0,421053	0,578947	0,0401
9	68,30882	0,428571	0,571429	0,473684	0,526316	0,045113
10	63,59117	0,47619	0,52381	0,526316	0,473684	0,050125
11	30,95246	0,52381	0,47619	0,578947	0,421053	0,055138
12	69,59718	0,571429	0,428571	0,631579	0,368421	0,06015
13	40,26267	0,619048	0,380952	0,684211	0,315789	0,065163
14	58,04207	0,666667	0,333333	0,736842	0,263158	0,070175
15	71,30099	0,714286	0,285714	0,789474	0,210526	0,075188
16	96,69986	0,761905	0,238095	0,842105	0,157895	0,080201
17	72,02008	0,809524	0,190476	0,894737	0,105263	0,085213
18	95,07677	0,857143	0,142857	0,947368	0,052632	0,090226
19	65,6086	0,904762	0,095238	1,000000	0,000000	0,095238
20	78,84931	0,952381	0,047619	1,052632	-0,05263	0,100251
				Δ_{maks}		0,100251

8. Curah Hujan Rencana

Berdasarkan analisis frekuensi yang dilakukan pada data curah hujan harian maksimum diperoleh bahwa jenis distribusi yang paling cocok dengan sebaran data curah hujan harian maksimum DAS Way Kuala Garuntang adalah distribusi Log Pearson Type III.

Untuk itu, data curah hujan harian maksimum yang diperoleh diubah dalam bentuk logaritmik sehingga parameter statistik berubah. Tujuan pengukuran curah hujan rencana adalah untuk mendapatkan curah hujan periode ulang tertentu yang akan digunakan untuk mencari debit banjir rencana. Dari perhitungan parameter pemilihan distribusi curah hujan untuk menghitung curah hujan rencana digunakan metode Distribusi Log Pearson Tipe III. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai Cs adalah untuk DAS Way KualaGaruntang adalah -0,601. Oleh karna itu, dihitung nilai k untuk masingmasing periode ulang, menggunakan nilai k pada tabel distribusi log Pearson Tipe III kemencengan positif (Triatmodjo, 2008 sesuai nilai Cs).

Tabel 5.12. Curah Hujan Rencana

Periode Ulang (T)	2	5	10	25	50	100	200
Hujan (mm)	68,521	76,964	81,117	85,297	87,842	90,021	91,915

9. Pola Distribusi Hujan

Untuk dapat mengubah hujan rancangan ke dalam besaran hujan jam-jaman perlu didapatkan terlebih dahulu suatu pola distribusi hujan jam-jaman. Pola distribusi untuk DAS Way Kuala Garuntang didapat dengan melakukan pengamatan dari kejadian-kejadian hujan besar. Dengan mereratakan pola distribusi hujan hasil pengamatan tersebut, kemudian didapatkan pola distribusi rerata yang selanjutnya dianggap mewakili kondisi hujan dan dipakai sebagai pola untuk mendistribusikan hujan rancangan menjadi besaran hujan jam-jaman. Analisa pola distribusi hujan dihitung menggunakan data curah hujan kotabaru dan panjang. Dari hasil perhitungan didapatkan pola distribusi hujan yang 90% hujan di Bandar Lampung terjadi pada 3 jam, 4 jam, 5 jam, 6 jam, 7 jam, 8 jam, 9 jam dan 13 jam. Namun, kejadian terbanyak 90% hujan terjadi pada 3 jam, 4 jam dan 5 jam. Pada Tabel 5.13 sampai dengan Tabel 5.15.

Dari tahap ini diketahui bahwa 90% hujan di Bandar Lampung terjadi dalam waktu 4 jam dengan pola distribusi 40% di jam pertama, 40% di jam kedua, 15% di jam ketiga dan 5% di jam keempat.

10. Intensitas Curah Hujan

Perhitungan intensitas curah hujan ini menggunakan pola distribusi hujan yang telah didapatkan dan hasil perhitungan intensitas curah hujan disajikan pada Tabel 5.16.

Tabel 5.13 Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman Selama 3 Jam

Tanggal	Hujan Jam Ke-1	Hujan Jam Ke-2	Hujan Jam Ke-3	Tinggi Hujan 24 jam	Total hujan jam2an	% dlm 1 hr	% jam ke-1	% jam ke-2	% jam ke-3
26-01-11	44,8	11,0	1,4	58,4	57,2	98	78	19	2
28-01-11	0,4	19	0,6	36,6	20	54,64	2	95	3
27-01-11	20,6	10,6	3,6	34,8	34,8	100	59	30	10
29-01-11	45	25,8	2,2	75	73	97,33	61,64	35,34	3,014
9-06-01	28,7	0,5	0,7	34,4	29,9	86,92	95,99	1,67	2,34
18-07-01	20	2	5	33	27	81,82	60,61	6,06	15,15
16-01-04	20	34,2	3,6	72,0	57,8	80,28	34,60	59,17	6,23
28-02-04	19	10	0,8	29,8	29,8	100	63,76	33,56	2,68
5-03-05	34	3,5	0,3	37,8	37,8	100	89,95	9,26	0,79
24-08-05	34,4	22	11,3	67,7	67,7	100	50,81	32,50	16,69
17-12-06	2	53	4,8	59,8	59,8	100	3,34	88,63	8,03
26-12-03	51,5	4	13,7	69,2	69,2	100	74,42	5,78	19,80
26-12-09	18,97	16,60	49,43	85,0	100,00	0,00	22,32	19,53	58,15
27-06-09	4,04	35,42	1,08	43,5	40,54	93,19	9,97	87,38	2,66
13-02-10	0,54	20,21	2,80	37	23,5	63,51	2,13	85,96	11,91
23-01-07	23,5	6,8	9,8	40,1	40,1	100	58,60	16,96	24,44
6-04-07	40	60,6	3,5	104,1	104,1	100	38,42	58,21	3,36
11-03-07	4	28,7	14,3	47	47	100	8,51	61,06	30,43
1-01-08	2,2	14	19,1	35,4	35,3	99,7	6,23	39,66	54,11
20-01-08	0,6	55,4	2,4	58,4	58,4	100	1,03	94,86	4,11
9-02-08	24	22	0,6	46,6	46,6	100	51,50	47,21	1,29
15-02-10	28,4	42,2	0,2	75,6	70,8	93,65	40,11	59,60	0,28
13-04-10	23,2	30	0,2	53,4	53,4	100	43,45	56,18	0,37
6-06-10	8,4	31,8	0,4	40,8	40,6	99,51	20,69	78,33	0,99
9-06-10	0,8	28,8	3,4	33	33	100	2,42	87,27	10,30
11-06-10	4,4	32	4,8	41,2	41,2	100	10,68	77,67	11,65
18-07-10	13,2	15,6	0,4	35,6	29,2	82,02	45,21	53,42	1,37
04-12-10	15,8	21	0,6	37,8	37,4	98,94	42,25	56,15	1,60

Tabel 5.14 Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman Selama 4 Jam

Tanggal	Hujan Jam Ke-1	Hujan Jam Ke-2	Hujan Jam Ke-3	Hujan Jam Ke-4	Tinggi Hujan 24 jam	total hujan jam2an	% dlm 1 hr	% jam ke-1	% jam ke-2	% jam ke-3	% jam ke-4
17-07-01	10,2	10	0,4	5,4	26	26,0	100,0	39,2	38,5	1,5	20,8
19-02-03	42,8	5,2	0,8	0,2	49	49,0	100,0	87,3	10,6	1,6	0,4
05-10-03	45	49	46,9	4,9	145,8	145,8	100,0	30,9	33,6	32,2	3,4
05-12-03	25	8,5	4	2,5	40	40,0	100,0	62,5	21,3	10,0	6,3
21-02-04	0,2	15,2	16,1	1,2	37,7	32,7	86,7	0,6	46,5	49,2	3,7
13-04-10	5,43	64,28	14,40	0,09	84,2	84,2	100,0	6,4	76,4	17,1	0,1
9-04-11	6	68,3	1,9	0,2	76,4	76,4	100,0	7,9	89,4	2,5	0,3
7-01-10	11,30	9,49	20,52	0,09	41,5	41,4	99,8	27,3	22,9	49,6	0,2
4-01-11	43,9	12,3	9,7	11,9	83	77,8	93,7	56,4	15,8	12,5	15,3
15-03-10	17,88	2,12	8,85	7,17	38,5	36,0	93,6	49,6	5,9	24,6	19,9
27-03-10	12,78	18,37	0,76	0,09	32	32,0	100,0	39,9	57,4	2,4	0,3
18-02-10	17,04	1,90	17,14	5,41	41,8	41,4	99,0	41,1	4,6	41,3	13,0
12-02-07	0,6	8	45,6	5,8	60	60,0	100,0	1,0	13,3	76,0	9,7
10-03-07	37	5,3	13,2	1,7	57,2	57,2	100,0	64,7	9,3	23,1	3,0
15-0507	17	28	6,2	0,1	51,3	51,3	100,0	33,1	54,6	12,1	0,2
10-01-10	12,8	12,4	5,2	1,6	32,4	32,0	98,8	40,0	38,8	16,3	5,0
27-01-10	38,2	7	0,4	1,2	46,8	46,8	100,0	81,6	15,0	0,9	2,6
14-02-10	1,4	16,8	4	0,6	34,6	22,8	65,9	6,1	73,7	17,5	2,6
15-03-10	19	5,8	6,2	23,2	56,6	54,2	95,8	35,1	10,7	11,4	42,8
27-03-10	16,2	19	0,6	0,4	36,4	36,2	99,5	44,8	52,5	1,7	1,1
14-07-10	4,6	8,4	8,6	14,6	36,2	36,2	100,0	12,7	23,2	23,8	40,3
26-08-10	1	0,4	6,8	1,6	44	9,8	22,3	10,2	4,1	69,4	16,3

Tabel 5.15 Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman Selama 5 Jam

Tanggal	Hjn Jam Ke-1	Hjn Jam Ke-2	Hjn Jam Ke-3	Hjn Jam Ke-4	Hjn Jam Ke-5	Tinggi Hjn 24 jam	Total hjn jam2an	% dlm 1 hr	% jam ke-1	% jam ke-2	% jam ke-3	% jam ke-4	% jam ke-5
10-01-11	0,6	18,8	1	0,8	0,4	25,6	21,6	84,38	2,78	87,04	4,63	3,70	1,85
20-02-01	4	9,3	3,7	11	0,1	31,6	28,1	88,92	14,23	33,10	13,17	39,15	0,36
16-07-01	22,9	0,7	4,8	2,5	14,8	49,5	45,7	92,32	50,11	1,53	10,50	5,47	32,39
15-10-03	6	2,2	2,8	39,8	0,1	51,5	50,9	98,83	11,79	4,32	5,50	78,19	0,20
29-10-03	0,1	8	38,6	6,2	0,1	86,3	53	61,41	0,19	15,09	72,83	11,70	0,19
1-02-04	17	12,2	5,1	1,2	0,1	35,6	35,6	100,00	47,75	34,27	14,33	3,37	0,28
3-02-04	20	11,5	3,7	4,4	0,1	39,7	39,7	100,00	50,38	28,97	9,32	11,08	0,25
4-10-09	8,8	9,3	14,9	2,7	0,5	45,8	36,2	79,04	24,31	25,69	41,16	7,46	1,38
3-02-08	30,3	4,3	2,8	1,4	0,4	39,2	39,2	98,25	77,30	10,97	7,14	3,57	1,02
4-02-08	5	9	6,3	0,5	0,4	21,2	21,2	56,99	23,58	42,45	29,72	2,36	1,89
17-03-10	19,2	31,8	3	2,2	1,4	57,6	57,6	100,00	33,33	55,21	5,21	3,82	2,43

Tabel 5.16 Intensitas Hujan Tiap periode Ulang

T	R	90%.R	Intensitas Hujan			
			Jam ke-1	Jam ke-2	jam ke-3	jam ke-4
2	68,52	61,67	24,67	24,67	9,25	3,08
5	76,96	69,27	27,71	27,71	10,39	3,46
10	81,12	73,01	29,20	29,20	10,95	3,65
25	85,30	76,77	30,71	30,71	11,52	3,84
50	87,84	79,06	31,62	31,62	11,86	3,95
100	90,02	81,02	32,41	32,41	12,15	4,05
200	91,91	82,72	33,09	33,09	12,41	4,14

C. Analisis Sensitivitas Simulasi Skenario Tata Guna Lahan

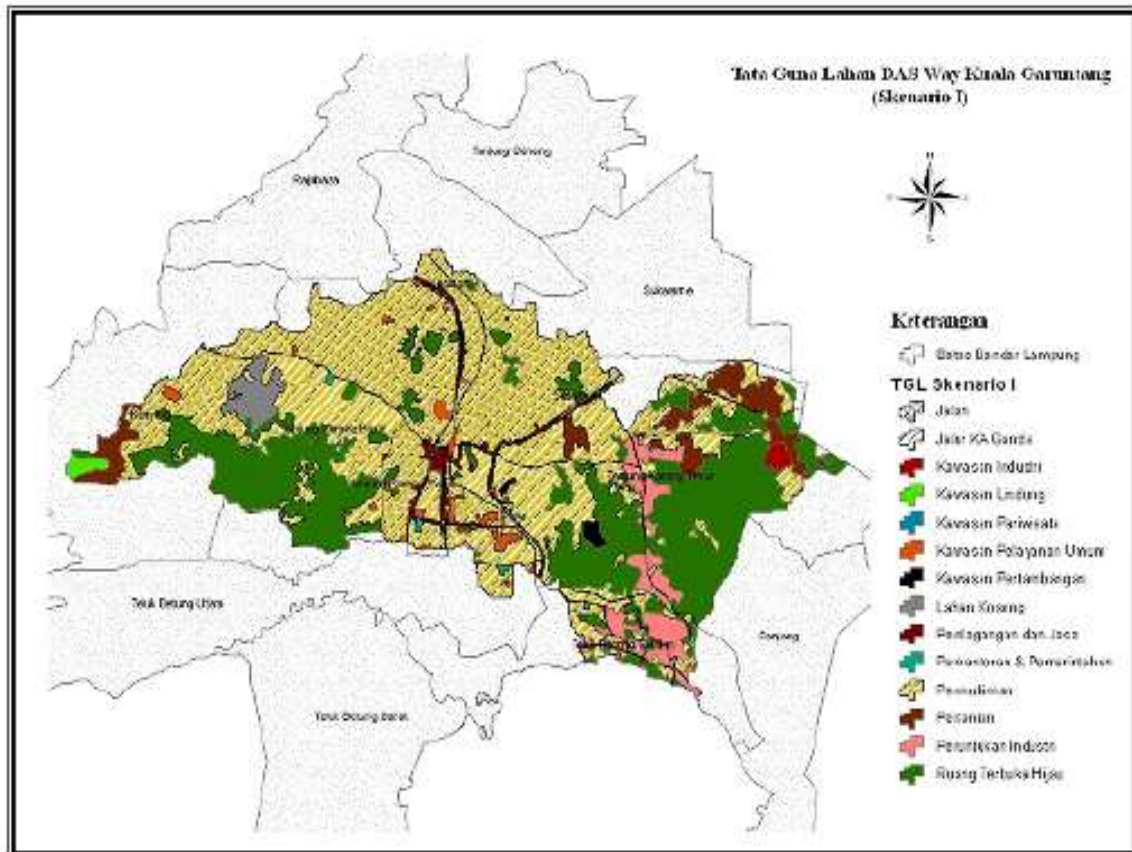
Untuk mengetahui besarnya perubahan nilai debit puncak yang terjadi di DAS Way Kuala Garuntang akibat perubahan tata guna lahan perlu dilakukan simulasi dengan beberapa skenario perubahan tata guna lahan . Simulasi merupakan salah satu kegiatan analisis sistem yang secara garis besar terdiri atas kegiatan utama, yaitu :

1. Merumuskan model yang menggambarkan sistem dan proses di dalamnya
2. Melakukan eksperimentasi
3. Menggunakan model dan data untuk memecahkan atau menyelesaikan persoalan.

Luas DAS adalah 60,39 km², kawasan pertambangan sebesar 0,4% dari luas DAS, pemukiman sebesar 54,14% dari luas DAS, luas peruntukan industry sebesar 4,10% dari luas DAS, luas lahan kosong sebesar 31,22% dari luas DAS, luas perdagangan dan jasa sebesar 1,79% dari luas DAS, luas perkantoran pemerintahan sebesar 0,23% dari luas DAS, luas kawasan pariwisata sebesar 0,04% dari luas DAS, luas kawasan industri sebesar 0,38% dari luas DAS, luas kawasan lindung sebesar 0,46% dari luas DAS, luas pertanian sebesar 4,72% dari luas DAS, luas kawasan pelayanan umum sebesar 1,28%, luas areal jalan sebesar 1,16% dan jalur Kereta Api ganda sebesar 0,07% dari luas DAS.

Pembuatan Skenario I

Pembuatan Skenario I ini dilakukan dengan mengubah 30% penutupan lahan yang lahan kosong menjadi ruang terbuka hijau. Pembuatan skenario ini berdasarkan pada RTRW Kota Bandar Lampung 2010 – 2030 yang menyatakan bahwa Undang Undang penataan ruang yang baru juga memberikan amanah baru bagi Kota Bandar Lampung, diantaranya perubahan jangka waktu berlakunya dokumen rencana menjadi 20 tahun, ketentuan tentang keharusan tersedianya 30% Ruang Terbuka Hijau (RTH) dengan komposisi 20% RTH Publik dan 10% RTH Private (swasta/masyarakat), penyediaan Ruang Terbuka Non Hijau (RTNH), ruang evakuasi bencana, ruang sektor informal, pedestrian, kebijakan penyediaan dan pemanfaatan kawasan strategis kota serta ketentuan pengendalian pemanfaatan ruang melalui peraturan umum zonasi dan pola insentif dan disinsentif maupun sanksi. Proses pembuatan skenario ini dilakukan dengan bantuan Ms. Excel, dan program Quantum GIS 1.7.4. Dilakukan pengurangan dan penambahan luas pada tata guna lahan yang ingin diubah. Setelah didapat luas seperti yang akan dibuat, dilakukan pengisian atribut sesuai dengan skenario yang akan dilakukan dengan menggunakan software Quantum GIS 1.7.4. Dengan perubahan ini maka luas lahan kosong yang tersisa menjadi 1,22% dari luas DAS yaitu seluas 0,73 km² dari luas DAS sebesar 60,39 km². Sedangkan terdapat penambahan deskripsi tata guna lahan yaitu ruang terbuka hijau sebesar 30% dari luas DAS yaitu 18,11 km². Untuk luas tata guna lahan lainnya belum berubah pada skenario pertama ini yaitu kawasan lindung sebesar 4,72% dari luas DAS (4,73 km²), kawasan pertambangan sebesar 0,4% dari luas DAS (0,24 km²), luas kawasan pemukiman sebesar 54,14% dari luas DAS (32,69 km²), luas peruntukan industri 4,10% dari luas DAS (2,48 km²), luas kawasan perdagangan & jasa sebesar 1,79% dari luas DAS (1,08 km²), luas perkantoran pemerintahan sebesar 0,23% dari luas DAS (0,14 km²), luas kawasan pariwisata sebesar, 0,4% dari luas DAS (0,02 km²), luas kawasan industri sebesar 0,38% dari luas DAS (0,23 km²), luas kawasan pelayanan umum sebesar 1,28% dari luas DAS (0,77 km²).

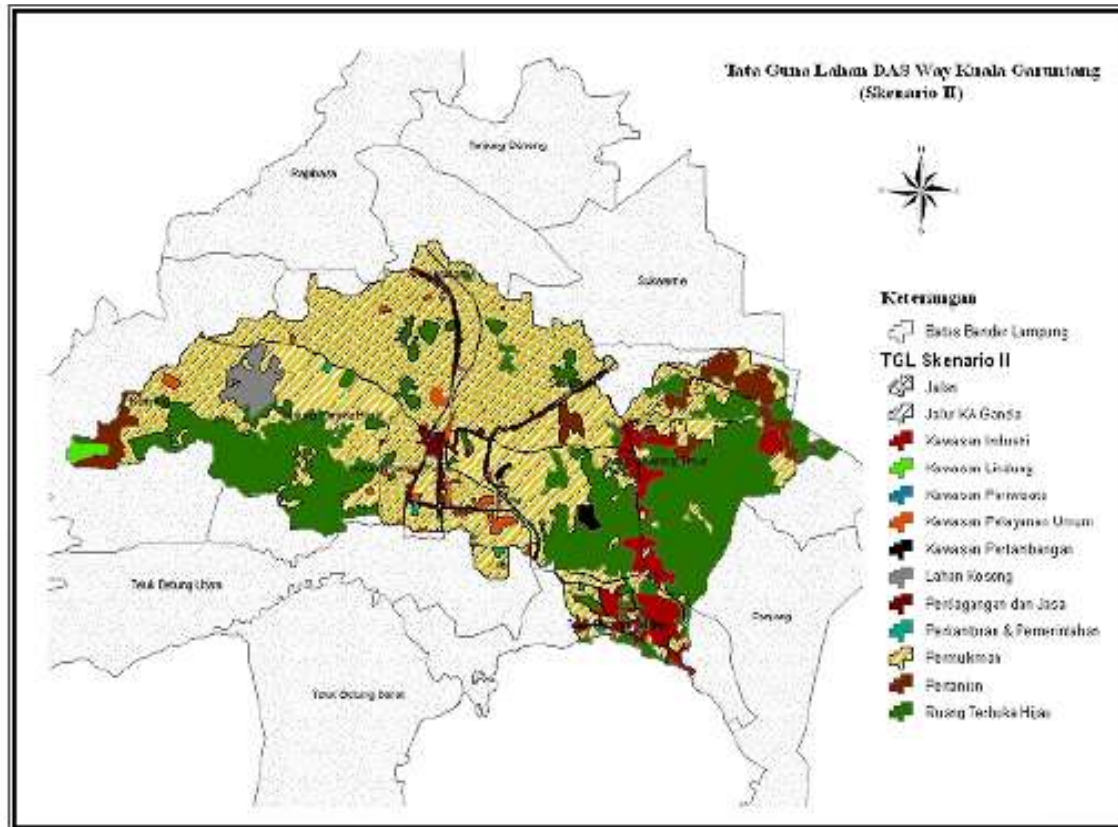


Gambar 5.22 Skenario I Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang

Pembuatan Skenario II

Pembuatan Skenario II ini dilakukan dengan mengubah 30% luas lahan kosong pada kondisi eksisting menjadi ruang terbuka hijau dan mengubah 50% luas lahan pertanian yang ada pada skenario eksisting menjadi daerah pemukiman. Berdasarkan RTRW Kota Bandar Lampung 2010 - 2030, hasil analisis proyeksi terhadap tingkat kepadatan penduduk menunjukkan bahwa secara umum kepadatan penduduk di Kota Bandar Lampung masih dalam kategori sedang sampai akhir tahun perencanaan 2030. Berdasarkan hasil proyeksi kepadatan penduduk sampai akhir tahun rencana 2030 Kota Bandar Lampung yang berkategori tinggi berada di Kecamatan Tanjung Karang Pusat sebesar 123 jiwa/ha, Kemiling sebesar 110 jiwa/ha, Rajabasa 139 jiwa/ha, Tanjung Seneng 175 jiwa/ha, Sukarame 128 jiwa/ha, Sukabumi 138 jiwa/ha. Oleh karena itu, pada skenario ini dilakukan perubahan 50% lahan pertanian yang terletak di kecamatan Sukabumi menjadi kawasan pemukiman. Dari hasil simulasi skenario II ini didapat ruang terbuka hijau sebesar 30% dari luas DAS yaitu 18,11 km², luas lahan kosong yang tersisa menjadi 1,22% dari luas DAS yaitu seluas 0,73 km², luas daerah

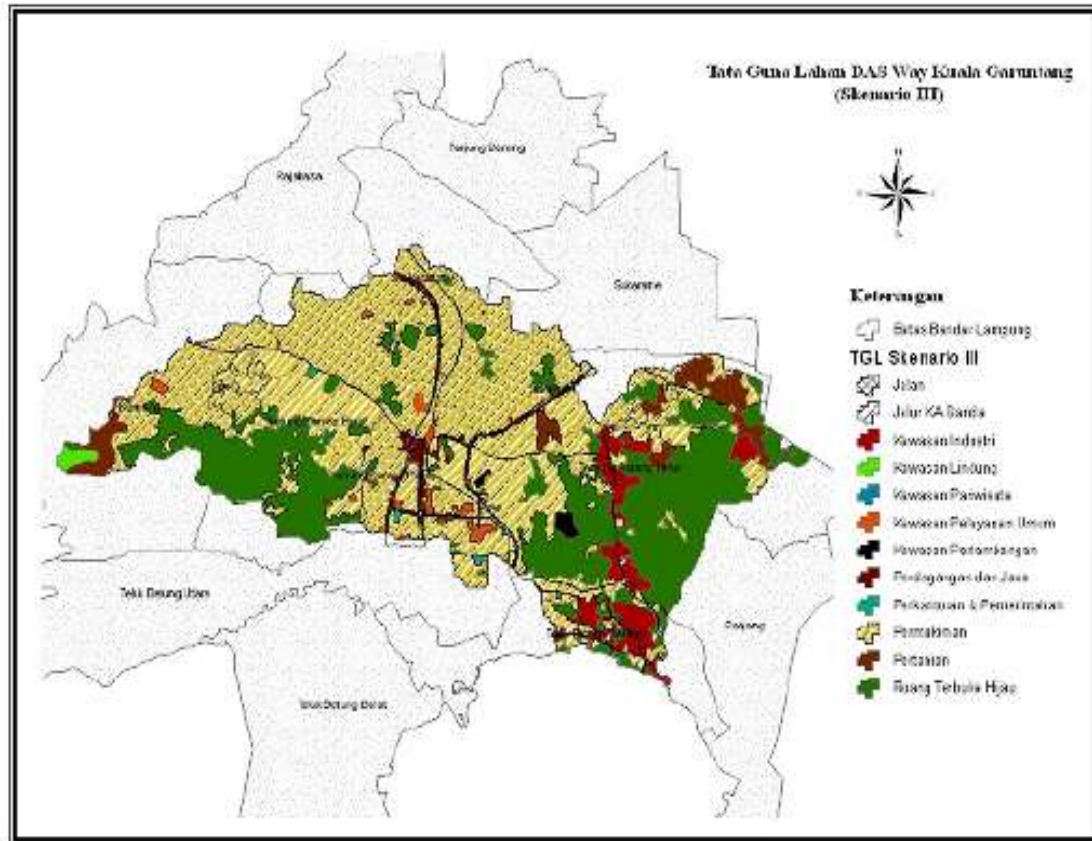
pemukiman bertambah menjadi 56,50% dari luas DAS yaitu sebesar 34,12 km², sedangkan luas lahan pertanian berkurang menjadi 2,36% dari luas DAS yaitu sebesar 1,42 km². Mengubah seluruh lahan peruntukan industri menjadi kawasan industry sehingga kawasan industri bertambah menjadi 4,49% dari luas DAS yaitu sebesar 2,71 km². Untuk luas tata guna lahan lainnya masih tetap sama dengan skenario eksisting.



Gambar 5.23 Skenario II Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang

Pembuatan Skenario III

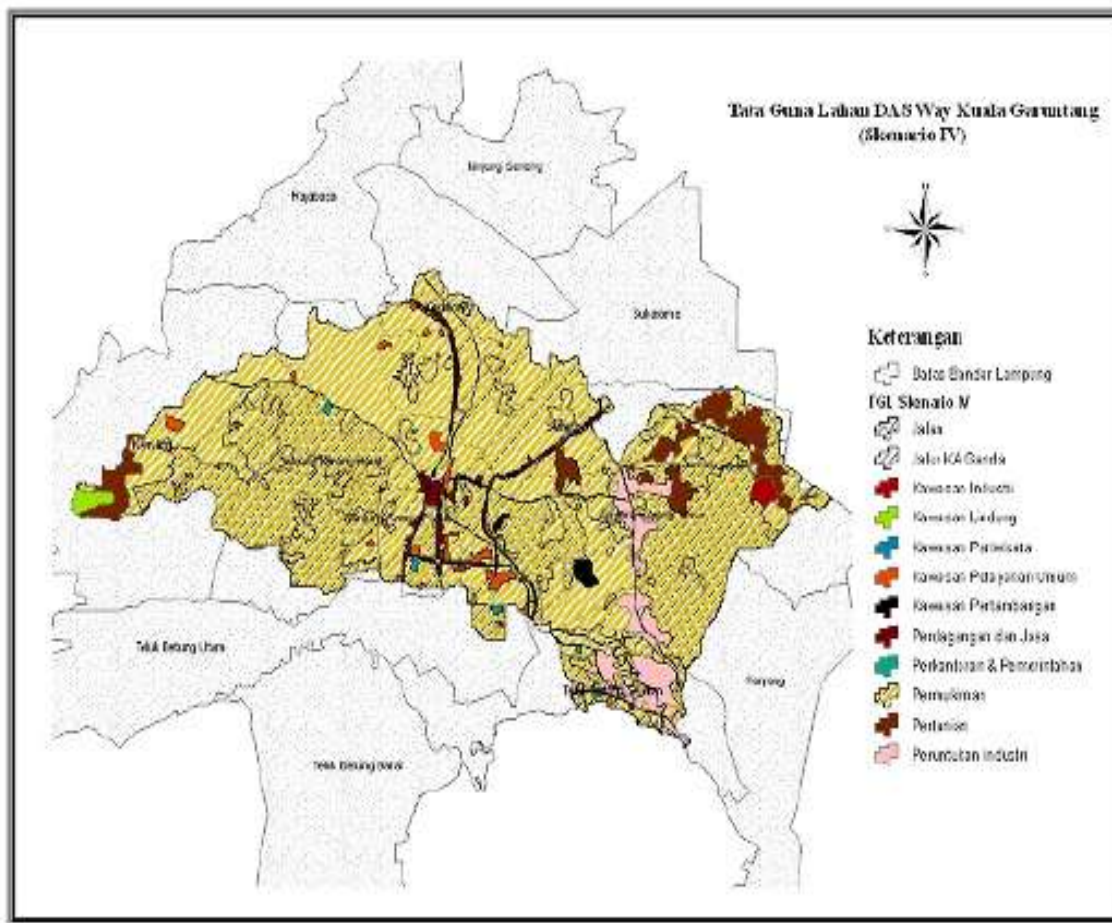
Pembuatan skenario III ini dilakukan dengan 30 % lahan kosong menjadi ruang terbuka hijau, 50% lahan pertanian menjadi kawasan pemukiman dan lahan kosong yang tersisa menjadi kawasan pemukiman. Perubahan sisa lahan kosong menjadi kawasan pemukiman berdasarkan pada RTRW Kota Bandar Lampung 2010 - 2030 yang menyatakan bahwa menurut proyeksi kepadatan penduduk sampai akhir tahun 2030 pada daerah yang dibuat skenario yaitu kecamatan kemiling termasuk dalam kategori tinggi. Sehingga luas kawasan pemukiman bertambah menjadi 57,72% dari luas DAS yaitu sebesar 34,86 km². Untuk luas tata guna lahan lainnya masih tetap sama seperti dengan skenario eksisting.



Gambar 5.24 Skenario III Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang

Pembuatan Skenario IV

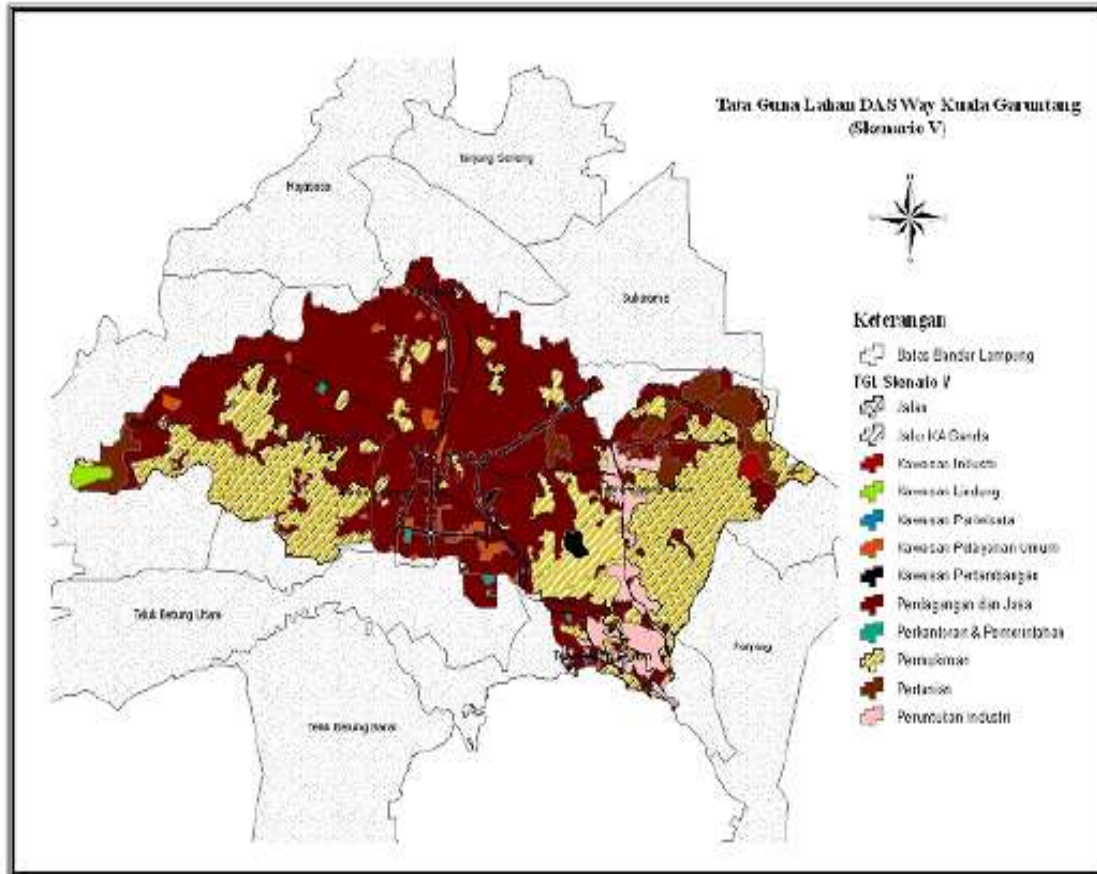
Pembuatan skenario IV ini dilakukan dengan mengubah deskripsi lahan pada atribut tata guna lahan pada peta tata guna lahan DAS Way Kuala Garuntang. Pada skenario ini tidak dilakukan perubahan 30% lahan kosong menjadi ruang terbuka hijau, tetapi Skenario yang dilakukan adalah dengan mengubah semua lahan kosong pada kondisi eksisting menjadi daerah pemukiman. Skenario ini dilakukan karena sebagian besar lahan kosong terletak pada kawasan yang berdasarkan proyeksi kepadatan penduduk pada RTRW Kota Bandar Lampung 2010 – 2030 memiliki kategori tinggi dan tidak dipertahankan 30% Ruang Terbuka Hijau dari luas DAS karena diperkirakan arahan pembangunan yang terkadang tidak sesuai dengan kondisi dan fungsi yang ditetapkan. Dengan dilakukannya perubahan ini, luas kawasan pemukiman bertambah menjadi 85,36% dari luas DAS yaitu sebesar 51,55 km².



Gambar 5.25 Skenario IV Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang

Pembuatan Skenario V

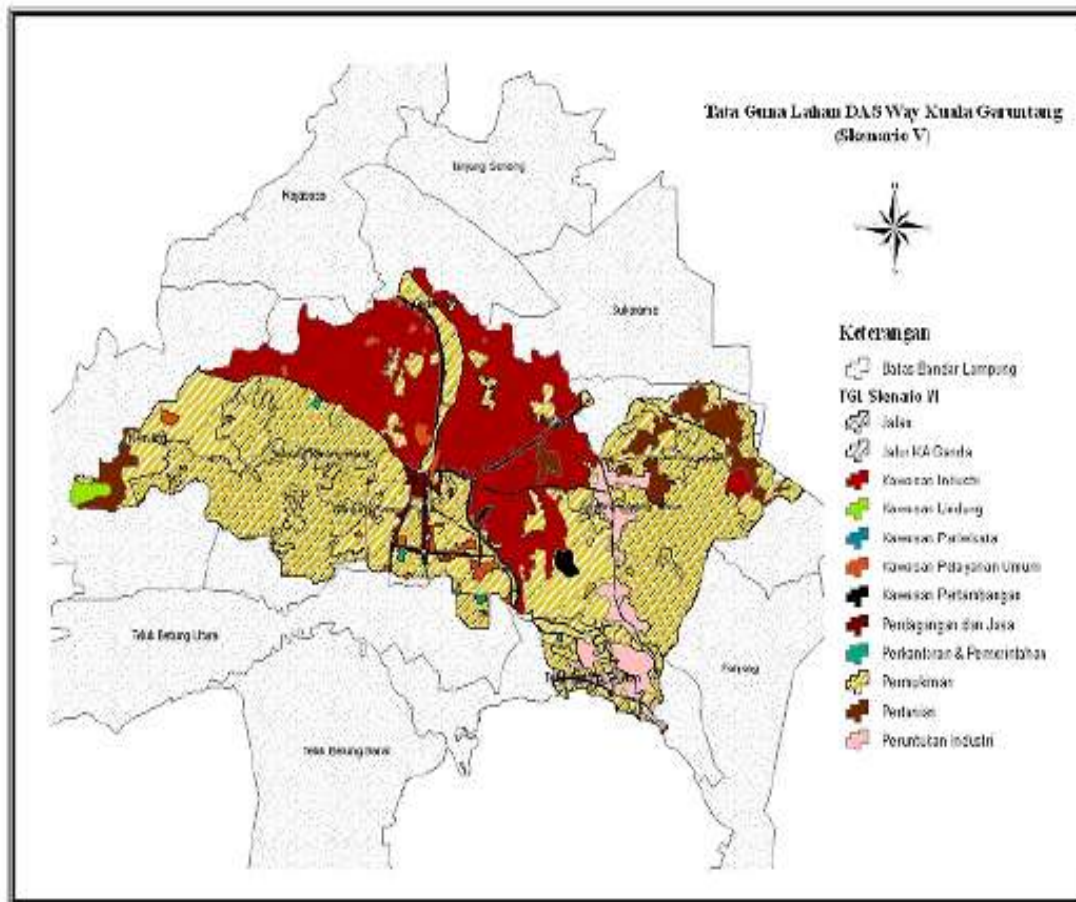
Pembuatan skenario V ini dilakukan dengan mengubah semua lahan kosong pada kondisi eksisting menjadi kawasan pemukiman dan mengubah semua kawasan pemukiman pada kondisi eksisting menjadi daerah perdagangan dan jasa. Pada skenario ini juga tidak dilakukan perubahan 30% lahan kosong menjadi ruang terbuka hijau. Dengan dilakukannya perubahan ini, didapat luas kawasan pemukiman yang sudah berubah menjadi 31,22% dari luas DAS yaitu sebesar 18,85 km², daerah perdagangan dan jasa sebesar 55,94% dari luas DAS yaitu sebesar 33,78 km².



Gambar 5.26 Skenario V Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang

Pembuatan Skenario VI

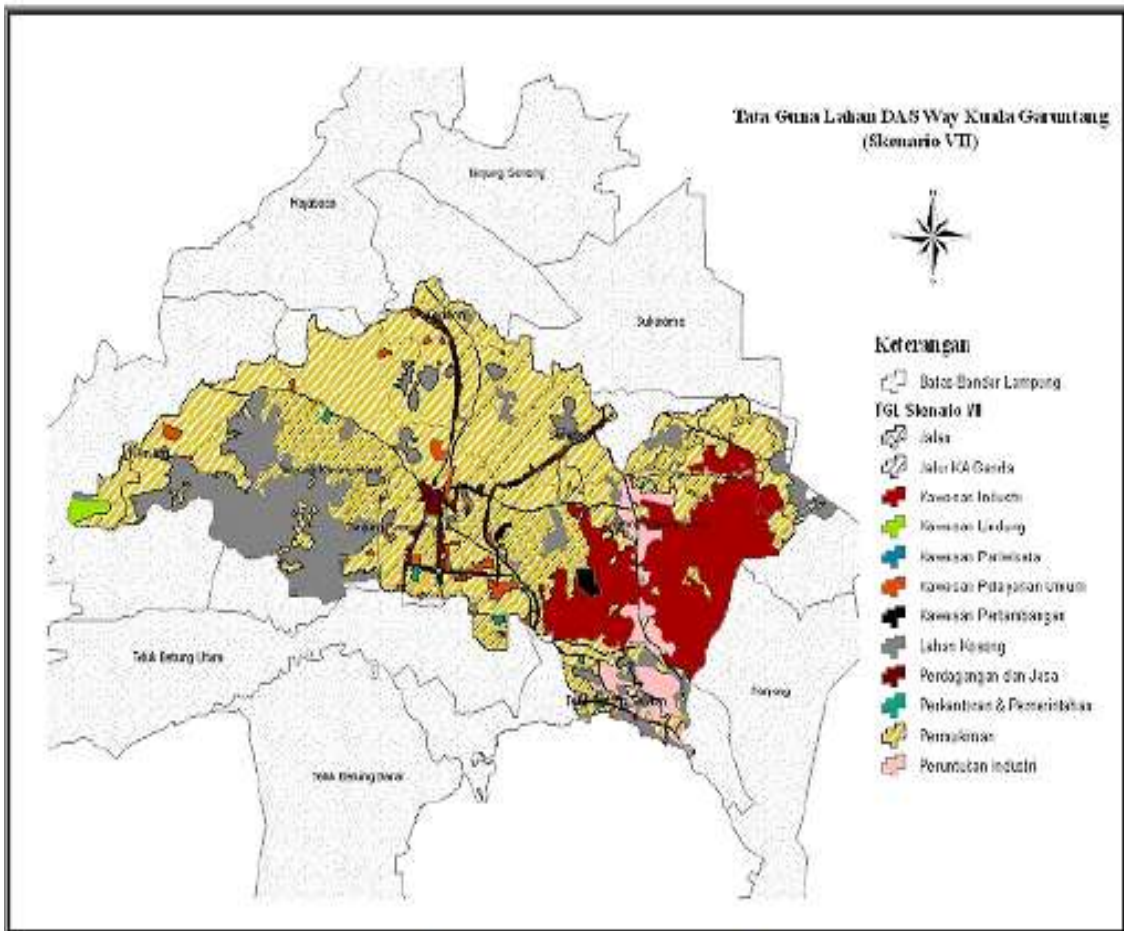
Pembuatan skenario VI ini dilakukan dengan tetap tidak menambah adanya ruang terbuka hijau pada DAS Way Kuala Garuntang melainkan mengubah semua lahan kosong pada kondisi eksisting menjadi kawasan pemukiman dan mengubah 50% kawasan pemukiman pada kondisi eksisting menjadi kawasan industri. Dengan demikian, pada skenario VI ini tidak ada lahan kosong yang tersisa dan luas kawasan pemukiman bertambah menjadi 59,08% dari luas DAS yaitu sebesar 35,68 km² dan luas kawasan industri bertambah menjadi 26,66% dari luas DAS yaitu sebesar 16,10 km².



Gambar 5.27 Skenario VI Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang

Pembuatan Skenario VII

Perubahan yang dilakukan pada skenario VII ini adalah mengubah semua lahan pertanian pada kondisi eksisting menjadi kawasan pemukiman dan mengubah sebagian lahan kosong menjadi kawasan industri. Luas lahan kosong yang tersisa adalah 16,76% dari luas DAS yaitu sebesar 10,12 km², luas kawasan pemukiman menjadi 58,86% dari luas DAS yaitu sebesar 35,54 km² dan luas kawasan industri 14,85% dari luas DAS.



Gambar 5.28 Skenario VII Tata Guna Lahan DAS Way Kuala Garuntang

Tabel 5.17 Luasan Masing-Masing Penggunaan Lahan DAS Way Kuala Garuntang

TGL	Kondisi Eksisting		Skenario I		Skenario II		Skenario III		Skenario IV		Skenario V		Skenario VI		Skenario VII	
	A (km ²)	%	A (km ²)	%	A (km ²)	%	A (km ²)	%	A (km ²)	%	A (km ²)	%	A (km ²)	%	A (km ²)	%
Kawasan Pertambangan	0,24	0,40	0,24	0,40	0,24	0,40	0,24	0,40	0,24	0,40	0,24	0,40	0,24	0,40	0,24	0,40
pemukiman	32,70	54,14	32,70	54,14	34,12	56,50	34,86	57,72	51,55	85,36	18,86	31,22	35,68	59,08	35,55	58,86
peruntukan industri	2,48	4,10	2,48	4,10	-	-	-	-	2,48	4,10	2,48	4,10	2,48	4,10	2,48	4,10
lahan kosong	18,86	31,22	0,74	1,22	0,74	1,22	-	-	-	-	-	-	-	-	10,12	16,76
perdagangan&jasa	1,08	1,79	1,08	1,79	1,08	1,79	1,08	1,79	1,08	1,79	33,78	55,94	1,08	1,79	1,08	1,79
perkantoran pemerintahan	0,14	0,23	0,14	0,23	0,14	0,23	0,14	0,23	0,14	0,23	0,14	0,23	0,14	0,23	0,14	0,23
kawasan pariwisata	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04
kawasan industri	0,23	0,38	0,23	0,38	2,71	4,49	2,71	4,49	0,23	0,38	0,23	0,38	16,10	26,66	8,97	14,85
kawasan lindung	0,28	0,46	0,28	0,46	0,28	0,46	0,28	0,46	0,28	0,46	0,28	0,46	0,28	0,46	0,28	0,46
pertanian	2,85	4,72	2,85	4,72	1,42	2,36	1,42	2,36	2,85	4,72	2,85	4,72	2,85	4,72	-	-
Kawasan pelayanan umum	0,77	1,28	0,77	1,28	0,77	1,28	0,77	1,28	0,77	1,28	0,77	1,28	0,77	1,28	0,77	1,28
Jalan	0,70	1,16	0,70	1,16	0,70	1,16	0,70	1,16	0,70	1,16	0,70	1,16	0,70	1,16	0,70	1,16
Jalur KA Ganda	0,04	0,07	0,04	0,07	0,04	0,07	0,04	0,07	0,04	0,07	0,04	0,07	0,04	0,07	0,04	0,07
Ruang Terbuka Hijau		-	18,12	30,00	18,12	30,00	18,12	30,00		-		-		-		-

D. Koefisien Aliran (C)

Koefisien aliran mempunyai peranan yang sangat penting yaitu sebagai indikator aliran permukaan dalam DAS dan dapat dipakai sebagai tolok ukur untuk mengevaluasi aliran dalam kaitannya dengan pengelolaan DAS. Sebagai indikator aliran permukaan biasanya dipakai dalam menentukan debit puncak suatu banjir, sedangkan sebagai tolok ukur dalam mengevaluasi pengelolaan DAS, koefisien aliran dipakai sebagai salah satu indikator pengaruh Pengelolaan DAS terhadap penurunan besarnya aliran permukaan. Untuk mendapatkan koefisien aliran untuk DAS Way Kuala Garuntang, perlu diketahui jenis koefisien aliran untuk masing-masing jenis tata guna lahan di DAS Way Kuala Garuntang.

Tabel 5. 18. Koefisien Aliran Untuk Masing-Masing Jenis Tata Guna Lahan

Tata Guna Lahan	C
Kawasan Pertambangan	0,95
Pemukiman	0,65
Peruntukan industri	0,55
Lahan kosong	0,4
Perdagangan&jasa	0,8
Perkantoran pemerintahan	0,75
Kawasan pariwisata	0,7
Kawasan industri	0,85
Kawasan lindung	0,3
Pertanian	0,35
Kawasan pelayanan umum	0,75
Jalan	0,9
Jalur KA Ganda	0,35

Untuk DAS yang terdiri dari beberapa jenis tata guna lahan, maka nilai C pada DAS dihitung menggunakan rumus :

$$C_{DAS} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i * C_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Dengan :

A_i = luas lahan dengan jenis penutup tanah i

C_i = koefisien aliran permukaan jenis penutup tanah i

n = jumlah jenis penutup lahan.

Tabel 5. 19. Nilai Koefisien Aliran DAS Way Kuala Garuntang Kondisi Eksisting

TGL	C	A	C x A
Kawasan Pertambangan	0,95	238630,13	226698,6
pemukiman	0,65	32696595,47	21252787
peruntukan industri	0,55	2479064,49	1363485
lahan kosong	0,4	18856469,02	7542588
perdagangan&jasa	0,8	1083636,49	866909,2
perkantoran pemerintahan	0,75	137310,74	102983,1
kawasan pariwisata	0,7	25005,39	17503,77
kawasan industri	0,85	231886,70	197103,7
kawasan lindung	0,3	277339,95	83201,98
pertanian	0,35	2849774,52	997421,1
kawasan pelayanan umum	0,75	773459,17	580094,4
Jalan	0,9	699392,37	629453,1
Jalur KA Ganda	0,35	43043,08	15065,08
		60391607,51	33875294
			0,561

Nilai koefisien aliran dapat juga digunakan untuk menentukan kondisi fisik dari suatu DAS. Dari nilai koefisien aliran sebesar 0.561, maka dapat dinyatakan bahwa DAS Way Kuala Garuntang memiliki kondisi yang kurang baik. Hal ini sesuai dengan pernyataan yang menyatakan bahwa koefisien aliran permukaan itu merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS. Nilai C berkisar antara 0 -1 . Nilai C = 0 menunjukkan bahwa semua air hujan terinfiltrasi dan terintersepsi ke dalam tanah, sebaliknya untuk nilai C = 1 menunjukkan bahwa air hujan mengalir sebagai aliran permukaan. Pada DAS yang baik harga C mendekati 0 dan semakin rusak suatu DAS maka harga C semakin mendekati 1.

Tabel 5. 20. Nilai Koefisien Aliran DAS Way Kuala Garuntang Kondisi Eksisting

Kondisi	C
Kondisi Eksisting	0,56
Skenario I	0,50
Skenario II	0,52
Skenario III	0,52
Skenario IV	0,64
Skenario V	0,72
Skenario VI	0,69
Skenario VII	0,64

E. Debit Puncak

Seperti diuraikan apada metode, estimasi debit puncak dilakukan dengan menggunakan rumus rasional, yang menggunakan masukan variabel berupa koefisien aliran permukaan, intensitas hujan dan luas DAS. Dari hasil simulasi 7 skenario tata guna lahan serta dan kondisi eksisting, diperoleh hasil perhitungan debit untuk masig-masing kondisi.

Tabel 5.21. Rekapitulasi Pengaruh Tata Guna Lahan Terhadap Nilai Debit

Kala Ulang	Debit (m3/det)							
	Kondisi Eksisting	Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV	Skenario V	Skenario VI	Skenario VII
2	232,30	207,45	215,48	216,12	264,63	298,26	286,40	265,12
5	260,93	233,02	242,04	242,75	297,24	335,01	321,69	297,79
10	275,01	245,59	255,10	255,85	313,28	353,09	339,05	313,86
25	289,18	258,25	268,24	269,03	329,42	371,29	356,52	330,03
50	297,81	265,95	276,25	277,06	339,25	382,37	367,16	339,88
100	305,19	272,55	283,10	283,93	347,66	391,85	376,26	348,31
200	311,61	278,28	289,05	289,90	354,98	400,09	384,18	355,64

Tabel 5.22. Rekapitulasi Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Persentase Perubahan Nilai Debit

Kala Ulang	Kondisi Eksisting	Perubahan Nilai Debit (%)						
	Q	Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV	Skenario V	Skenario VI	Skenario VII
2	232,42	-10,697	-7,239	-6,967	13,916	28,394	23,287	14,128
5	260,86							
10	274,82							
25	288,85							
50	297,39							
100	304,68							
200	311,02							

Dari hasil simulasi tersebut dapat dilihat bahwa rasio debit terkecil terjadi pada skenario I yaitu kondisi dimana dilakukan perubahan lahan kosong menjadi runag terbuka hijau. Dengan dilakukannya simulasi menggunakan skenario I ini dapat dilihat bahwa fluktuasi debit menjadi lebih kecil karena menurunnya nilai koefisien aliran (C) sehingga makin banyak air yang dapat terfiltrasi oleh tanah.

Simulasi lain yang dilakukan dengan mempertahankan ruang terbuka hijau adalah skenario II dan III. Namun, dengan dilakukannya skenario ini tidak menunjukkan pengaruh yang besar. Rasio debit yang dihasilkan tidak jauh berbeda dengan kondisi I, dimana rasio debitnya berturut-turut adalah -10,69%, -7,23% dan 6,96%. Hal ini dikarenakan luas ruang terbuka hijau yang masih tetap 30% besarnya dari luas DAS. Selain itu, pola tata guna lahan pada skenario II dan III tidak jauh berbeda dengan kondisi I. Ruang terbuka hijau merupakan areal lahan di sekitar kota yang keberadaannya harus ditetapkan secara permanen dan didukung peraturan yang kuat sebagai kawasan hijau dan bebas dari bentuk struktur bangunan. Dari hasil simulasi skenario tersebut dapat disimpulkan bahwa tindakan yang mempertahankan adanya ruang terbuka hijau untuk DAS Way Kuala Garuntang sangat diperlukan. Tindakan ini perlu dilakukan dengan tujuan untuk memberikan ruang yang cukup bagi peresapan air hujan pada suatu daerah tertentu guna keperluan penyediaan kebutuhan air tanah serta penanggulangan banjir, baik kawasan bawahnya maupun kawasan yang bersangkutan.

Pada kondisi skenario IV, rasio debit mencapai nilai 13,91%. Hal ini dapat diartikan bahwa pada kondisi ini debit mencapai fluktuasi yang tidak merata. Pada kondisi ini keberadaan 30% ruang terbuka hijau tidak dipertahankan karena pada kondisi ini terjadi

konversi semua lahan kosong menjadi kawasan pemukiman.

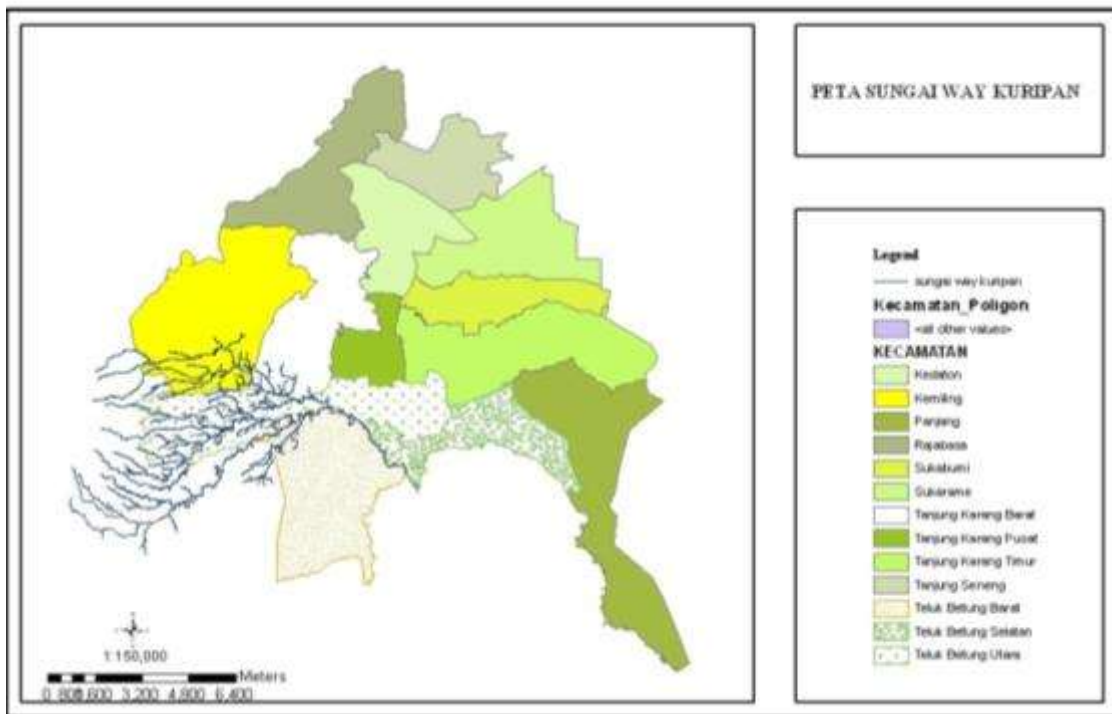
Alternatif skenario tata guna lahan yang menunjukkan rasio debit yang besar terjadi pada skenario V dan VI, dimana rasio yang dihasilkan berturut-turut adalah 28,38% dan 23,287%. Pada kondisi ini tindakan yang dilakukan adalah sama-sama merubah sebagian kawasan pemukiman menjadi daerah perdagangan dan jasa serta kawasan industri, di samping merubah sebagian lahan kosong menjadi pemukiman. Selain itu, tidak ada ruang terbuka hijau yang dipertahankan pada skenario ini. Tindakan tersebut berakibat pada semakin sedikit air yang dapat diretensi oleh tanah sehingga semakin besar curah hujan yang langsung menjadi debit. Debit akan semakin tinggi di musim hujan dan semakin rendah di musim kemarau karena berkurangnya pengisian air bawah tanah. Hal ini membuktikan bagaimana kontribusi ruang terbuka hijau dalam konservasi air, terutama berkaitan dengan persediaan simpanan air. Skenario VI dan skenario VII yang tidak melakukan perubahan lahan kosong menjadi ruang terbuka hijau ini menunjukkan kondisi yang tidak terlalu berbeda walaupun tetap terjadi peningkatan rasio dibandingkan dengan skenario I, II dan III yang tetap mempertahankan keberadaan ruang terbuka hijau sebanyak 30% dari luas DAS. Hal ini dapat diartikan bahwa perubahan lahan pertanian menjadi kawasan pemukiman ataupun perubahan lahan kosong menjadi pemukiman menunjukkan pengaruh yang tidak jauh berbeda terhadap fluktuasi debit sungai.

5.2.2 Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan di DAS Kuripan

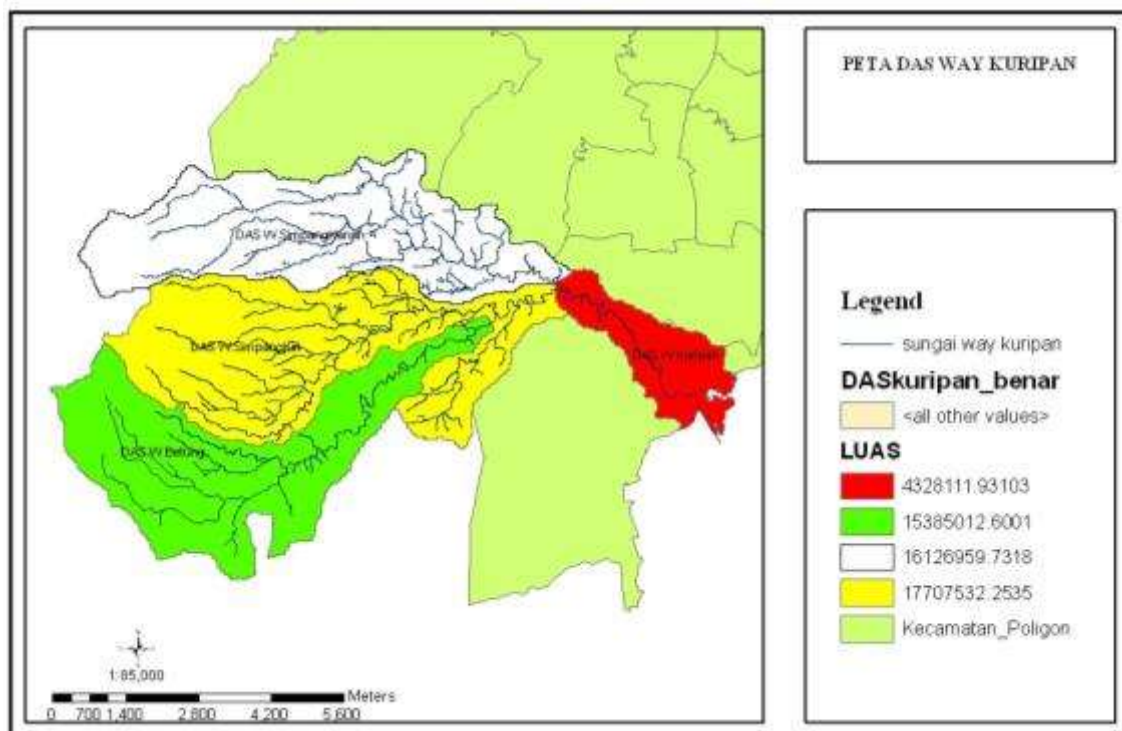
A. Data Spasial

Sungai Way Kuripan melewati 5 kecamatan di Kota Bandar Lampung, yaitu Kecamatan Kemiling, Tanjung Karang Barat, Teluk Betung Utara, Teluk Betung Barat, dan Teluk Betung Selatan. Sungai Way Kuripan juga melewati 3 kecamatan di Kabupaten Pesawaran, yaitu Kecamatan Padang Cermin, Way Lima, dan Gedong

DAS Way Kuripan memiliki 4 anak sungai yaitu Way Simpang Kanan, Way Simpang Kiri, Way Betung, dan Way Kuripan. Dimana DAS Way Kuripan memiliki luas DAS sebesar 53,54 km².

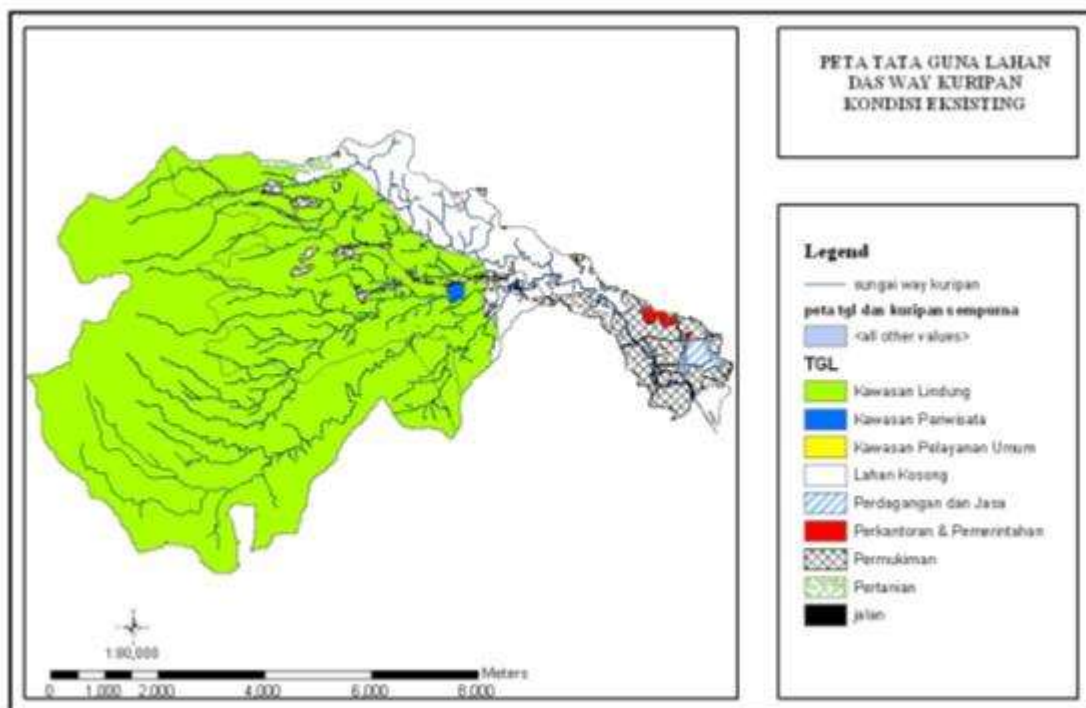


Gambar 5.29 Peta Sungai Way Kuripan



Gambar 5.30 Peta DAS Way Kuripan

Data Tutupan Lahan DAS Way Kuripan dibuat berdasarkan data Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Bandar Lampung tahun 2010 dan Kabupaten Pesawaran tahun 2011. Dari tahap pembentukan data tutupan lahan ini didapatkan 9 jenis tutupan lahan pada DAS Way Kuripan. Peta Tata Guna Lahan DAS Way Kuripan, dengan 80,15% kawasan lindung, 0,19% kawasan pariwisata, 0,02% kawasan pelayanan umum, 11,69% lahan kosong, 0,63% daerah perdagangan dan jasa, 0,27% perkantoran pemerintahan, 6,29% kawasan permukiman, 0,34% kawasan pertanian, dan 0,42% areal jalan dari luas DAS Way Kuripan sebesar 53,54 km².



Gambar 5.31 Peta Tata Guna Lahan Kondisi Eksisting

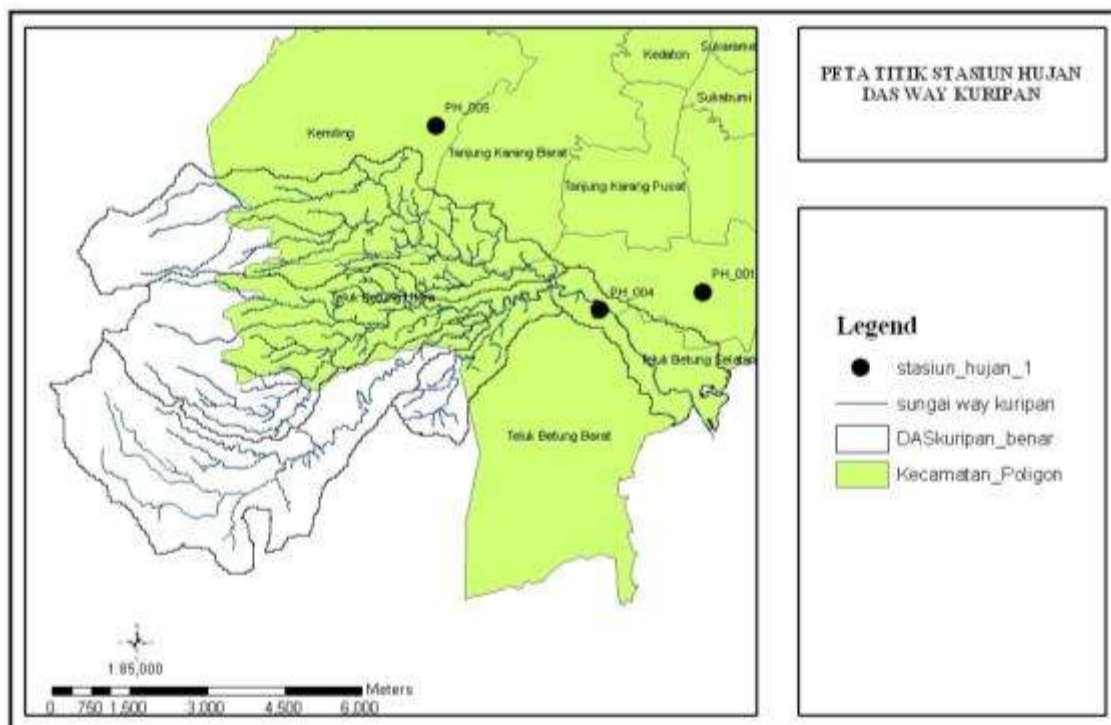
B. Analisis Hidrologi Penelitian

Untuk mendapatkan koordinat stasiun hujan dilakukan survey lapangan ke setiap titik stasiun hujan. Setelah stasiun hujan ditemukan kemudian dengan menggunakan GPS koordinat titik stasiun hujan didapatkan. Hasil Survey Lapangan dengan GPS kedalam peta dengan program SIG.

Tabel 5.23. Koordinat Stasiun Curah Hujan DAS Way Kuripan

No	Nama Stasiun	Koordinat
1	PH-001	X = 529317 Y = 9399387
2	PH-004	X = 537328 Y = 9398872
3	PH-005	X = 523794 Y = 9402646

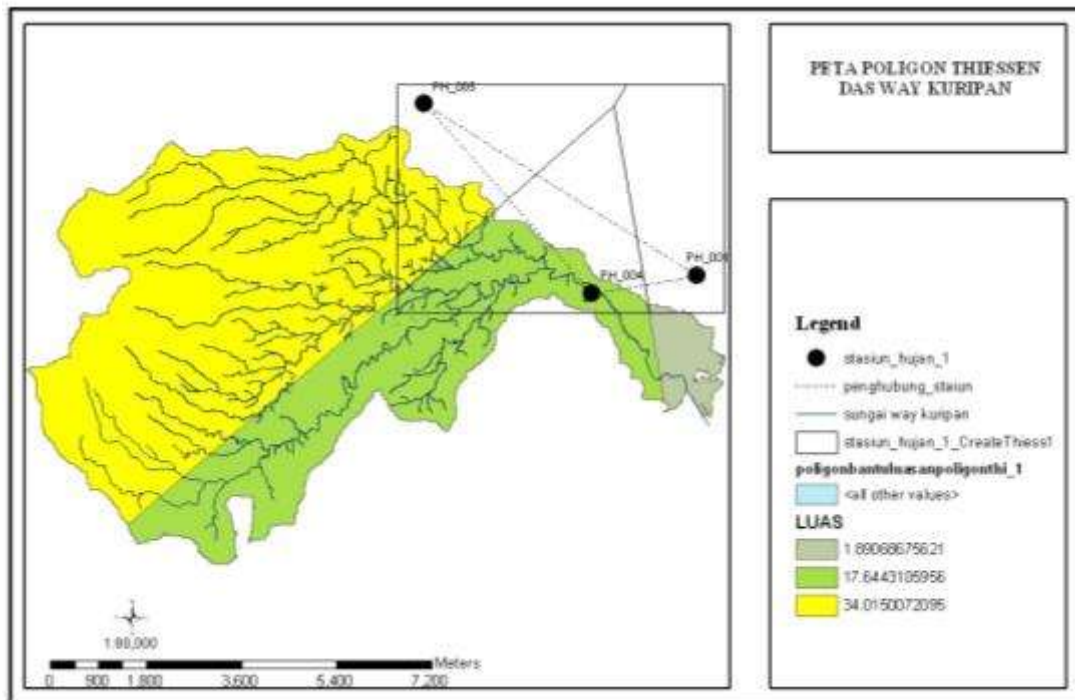
Setelah titik stasiun hujan diplotkan pada program SIG, kemudian dilakukan tumpang susun peta.



Gambar 5.32. Peta Titik Stasiun Hujan

B.2. Penentuan Luas Pengaruh Stasiun Hujan dengan Metode Poligon Thiessen

Dengan SIG, ditentukan pengaruh setiap stasiun hujan terhadap luas DAS.



Gambar 5.33. Peta Poligon Thiessen

Dari gambar Peta Poligon Thiessen terlihat bahwa DAS Way Kuripan dipengaruhi curah hujan pada stasiun pengamatan PH-001, PH-004, dan PH-005.

Tabel 5.24. Luas Pengaruh Stasiun Hujan Terhadap DAS

Stasiun	<i>Polygon Thiessen Factor</i>	
	A (km ²)	Prosentase (%)
PH - 001	1,89	3,53
PH - 004	17,64	32,94
PH - 005	34,01	63,53
Jumlah	53,54	100,00

B.3. Melengkapi Data Curah Hujan Dan Uji Konsistensi

Dari data curah hujan yang ada perhitungan dilakukan dengan menggunakan *reciprocal method*. Cara ini dilakukan dengan memperhitungkan jarak antar stasiun. Data curah hujan yang sudah dilengkapi selanjutnya akan dilakukan uji

konsistensi untuk mendapatkan faktor koreksi. Dari hasil perhitungan uji konsistensi didapatkan kurva massa ganda dan faktor koreksi serta data curah hujan yang telah terkoreksi.

B.4. Analisis Curah Hujan Area

Untuk mengetahui curah hujan rata-rata yang terjadi pada daerah tangkapan (*catchment area*) tersebut, ditentukan dengan menganalisis data curah hujan maksimum yang didapat dari tiga stasiun hujan. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah Metode Poligon Thiessen seperti Persamaan berikut ini (Triatmodjo, 2008) :

$$P_{\text{rerata}} = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + \dots + A_n P_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Keterangan :

P_{rerata} = Hujan rerata kawasan

P_1, P_2, \dots, P_n = Hujan pada stasiun kawasan 1.2...n

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah yang mewakili stasiun 1,2,...n

Perhitungan untuk analisis curah hujan menggunakan Metode Poligon Thiessen terdapat pada lampiran B. Kemudian didapatkan curah hujan rerata harian maksimum tahunan DAS Way Kuripan. Curah hujan rerata harian maksimum tahunan DAS Way Kuripan tersebut dimulai dari tahun 1991 sampai dengan tahun 2010.

Tabel 5.25. Curah Hujan Rerata Harian Maksimum Tahunan DAS Way Kuripan

Tahun	Curah Hujan (mm)
2010	118,40
2009	76,75
2008	68,60
2007	57,17
2006	118,01
2005	84,47
2004	77,44
2003	67,36
2002	101,92
2001	58,91
2000	96,00
1999	110,80

Tahun	Curah Hujan (mm)
1998	99,95
1997	61,77
1996	63,46
1995	81,57
1994	71,45
1993	78,91
1992	114,59
1991	84,20

B.5. Pengukuran Dispersi

Besarnya dispersi dapat dilakukan pengukuran dispersi, yakni melalui perhitungan parametrik statistik untuk $(X_i - X_r)$, $(X_i - X_r)^2$, $(X_i - X_r)^3$, dan $(X_i - X_r)^4$ terlebih dahulu.

Hasil dari pengukuran dispersi didapat nilai koefisien Skewness (Cs) sebesar 0,42 dan nilai koefisien kurtosis (Ck) sebesar 2,33. Nilai tersebut digunakan untuk memilih jenis sebaran, yaitu dengan membandingkan nilainya terhadap parameter pemilihan distribusi.

Tabel 5.26. Parameter Statistik Curah Hujan

Tahun	Ri	(Ri - Rt)	(Ri - Rt) ²	(Ri - Rt) ³	(Ri - Rt) ⁴
1991	84,2	-0,4	0,15	-0,06	0,02
1992	114,6	30,0	900,28	27012,46	810498,39
1993	78,9	-5,7	32,28	-183,36	1041,70
1994	71,4	-13,1	172,64	-2268,28	29803,12
1995	81,6	-3,0	9,09	-27,42	82,68
1996	63,5	-21,1	446,18	-9424,62	199075,78
1997	61,8	-22,8	520,50	-11874,89	270919,01
1998	100,0	15,4	236,08	3627,23	55731,46
1999	110,8	26,2	687,12	18011,29	472128,00
2000	96,0	11,4	130,18	1485,25	16945,98
2001	58,9	-25,7	659,08	-16920,37	434389,86
2002	101,9	17,3	300,50	5209,07	90298,46
2003	67,4	-17,2	296,60	-5107,94	87968,61
2004	77,4	-7,2	51,14	-365,72	2615,32
2005	84,5	-0,1	0,01	0,00	0,00
2006	118,0	33,4	1117,06	37334,86	1247822,24
2007	57,2	-27,4	751,46	-20599,66	564694,38
2008	68,6	-16,0	255,65	-4087,68	65358,60
2009	76,8	-7,8	61,42	-481,30	3771,82

Tahun	Ri	(Ri -Rt)	(Ri -Rt) ²	(Ri -Rt) ³	(Ri-Rt) ⁴
2010	118,4	33,8	1143,06	38645,69	1306576,42
Jumlah	1691,7	0,0	7770,40	59984,60	5659721,80
Rerata	84,6				
SD (σ)	20,22				
Cv	0,24				
Cs	0,42				
Ck	2,33				

B.6. Pemilihan Jenis Sebaran

Berdasarkan perhitungan parameter statistic pada lampiran B yang diperoleh tersebut ditetapkan bahwa jenis distribusi untuk menghitung curah hujan rancangan dengan berbagai kala ulang, yang cocok dengan sebaran data curah hujan harian maksimum di DAS Way Kuripan adalah distribusi Log Pearson Type III. Hal ini ditunjukkan oleh nilai parameter statistik yang diperoleh tidak mengikuti distribusi untuk dua metode lainnya.

Tabel 5.27. Analisis Jenis Sebaran

Jenis Distribusi	Syarat	Hasil	Keterangan
metode Normal	$Cs \approx 0$	0,42	Tidak Memenuhi
	$Ck \approx 3$	2,33	Tidak Memenuhi
Metode Log Normal	$Cs = Cv^3 + 3Cv$ $= 3,011$	0,42	Tidak Memenuhi
	$Ck = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$ $= 38,05$	2,33	Tidak Memenuhi
Metode Gumbel	$Cs \leq 1,14$	0,42	Tidak Memenuhi
	$Ck \leq 5,4$	2,33	Tidak Memenuhi
Metode Log Pearson III	$Cs \neq 0$	0,42	Memenuhi

B.7. Pengujian Kecocokan Sebaran

Pengujian kecocokan sebaran menggunakan metode Chi-kuadrat dan Smirnov-kolmogorov.

a. Uji Chi-kuadrat

$$\begin{aligned}
 K &= 1 + (3,22 \text{ Log } n) \\
 &= 1 + (3,22 \text{ Log } 20) \\
 &= 5,19 \approx 6 \\
 DK &= G - (R + 1) \\
 &= 6 - (2 + 1) \\
 &= 3
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan, diperoleh nilai Chi-kuadrat X_2 hitung = 5,2 untuk kedua DAS. Batas kritis nilai Chi-kuadrat untuk $dk = 3$, dengan $\alpha = 5\%$ dari tabel Chi-kuadrat: $X_2 \text{ cr} = 12,59$. Terlihat bahwa $X_2 \text{ hitung} < X_2 \text{ cr}$. Ini berarti bahwa pemilihan jenis distribusi Log Pearson Type III sudah memenuhi syarat.

Tabel 5.28. Uji Chi-kuadrat

batas kelas	EF	OF	(EF - OF)	(EF - OF) ² /EF
1,76 - 1,81	3,33	3	0,33	0,03
1,81 - 1,86	3,33	5	1,67	0,83
1,86 - 1,92	3,33	6	2,67	2,13
1,92 - 1,97	3,33	1	2,33	1,63
1,97 - 2,02	3,33	3	0,33	0,03
2,02 - 2,07	3,33	2	1,33	0,53
		20		5,2

b. Uji Smirnov-kolmogorov

Dari perhitungan diatas, diperoleh nilai Δ_{max} hitung = 0,10. Batas kritis nilai Δ_{cr} untuk $n = 20$, dengan $\alpha = 5\%$ dari tabel Smirnov-kolmogorov yaitu, $\Delta_{\text{cr}} = 0,29$. Nilai Δ_{max} hitung $< \Delta_{\text{cr}}$ sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa H_0 terima. Hal ini berarti bahwa distribusi observasi (pengamatan) dan distribusi teoritis (yang diharapkan) tidak berbeda secara nyata atau dapat dinyatakan pola distribusi Log Pearson Type III

Tabel 5.29. Uji Smirnov Kolmogorov

M	Xi	Px	P(X<)	P'X	P'(X<)	Δ
1	84,20	0,05	0,95	0,05	0,95	0,01
2	114,59	0,10	0,90	0,11	0,89	0,01
3	78,91	0,14	0,86	0,16	0,84	0,02
4	71,45	0,19	0,81	0,21	0,79	0,02
5	81,57	0,24	0,76	0,26	0,74	0,03
6	63,46	0,29	0,71	0,32	0,68	0,03
7	61,77	0,33	0,67	0,37	0,63	0,04
8	99,95	0,38	0,62	0,42	0,58	0,04
9	110,80	0,43	0,57	0,47	0,53	0,05
10	96,00	0,48	0,52	0,53	0,47	0,05
11	58,91	0,52	0,48	0,58	0,42	0,06
12	101,92	0,57	0,43	0,63	0,37	0,06
13	67,37	0,62	0,38	0,68	0,32	0,07
14	77,44	0,67	0,33	0,74	0,26	0,07
15	84,47	0,71	0,29	0,79	0,21	0,08
16	118,01	0,76	0,24	0,84	0,16	0,08
17	57,17	0,81	0,19	0,89	0,11	0,09
18	68,60	0,86	0,14	0,95	0,05	0,09
19	76,75	0,90	0,10	1,00	0,00	0,10
20	118,40	0,95	0,05	1,05	-0,05	0,10
					Δmaks	0,10

B.8. Pengukuran Curah Hujan Rencana

Berdasarkan analisis frekuensi yang dilakukan pada data curah hujan harian maksimum diperoleh bahwa jenis distribusi yang paling cocok dengan sebaran data curah hujan harian maksimum DAS Way Kuripan adalah distribusi Log Pearson Type III. Untuk itu, data curah hujan harian maksimum yang diperoleh diubah dalam bentuk logaritmik sehingga parameter statistic berubah. Tujuan pengukuran curah hujan rencana adalah untuk mendapatkan curah hujan periode ulang tertentu yang akan digunakan untuk mencari debit banjir rencana. Dari perhitungan parameter pemilihan distribusi curah hujan untuk menghitung curah hujan rencana digunakan metode Distribusi Log Pearson Tipe III.

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai Cs adalah untuk DAS Way Kuripan adalah 0,0838. Oleh karna itu, dihitung nilai k untuk masing-masing periode ulang, menggunakan nilai k pada tabel distribusi Log Pearson Tipe III.

B.9. Pola Distribusi Hujan

Untuk dapat mengubah hujan rancangan ke dalam besaran hujan jam-jaman perlu didapatkan terlebih dahulu suatu pola distribusi hujan jam-jaman. Pola distribusi untuk DAS Way Kuripan didapat dengan melakukan pengamatan dari kejadian-kejadian hujan besar. Dengan mereratakan pola distribusi hujan hasil pengamatan tersebut, kemudian didapatkan pola distribusi rerata yang selanjutnya dianggap mewakili kondisi hujan dan dipakai sebagai pola untuk mendistribusikan hujan rancangan menjadi besaran hujan jam-jaman.

Dari tahap ini diketahui bahwa 90 % hujan di Bandar Lampung terjadi dalam waktu 4 jam dengan pola distribusi 40 % di jam pertama, 40 % di jam kedua, 15% di jam ketiga dan 5 % di jam keempat.

B.10. Perhitungan Intensitas Curah Hujan

Perhitungan intensitas curah hujan ini menggunakan pola distribusi hujan yang telah didapatkan dan hasil perhitungan intensitas curah hujan disajikan dalam tabel 5.30.

Tabel 5.30. Intensitas Hujan Tiap periode Ulang

T	R	90%.R	Intensitas Hujan			
			Jam ke-1	Jam ke-2	Jam ke-3	Jam ke-4
2	82,24	74,01	29,61	29,61	11,10	3,70
5	89,41	80,47	32,19	32,19	12,07	4,02
10	93,48	84,13	33,65	33,65	12,62	4,21
25	98,08	88,28	35,31	35,31	13,24	4,41
50	101,21	91,09	36,43	36,43	13,66	4,55
100	104,13	93,71	37,49	37,49	14,06	4,69
200	106,89	96,20	38,48	38,48	14,43	4,81

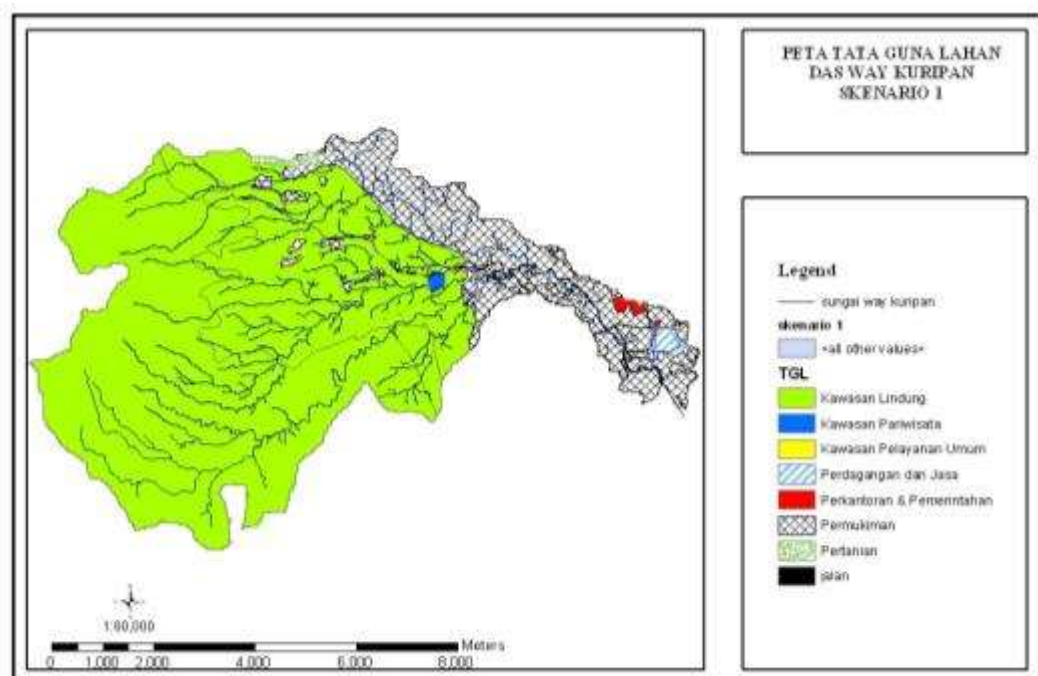
C. Analisis Sensitivitas Simulasi Skenario Tata Guna Lahan

Untuk mengetahui besarnya perubahan nilai debit puncak yang terjadi di DAS Way Kuripan perlu dilakukan simulasi dengan beberapa skenario perubahan tata guna lahan. Luas DAS adalah 53,54 km², kawasan lindung sebesar 80,15% dari luas DAS, kawasan pariwisata sebesar 0,19% dari luas DAS, kawasan pelayanan umum sebesar

0,02% dari luas DAS, luas lahan kosong sebesar 11,69% dari luas DAS, luas perdagangan dan jasa sebesar 0,63% dari luas DAS, luas perkantoran pemerintahan sebesar 0,27% dari luas DAS, luas kawasan permukiman sebesar 6,29% dari luas DAS, luas pertanian sebesar 0,34% dari Luas DAS, dan luas areal jalan sebesar 0,42%.

C.1. Pembuatan Skenario I

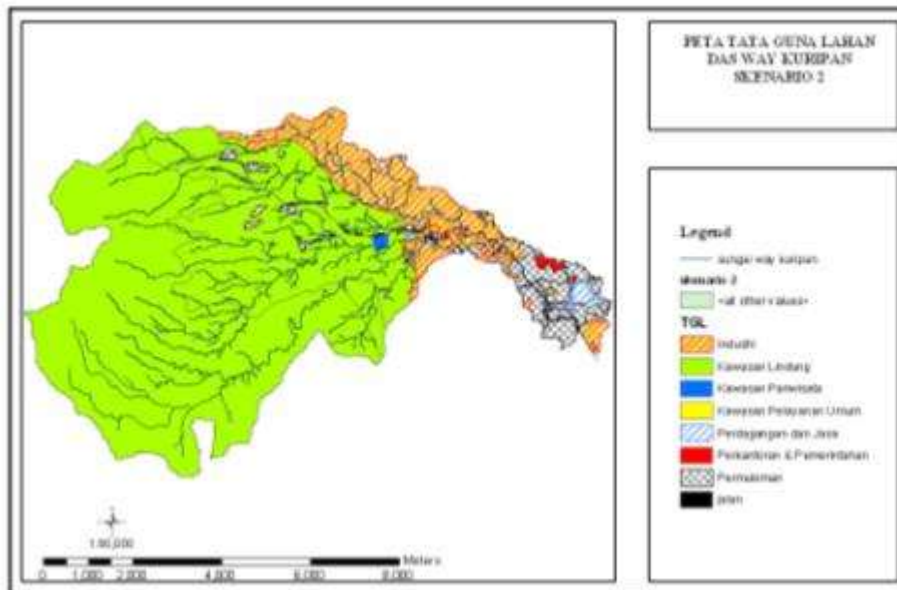
Pembuatan skenario I ini dilakukan dengan mengubah 11,69% penutupan lahan yang lahan kosong menjadi kawasan permukiman, jadi kawasan permukiman sebesar 17,98% dari luas DAS (9,63 km²). Untuk luas tata guna lahan lainnya belum berubah pada skenario pertama ini yaitu kawasan lindung sebesar 80,15% dari luas DAS (42,91 km²), kawasan pariwisata sebesar 0,19% dari luas DAS (0,10 km²), kawasan pelayanan umum sebesar 0,02% dari luas DAS (0,01 km²), luas kawasan perdagangan dan jasa sebesar 0,63% dari luas DAS (0,34 km²), luas perkantoran pemerintahan sebesar 0,27% dari luas DAS (0,14 km²), luas kawasan pertanian sebesar 0,34% dari luas DAS (0,18 km²), dan luas areal jalan 0,42% dari luas DAS (0,22 km²).



Gambar 5.34. Peta Tata Guna Lahan Skenario 1

C.2. Pembuatan Skenario II

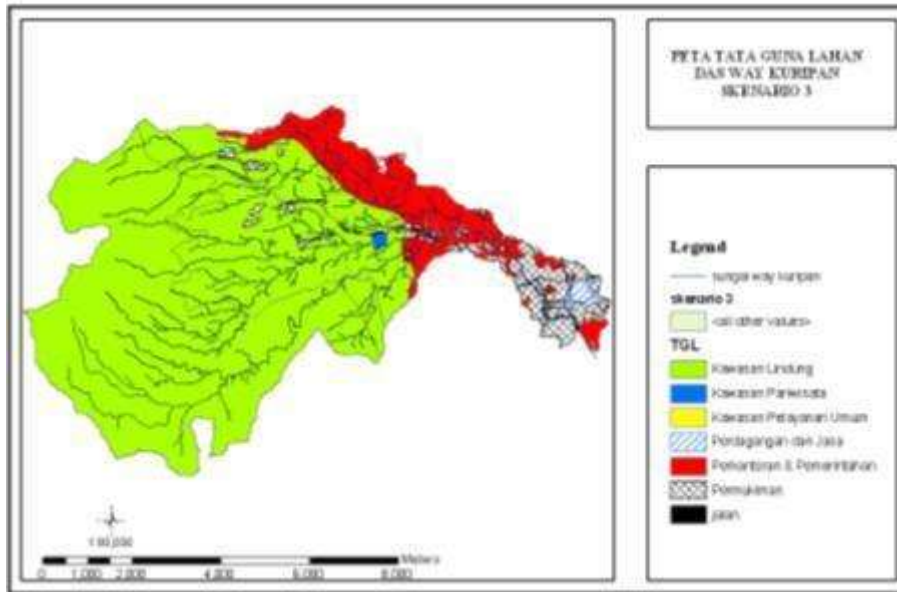
Pembuatan skenario II ini dilakukan dengan mengubah kawasan pertanian 0,34% dari luas DAS ($0,18 \text{ km}^2$) ditambah lahan kosong sebesar 11,69% dari luas DAS ($6,26 \text{ km}^2$) menjadi kawasan industri. Jadi kawasan industri sebesar 12,03% dari luas DAS ($6,44 \text{ km}^2$). Untuk luas tata guna lahan lainnya masih tetap sama dengan kondisi eksisting.



Gambar 5.35. Peta Tata Guna Lahan Skenario 2

C.3. Pembuatan Skenario III

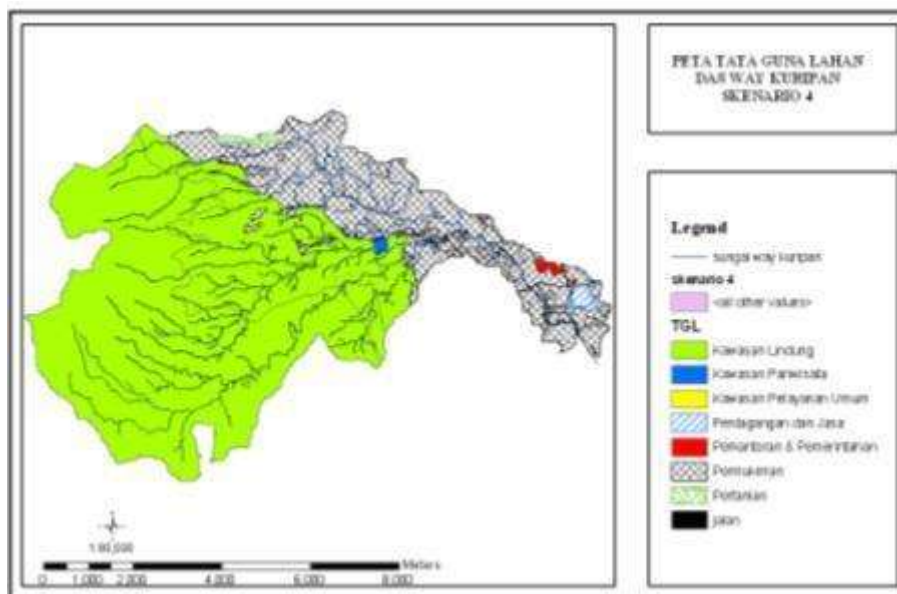
Pembuatan skenario III ini dilakukan dengan mengubah kawasan pertanian sebesar 0,34% dari luas DAS ($0,18 \text{ km}^2$) ditambah dengan lahan kosong sebesar 11,69% dari luas DAS ($6,26 \text{ km}^2$) menjadi kawasan perkantoran pemerintahan. Jadi kawasan perkantoran dan pemerintahan menjadi 12,30% dari luas DAS ($6,59 \text{ km}^2$). Untuk luas tata guna lahan lainnya masih tetap sama seperti dengan kondisi eksisting.



Gambar 5.36. Peta Tata Guna Lahan Skenario 3

C.4. Pembuatan Skenario IV

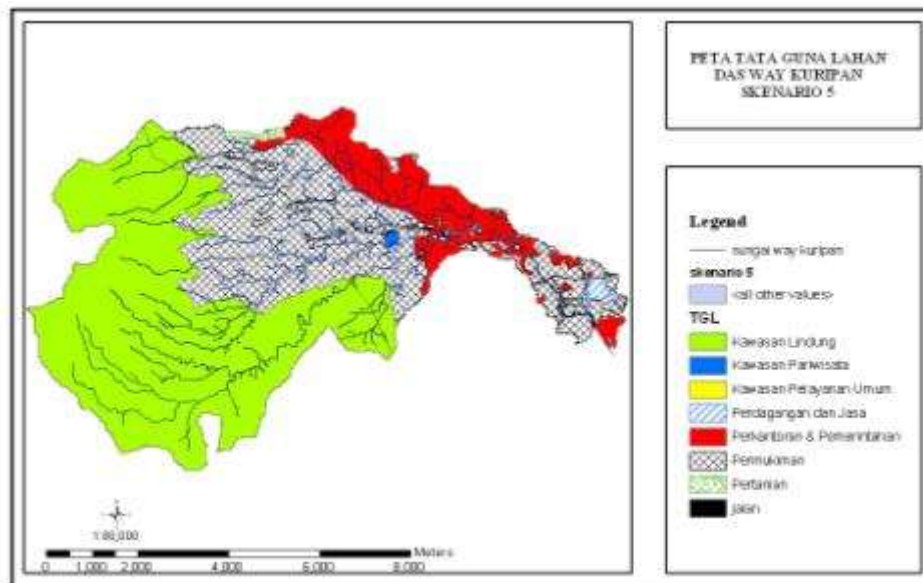
Pembuatan skenario IV ini dilakukan dengan mengubah sebagian kawasan lindung DAS Kuripan kota Bandar Lampung sebesar 7,12% dari Luas DAS ($3,82 \text{ km}^2$) ditambah lahan kosong sebesar 11,69% dari luas DAS ($6,26 \text{ km}^2$) menjadi kawasan permukiman. Jadi kawasan permukiman menjadi 25,11% dari luas DAS ($13,44 \text{ km}^2$).



Gambar 5.37. Peta Tata Guna Lahan Skenario 4

C.5. Pembuatan Skenario V

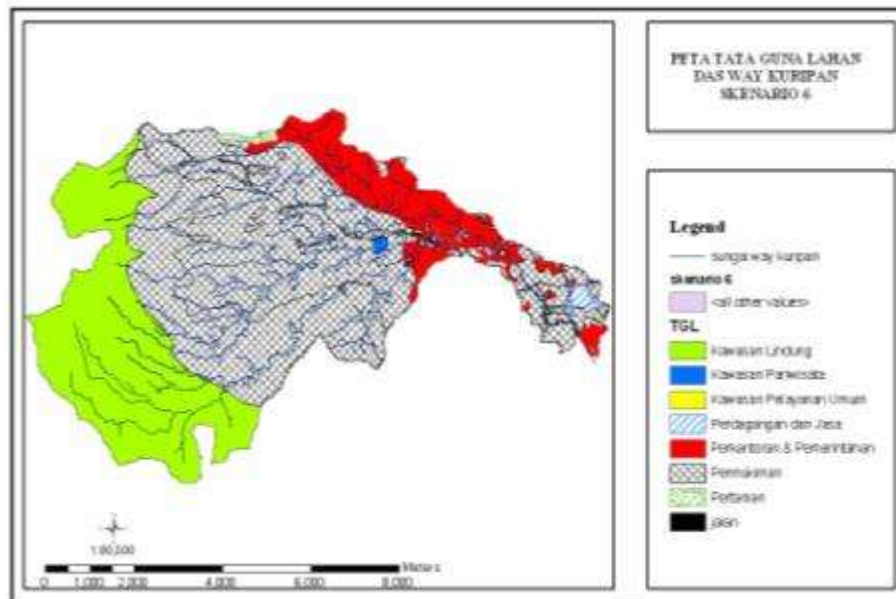
Pembuatan skenario V ini dilakukan dengan mengubah semua lahan kawasan lindung kota Bandar Lampung sebesar 26,80% dari luas DAS ($14,36 \text{ km}^2$) menjadi kawasan permukiman. Jadi luas kawasan permukiman menjadi 33,10% dari luas DAS ($17,72 \text{ km}^2$). Dan mengubah lahan kosong sebesar 11,69% dari luas DAS ($6,26 \text{ km}^2$) menjadi kawasan perkantoran pemerintahan. Jadi kawasan perkantoran pemerintahan menjadi 11,96% dari luas DAS ($6,40 \text{ km}^2$).



Gambar 5.38. Peta Tata Guna Lahan Skenario 5

C.6. Pembuatan Skenario VI

Pembuatan skenario VI ini dilakukan dengan mengubah semua lahan kawasan lindung kota Bandar Lampung sebesar 50,54% dari luas DAS ($14,36 \text{ km}^2$) menjadi kawasan permukiman. Jadi luas kawasan permukiman menjadi 56,82% dari luas DAS ($17,72 \text{ km}^2$). Dan mengubah lahan kosong sebesar 11,69% dari luas DAS ($6,26 \text{ km}^2$) menjadi kawasan perkantoran pemerintahan. Jadi kawasan perkantoran pemerintahan menjadi 11,96% dari luas DAS ($6,40 \text{ km}^2$). Serta luas lahan yg digunakan untuk jalan sebesar 0,44% dari luas DAS ($0,23 \text{ km}^2$).



Gambar 5.39. Peta Tata Guna Lahan Skenario 6

D. Koefisien Aliran Tata Guna Lahan DAS Way Kuripan (C)

Pada masing-masing tata guna lahan memiliki jenis koefisien aliran yang berbeda-beda, koefisien aliran pada masing-masing tata guna lahan pada DAS Way Kuripan dapat dilihat pada Tabel 5.31.

Tabel 5.31. Koefisien Aliran Untuk Masing - Masing Jenis Tata Guna Lahan

Tata Guna Lahan	C
Kawasan Lindung	0,20
Kawasan Pariwisata	0,60
Kawasan Pelayanan Umum	0,70
Lahan kosong	0,40
Perdagangan&jasa	0,80
Perkantoran pemerintahan	0,85
Permukiman	0,65
Pertanian	0,30
Jalan	0,90
Kawasan Industri	0,70

Untuk DAS yang terdiri dari beberapa jenis tata guna lahan, maka nilai C pada DAS dihitung menggunakan rumus :

$$C_{DAS} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i * C_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Keterangan :

A_i = Luas lahan dengan jenis penutup tanah i.

C_i = Koefisien aliran permukaan jenis penutup tanah i.

n = Jumlah jenis penutup lahan.

Tabel 5.32. Nilai Koefisien DAS Way Kuripan Kondisi Eksisting

Tata Guna Lahan	C	A	C x A
Kawasan Lindung	0,20	42915527,57	8583106,00
Kawasan Pariwisata	0,60	101811,42	61086,85
Kawasan Pelayanan Umum	0,70	8812,29	6168,60
Lahan Kosong	0,40	6259503,65	2503801,00
Perdagangan dan Jasa	0,80	335961,81	268769,40
Perkantoran Pemerintahan	0,85	144872,70	123141,80
Permukiman	0,65	3369376,00	2190094,00
Pertanian	0,30	183894,51	55168,35
Jalan	0,90	222335,27	200101,70
		53542095,00	13991438,00
			0,26

Dari nilai koefisien aliran sebesar 0,26, maka dapat dinyatakan bahwa DAS Way Kuripan memiliki kondisi yang cukup baik. Nilai C berkisar antara 0-1. Nilai C sama dengan 0 menunjukkan bahwa semua air hujan terinfiltrasi ke dalam tanah, sebaliknya untuk nilai C = 1 menunjukkan bahwa air hujan mengalir sebagai aliran permukaan. Pada DAS yang baik harga C mendekati 0 dan semakin rusak suatu DAS maka harga C semakin mendekati 1.

Tabel 5.33. Nilai Koefisien Aliran DAS Way Kuripan

Kondisi	C
Kondisi Eksisting	0,26
Skenario I	0,29
Skenario II	0,30
Skenario III	0,32
Skenario IV	0,32
Skenario V	0,43
Skenario VI	0,54

E. Debit Puncak

Estimasi debit puncak dilakukan dengan menggunakan rumus rasional, yang menggunakan masukan variabel berupa koefisien aliran permukaan, intensitas hujan, dan luas DAS.

Tabel 5.34. Rekapitulasi Pengaruh Tata Guna Lahan Terhadap Nilai Debit

Kala Ulang	Debit (m ³ /det)						
	Kondisi Eksisting	I	II	III	IV	V	VI
2	115,15	128,03	133,86	139,16	142,16	191,48	238,58
5	125,19	139,19	145,54	151,30	154,55	208,18	259,39
10	130,89	145,53	152,16	158,19	161,59	217,66	271,20
25	137,34	152,70	159,65	165,98	169,55	228,37	284,55
50	141,71	157,56	164,74	171,26	174,94	235,64	293,61
100	145,80	162,10	169,49	176,20	179,99	242,49	302,08
200	149,67	166,41	173,99	180,88	184,77	248,88	310,10

Tabel 5.35. Rekapitulasi Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Persentase Perubahan Nilai Debit

Kondisi Eksisting	Perubahan Nilai Debit (%)					
	Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV	Skenario V	Skenario VI
Q						
115,15	11,19	16,25	20,85	23,46	66,29	107,19
125,19						
130,89						
137,34						
141,71						
145,80						
149,67						

Dari tabel rekapitulasi pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap persentase perubahan nilai debit dapat disimpulkan bahwa keberadaan kawasan lindung pada DAS Way Kuripan sangat berperan penting untuk memperkecil debit puncak, sehingga potensi terjadinya banjir pada bagian hilir yang merupakan bagian dari Kota Bandar Lampung dapat terhindar.

Pada skenario 1, 2, 3, dan 4 perubahan tata guna lahan pada kawasan lindung tidak terlalu signifikan sehingga nilai debit puncaknya tidak terlalu besar. Sangat berbeda dengan skenario 5 dan 6 dimana terjadi kenaikan debit puncak yang sangat ekstrem, disebabkan kawasan lindung DAS Way Kuripan pada skenario 5 hanya tersisa 53,35% dan pada skenario 6 hanya tersisa 30%.

BAB VI

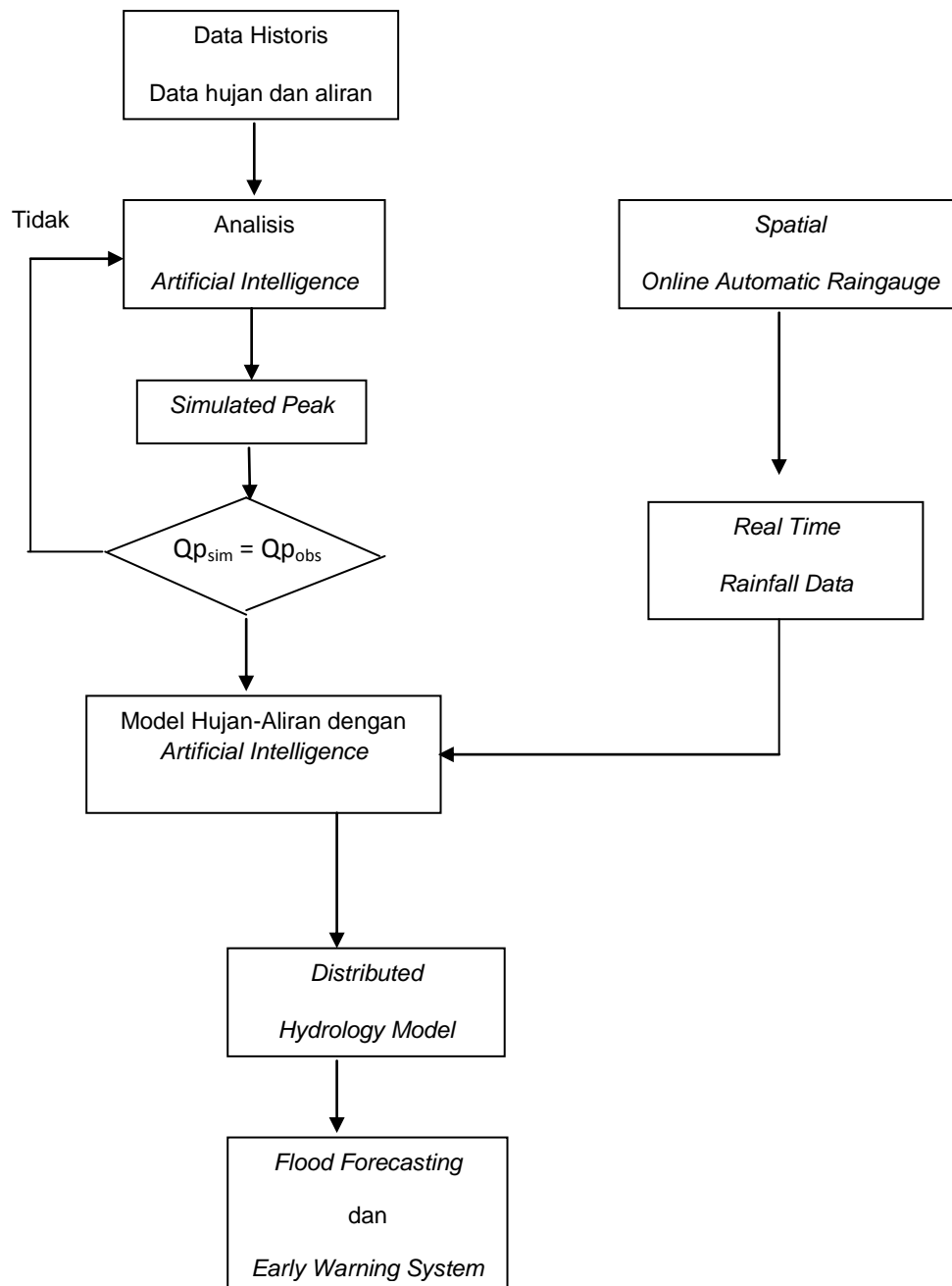
RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

Pada penelitian yang diusulkan ini proses transformasi hujan-aliran tersebut akan diteliti lebih jauh. Pertama-tama penelitian ini akan terfokus pada pengembangan HST pada beberapa DAS sehingga terbentuk *cascade hydrograph* (HST untuk daerah hulu, tengah dan hilir DAS) serta *neighbouring hydrograph* (HST untuk daerah hulu, tengah dan hilir pada DAS lain yang letaknya berdekatan). Tujuan dari pengembangan *cascade hydrograph* maupun *neighbouring hydrograph* agar didapat perbandingan karakteristik banjir (waktu naik, debit puncak dan waktu dasar) antara sub DAS yang berhubungan, yakni hulu, tengah dan hilir, maupun antara DAS yang berdekatan. Perbandingan tersebut yang selanjutnya menjadi dasar bagi pengembangan HST bagi DAS maupun sub DAS yang tidak terukur dengan memperhatikan topografi, tata guna lahan maupun tutupan vegetasi yang didapatkan dari sistem informasi geografis. Informasi tentang waktu naik, debit puncak, dan waktu dasar pada tiap-tiap sub DAS dalam skala terkecil yang memungkinkan, akan digunakan untuk membuat peta respon banjir kota Bandar Lampung. Peta respon banjir ini dirumuskan dari beberapa peta tematik karakteristik banjir, yaitu peta waktu naik, peta debit puncak dan peta waktu dasar.

Peta respon banjir merupakan alat prediksi banjir yang sangat bermanfaat baik bagi masyarakat yang tinggal di wilayah tersebut, bagi pemerintah maupun pihak-pihak yang berkepentingan. Nilai yang termuat dalam peta respon banjir tadi jika dikaitkan dengan *real time data* hujan, yang didapatkan dengan menghubungkan alat ukur hujan dengan sistem *online*, maka akan menjadi sistem peringatan dini banjir.

Ketika penelitian ini sudah mencapai tahun ketiga, yakni ketika sistem peringatan dini banjir sudah terbentuk dengan mengandalkan *real time data* hujan, maka penelitian

selanjutnya masih diperlukan untuk mengembangkan sistem peringatan dini banjir ini. Penelitian berikutnya akan melibatkan *real time* data hujan dan aliran dengan pemanfaatan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*). Data hujan dan aliran yang terkumpul selama penelitian tiga tahun nanti akan merupakan landasan bagi pengembangan *early warning system* dengan bantuan pendekatan kecerdasan buatan seperti *Artificial Neural Network*.



Gambar 6.1. Diagram Alir Penelitian Pada Tahun Ketiga

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. DAS Way Kuala Garuntang merupakan salah satu dari DAS besar di Bandar Lampung dengan luas 60,39 km² dengan 11 anak sungai.
2. Sesuai dengan RTRW 2010, DAS Way Kuala Garuntang memiliki 11 jenis tutupan lahan selain dari jalan dan jalur kereta api dengan kawasan lindung seluas 4,72% dari luas DAS.
3. Pola hujan di Bandar Lampung terdistribusi menjadi 40% di jam pertama, 40% di jam kedua, 15% di jam ketiga dan 5% di jam keempat.
4. Sesuai dengan RTRW 2010, DAS Way Kuala Garuntang memiliki nilai koefisien aliran (C) sebesar 0,56.
5. Tindakan yang mempertahankan adanya ruang terbuka hijau untuk DAS Way Kuala Garuntang sangat diperlukan untuk memberikan ruang yang cukup bagi peresapan air hujan pada suatu daerah tertentu guna keperluan penyediaan kebutuhan air tanah serta penanggulangan banjir.
6. Berdasarkan hasil simulasi pada Way Kuala Garuntang dengan menggunakan skenario I, II dan III tata guna lahan dengan mempertahankan 30% dari luas DAS adalah ruang terbuka hijau, terlihat adanya penurunan debit puncak dan tidak terjadi perubahan debit puncak yang signifikan.
7. Dari hasil perhitungan debit dengan menggunakan luas tata guna lahan skenario IV, V, VI dan VII yang tidak lagi mempertahankan luas ruang terbuka hijau sebanyak 30% dari luas DAS, terlihat adanya kenaikan nilai debit puncak. Perubahan debit yang paling ekstrim terlihat pada skenario V yang merubah sebagian lahan kosong menjadi kawasan pemukiman dan sebagian lahan pemukiman menjadi kawasan perdagangan dan jasa.

8. Banyaknya kawasan lindung pada DAS Way Kuripan sebesar 80,15% dari luas DAS sebesar 53,54 km², memberikan ruang yang cukup bagi peresapan air hujan, sehingga dapat mengurangi potensi banjir di bagian hilir yang merupakan bagian dari Kota Bandar Lampung.
9. Dari hasil simulasi dengan menggunakan skenario 1, 2, 3, dan 4, tata guna lahan pada DAS Way Kuripan. Dimana kawasan lindung tetap dipertahankan 80,15% dari luas DAS, kemudian dalam simulasi tersebut, lahan kosong dan kawasan pertanian fungsinya berubah menjadi daerah permukiman, kawasan industri, dan kawasan perkantoran pemerintahan. Diperoleh kenaikan debit puncak tidak terlalu besar yaitu antara 11,19%-23,46%.
10. Hasil berbeda didapat dari simulasi dengan menggunakan skenario 5 dan 6 tata guna lahan pada DAS Way Kuripan. Dimana dalam simulasi tersebut, sebanyak 26,80% kawasan lindung dari luas DAS pada skenario 5 dan sebanyak 50,54% kawasan lindung pada skenario 6, fungsinya berubah menjadi kawasan permukiman. Dan diperoleh kenaikan debit puncak yang sangat ekstrem, pada skenario 5 kenaikan debitnya sebesar 66,29% dan pada skenario 6 kenaikan debitnya sebesar 107,19%. Dapat disimpulkan bahwa keberadaan kawasan lindung dapat meminimalisir banjir di DAS Way Kuripan.

6.2. Saran

1. Perlu diadakan penelitian tersendiri mengenai analisis hidrologi dan penelitian menyendiri mengenai analisis spasial pada DAS Way Kuala Garuntang secara mendalam dan terinci sehingga saat kedua analisis dioverlaykan didapat hasil yang lebih optimal.
2. Berdasarkan hasil analisis sensitivitas, perlu diadakan penyediaan Ruang Terbuka Hijau Pada DAS Way Kuala Garuntang sebanyak 30% dari luas DAS.
3. Arah peremajaan pembangunan sebaiknya tetap memperhatikan fungsi dan kondisi wilayah sehingga tidak menyebabkan kerusakan sumber daya alam dalam DAS.
4. Dapat dibuat penelitian tersendiri mengenai distribusi hujan jam-jaman yang terjadi di Kota Bandar Lampung. Dimana selama ini penggunaan distribusi hujan jam-jaman menggunakan metode Van Breen yang dilakukannya di pulau Jawa. Dengan

melakukan penelitian tersendiri tentang distribusi hujan jam-jaman di Kota Bandar Lampung maka hasilnya bisa saja berbeda dengan penelitian yang terjadi di pulau Jawa.

5. Dapat dibuat penelitian tersendiri mengenai besarnya tingkat kesalahan penelitian bila mengisi data curah hujan yang hilang.

DAFTAR PUSTAKA

- Beven, K.J. 1989. Changing ideas in hydrology – the case of physically based models. *J. Hydrol.*, 105, 157-172.
- Beven, K.J. 1996. A discussion of distributed hydrological modelling in: *Distributed Hydrological Modelling*, M.B. Abbott, J.C. Refsgaard. (Eds). Kluwer Academic, 255-278.
- Hydrologic Engineering Centre. 2000. *Hydrologic Modelling System: HEC-HMS, Users Manual*, U.S. Army Corps of Engineers hydrologic Engineering Centre, Davis California.
- Kusumastuti, D.I. 2008a. Metode analisis dalam analisis rancangan: studi kasus penentuan debit banjir rancangan Way Pegadungan. *Jurnal Rekayasa*, Vol. 12 No. 1, 14-22, April 2008.
- Kusumastuti, D.I. 2008b. Insight of catchment behavior based on simple analysis of rainfall runoff data. *Jurnal Rekayasa*, Vol. 12, No. 2, 16-26, Agustus 2008.
- Kusumastuti, D.I. 2008c. Konsep Tampung dan Perlindungan Banjir. Seminar Hasil Penelitian, diselenggarakan oleh Lembaga Penelitian Unila, pada acara Dies Natalis Unila Ke-43.
- Kusumastuti, D.I. Sivapalan, M., Struthers, I. Reynolds, D.A., Murray, K., and Turlach, B.A. 2008a. Thresholds in the storm response of a catchment-lake system and the occurrence and magnitude of lake overflows: implications for flood frequency, *water resources research journal*, Vol. 44, Wo2438, doi:10.1029/2006WR005628, 2008.
- Kusumastuti, D.I. Sivapalan, M., Struthers, I. Reynolds, D.A. 2008b. Thresholds in the storm response of a catchment-lake system and the occurrence and magnitude of lake overflows: implications for flood frequency, *advances water resources research journal*, 31, 1651-1661. 2008.

- Kusumastuti, D.I. Sivapalan, M., Struthers, I. Reynolds, D.A.2007. Thresholds in the storm response of a catchment-lake system and the occurrence and magnitude of lake overflows: implications for flood frequency. Hydrological and Environmental System Science Journal. Special issue: Thresholds and pattern dynamics, Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, 1515-1528.2007.
- Kusumastuti, D.I. Sivapalan, M., Struthers, I. Reynolds, D.A.2005. The Impact of within storm temporal pattern and surface runoff triggering on flood frequency. Presented at VIIIth IAHS Scientific Assembly, Foz do Igguassu, Brazil, 3-9 April 2005.
- Kusumastuti, D.I. Sivapalan, M., Struthers, I. Reynolds, D.A.2004. Effect of Within storm pattern on flood frequency. Presented at Workshop on Prediction in Ungauged basin, held by UWA and Centre for Water Research, 2-5 February 2004.
- Refsgaard, J.C. dan Strom, B. 1996. Construction, calibration and validation of hydrological models. In; Distributed Hydrological Modelling, M.B. Abbott, J.C. Refsgaard, (Eds). Kluwer Academic 41-54.
- Sivapalan, M., P. And Harris, D. 2001. Preface: Nonlinear propagation of multi scale dynamics through hydrologic subsystems. Adv. In Water Resour.,24, 935-940.
- Soemarto, CD. 1987. "Hidrologi Teknik". Usaha Nasional, Surabaya.
- Sri Harto, Br. 1989. "Aliran Dasar Karakteristik Beberapa Sungai di pulau Jawa". Proceeding PIT VI, HATHI, Denpasar.
- Sri Harto Br. 1993. Analisis Hidrologi". PT Gramedia, Jakarta.
- Triadmodjo, Bambang. 2008. "Hidrologi Terapan". Betya Offset, Yogyakarta.

LAMPIRAN 1
INSTRUMEN

RINCIAN BIAYA TAHUN KETIGA 2014 :

1.1. Anggaran Pelaksanaan Penelitian

No	Nama	a. Peran b. Kegiatan Utama	Alokasi Waktu (Jam/mg)	Gaji (per bulan) (Rp)	Jumlah biaya 10 bulan
1	Dyah Indriana Kusumastuti	a. Peneliti Utama b. Manajemen penelitian, analisis hidrologi	15	900.000	9.000.000,-
2	Dwi Jokowinarno	a. Peneliti anggota b. Pengukuran dan pengumpulan data	12	700.000	7.000.000,-
3	Citra Dewi	a. Peneliti Anggota b. Deliniasi DAS	12	700.000	7.000.000,-
4	Siti Nurul Khotimah	a. Peneliti Anggota b. Modeling hidrologi	12	700.000	7.000.000,-
TOTAL					24.000.000,-

1.2. Penelusuran literatur lengkap

No	Aktivitas	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1	Pembelian buku literatur	buah	4	750.000	3.000.000
2	Sewa internet	Jam	15x8 bl	7.500	900.000
3	Print pustaka dari internet	lembar	500	600	300.000
4	Fotokopi	lembar	8000	100	800.000
5	Kartu anggota perpustakaan luar Unila	bulan	10	50.000	500.000
6	Lain-lain: transportasi dll				500.000
TOTAL					6.000.000

1.3. Anggaran untuk bahan habis dipakai

1.3.1. Alat

No	Nama Alat	Jumlah	Harga Satuan	Harga (Rp)	Kegunaan
1	Raingauge tipping bucket	1	6.000.000	6.000.000	Pengukur curah hujan otomatis
2	Water level probe	1	5.000.000	5.000.000	Pengukur tinggi muka air otomatis
3	Current meter mini	1	7.000.000	7.000.000	Pengukur kecepatan air
4	Pipa PVC Solid	3	500.000	1.500.000	Pelindung dan peletakan water level probe
5	Palu	1	50.000	50.000	Persiapan pemasangan alat
6	Gergaji	1	50.000	50.000	
7	Mesin bor kecil untuk PVC/kayu	1	400.000	400.000	
8	Obeng	1 set	100.000	100.000	
9	Meteran	1	100.000	100.000	
10	Plester PVC	2	100.000	200.000	
11	Senar (benang yang kuat)	1	100.000	100.000	
12	Kayu dan besi	1 set	500.000	500.000	tatakan raingauge
			TOTAL	20.000.000	

1.3.2. Bahan

No	Nama Bahan	Jumlah	Harga Satuan	Harga (Rp)	Kegunaan
1	Data hujan sekunder dari daerah studi		2.000.000	2.000.000	Analisis hidrologi
2	Data tinggi muka air/debit dari daerah studi		2.000.000	2.000.000	Analisis hidrologi

3	Data digital tanah, tata guna lahan		6.000.000	6.000.000	Analisis hidrologi
TOTAL				10.000.000	

1.3.3. Alat Tulis Kantor

No	Nama Bahan	Jumlah	Harga Satuan	Harga (Rp)	Keperluan
1	Buku double folio	4	25.000	100.000	Tempat mencatat data penelitian
2	Pen	4	7.500.	30.000	Menulis
3	HVS	2 rim	50.000	100.000	Membuat laporan
4	Tinta printer	1 buah	600.000	600.000	Mencetak laporan
5	Plastik transparan untuk printer	1	200.000	200.000	Presentasi
6	Spidol	2	35.000	70.000	Pemberian tanda untuk persiapan pemasangan alat dan untuk menulis
7	Flash disk	2	250.000	500.000	Menyimpan data
8	Surat menyurat		400.000	400.000	
TOTAL				2.000.000	

1.4. Anggaran Perjalanan

No	Tujuan	Biaya (Rp)	Keperluan
1	Bandar Lampung dan sekitar	3.000.000	Pemasangan alat, download data
2	B.Lampung – Jakarta	3.000.000	Seminar & publikasi
3	B.Lampung-Yogyakarta	4.000.000	Seminar
	TOTAL	10.000.000	

1.5. Anggaran untuk administrasi, publikasi, dan pemeliharaan alat

No	Spesifikasi	Biaya
1	Administrasi (lain-lain)	1.000.000
2	Publikasi : seminar	5.000.000
	Monitoring	2.000.000
	Publikasi jurnal nasional	3.000.000
	Publikasi jurnal internasional	14.000.000
3	Pemeliharaan/sewa alat	
	- Alat bor untuk pemasangan pipa di sungai/sumur dangkal/dalam	2.500.000
	- baterai untuk data logger	500.000
	TOTAL	28.000.000

4. BIOGRAFI/DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENELITI

i. PENELITI UTAMA

IDENTITAS DIRI

1.1.	Nama	Dr. Dyah Indriana Kusumastuti MSc
1.2.	Jabatan Fungsional	Lektor Kepala
1.3.	NIP	19691219 199512 2 001
1.4.	Tempat/Tanggal Lahir	Semarang, 19 Desember 1969
1.5.	Alamat Rumah	Dusun II Sindangsari, RT 08/ RW 04 Sindangsari, Natar, Lam-Sel
1.6.	Telepon	(0721) 7586969
1.7.	Nomor. HP	0852-79794487
1.8.	Alamat Kantor	Jurusan Teknik Sipil FT Unila Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung
1.9.	Nomor Telpon	0721-704947
1.10.	Email	kusumast@gmail.com
1.11.	Lulusan yang telah dihasilkan	S-2 5 orang
		S-1 10 orang
1.12.	Mata Kuliah	1. Hidrologi
		2. Hidraulika
		3. Pengembangan Sumberdaya Air
		4. Metodologi Penelitian

RIWAYAT PENDIDIKAN

2.1.	Program	S1	S2	S3
2.2.	Nama PT	Universitas Gadjah Mada	IHE, Delft, The Netherlands	University of Western Australia
2.3.	Bidang Ilmu	Teknik Sipil	Hydroinformatics	Environmental Engineering
2.4.	Tahun masuk	1989	1997	2002
2.5.	Tahun lulus	1994	1999	2007
2.6.	Judul Skripsi	Pengaruh Intensitas Hujan Terhadap Kemiringan Lereng	Application of Data Driven Modelling Techniques for Rainfall-Runoff in Natural Catchment	Effects of threshold Nonlinearities on the transformation of rainfall to runoff to floods in a lake dominated catchment system
2.7.	Nama Pembimbing	Prof. Dr. Ir. Sri Harto	Prof. Dr. Roland Price	Prof. Dr. Murugesu Sivapalan

PENGALAMAN PENELITIAN (5 Tahun terakhir)

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Rp)
1.	2013	Pengembangan Metode Prakiraan Banjir dan Sistem Peringatan Dini melalui <i>Distributed Hydrology Model</i> berbasis Sistem Informasi Geografis	DIKTI	Rp. 80.000.000
2.	2012	Pengembangan Metode Prakiraan Banjir dan Sistem Peringatan Dini melalui <i>Distributed Hydrology Model</i> berbasis Sistem Informasi Geografis	DIKTI	Rp.100.000.000
3.	2011	Dampak Perubahan Luas Daerah Tampungan pada Suatu DAS terhadap Banjir	DIPA Fakultas Teknik Unila	Rp. 5.000.000
4.	2010	Pengembangan Model Hujan Stokastik untuk Daerah Lampung	DIPA Fakultas Teknik Unila	Rp. 5.000.000
5.	2010	Pembuatan Model Tes Bendung Jabung	DIPA APBN	Rp. 50.000.000
6.	2009	Pengembangan Hidrograf Satuan terukur Pertama di Lampung; Inovasi dalam Mitigasi Bencana Banjir	DIKTI	Rp. 85.000.000
7.	2008	Analisis Banjir Rancangan Way Pegadungan	DIPA APBN	Rp. 40.000.000
8.	2007	Flood Frequency Modeling of Sungai Johor Basin, District of Kota Tinggi	Private sector from Malaysian company	Rp. 60.000.000

PENGALAMAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT (5 Tahun terakhir)

No.	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Rp)
1.	2013	Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Suoh, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung	Dikti dan CSR	Rp.225.000.000
2.	2012	Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Suoh, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung	CSR PT. Astra Honda Motor	Rp.353.000.000
3.	2011	Pendampingan Masyarakat Peningkatan Drainase Desa Sindangsari, Natar	DIPA Fakultas Teknik Unila	Rp. 5.000.000
4.	2008	Pengelolaan Sampah Dengan Metode 3R di Kelurahan Way Dadi, Sukarame, Bandar Lampung	Mandiri	Rp. 5.000.000

PENGALAMAN PENULISAN ARTIKEL DALAM JURNAL (5 Tahun terakhir)

No	Tahun	Judul Artikel	Jurnal	
			Volume	Nama Jurnal
1	2012	Time Step Issue in Unit Hydrograph for Improving Runoff Prediction in Small Catchments	Vol.4, Hal. 686-693	Journal of Water Resources and Protection
2	2012	The Impact of Changing Storage Area on Flood Magnitude and Occurrence	Vol.14, No.2, Hal.57-63	Civil Engineering Dimension
3	2010	Hydraulic Analysis of The Johor River Using HEC_RAS Software	Vol.14, No. 2, Hal 99 –	Rekayasa Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan
4	2010	Analisa Karakteristik Curah Hujan dan Kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF) di Propinsi Lampung	Volume 14, No. 1, April 2010	Rekayasa Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan
5	2009	The Impact of Within Storm Temporal Pattern on Flood Frequency; Application on A Catchment in Lampung	Vol.2, No. 3, Hal 1 – 6	IJSET
6	2009	Hydrology Analysis for the Johor River Using Synthetic Unit Hydrograph Gama I	Vol.13, No. 3	Rekayasa jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan
7	2008	Thresholds in the storm response of a chain of catchment-lake system and the occurrence and magnitude of lake overflows: implications for flood frequency	Vol.31 (2008) 1651-1661	Advances in Water Resources
8	2008	Thresholds in the storm response of a catchment-lake system and the occurrence and magnitude of lake overflows: implications for flood frequency	VOL. 44, W02438, doi: 10.1029/2006WR005628, 2008	Water Resources Research Journal
9	2007	Threshold effects in catchment storm response and the occurrence and magnitude of flood events: implications for flood frequency.	11, 1515–1528, 2007	Hydrol. Earth Syst. Sci. J., special Issue : Thresholds and Pattern Dynamics

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat

dipertanggung jawabkan secara hukum. Dan apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidak sesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima resikonya.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi pernyataan sebagai salah satu syarat pengajuan penelitian Strategis Nasional.

Bandar Lampung, 18 November 2012

Pengusul

Dr. Dyah Indriana Kusumastuti MSc.

NIP 19691219 199512 2 001

ii. ANGGOTA TIM PENELITI

1.1.	Nama	Dwi Jokowiarno, S.T., M.Sc.
1.2.	Jabatan Fungsional	Lektor
1.3.	NIP	19690321 199512 1 001
1,4,	Tempat/Tanggal Lahir	Sragen, 21 Maret 1969
1.5.	Alamat Rumah	Dusun II Sindangsari, RT 08/ RW 04 Sindangsari, Natar, Lam-Sel
1.6.	Telepon	(0721) 7586969
1.7	Nomor. HP	0852-29896969
1.8.	Alamat Kantor	Jurusan Teknik Sipil FT Unila Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung
1.9.	Nomor Telpon	0721-704947
1.10	Email	djokwin1969@hotmail.com
1.11.	Lulusan yang telah dihasilkan	S-2 1 orang
		S-1 15 orang
1.12	Mata Kuliah	1. Drainase
		2. Matematika
		3. Rekayasa Pantai
		4. Pelabuhan

RIWAYAT PENDIDIKAN

2.1.	Program	S1	S2	S3
2.2	Nama PT	Universitas Gadjah Mada	IHE, Delft, The Netherlands	
2.3.	Bidang Ilmu	Teknik Sipil Hidro	Hydraulics Engineering	
2.4	Tahun masuk	1988	1997	
2.5	Tahun lulus	1994	1998	
2.6	Judul Skripsi	Kinerja Tetrapod dan Gamapod sebagai Bahan Lapis Lindung Breakwater	Development of Teaching Exercise of Revetment	
2.7	Nama Pembimbing	Prof. Dr. Ir. Radianta Trihatmadja	Prof. H.J. Verhagen	

PENGALAMAN PENELITIAN (5 Tahun terakhir)

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Rp)
1	2010	Studi Revitalisasi Kolam Pengendapan Lumpur PT Bukit Asam Unit Pelabuhan Tarahan	PT Bukit Asam	Rp 97.000.000
2	2010	Survey Hidro-oceanografi untuk Pengembangan Pelabuhan Batu Bara PT Bukit Asam Transpacific Railways di Teluk Lampung	PT Bukit Asam Transpacific Railways	Rp 40.000.000
3	2010	Survey Bathimetri pada Jetty Eksisting PT Bukit Asam Unit Pelabuhan Tarahan untuk Penentuan Volume Pengerukan	PT Bukit Asam	Rp 25.000.000
4	2009	Survey Hidro-oceanografi pada Jetty Temporary Bargage PT Bukit Asam Unit Pelabuhan Tarahan	PT Indostrait	Rp 50.000.000
5	2009	Pengembangan Hidrograf Satuan terukur Pertama di Lampung; Inovasi dalam Mitigasi Bencana Banjir	DIKTI	Rp. 85.000.000
6	2008	Studi Sistem Tata Air (Water Management System) pada Lokasi Rencana Pembangunan Perkebunan Kelapa Sawit PT Agro Nusa Abadi Seluas 8.500 Ha di Kabupaten Morowali, Prop. Sulawesi Tengah	Astra Agro Lestari	Rp. 100.000.000
7	2008	Studi Sistem Tata Air (Water Management System) pada Lokasi Rencana Pembangunan Perkebunan Kelapa Sawit PT Subur Agro Makmur Seluas 13.173 Ha di Kabupaten Hulu	Astra Agro Lestari	Rp 100.000.000

		Sungai Selatan, Prop. Kalimantan Selatan		
8	2007	Studi Pengembangan Pelabuhan Perikanan Pantai Kota Agung Kabupaten Tanggamus Provinsi Lampung	Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Lampung	Rp 60.000.000

PENGALAMAN PENULISAN ARTIKEL DALAM JURNAL (5 Tahun terakhir)

No	Tahun	Judul Penelitian	Jurnal	
			Volume	Nama Jurnal
1	2008	Studi Pengembangan Pelabuhan Perikanan Pantai Kota Agung Kabupaten Tanggamus Provinsi Lampung	Volume 12. No.2	Jurnal Rekayasa Sipil dan Perencanaan
2.	2008	Analisis Hidrologi Way Pubian Bagian Hulu	Volume 12 No.2	Jurnal Rekayasa Sipil dan Perencanaan
3	2008	Penelitian dan Survy Genangan Untuk Perluasan Lahan Kebun Kelapa Sawit di Kecamatan Bulik Kabupaten Lamandau Kalimantan Tengah	Volume 12. No.1	Jurnal Rekayasa Sipil dan Perencanaan
4	2007	Penentuan Elevasi Permukaan Lahan Reklamasi Di Teluk Lampung,	Volume 11. No.2	Jurnal Rekayasa Sipil dan Perencanaan,

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggung jawabkan secara hukum. Dan apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidak sesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima resikonya.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi pernyataan sebagai salah satu syarat pengajuan penelitian Strategis Nasional.

Bandar Lampung, 25 April 2011
Anggota Peneliti

Dwi Jokowinarno, S.T., M. Eng.
NIP 19690321 199512 1 001

iii. ANGGOTA TIM PENELITI

IDENTITAS DIRI

1.1.	Nama	Citra Dewi, S.T., M.Eng.
1.2.	Jabatan Fungsional	-
1.3.	NIP	19820112 200812 2 001
1.4.	Tempat/Tanggal Lahir	Bandar Lampung, 12 Januari 1982
1.5.	Alamat Rumah	Jl. Hayam Wuruk No. 106, RT 004 RW II, Kel. Tanjung Agung, Kec. Tanjung Karang Timur, Bandar Lampung
1.6.	Telepon	-
1.7.	Nomor. HP	0852-28200022
1.8.	Alamat Kantor	Program Studi D3 Teknik Survei dan Pemetaan Jurusan Teknik Sipil FT Unila Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung
1.9.	Nomor Telpon	0721-704947
1.10.	Email	citra_dewi@unila.ac.id.
1.11.	Lulusan yang telah dihasilkan	D3 10 orang
1.12	Mata Kuliah	1. Model Permukaan Digital
		2. Sistem Informasi Pertanahan
		3. Kartografi Digital

RIWAYAT PENDIDIKAN

2.1.	Program	S1	S2	S3
2.2	Nama PT	Universitas Gadjah Mada	Universitas Gadjah Mada	
2.3.	Bidang Ilmu	Teknik Geodesi	Geodesi Geomatika	
2.4	Tahun masuk	2002	2008	
2.5	Tahun lulus	2004	2009	
2.6	Judul Skripsi	Tinjauan Pelaksanaan Pemetaan Situasi untuk Keperluan Perumahan di Sukabumi Bandar Lampung	Perbandingan Nilai Tanah menggunakan Model Analisis Regresi Berganda dan Jaringan Syaraf Tiruan di Kelurahan Way Lunik, Ketapang dan Way Laga, Kota Bandar Lampung	
2.7	Nama Pembimbing	Ir. Sri Narni, M.T.	Ir. Hadiman, M.Sc.	

PENGALAMAN PENELITIAN (5 Tahun terakhir)

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Rp)
1.	2010	Analisis Tingkat Penyimpangan Geometrik dan Posisi Citra <i>Google Earth</i> terhadap Peta Bandar Lampung	Pribadi	

PENGALAMAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT (5 Tahun terakhir)

No.	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Rp)
1	2012	Pelatihan Geographic Information System dan Editing Citra Satelit Dinas Pekerjaan Umum Kab.Way Kanan	BAPPEDA Kab. Way Kanan	Rp. 5.000.000,-
2	2012	Bantuan Teknis Pembuatan Peta Citra Kelurahan Talang Kec. Teluk Betung Selatan	DIPA Fakultas	Rp. 4.925.000,-

PENGALAMAN PENULISAN ARTIKEL DALAM JURNAL (5 Tahun terakhir)

No	Tahun	Judul Penelitian	Jurnal	
			Volume	Nama Jurnal
1	2012	Peranan Infrastruktur Data Spasial Nasional dalam Mendukung Kegiatan Perencanaan Pembangunan	-	Proceeding

PENGALAMAN REVIEWER/EDITOR JURNAL/PROSIDING

No	Nama Jurnal	Posisi
1		
2		

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggung jawabkan secara hukum. Dan apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidak sesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima resikonya.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi pernyataan sebagai salah satu syarat pengajuan penelitian kompetensi.

Bandar Lampung, 18 November 2012
Anggota Peneliti

Citra Dewi, S.T., M.Eng.
NIP 19820112 200812 2 001

iv. PENELITI ANGGOTA

IDENTITAS DIRI

1.1.	Nama	Siti Nurul Khotimah, S.T., M.Sc.
1.2.	Jabatan Fungsional	Asisten Ahli
1.3.	NIP	19800328 200501 2 002
1.4.	Tempat/Tanggal Lahir	Tanjung Karang/28 Maret 1980
1.5.	Alamat Rumah	Jl. Mh. Thamrin No 74 Rt 007 Gotong Royong, Bandar Lampung
1.6.	Telepon	-
1.7.	Nomor. HP	0852-28200022
1.8.	Alamat Kantor	Jurusan Teknik Sipil FT Unila Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung
1.9.	Nomor Telpon	0721-704947
1.10.	Email	Unun_salim2@yahoo.com
1.11.	Lulusan yang telah dihasilkan	S1 5 orang
1.12.	Mata Kuliah	1. Pengembangan Sumber Daya Air
		2. Irigasi
		3. Statistika
		4. Mekanika Rekayasa 1
		5. Mekanika Rekayas 2
		6. Mekanika Rekayasa 3
		7. Mekanika Bahan

RIWAYAT PENDIDIKAN

2.1.	Program	S1	S2	S3
2.2	Nama PT	Universitas Lampung	UNESCO - IHE	
2.3.	Bidang Ilmu	Teknik Sipil	Geodesi Geomatika	
2.4	Tahun masuk	1998	2009	
2.5	Tahun lulus	2003	2011	
2.6	Judul Skripsi	Analisa Statis dan Dinamis Gedung Fisip Universitas, Universitas Lampung	Best Management Practice Design and Analysis Using EPA - SUSTAIN	
2.7	Nama Pembimbing	Fikri Alami, S.T., M.Sc	Prof. Damir Bradjonovic, PhD	

PENGALAMAN PENELITIAN (5 Tahun terakhir)

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Rp)
1.	2006	Flexural Analysis of Structural Steel Strengthening Using CFRP	DUE Project	Rp. 5.000.000,-

PENGALAMAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT (5 Tahun terakhir)

No.	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Rp)
1.	2006	Penyuluhan Rumah Tahan Gempa di Kecamatan Kemiling	Dipa	Rp. 5000.000,-

PENGALAMAN PENULISAN ARTIKEL DALAM JURNAL (5 Tahun terakhir)

No	Tahun	Judul Penelitian	Jurnal	
			Volume	Nama Jurnal
1.	2006	Flexural Analysis of Structural Steel Strengthening Using CFRP	-	Proceeding
2.	2012	Desain Optimal Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan	-	Proceeding
3.	2012	Peranan Infrastruktur Data Spasial Nasional dalam Mendukung Kegiatan Perencanaan Pembangunan	-	Proceeding

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggung jawabkan secara hukum. Dan apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidak sesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima resikonya.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi pernyataan sebagai salah satu syarat pengajuan penelitian kompetensi.

Bandar Lampung, 18 November 2012

Anggota Peneliti

Siti Nurul Khotimah, S.T., M.Sc.

NIP 19800328 200501 2 002

Time Step Issue in Unit Hydrograph for Improving Runoff Prediction in Small Catchments

Dyah Indriana Kusumastuti, Dwi Jokowinarno

Department of Civil Engineering, University of Lampung, Bandar Lampung, Indonesia
Email: kusumast@gmail.com

Received May 20, 2012; revised June 20, 2012; accepted June 28, 2012

ABSTRACT

Unit hydrograph is a very practical tool in runoff prediction which has been used since decades ago and to date it remains useful. Unit hydrograph method is applied in Way Kuala Garuntang, an ungauged catchment in Lampung Province, Indonesia. To derive an observed unit hydrograph it requires rainfall and water level data with fine time scale which are obtained from automatic gauges. Observed unit hydrograph has an advantage that it is possible to derive it for various time steps including those with time step less than an hour. In order to get a more accurate unit hydrograph, it is necessary to derive a unit hydrograph with small time step for a small catchment such as those used in this study. The study area includes Way Kuala Garuntang and its tributaries, *i.e.* Way Simpur, Way Awi with areas are 60.52 km², 3.691 km², and 9.846 km² respectively. The results of this study highlight the importance of time step selection on unit hydrograph, which are shown to have a significant impact on the resulting unit hydrograph's variables such as peak discharge and time to peak.

Keywords: Unit Hydrograph; Time Step; Peak Discharge; Time to Peak

1. Introduction

The development of hydrology model in runoff prediction is very advance, in which there are several methods that can be used in runoff prediction in ungauged basin. Especially with the existence of PUB (Prediction in Ungauged Basin) [1,2], there are several supporting tools and methods which makes prediction possible in such catchments. The choice of methods and tools are based on available data in that region. The limitation of fine data such as data from radar, leave little choice to carry out prediction in some catchments. As many other catchments in many parts of the world, Way Kuala Garuntang is an ungauged catchment. There was no runoff measurements recorded before. This increasingly grows into significant matter as floods occur more frequently in this region recently [3]. It is believed that one of the best options to do runoff prediction is by taking runoff measurements [4]. Therefore this study deals with instrumenting this ungauged catchment to gain important information and carry out necessary analysis, as well as predicting runoff using observed unit hydrograph (UH) method.

Despite its conservative method, the unit hydrograph approach to rainfall-runoff modelling remains a very useful and practical approach to deal with operational

hydrological forecasting [5]. In this case UH model structure is assumed to be appropriate to represent catchment behavior by assuming two separately acting functions, *i.e.* the production and the transfer functions [5]. When a certain amount of rainfall reaches the ground, some will loss due to infiltration or others, and there remains a reduced part called the effective rainfall which then transformed into direct runoff. This runoff is then delayed and transferred to the outlet by various routing mechanisms. Unit hydrograph is a linear transfer function that represents those mechanisms with an assumption that the mechanisms behave similarly from event to event.

The choice of using observed unit hydrograph, because this method is capable in predicting time to peak of runoff more accurately as this method can do the computation for time step less than one hour. This obviously an advantage of using observed unit hydrograph compared to synthetic unit hydrographs (SUH) such as Nakayasu, GAMA I and Snyder and other kind of SUH which have time step of hour [6-9]. Time step becomes an issue here as the selected catchments are small catchments less than 100 km² of area, which may need short time concentration for the flow to propagate to the outlet. Hence, this study aims to investigate the impact of time

step selection in resulting unit hydrograph.

2. Methodology

2.1. Description of Study Area

The work took place in Way Kuala Garuntang catchment including its two sub-catchments, Way Simpbur and Way Awi as presented in **Figure 1**). Way Simpbur and Way Awi are two neighbouring sub-catchments, while those two sub-catchments are cascading to Way Kuala Garuntang catchment. The catchments located in Lampung Province, Indonesia. The area of Way Simpbur, Way Awi and Way Kuala Garuntang catchments are 3.691 km², 9.846 km² and 60.52 km² respectively. Three runoff measurements were carried out, two in the tributaries *i.e.* Way Simpbur, Way Awi and one in the downstream of Way Kuala Garuntang River. There is no runoff measurements in these catchments before. In order to construct an observed unit hydrograph, several things need to be prepared. Three automatic water level recorder (AWLR) needs to be installed in those locations, one for each point. There is one tipping bucket raingauge located in Way Kuala Garuntang catchment and the rainfall data obtained from this raingauge is used to calculate the unit hydrographs for each catchment.

The topography of upstream part of the catchment is hilly and the slope is flatter toward downstream catchment. Way Simpbur and Way Awi, they are neighbouring catchments but the catchment characteristic is slightly different. Way Awi catchment is highly populated where their house is located close to each other, therefore most rainfall is transformed into runoff. During intense storm event, flood comes quickly, but then releases in short

period of time. The channel width varies, where the width at the location study is 8 meters. Way Simpbur is also a rural catchment and highly populated. The slight difference is during intense storm event, flood comes quickly but releases slight longer period of time compared to release time in Way Awi. The channel width at the location of study in Way Simpbur is 7.5 meters and in Way Kuala Garuntang the river has 9 meters width.

2.2. Rating Curves

Measurements of discharges and water levels at those three points were carried out during wet season October 2009-April 2010. Velocities were measured using current meter and water levels were observed using peil-schaal attached on the river bank. Based on those measurements, a rating curve for each point is determined and results are presented in **Figure 2**. Rating curve for Way Simpbur (**Figure 2(a)**) shows the increase of water levels resulted in lower increase of discharges compared to that for Way Awi (**Figure 2(b)**), which is presented by sharper slope of Way Awi's rating curve. Please note that the scales of rating curves for both Way Simpbur and Way Awi are the same, but differ from those of rating curve for Way Kuala Garuntang. Rating curve for Way Kuala Garuntang (**Figure 2(c)**) shows the extensive range of discharges, which in the measurement for 1.2 m water level causes discharge of about 25 m³/s.

2.3. Effective Rainfall

This study used a classic ϕ_{index} approach to determine the effective rainfalls. Although there are quite a number of approaches used to determine the effective rainfalls such

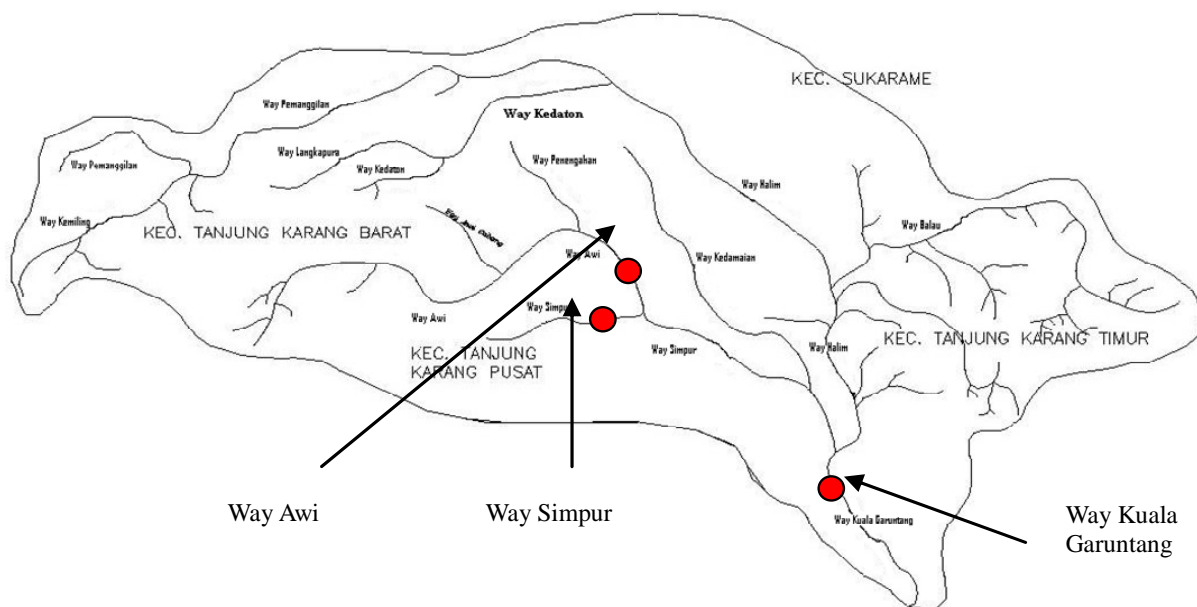


Figure 1. Way Simpbur, Way Awi and Kuala Garuntang catchments and the locations of the runoff gauges.

as Green Ampt infiltration and others, ϕ_{index} approach is still widely used due to its simplicity. The approach produces a series of excess rainfall (PE) or effective rainfall values from the observed gross rainfall (PG) values. The only constraint is to fit the overall so-called “stormflow” volume which is thought to have become runoff. Subsequently, the computed series of excess precipitation and the observed discharge (Q) are used to calibrate the UH in a ‘known input known output’ context [5].

The equation used to calculate ϕ_{index} is shown in Equations 1 and 2, where runoff depth (Q_{DR}) is a result of volume of direct runoff (V_{DR}) divided by catchment area (A). Thus ϕ_{index} is the difference between gross rainfall (P) and runoff depth (Q_{DR}) divided by time (t). Excess precipitation or effective rainfalls are obtained as gross precipitation subtracted by ϕ_{index} .

$$Q_{DR} = \frac{V_{DR}}{A} \tag{1}$$

$$\phi_{index} = \frac{P - Q_{DR}}{t} \tag{2}$$

3. Results and Discussions

3.1. Flood Events, Time Steps and ϕ_{index}

There are several flood events recorded during wet season 2009-2010, and the events are presented in Tables 1 to 3 for flood events selected for Way Simpur catchment (Table 1), Way Awi catchment (Table 2), and Way Kuala Garuntang catchment (Table 3). For each event, other related parameters such as rainfall depth, rainfall duration, calculated ϕ_{index} are also presented. Please note that the calculated ϕ_{index} are for three time steps, *i.e.* 10, 30 and 60 minutes.

It can be seen that the first recorded flood event was in December, although the start of wet season is in October. This happened because the first few rains were mostly infiltrated to fulfill soil moisture capacity. Furthermore, flood events presented in Table 1 to Table 3 are those which can be used to develop unit hydrograph. The advantage of using observed unit hydrograph to synthetic unit hydrograph such as Nakayasu, Snyder and GAMA 1, is the possibility to develop a unit hydrograph with finer

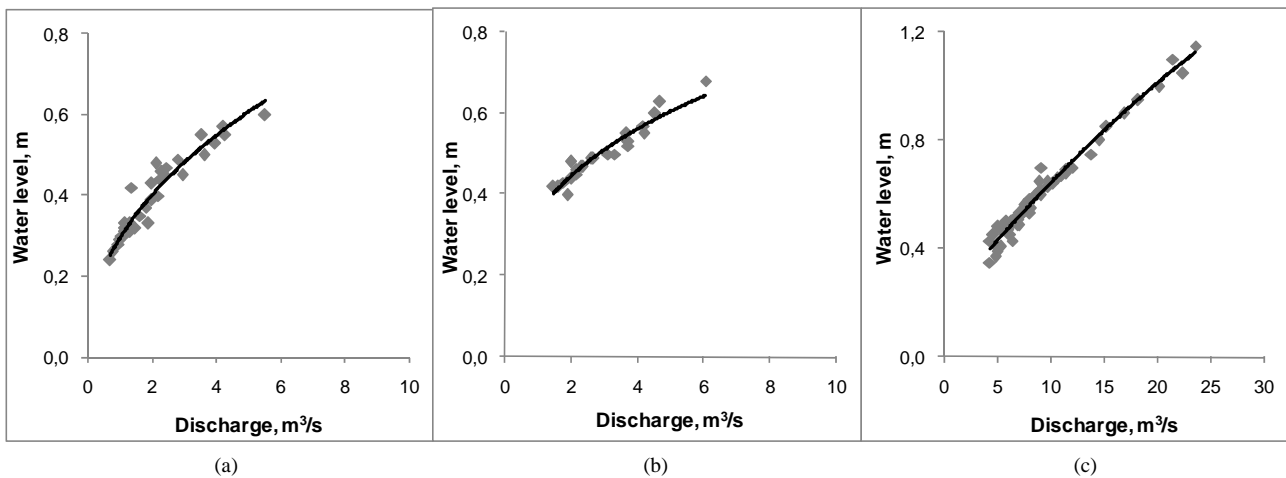


Figure 2. Rating curves for (a) Way Simpur; (b) Way Awi; and (c) Way Kuala Garuntang.

Table 1. Flood events selected for Way Simpur catchment.

No.	Date	Peak Discharge (m ³ /sec)	Rainfall Depth (mm)	Rainfall Duration (hours)	ϕ_{index} Time step 1 hr	ϕ_{index} Time step 30 min	ϕ_{index} Time step 10 min
1	16-01-2010	3.453	8	1	7.617	6.012	5.544
2	17-01-2010	6.437	6	1	5.225	2.908	-
3	17-01-2010	4.050	5.6	1	4.511	3.024	2.591
4	31-01-2010	3.769	10.8	2	9.273	4.044	2.006
5	01-02-2010	20.015	22.2	2	7.622	-	-
6	04-02-2010	2.705	7.2	1	4.676	2.768	-
7	06-02-2010	1.339	2.8	1	2.554	1.854	0.757

Table 2. Flood events selected for Way Awi catchment.

No.	Date	Peak Discharge (m ³ /sec)	Rainfall Depth (mm)	Rainfall Duration (hours)	ϕ_{index} Time step 1 hr	ϕ_{index} Time step 30 min	ϕ_{index} Time step 10 min
1	08-01-2010	21.693	7.4	1	6.346	4.025	2.517
2	16-01-2010	17.354	7	1	5.640	3.038	3.147
3	17-01-2010	19.043	6.2	1	2.589	5.251	4.364
4	12-02-2010	14.426	8.6	2	6.170	4.965	2.868

Table 3. Flood events selected for Way Kuala Garuntang catchment.

No.	Date	Peak Discharge (m ³ /sec)	Rainfall Depth (mm)	Rainfall Duration (hours)	ϕ_{index} Time step 1 hr	ϕ_{index} Time step 30 min	ϕ_{index} Time step 10 min
1	25-12-2009	12.770	28.4	1	26.746	25.734	16.044
2	28-12-2009	31.426	10.2	1	5.315	3.717	1.259
3	31-12-2009	9.413	9.4	1	8.484	8.347	4.541
4	08-01-2010	14.111	7.4	1	5.826	1.790	4.506
5	10-01-2010	26.606	31.6	4	10.076	-	-
6	13-01-2010	9.413	8.6	2	3.372	2.381	0.982
7	14-01-2010	19.509	5.8	1	3.184	2.44	-
8	16-01-2010	21.089	8	1	4.744	3.406	3.320
9	20-01-2010	19.234	8.2	1	5.516	5.646	2.216
10	27-01-2010	48.232	44.6	2	35.135	25.128	11.431
11	28-01-2010	15.205	19.6	1	18.054	18.053	12.834
12	01-02-2010	38.442	22.2	2	18.337	10.393	-
13	04-02-2010	23.164	7.2	1	3.935	1.832	0.700
14	05-02-2010	47.388	14	3	5.594	2.351	-
15	08-03-2010	28.895	15.8	1	13.869	6.698	-
16	10-03-2010	30.537	18.8	2	7.031	-	-
17	13-03-2010	11.889	5.6	1	3.071	2.253	1.792

time step, *i.e.* less than 1 hour. In this study time steps of 10, 30 and 60 minutes are used as presented in **Tables 1-3** and **Figures 4-6**.

Calculated ϕ_{index} for each event and time step are presented in the last three columns of **Tables 1-3**. The first event which is in December 25, 2009 shows large value of ϕ_{index} , which can be understood as a lot of portion of rains were infiltrated. The value of ϕ_{index} decreases for the next few events, but increases considerably for these subsequent events of 27-01-2010, 28-01-2010 and 1-02-2010 and again on 8-03-2010. Therefore, it cannot be concluded that the value of ϕ_{index} will decrease toward the peak of wet season (*i.e.* in January-March). In fact, the value of ϕ_{index} is defined in such a way that the computed series of excess precipitation suitable with the observed

discharge. In contrast to the absence of trend of ϕ_{index} values in the flood events, the value of ϕ_{index} tends to decrease for smaller time step.

The results presented in **Tables 1-3** and **Figures 4-6** show that not all events which can be used to develop unit hydrographs for a certain time step can be used to develop those for smaller time steps. This may happen as the within storm rainfall pattern (distribution of rainfall depth for each time step) is more detail for smaller time step, so that for particular rainfall is not possible to get the ϕ_{index} and volume of effective rainfall which fit runoff volume. This may also due to the selected method for calculating effective rainfall which uses a linear approach rather than non-linear approach such as Green-Apmt or other methods.

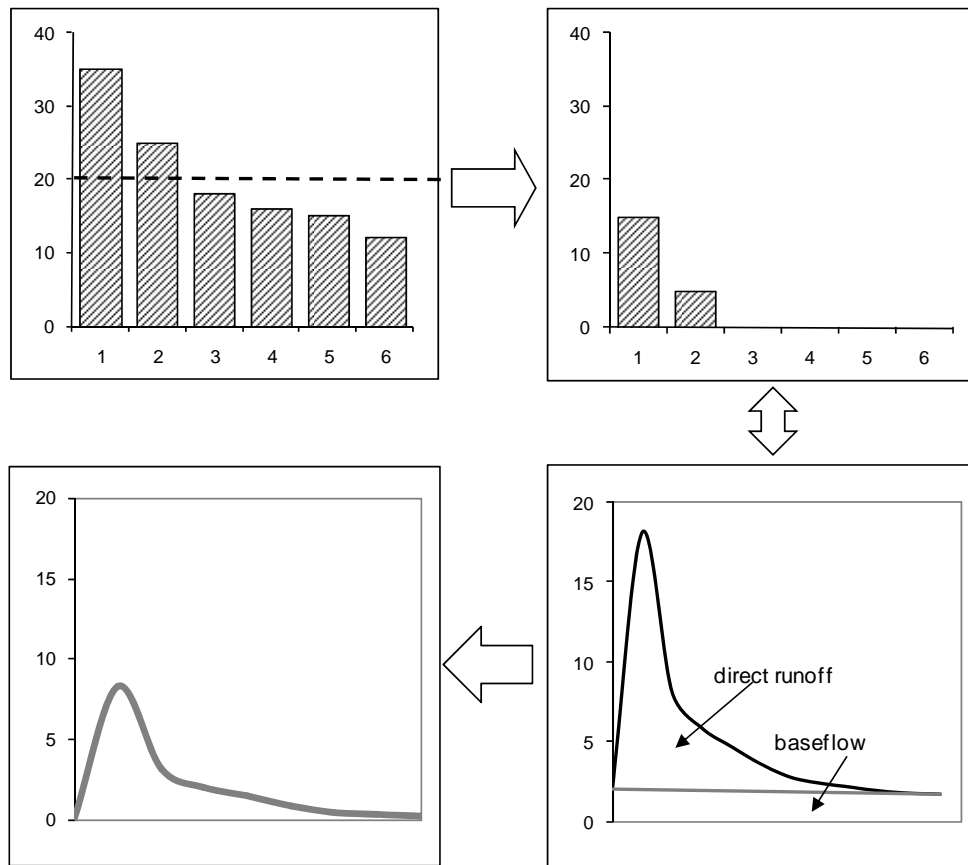


Figure 3. Effective rainfall, baseflow separation and unit hydrograph.

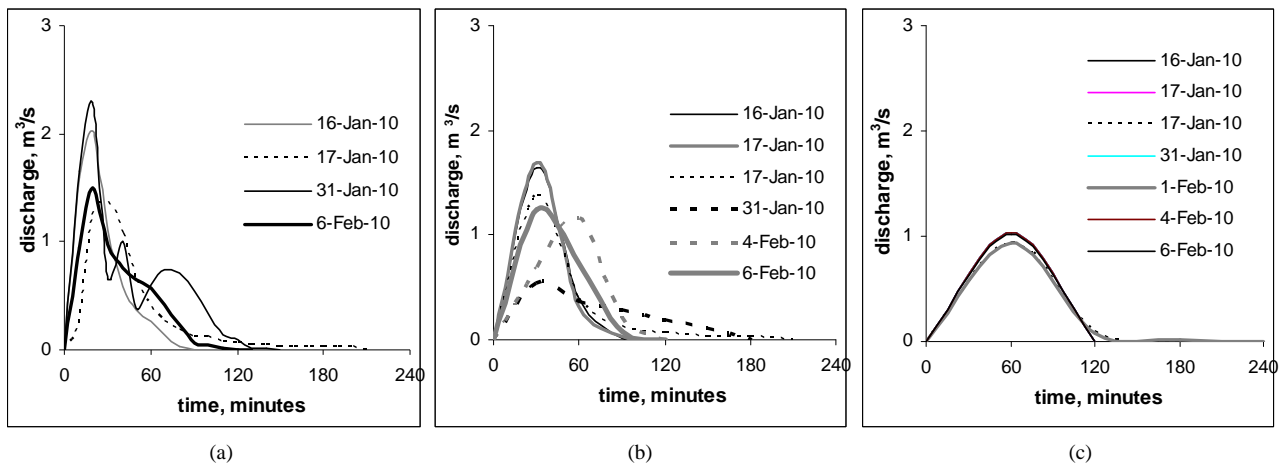


Figure 4. Observed unit hydrographs for Way Simpur using time steps (a) 10; (b) 30; and (c) 60 minutes.

3.2. Time Steps and Time to Peak

The unit hydrographs developed are presented in Figures 4-6, where Figures 4-6 show unit hydrographs of Way Simpur, Way Awi and Way Kuala Garuntang respectively. For each catchment, the unit hydrograph is developed for time step 10, 30 and 60 minutes. The advantage of using small time step is to gain an understanding

about the real time to peak for the catchment. For the case of Way Simpur (Figure 4), using time step of 10 minutes it can show that the average time to peak in that catchment is 20 minutes. While using time step of 30 and 60 minutes show that the averages of time to peak are 30 and 60 minutes respectively. Among those three time steps, it seems that time to peak resulted from time step of 10 minutes is the most reasonable as the catchment is

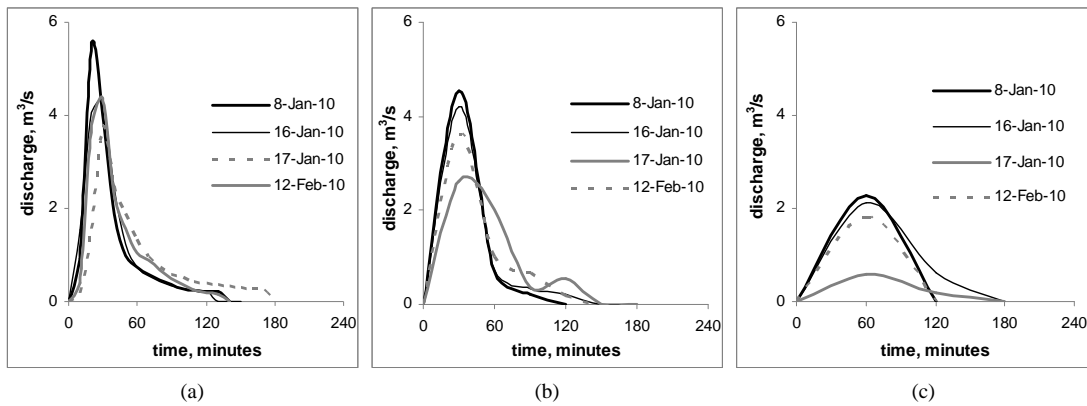


Figure 5. Observed unit hydrographs for Way Awi using time steps (a) 10; (b) 30; and (c) 60 minutes.

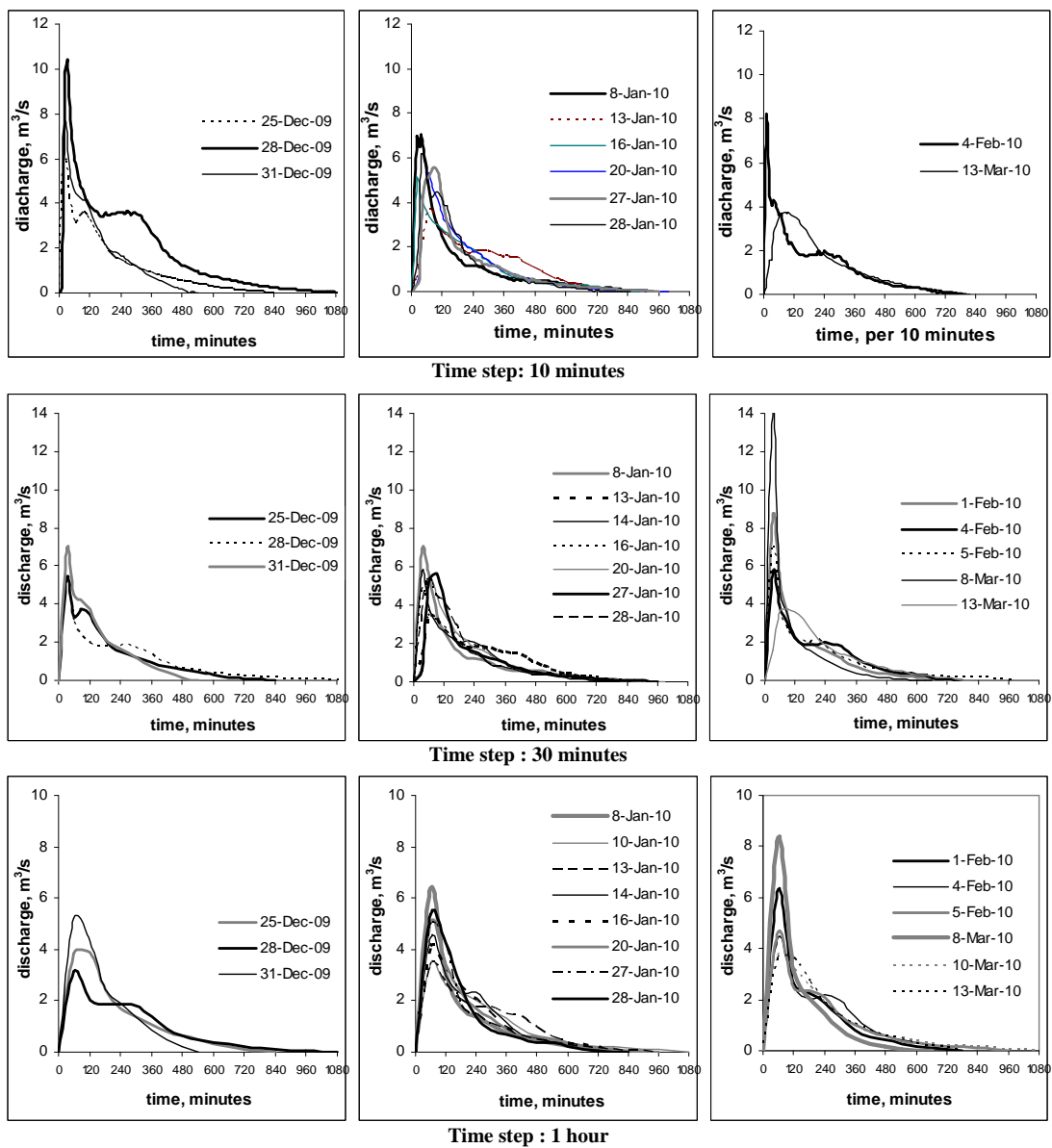


Figure 6. Observed unit hydrographs for Way Kuala Garuntang according to the months using time steps 10, 30 and 60 minutes.

considered small.

For Way Awi (**Figure 5**), using different time steps also show different results for time to peak. Using time step of 10, 30 and 60 minutes resulted in average time to peak of 30, 30 and 60 minutes respectively. Again, smaller time step gives more reasonable results in indicating time to peak.

For Way Kuala Garuntang, in addition to time step, the unit hydrographs are also made into three groups according to the months. The groups are for December, January, as well as February and March events (**Figure 6**). The average time to peak for time step of 10 minutes is 30, 60 and 60 minutes for December, January and February-March events respectively. While the average time to peak for time steps of 10 minutes for overall events is 60 minutes. For time step of 30 minutes, the average time to peak is 30, 60, 60 and 60 minutes for December, January, February-March and overall events respectively. The average time to peak for time step of 60 minutes is 60 minutes for December, January, February-March and overall events. For a larger catchment such as Way Kuala Garuntang, smaller time steps confirm time to peak as resulted from larger time step. In this case, it is predicted that the appropriate time to peak for Way Kuala Garuntang is 60 minutes.

3.3. Time Steps and Peak Discharges

In addition to time to peak, another important issue with regard to unit hydrograph is the peak discharge. For Way Simpung (**Figure 4**) peak discharges for all time steps are in the range of 0.5 - 2.4 m³/s, where the average peak discharges for time steps 10, 30 and 60 minutes are 1.8 m³/s, 1.2 m³/s and 1 m³/s respectively. Please note that in fact there are seven peak discharges in the unit hydrographs for Way Simpung using time step 60 minutes (**Figure 4(c)**), which seems to be sorted into two groups because five of them are in the range of 1.023 - 1.028 m³/s and the other two are 0.931 and 0.937 m³/s. Therefore it looks like there are only two curves as the outcome of seven flood events (**Figure 4(c)**).

For Way Awi (**Figure 5**) the average peak discharges for time steps 10, 30 and 60 minutes are 4.1 m³/s, 3.7 m³/s and 1.8 m³/s respectively. The results show the smaller the time step the larger the peak discharge. This happens because only selected flood events which have high rainfall intensity during short time interval are able to be utilized in constructing unit hydrograph. Therefore, the rainfall intensity is larger at smaller time step which impacts on larger peak discharge.

The average peak discharges for Way Kuala Garuntang for December, January and February-March events (**Figure 6**) using time step 10 minutes are 7.7 m³/s, 4.5 m³/s and 4.2 m³/s respectively, using time step 30 min-

utes are 5.8 m³/s, 4.7 m³/s and 7.4 m³/s respectively and using time step 60 minutes are 4 m³/s, 4.6 m³/s and 5.2 m³/s respectively. While the trend of average peak discharges seem opposite for time step 10 minutes, the trend of those for other time steps shows there is an increase of average peak discharges toward the peak of wet season. For February-March flood events there were only two out of six flood events which were able to be utilized in unit hydrograph using time step 10 minutes, and there were only six out of eight events for January flood events could be utilized for 10 minute time step hydrograph. Meanwhile, all three flood events in December could be used for 10 minute time step hydrograph. Therefore the results from using time step 10 minutes show inconsistent trend with regard to the wetter season as the lack of data.

3.4. The Average of Unit Hydrographs for Different Time Steps

Comparing the results between those three catchments there is a general trend of average peak discharge, *i.e.* the higher the time step, the lower the average peak discharge (**Figure 7**). This trend does not fully work for Way Garuntang as the peak discharge using time step 10 minutes is lower compare to that using time step 30 and 60 minutes. Considering overall events for Way Kuala Garuntang, average peak discharges for time steps 10, 30 and 60 minutes are 4.64 m³/s, 5.2 m³/s and 4.7 m³/s. Although in nearly all unit hydrographs, peak discharges resulted from using time step 10 minutes are larger compared to peak discharges resulted from using larger time step. This may happen because the method in calculating the average peak discharge is so simple, that is simply taking the average of the events for particular time step, both for the discharge and time to peak. Furthermore, peak discharge is closely related to time to peak. Using small time step, time to peak may vary significantly between 10 to 60 minutes. Considering peak discharges which occur at various time to peak, this may result in low average of peak discharge as in the case of average peak discharge of Way Kuala Garuntang using time step 10 minutes.

4. Conclusions

This study shows the impact of time steps on unit hydrographs with regard to time to peaks and peak discharges. In general, smaller time step gives more accurate resulted unit hydrographs. It was observed that the average time to peaks for Way Simpung are 20, 30 and 60 minutes using time steps 10, 30 and 60 minutes respectively. The average time to peaks for Way Awi are 30, 30 and 60 minutes using time steps 10, 30 and 60 minutes respectively. And the average time to peaks for Way Kuala Garuntang are

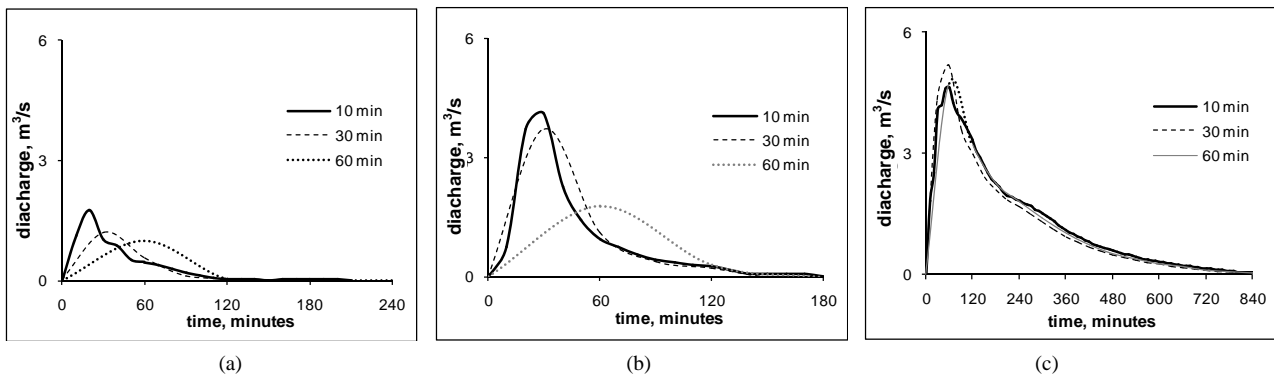


Figure 7. Average of unit hydrographs for time steps 10, 30 and 60 minutes for catchments (a) Way Simpur; (b) Way Awi; and (c) Way Garuntang.

60, 60 and 60 minutes using time steps 10, 30 and 60 minutes respectively.

Time steps used in determining unit hydrographs may produce different peak discharges. The results show that the trend of peak discharges increases by using smaller time step. However, the average peak discharge provided by using time step 10 minutes for Way Kuala Garuntang does not correspond with the trend. For several flood events used in determining unit hydrographs, the time to peaks and corresponding peak discharges using time step 10 minutes vary considerably. Therefore the averaging of those variables causes the average value of peak discharge is not maximum.

In addition to that, the resulted unit hydrographs also show that the trend of peak discharges increases toward wetter months during the wet season. However, the peak discharges resulted from using time step 10 minutes do not show this trend due to limited number of flood events which could be used to calculate the unit hydrograph using such small time step.

5. Acknowledgements

This study was supported by National Strategic Research Funding 2009 and 2012 under Department of Research and Community Service, Department of Higher Education Indonesia (DIKTI).

REFERENCES

- [1] M. Sivapalan, J. Schaake and J. Sapporo, "PUB Science and Implementation Plan V5," 2003. http://pub.iwmi.org/UI/Images/PUB_Science_Plan_V_5.pdf
- [2] M. Sivapalan, K. Takeuchi, S. Franks, V. K. Gupta, H. Karambiri, V. Lakshmi, X. Liang, J. McDonnell, E. Mendiondo, E. P. O'Connell, T. Oki, J. W. Pomeroy, D. Schertzer, S. Uhlenbrook and E. Zehe, "IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 2003-2012: Shaping an Exciting Future for the Hydrologic Sciences," *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 48, No. 6, 2003, pp. 857-880. [doi:10.1623/hysj.48.6.857.51421](https://doi.org/10.1623/hysj.48.6.857.51421)
- [3] D. I. Kusumastuti, "The Impact of Rainfall Variability and Hydrological Regimes on Flood Frequency," *Proceedings International Seminar on Water Related Risk Management*, Jakarta, 15-17 July 2001, pp. 114-122.
- [4] J. Seibert and K. Beven, "Gauging the Ungauged Basin: How Many Discharge Measurements are Needed?" *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 13, 2009, pp. 883-892. [doi:10.5194/hess-13-883-2009](https://doi.org/10.5194/hess-13-883-2009)
- [5] D. Duband, Ch. Oblend and J. Y. Rodriguez, "Unit Hydrograph Revisited: An Alternate Iterative Approach to UH and Effective Precipitation Identification," *Journal of Hydrology*, Vol. 150, No. 1, 1993, pp. 115-149. [doi:10.1016/0022-1694\(93\)90158-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90158-6)
- [6] D. K. Natakusumah, D. Harlan and W. Hatmoko, "A General Procedure for Development of ITB-1 and ITB-2 Synthetic Unit Hydrograph Based on Mass Conservative Principle," *Proceedings International Seminar on Water Related Risk Management*, Jakarta, 15-17 July 2001, pp. 131-136.
- [7] B. Sri Harto, "Study of the Unit Hydrograph Basic Characteristics of Rivers on the Island of Jawa for Flood Estimation," Doctoral Thesis, Gadjah Mada University, Jakarta, 1985.
- [8] A. B. Safarina, "Reliability of Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph in Various Watershed Area," *Proceedings International Seminar on Water Related Risk Management*, Jakarta, 15-17 July 2001, pp. 123-130.
- [9] S. K. Jena and K. N. Tiwari, "Modeling Synthetic Unit Hydrograph Parameters with Geomorphologic Parameters of Watersheds," *Journal of Hydrology*, Vol. 319, No. 1-4, 2006, pp. 1-14. [doi:10.1016/j.jhydrol.2005.03.025](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.03.025)

**LAPORAN
PENELITIAN STRATEGIS NASIONAL**

**Pengembangan Metode Prakiraan Banjir dan Sistem Peringatan
Dini melalui *Distributed Hydrology Model* berbasis Sistem
Informasi Geografis**

**Dr. Dyah Indriana Kusumastuti, MSc
Dwi Jokowiarno, S.T., M.Eng
Citra Dewi, S.T., M.Eng.**



**UNIVERSITAS LAMPUNG
NOVEMBER 2012**

ABSTRAK

Banjir merupakan suatu respon Daerah Aliran Sungai (DAS) terhadap hujan dimana karakteristik DAS sangat mempengaruhi keluaran debit dari DAS tersebut. Untuk mendapatkan gambaran yang detil tentang respon DAS tersebut, maka pemodelan yang dilakukan harus mencakup skala spasial dimana DAS harus dibagi menjadi beberapa Sub DAS kecil; semakin kecil *spatial scale* yang diambil, semakin teliti hasil yang diperoleh. Metodologi penelitian pada tahun pertama meliputi: (1) pengembangan hidrograf satuan terukur (HST) untuk beberapa DAS di Kota Bandar Lampung yang mewakili, seperti misalnya *cascade hydrograph* (HST pada masing-masing sub DAS hulu, tengah dan hilir pada satu sistem DAS) maupun *neighbouring hydrograph* (HST pada beberapa DAS yang berdekatan), (2) deliniasi DAS dan Sungai di Bandar Lampung, (3) pembuatan hidrograf satuan sintetis (HSS) untuk masing-masing sub DAS di Bandar Lampung dengan menggunakan metode HSS Gamma 1 dan HSS Nakayasu.

Deliniasi DAS dan Sungai yang disajikan dalam bentuk Sistem Informasi Geografis (SIG) menunjukkan Kota Bandar Lampung memiliki 14 DAS. Dimana dalam penelitian tahun pertama dikhususkan hanya untuk prakiraan banjir pada dua DAS terbesar, yaitu: DAS Way Kuala Garuntang (memiliki 11 Sub DAS) dan DAS Way Kuripan (memiliki 4 Sub DAS).

Baik HST maupun HSS diturunkan untuk *cascade hydrograph* dan *neighbouring hydrograph*. Dengan Hidrograf Satuan tersebut akan terlihat karakteristik banjir seperti debit puncak, waktu puncak dan waktu dasar. Hasil pengembangan HSS Gamma 1 dan Nakayasu yang berbasis SIG menunjukkan pola untuk DAS yang memiliki luasan yang lebih besar lebih cocok digunakan HSS Gamma 1 sedangkan untuk DAS dengan luasan lebih kecil, lebih cocok digunakan metode HSS Nakayasu.

Untuk penelitian Tahun berikutnya (Tahun Kedua) Pemodelan hidrologi berbasis *Distributed Hydrology Model* akan dilakukan untuk menentukan karakteristik banjir dengan memperhatikan tata guna lahan (*land use*) menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk kondisi eksisting dan kondisi di masa depan ketika terjadi perubahan *land use*. Secara umum penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi terhadap problema banjir dengan memberikan metode prakiraan dan sistem peringatan dini. Hasil penelitian ini diharapkan akan memberikan kontribusi terhadap manajemen DAS dan pengendalian banjir.

Keywords : banjir, DAS, hidrograf satuan terukur, hidrograf satuan sintetis, *Sistem Informasi Geografis*, *cascade hydrograph*, *neighbouring hydrograph*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di Indonesia, banjir merupakan bencana yang setiap tahun terjadi, dimana dalam beberapa tahun terakhir intensitas dan frekuensinya semakin meningkat. Bahkan banjir juga terjadi pada beberapa tempat yang belum pernah terjadi banjir sebelumnya. Kerugian yang disebabkan banjir baik material maupun immaterial sangat tak ternilai harganya. Untuk mengurangi dampak akibat banjir, perlu diberikan suatu informasi tentang respon banjir pada daerah tersebut yang meliputi waktu puncak, debit puncak serta waktu dasar yang merupakan karakteristik banjir dan juga merupakan karakteristik hidrograf. Jika karakteristik hidrograf untuk suatu DAS diperoleh, maka akan dapat diprediksi seberapa besar banjir yang terjadi, kapan banjir akan datang, dan berapa lama banjir akan menggenang.

Awalnya, pemodelan hidrologi untuk mengembangkan hidrograf satuan, baik itu hidrograf satuan terukur (HST) maupun hidrograf satuan sintetis (HSS), termasuk dalam *lumped model*, karena asumsi bahwa hujan terjadi merata di seluruh DAS dengan intensitas dan durasi yang sama. Agar HST dapat dikembangkan pada *spatial scale* yang lebih kecil, misalnya pada sub DAS, maka dibutuhkan data spasial DAS yang meliputi topografi, *land use* serta tutupan vegetasi yang bisa didapatkan dari sistem informasi geologis. Berdasarkan HST yang dikembangkan pada beberapa sub DAS baik itu *cascade catchment* (bagian DAS yang saling berturutan, misalnya bagian hulu, tengah dan hilir yang masih dalam satu sistem DAS) maupun *neighboring catchment* (DAS yang letaknya berdekatan tapi dalam sistem DAS yang berbeda), maka akan ditentukan karakteristik hidrograf pada sub DAS lain berdasarkan *hydrologic similarity* berbasis kondisi setempat.

Lebih lanjut, pengembangan ilmu hidrologi ini bisa diaplikasikan untuk memberikan manfaat pada masyarakat dan lingkungan. Sebagai contoh, pemahaman menyeluruh mengenai pembangkitan aliran sungai sangat penting untuk prediksi debit, dimana prediksi debit ini sangat penting dalam perencanaan tata guna lahan, perancangan bangunan

pengendali banjir, konstruksi dan operasi bendung. Demikian juga, sifat alami dari tampungan dan drainasi air pada lereng (*hillslope*) mempunyai implikasi yang penting pada kestabilan lereng, erosi, dan aspek geomorfologi terkait.

1.2. Tujuan Khusus

Secara umum tujuan penelitian ini untuk mengembangkan suatu metode prediksi banjir serta sistem peringatan dini di kota Bandar Lampung. Sedangkan tujuan khusus penelitian yaitu untuk:

- a. Mengembangkan hidrograf satuan terukur untuk beberapa DAS di Bandar Lampung, yang mewakili *cascade observed unit hydrograph* (HST pada sub DAS bagian hulu, tengah maupun hilir DAS pada satu sistem DAS yang sama) maupun *neighbouring observed unit hydrograph* (HST pada DAS yang letaknya berdekatan tapi dalam sistem DAS yang berbeda).
- b. Mendelineasi DAS maupun sub DAS di Bandar Lampung dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG)
- c. Mengembangkan hidrograf satuan sintetis (HSS) untuk dua DAS besar di Bandar Lampung beserta sub-DASnya.
- d. Membandingkan karakteristik banjir yang diperoleh, waktu puncak, debit puncak dan waktu dasar, dari HST maupun HSS.

1.3. Urgensi (Keutamaan) Penelitian

Prediksi banjir dan sistem peringatan dini merupakan hal utama yang diperlukan di dalam pengelolaan bencana banjir. Metode yang dikembangkan untuk prediksi banjir melibatkan model hidrologi. Pemilihan model hidrologi yang tepat sangat tergantung pada data yang tersedia serta *output* yang diinginkan. Data hidrometri serta meteorologi di Indonesia masih belum banyak, bahkan masih banyak *ungauged catchment* atau DAS yang tidak memiliki data pengukuran. Jika dikembangkan *physically based-fully distributed hydrological model* akan mengalami banyak kesulitan karena model tersebut sangat tergantung pada tersedianya data terukur secara spatial maupun temporal dengan kerapatan data yang cukup tinggi. Data semacam ini biasanya didapat dari *Remote Sensing* dengan bantuan satelit. Oleh karena secara umum data tersebut susah diperoleh, maka model hidrologi yang lebih cocok untuk dikembangkan di daerah-daerah di Indonesia adalah

conceptual model atau *semi-distributed model*. *Distributed model* juga dapat dikembangkan sebagai peningkatan dari *conceptual model* atau *semi-distributed model* dengan melibatkan data dari sistem informasi geografis. Dalam penelitian ini dikembangkan *distributed hydrology model*. Model tersebut dapat digunakan untuk melakukan prediksi banjir dengan baik dengan data yang tersedia ditambah dengan pengukuran langsung di lapangan baik untuk data variabel aliran maupun data hujan. Metode prediksi banjir dengan menggunakan *distributed hydrology model* ini dapat dikembangkan menjadi sistem peringatan dini dengan menghubungkan alat pengukur hujan maupun alat ukur aliran otomatis secara *online*. Sehingga berdasarkan *real time* data serta hasil prediksi tersebut terbentuklah sistem peringatan dini banjir.

Distributed hydrology model yang akan dikembangkan dalam penelitian ini adalah pada mulanya berupa pengembangan Hidrograf Satuan Terukur (HST). Hidrograf satuan terukur merupakan hidrograf limpasan langsung yang disarikan dari hidrograf aliran. Hidrograf aliran merupakan bagian yang sangat penting dalam mengatasi masalah-masalah yang berkaitan dengan hidrologi. Sebab hidrograf aliran dapat menggambarkan suatu distribusi waktu dari aliran permukaan di suatu tempat pengukuran dan menentukan keanekaragaman karakteristik fisik DAS. Idealnya, setiap DAS memiliki hidrograf satuan terukur. Namun karena keterbatasan data, maka pada saat ini banyak dipakai Hidrograf Satuan Sintetik (HSS), yaitu hidrograf satuan yang tidak berdasarkan data terukur namun menggunakan suatu pendekatan terhadap karakteristik DAS (Kusumastuti, 2008a). Ada beberapa model Hidrograf Satuan Sintetis, di antaranya HSS Snyder (Amerika), HSS Nakayasu (Jepang), dan HSS Gama I (Jawa). Hanya saja, pendekatan yang dikembangkan dalam metode tersebut dikembangkan berdasarkan kondisi DAS setempat.

Arti penting pengukuran untuk mendapatkan data primer baik data aliran maupun data hujan telah ditekankan pada penelitian sebelumnya. Data hidrologi daerah setempat (data primer) akan membantu memahami kondisi DAS setempat serta respon DAS terhadap hujan (Kusumastuti, 2008b). Proses transformasi hujan menjadi aliran pada suatu DAS sangat dipengaruhi oleh kondisi geografi, topografi, serta sifat hujan (Kusumastuti dkk, 2007; 2008a; 2008b, Kusumastuti 2008a; 2008b). Suatu metode yang akurat yang dapat dijadikan pedoman di dalam melihat respon suatu DAS terhadap bahaya banjir adalah

dengan hidrograf satuan (Kusumastuti, 2008a).

Hidrograf Satuan memiliki karakter sebagai suatu *lumped model* karena anggapan yang digunakan bahwa hujan terjadi merata di seluruh DAS dengan intensitas hujan yang tetap dan durasi yang sama. Untuk meningkatkan model tersebut agar menjadi *distributed hydrology model*, maka dipadukanlah hasil yang didapat dari Hidrograf satuan dengan sistem informasi geografis. Selain oleh sifat hujannya, karakteristik banjir juga dipengaruhi oleh karakteristik DAS. Informasi tadi dapat diperoleh melalui sistem informasi geografis. Informasi ini yang nantinya akan digunakan untuk melakukan prediksi banjir DAS-DAS yang tidak dilakukan pengukuran dengan pendekatan *hydrologic similarity*. Output yang dihasilkan dari penelitian tahun pertama ini yaitu prediksi respon banjir pada DAS di Bandar Lampung berdasarkan analisis empiris HST melalui *cascade observed unit hydrograph* maupun *neighbouring observed unit hydrograph*. Prediksi banjir akan sangat membantu bagi penduduk setempat, para pengambil kebijakan maupun pemerintah daerah dalam mengambil tindakan-tindakan preventif yang diperlukan maupun untuk perencanaan di masa depan.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberi manfaat antara lain:

- a. Pemecahan permasalahan banjir secara kuantitatif, komprehensif dan bertahap, yang dimulai dengan pembuatan hidrograf satuan terukur. Hal ini dikaitkan dengan fakta ketika bencana banjir di Bandar Lampung pada tanggal 18 Desember 2008, tidak terdapat data terukur semisal data hujan dan data aliran yang cukup handal, sedemikian rupa sehingga pemecahan permasalahan banjir masih berupa kualitatif. Dari Penelitian Strategis Nasional yang Pengusul lakukan pada tahun 2009 terukur bahwa terbesar pada tahun 2009 adalah yang bertepatan dengan tahun baru imlek dengan kedalaman hujan sebesar 76mm, dengan durasi yang relatif pendek.
- b. Mengetahui karakteristik hujan dan respon DAS dengan mengembangkan *cascade hydrograph* yaitu pengembangan Hidrograf satuan pada bagian hulu, tengah, dan hilir pada suatu DAS.
- c. Mengetahui karakteristik hujan dan respon DAS dengan pembuatan *neighboring hydrograph* yaitu pengembangan Hidrograf satuan pada bagian hulu, tengah, dan hilir pada DAS yang lain yang letaknya berdekatan.

- d. Mengelaborasi lebih lanjut keterkaitan antara HST yang didapat dari pengembangan *cascade hydrograph* dan *neighboring hydrograph* dengan kurva IDF (Intensitas-Durasi-Frekuensi), sehingga watak banjir pada DAS di Bandar Lampung bisa dikenali dengan baik.
- e. Mitigasi bencana banjir dengan pendekatan kuantitatif (terukur) sehingga terjadi pengurangan resiko akibat bencana. Setelah didapatkannya hidrograf satuan terukur yang terdistribusi pada bagian hulu, tengah, dan hilir, kurva IDF (Intensitas-Durasi-Frekuensi), bisa dibangun basis data untuk pengembangan Sistem Informasi Geografis. Selanjutnya, dengan piranti pada SIG, akan memudahkan untuk melakukan analisis respon DAS pada kondisi eksisting dan respon DAS pada kondisi mendatang sebagai fungsi dari land use dan *probability* dari suatu *event* (kejadian banjir).
- f. Penelitian ini akan dilakukan di DAS di Kota Bandar Lampung, namun demikian bisa juga diaplikasikan di tempat lain (nasional) dalam rangka mitigasi bencana banjir. Sistem peringatan dini yang dihasilkan dari penelitian ini dibatasi dengan pengukuran hujan, namun demikian bisa dikembangkan lebih lanjut dengan melakukan sistem peringatan yang lebih dini hingga ke pemantauan dengan radar cuaca, maupun yang lebih dini lagi.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. Pendekatan Model Hidrologi Dalam Prediksi Banjir

Model hidrologi pada awalnya dioptimasi berdasar pada pengukuran pada beberapa titik dan bukan data yang terdistribusi pada skala ruang dan waktu. Metoda yang paling banyak dikenal adalah pendekatan hidrograf satuan yang diperkenalkan oleh Sherman (1932, dalam Sri Harto, 1993). Metode ini kemudian dikembangkan oleh Snyder, Nakayasu, hingga Sri Harto (1993). Aplikasi praktis dari metode hidrograf satuan ini dilakukan melalui pengembangan HEC-1 dan HEC-HMS yang dilakukan oleh *US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Centre* (2000). Metode ini beranggapan bahwa parameter maupun input DAS atau sub DAS adalah sama, sehingga termasuk dalam kriteria *lumped model*. Derivasi dari hidrograf satuan bergantung pada pengukuran tinggi muka air atau pendekatan estimasi sintetik.

Distributed model umumnya tidak melakukan perata-rataan parameter maupun input untuk lebih dapat merepresentasikan karakteristik DAS. Skema komputasi dengan *runoff routing* dari *grid cell* ke *grid cell* atau elemen berikutnya yang mewakili lanskap dari DAS tersebut dengan menggunakan analogi persamaan matematika. Misalnya analogi *kinematic wave* biasanya diaplikasikan di tempat dengan kemiringan lereng yang curam dan efek *backwater* tidak terlalu signifikan. *Physics-based model* menggunakan persamaan massa, momentum dan energi untuk mewakili proses hidrologi, sedangkan *conceptual model* menggunakan hubungan empiris dengan analogi *bucket* atau tangki untuk merepresentasi proses komponen hidrologi.

Kekuatan dari *physically-based fully distributed model* pada saat yang sama juga menjadikan kelemahannya, karena representasi variabilitas spasial dari karakteristik hidrologi memerlukan data dalam jumlah yang sangat besar. Problem dari penggunaan parameter yang terlalu banyak membuat hasil yang didapatkan lebih buruk sehingga Beven (1989, 1996) menganggap bahwa model ini masih berupa *lumped conceptual model* dengan jumlah parameter yang bertambah yang dapat diubah selama proses kalibrasi. Refsgaard dan Storm (1996) menekankan bahwa harus ada prosedur parameterisasi yang memadai; *spatial pattern* dari nilai parameter tadi harus spesifik agar

parameter-parameter tersebut merefleksikan variasi spasial yang sistematis dan signifikan.

2.2. Transformasi hujan-aliran

Karakteristik hujan meliputi durasi, intensitas, *interstorm period* (waktu antara dua kejadian hujan), *within storm pattern* (pola/variabilitas satu kejadian hujan), dan musim bervariasi terhadap ruang dan waktu. Karakteristik hujan tersebut mempunyai dampak terhadap respon sistem DAS. Respon hidrologi suatu DAS, terkait dengan waktu konsentrasi dari tempat terjauh hingga ke outlet DAS, dapat dikategorikan sebagai DAS sangat cepat hingga DAS sangat lambat. Interaksi antara karakteristik hujan dalam skala waktu seperti tersebut di atas terhadap karakteristik DAS menentukan respon aliran pada DAS tersebut (Kusumastuti dkk, 2004; 2005; 2007).

Pengalihragaman hujan menjadi aliran terjadi di dalam ruang dan waktu. Kedalaman hujan yang terakumulasi pada suatu titik di permukaan tanah dialihragamkan menjadi aliran permukaan dan kandungan kelembaban tanah, yang dikontrol oleh keragaman karakteristik tanah dan kandungan kelembaban tanah sebelum hujan (*antecedent moisture content*). Dalam dimensi ruang transformasi ini disebut aksi konsentrasi (*concentrating action*) atau *convergence* (Sivapalan dkk, 2001) dimana kedalaman hujan awalnya dialihragamkan menjadi aliran permukaan yang terdistribusi secara baik. Pergerakan air dalam dimensi ruang disebabkan oleh gravitasi, topografi dan keberadaan jaringan sungai. *Runoff* yang semula terdistribusi secara merata menjadi terkonsentrasi dalam suatu alur yang dibatasi oleh jaringan sungai (Sivapalan dkk. 2001). Air yang masuk ke dalam tanah bergerak melalui bawah tanah dari *hillslope* yang disebabkan oleh gravitasi. Pergerakan air ini pada awalnya memiliki arah vertikal dan dipengaruhi oleh lapisan-lapisan tanahnya, menyebabkan air mengalir menuju bawah *hillslope*. Tindakan penyaringan (*filtering action*) pada *hillslope* ini membagi pergerakan air melalui atas dan bawah *hillslope* dengan berbagai alur aliran (*pathway*), seperti limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran antara (*subsurface runoff*) dan aliran air tanah dengan berbagai skala waktu.

Daerah Aliran Sungai (*catchment, basin, watershed*) merupakan daerah dimana semua airnya mengalir ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, yang berarti ditetapkan berdasar aliran air permukaan. Batas ini tidak

ditetapkan berdasar air bawah tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat kegiatan pemakaian. Air yang jatuh di permukaan tanah terpisah menjadi dua bagian, yaitu bagian yang mengalir di permukaan yang selanjutnya menjadi aliran limpasan (*overland flow*) yang selanjutnya dapat menjadi *runoff*, yang seterusnya mengalir ke sungai dan kemudian ke laut. Aliran limpasan sebelum mencapai saluran dan sungai, mengalir dan tertahan di permukaan tanah dalam cekungan-cekungan, dan sampai jumlah tertentu merupakan bagian air yang hilang karena infiltrasi, yang disebut sebagai tampungan-cekungan (*depression storage*). Bagian lainnya masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi (*infiltration*). Tergantung dari struktur geologinya, dapat terjadi aliran mendatar yang disebut aliran antara (*interflow, subsurface flow*). Bagian air ini juga mencapai sungai dan/atau laut. Bagian lain dari air yang terinfiltrasi dapat diteruskan sebagai air perkolasi yang mencapai akuifer (*aquifer, ground water storage*).

2.3. Hidrograf

Hidrograf dapat diberikan sebagai penyajian grafis antara salah satu unsur aliran dengan waktu. Hidrograf menunjukkan tanggapan menyeluruh (*integral response*) DAS terhadap masukan tertentu. Sesuai dengan sifat dan perilaku DAS yang bersangkutan, hidrograf aliran selalu berubah sesuai dengan besaran dan waktu terjadinya masukan.

Waktu naik (TR) adalah waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai waktu terjadinya debit puncak. Debit puncak adalah debit maksimum yang terjadi pada kasus tertentu. Waktu dasar adalah waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai waktu dimana debit kembali pada suatu besaran yang ditetapkan. Besaran-besaran tersebut dapat digunakan sebagai petunjuk tentang kepekaan sistem DAS terhadap pengaruh masukan hujan. Dengan menelaah sifat-sifat hidrograf yang diperoleh dari pengukuran dalam batas tertentu dapat diperoleh gambaran tentang keadaan DAS, apakah DAS yang bersangkutan mempunyai kepekaan yang tinggi atau rendah. Makin kritis sifat DAS berarti makin jelek kondisi DAS-nya dan demikian pula sebaliknya. Bentuk hidrograf pada umumnya sangat dipengaruhi oleh sifat hujan yang terjadi, akan tetapi dapat dipengaruhi oleh sifat DAS yang lain. Sifat hujan yang sangat mempengaruhi bentuk hidrograf ada tiga macam, yaitu intensitas hujan, lama hujan, dan arah gerak hujan. Intensitas hujan yang makin tinggi akan mengakibatkan hidrograf naik dengan cepat, atau dengan kata lain akan terjadi hidrograf dengan waktu naik pendek dan debit puncak tinggi, demikian juga

sebaliknya. Intensitas hujan yang tinggi pada umumnya terjadi dalam waktu yang pendek, atau lama hujan pendek, sedangkan intensitas hujan yang rendah pada umumnya terjadi dengan lama hujan yang besar.

2.4. Hidrograf Satuan

Teori klasik hidrograf satuan berasal dari hubungan antara hujan efektif dengan limpasan langsung. Hubungan tersebut merupakan salah satu komponen model *watershed* yang umum. Teori hidrograf satuan merupakan penerapan pertama teori sistem linier dalam hidrologi. Sherman pada tahun 1932 (dalam Sri Harto, 1993) mengemukakan bahwa dalam suatu sistem DAS terdapat suatu sifat khas yang menunjukkan sifat tanggapan DAS terhadap suatu masukan tertentu. Tanggapan ini diandaikan tetap untuk masukan dengan besaran dan penyebaran tertentu. Tanggapan yang demikian dalam konsep model hidrologi dikenal dengan hidrograf satuan. Hidrograf satuan suatu DAS adalah (Soemarto, 1987) suatu limpasan yang diakibatkan oleh satu satuan volume hujan yang efektif yang terbagi rata dalam waktu dan ruang.

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam hidrograf satuan yang merujuk ke sistem linier berbeda dengan hidrograf aliran yang sebenarnya terjadi selalu berbeda untuk setiap masukan yang terjadi pada saat yang berbeda. Oleh sebab itu, untuk memperoleh hidrograf yang dapat dianggap sebagai hidrograf khas dan mewakili DAS tersebut diperlukan perata-rataan hidrograf satuan yang diperoleh dari beberapa kasus banjir (Sri Harto, 1993). Tidak ada pedoman tentang berapa jumlah kasus yang diperlukan untuk memperoleh hidrograf satuan ini. Sri Harto (1989) menunjukkan bahwa makin sedikit jumlah kasus banjir yang digunakan, makin besar debit puncak yang diperoleh dibandingkan dengan jumlah kasus banjir yang banyak.

Hidrograf satuan mempunyai dua asumsi utama yaitu hidrograf satuan ini ditimbulkan oleh hujan yang terjadi merata di seluruh DAS (*spatially evenly distributed*) dan ditimbulkan oleh hujan yang terjadi merata selama waktu yang ditetapkan (*constant intensity*). Hidrograf satuan yang dihitung untuk setiap kasus banjir, belum merupakan hidrograf satuan yang dapat dianggap mewakili DAS yang bersangkutan. Untuk itu diperlukan hidrograf satuan yang diturunkan dari banyak kasus banjir, kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh hidrograf satuan yang dianggap mewakili DAS tersebut. Perata-rataan dilakukan dengan merata-rata baik debit puncak maupun waktu mencapai puncak

(hidrograf). Di samping itu, sisi resesinya dilakukan dengan menarik liku resesi rata-rata dengan memperhatikan agar volume hidrograf satuan sama dengan satuan volume yang ditetapkan.

2.5 Hidrograf Satuan Sintetik

Hidrograf satuan (terukur) dapat dibuat jika tersedia data yang baik, yaitu data tingi muka air otomatis, data pengukuran debit, data hujan harian, dan data hujan jam-jaman. Karena berbagai sebab data ini sering sulit diperoleh atau tidak tersedia. Untuk mengatasi hal ini, maka dikembangkan suatu cara untuk mendapatkan hidrograf satuan tanpa mempergunakan data seperti tersebut di atas. Berdasarkan prinsip hidrograf satuan, beberapa peneliti telah menghasilkan model-model Hidrograf Satuan Sintetis (model-model HSS), beberapa di antaranya yaitu HSS Snyder (lokasi penelitian di USA, 1938), HSS Nakayasu (lokasi penelitian di Jepang, 1948), dan HSS Gama I (lokasi penelitian di Pulau Jawa, 1985).

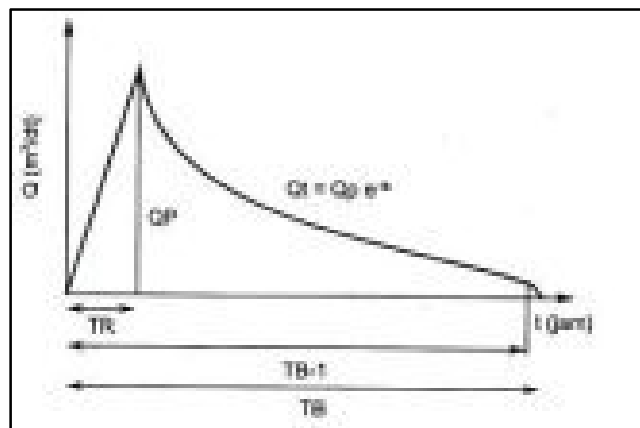
HSS Snyder dalam pengujiannya untuk beberapa sungai di Pulau Jawa ternyata menunjukkan penyimpangan yang besar, baik dalam besaran waktu capai puncak (*time to peak*) maupun debit puncak (Sri Harto, 1993). Hal ini dapat dipahami karena memang cara ini mengandung beberapa koefisien empirik yang dikembangkan di daerah Appalachian di Amerika yang kurang sesuai dengan keadaan di Indonesia. Beberapa cara sintetik lain yang digunakan, seperti Nakayasu, US SCS, dan Common juga menunjukkan penyimpangan yang cukup besar dibandingkan dengan hidrograf satuan terukur (Sri Harto, 1993).

Sementara ini penelitian debit puncak banjir dengan menggunakan hidrograf satuan sintetik Gama I di DAS Way Pegadungan (DAS yang termasuk wilayah administratif Kabupaten Lampung Tengah, Propinsi Lampung) telah dilakukan oleh Kusumastuti (2008a) dikarenakan tidak terdapatnya data debit terukur yang dibutuhkan. Dibandingkan dengan hidrograf satuan sintetik yang dihasilkan metode lain, debit banjir puncak terhitung dari HSS Gama I lebih mendekati debit banjir yang pernah teramati oleh penduduk sekitar. Dalam penelitian ini, yaitu untuk prakiraan banjir di Kota Bandar Lampung, selain dilakukan analisa prakiraan banjir menggunakan HST, dilakukan juga pengembangan prakiraan banjir dengan menggunakan HSS Gamma 1 dan HSS Nakayasu untuk menganalisa apakah kedua metode tersebut memiliki trend yang sama seperti yang dihasilkan oleh HST. Selain itu, dalam penelitian ini, kedua metode HSS tersebut

dibandingkan yang manakah yang memberikan nilai debit banjir yang lebih mendekati dengan HST. Di bawah ini diberikan penjelasan tentang pendekatan yang dipakai dalam pengembangan HSS Gamma 1 dan HSS Nakayasu.

2.5.1. Hidrograf Satuan Sintetik Gamma 1

HSS Gamma I terdiri dari empat variabel pokok, yaitu waktu naik (*time of rise* –TR), debit puncak (Qp), waktu dasar (TB) dan sisi resesi yang ditentukan oleh nilai koefisien tumpangan (K). Sketsa grafik HSS Gamma 1 dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Hidrograf Satuan Sintetik Gamma 1 (Sumber: Triatmodjo, 2008)

Untuk menghitung keempat variabel pokok tersebut, dipakai persamaan-persamaan sebagai berikut:

1. Waktu puncak HSS Gamma 1 (TR)

$$T R = 0,43 \left(\frac{L}{100} \right)^3 + 1,0665 S I M + 1,2775 \dots \dots \dots \text{(Pers 2.1)}$$

2. Debit puncak banjir (Qp)

$$Q P = 0,1836 A^{0,5886} T R^{0,4088} I^{0,2381} \dots \dots \dots \text{(Pers 2.2)}$$

3. Waktu Dasar (TB)

$$T B = 27,4132 T R^{1,4509} S^{0,0939} I^{0,7349} U A^{2,574} \dots \dots \dots \text{(Pers 2.3)}$$

4. Koefisien resesi (K)

$$K = 0,5617 A^{0,1738} S^{0,1447} T R^{1,0820} D^{0,0452} \dots \dots \dots \text{(Pers 2.4)}$$

5. Aliran Dasar (QB)

$$B = 0,4715 A^{0,1738} D^{0,9430} \dots \dots \dots \text{(Pers 2.5)}$$

dengan:

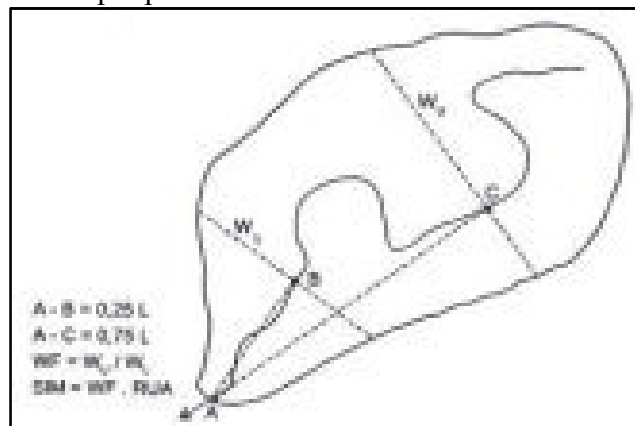
- A : luas DAS (km²).
- L : panjang sungai utama (km).
- S : kemiringan dasar sungai.
- SF : faktor sumber, perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat satu dengan jumlah panjang sungai semua tingkat.
- SN : frekuensi sumber, perbandingan antara jumlah pangsa sungai tingkat satu dengan jumlah pangsa sungai semua tingkat.
- WF : faktor lebar, perbandingan antara lebar DAS yang diukur di titik sungai yang berjarak 0,75 L dengan lebar DAS yang diukur di sungai yang berjarak 0,25 L dari stasiun hidrometri (Gambar 2.2).
- JN : jumlah pertemuan sungai.
- SIM : faktor simetri, hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas DAS sebelah hulu (RUA).
- RUA : luas DAS sebelah hulu, perbandingan antara luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun hidrometri dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS, melalui titik tersebut (Gambar 2.3).
- D : kerapatan jaringan kuras, jumlah panjang sungai semua tingkat tiap satuan luas DAS.

Perhitungan debit banjir pada jam tertentu untuk sisi resisi dihitung mengikuti persamaan sebagai berikut:

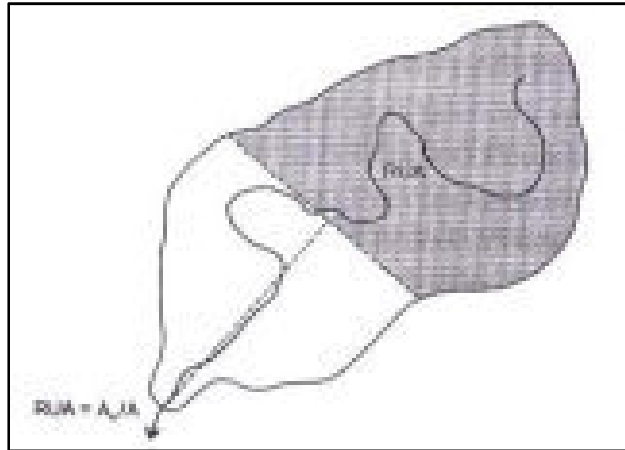
$$Q_t = Q_p e^{-t/k} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.6)}$$

- Q_t : debit pada jam ke t (m³/d)
- Q_p : debit puncak (m³/d)
- t : waktu dari saat terjadinya debit puncak (jam)
- k : koefisien tampungan (jam)

Konsekuensi dari persamaan eksponensial yang digunakan pada sisi resisi adalah tidak dimungkinkannya debit sama dengan nol, sehingga seperti yang terlihat pada Gambar 2.1 Sketsa HSS Gamma 1 terdapat patahan dalam sisi resisi.



Gambar 2.2 Sketsa Penetapan WF (Sumber: Triatmodjo, 2008)



Gambar 2.3 Sketsa Penetapan RUA (Sumber: Triatmodjo, 2008)

2.5.2. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Sketsa grafik HSS Nakayasu dapat dilihat pada Gambar 2.4. Grafik ini dibangun oleh rumus-rumus sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{1}{6} \left(\frac{A R e}{0,3 T_p + T_{0,3}} \right) \dots\dots\dots \text{(Pers 2.7)}$$

$$T_p = T_g + 0,8 T_r \dots\dots\dots \text{(Pers 2.8)}$$

$$t_g = 0,4 + 0,058 L \quad \text{untuk } L > 15 \text{ km} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.9)}$$

$$T_g = 0,21 L^{0,7} \quad \text{untuk } L < 15 \text{ km} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.10)}$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \dots\dots\dots \text{(Pers 2.11)}$$

a. Pada kurva naik ($0 < t < T_p$)

$$Q_t = Q_p \frac{t^{2,4}}{T_p} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.12)}$$

b. Pada kurva turun ($T_p < t < T_{0,3}$)

$$Q_r = Q_p \times 0,3^{(t - T_p)/T_{0,3}} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.13)}$$

c. Pada kurva turun ($T_{0,3} < t < T_{0,3}^2$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{(t - T_p)/(0,5 T_{0,3})} \sqrt{(1,5 T_{0,3})} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.14)}$$

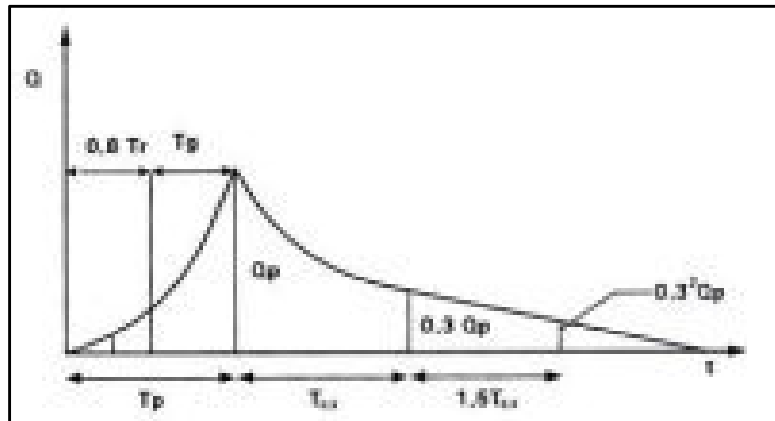
d. Pada kurva turun ($t > T_{0,3}^2$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{(t - T_p)/(1,5 T_{0,3})} \sqrt{(2 T_{0,3})} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.15)}$$

Dengan;

- Q_p : debit puncak banjir
- A : luas DAS (km^2)
- Re : curah hujan efektif (mm)
- T_p : waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf banjir (wm)
- $T_{0,3}$: waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak banjir (jam)
- t_g : waktu konsentrasi
- T_r : satuan waktu dari curah hujan (jam)
- α : koefisien karakteristik DAS

L : panjang sungai utama (km)



Gambar 2.4 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu (Sumber: Triatmodjo, 2008)

BAB III

METODE PENELITIAN

Tahun pertama penelitian ini difokuskan pada pengembangan *cascade unit hydrograph* dan *neighbouring unit hydrograph*, baik untuk hidrograf satuan terukur maupun sintetis. Dari hasil penelitian pada Tahun Pertama tersebut kemudian dicari hubungan antara HST-HST pada suatu sistem yang berturutan (yaitu HST-HST daerah hulu, tengah hingga hilir pada DAS yang sama) serta hubungan antara HST DAS yang satu dan HST DAS yang lain dalam sistem DAS yang berbeda namun letak DASnya berdekatan.

Selain HST, maka perlu juga dikembangkan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS). HSS ini dikembangkan berdasarkan peta yang dibuat dengan pemanfaatan Sistem Informasi Geografis untuk mendapatkan data digital tentang topografi maupun sungai. Analisis selanjutnya yaitu dengan menggunakan pendekatan *hydrologic similarity* untuk menghitung respon banjir di DAS atau sub DAS yang tidak terukur.

3.1. Prosedur Pengembangan HST

Berikut ini adalah prosedur penelitian dalam pengembangan HST yang merupakan tahapan penelitian yang akan dilakukan pada tahun pertama.

Untuk memperoleh hidrograf satuan dalam suatu kasus banjir, maka diperlukan data sebagai berikut :

1. Rekaman AWLR (*Automatic Water Level Recorder*)

Untuk mendapatkan rekaman AWLR perlu dipasang alat ukur *water level recorder* di sungai yang ditinjau, untuk mengukur tinggi muka air sungai. Untuk melindungi alat pengukur tinggi muka air tersebut, ditanamkan pipa PVC. Pipa PVC solid akan ditanamkan di sungai, dimana *water level probe* akan digantungkan di atasnya sehingga tinggi muka air sungai dapat terukur dengan *time step* yang kecil, misalnya per 10 menit.

2. Pengukuran debit

Pengukuran debit dilakukan pada beberapa kondisi, yaitu pada saat aliran rendah, sedang, maupun tinggi. Tujuannya agar didapat liku kalibrasi (grafik hubungan antara

tinggi muka air dan debit) yang memadai.

Cara yang lazim digunakan dalam hidrometri adalah pengukuran debit dengan pengukuran kecepatan aliran. Pengukuran baku yang dilakukan dengan *current meter* dilakukan sebagai berikut :

- a. Membagi penampang sungai menjadi beberapa bagian vertikal.
- b. Mengukur kecepatan rata-rata dalam masing-masing vertikal. Hal ini dapat dilakukan dengan pengukuran satu titik ($0,6 H$ (kedalaman air)) maupun pengukuran dua titik ($0,2$ dan $0,8 H$ (kedalaman air)).
- c. Untuk menghitung debit aliran pada penampang tersebut dapat dilakukan dengan *mean area method* maupun *mid area method*.

3. Data hujan biasa (manual)

Data ini diperlukan sebagai pembandingan dari data hujan yang terukur pada alat ukur hujan otomatis.

4. Data hujan otomatis

Data hujan otomatis diperoleh dari *automatic raingauge* yang dipasang di DAS tersebut. *Automatic raingauge* jenis *tipping bucket* akan dipakai dalam penelitian ini. Setiap $0,2$ mm air hujan yang tertampung dalam *raingauge* tersebut akan dicatat. Sebagai data pendukung, data hujan otomatis juga bisa didapatkan dari Biro Meteorologi terdekat, misalnya Biro Meteorologi yang terletak di Panjang dan Natar. Selanjutnya perlu dipilih kasus yang menguntungkan dalam analisis, yaitu dipilih hidrograf yang terpisah dan mempunyai satu puncak dan hujan yang cukup serta distribusi jam-jamannya. Syarat di atas sebenarnya bukan merupakan keharusan, kecuali untuk mempermudah hitungan yang dilakukan. Analisis numerik untuk memisahkan hidrograf satuan dari banjir pengamatan dapat dilakukan dengan Metode Collins (Sri Harto, 1993).

Cara penyelesaian Metode Collins dapat dilakukan sebagai berikut :

1. Hidrograf tinggi muka air (*stage hydrograph*) dialihragamkan menjadi hidrograf debit (*discharge hydrograph*) dengan liku kalibrasi.
2. Aliran dasar dipisahkan dari hidrografnya dengan salah satu cara, yaitu : pemisahan aliran dasar dengan *straight line method*, *fixed base length*, atau *variable slope method*.
3. Hujan efektif yang menyebabkan banjir tersebut ditetapkan, misalnya dengan menggunakan indeks infiltrasi ϕ (Phi index).
4. Diandaikan hidrograf satuan yang terjadi mempunyai ordinat berturut-turut U_1 , U_2 ,

dan seterusnya.

5. Hidrograf satuan tersebut dikalikan dengan hujan efektif yang bersangkutan, maka akan diperoleh hidrograf limpasan langsung.

Dengan membandingkan ordinat hidrograf limpasan langsung yang didapat dari hitungan ini dengan ordinat hidrograf limpasan langsung yang terukur, maka akan diperoleh ordinat-ordinat hidrograf satuan.

3.2. Prosedur Pengembangan Hidrograf Sintetik Satuan (HSS) Gamma 1 dan Nakayasu

Pembuatan HSS Gamma 1 dan Nakayasu meliputi pembuatan HSS pada DAS bagian hulu, tengah sampai hilir sehingga didapatkan trend *cascade* HSS di Kota Bandar Lampung. Untuk pembuatan HSS ini, sebelumnya diperlukan data spasial serta pengolahannya. Data spasial yang dibutuhkan adalah data peta Daerah Aliran Sungai (DAS) dan peta sungai. Data spasial ini disiapkan dengan berbasis Sistem Informasi Geografis.

Untuk mendapatkan peta DAS, dilakukan proses *generate* dari peta *Digital Elevation Model* (DEM). Dimana peta DEM didapatkan secara gratis dari laman CGIAR-CSI *research center*. Untuk membuat Sistem Informasi Geografis pada peta DAS, dilakukan *input*-an data ke dalam atribut ID Sungai, Nama Sungai dan Luas DAS. Sedangkan untuk mendapatkan peta sungai, dilakukan proses digitasi *on screen* yang mengacu pada citra satelit *google earth*. Pada peta sungai dirancang memiliki attribute ID Sungai, Nama Sungai, Orde Sungai, dan Panjang Sungai. Attribute yang dirancang di dalam Sistem Informasi Geografis peta DAS dan Sungai, disesuaikan dengan kebutuhan perhitungan pengembangan HSS Gamma 1 dan HSS Nakayasu.

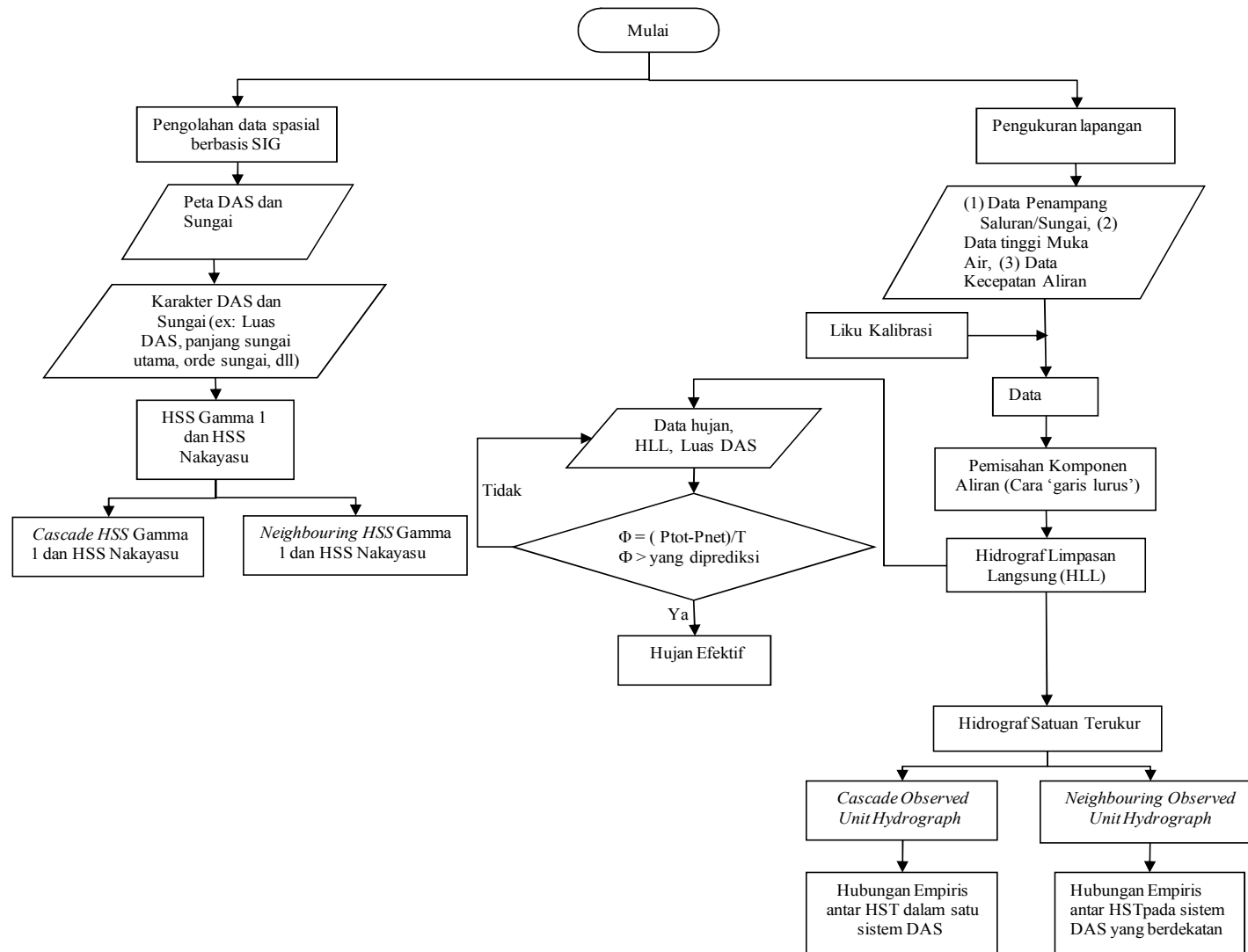
Untuk melakukan perhitungan HSS Gamma 1, data-data luas DAS (A), jumlah panjang sungai orde 1 ($\sum L_1$), jumlah sungai semua orde ($\sum L_n$), jumlah pangsa sungai tingkat 1 (n1) dan jumlah pangsa sungai semua tingkat (nn) didapatkan dari hasil pengolahan data pada Sistem Informasi Geografis peta DAS dan sungai. Data ini diidentifikasi untuk setiap DAS pada bagian hulu, tengah dan hilir.

Khusus untuk mendapatkan data panjang sungai utama (L), lebar DAS yang diukur di titik sungai berjarak 0,75 L dari stasiun hidrometri (WU), lebar DAS yang diukur di titik sungai berjarak 0,25 L dari stasiun hidrometri (WL) dan luas relatif DAS sebelah hulu (RUA) di setiap DAS, dilakukan pengolahan lebih lanjut dalam Sistem Informasi Geografis peta DAS dan sungai.

Terakhir, semua data yang didapatkan untuk seluruh DAS dihitung dengan perangkat lunak Microsoft Office Excel.

Dalam pembuatan HSS Nakayasu tidak diperlukan pengolahan Sistem Informasi Geografis lanjutan. Data yang diperlukan dari Sistem Informasi Geografis Peta DAS dan Sungai hanya luas dan panjang sungai. Perhitungan HSS Nakayasu juga dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Office Excel.

Diagram alir penelitian pada tahun pertama dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian Pada Tahun Pertama

BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat tiga hal utama yang dilakukan pada Tahun Pertama Penelitian Strategis Nasional Pengembangan Metode Prakiraan Banjir dan Sistem Peringatan Dini melalui *Distributed Hydrology Model* berbasis Sistem Informasi Geografis yaitu meliputi :

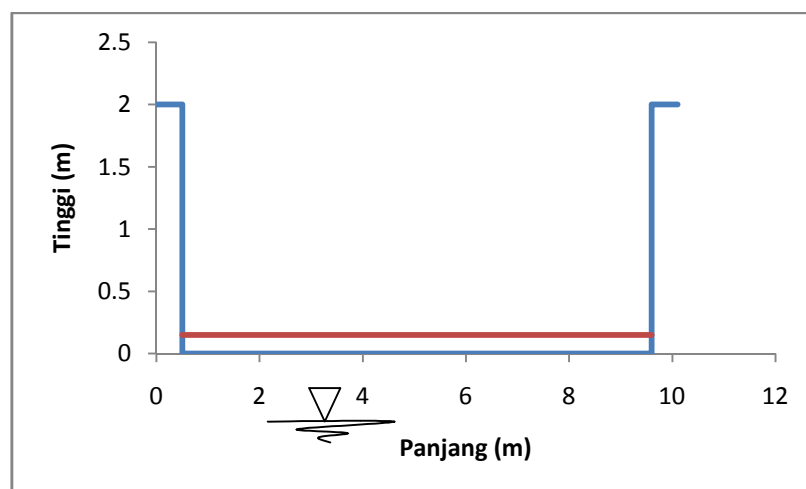
1. Pembuatan hidrograf satuan terukur
2. Deliniasi DAS dan Sungai di Bandar Lampung
3. Pembuatan hidrograf satuan sintetis

Dalam Bab 4 ini akan dibahas secara detail hasil yang telah dicapai dalam penelitian ini.

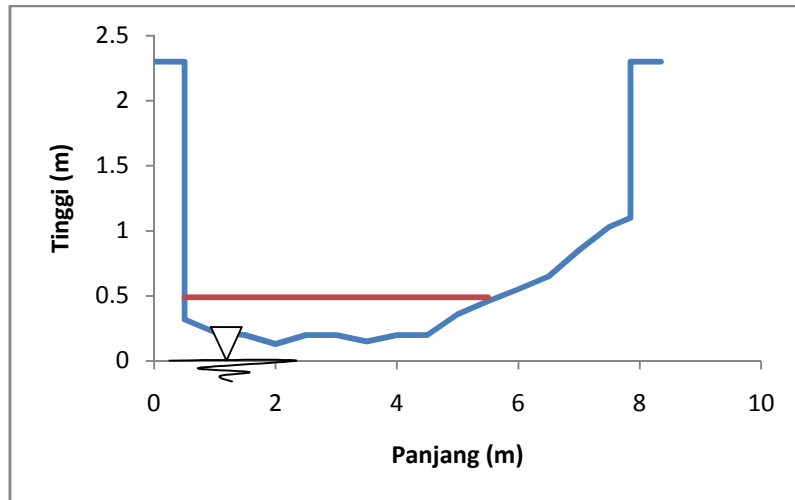
4.1. Pembuatan hidrograf satuan terukur

4.1.1. Data Penampang Melintang Sungai

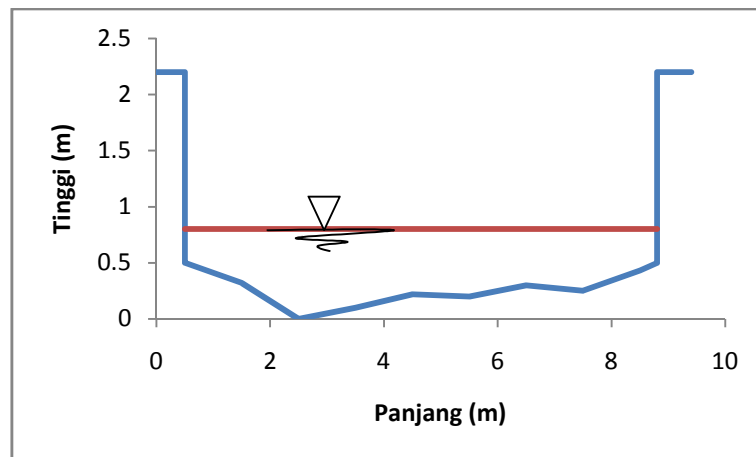
Data penampang melintang sungai sangat diperlukan dalam pembuatan liku kalibrasi, oleh karena itu perlu adanya pengukuran penampang melintang sungai yang ada pada kedua DAS tersebut. Penampang sungai untuk DAS Way Kuala Garuntang ditunjukkan pada Gambar 4.2, sedangkan untuk penampang sungai DAS Way Simpur (Daerah Kotabaru) ditunjukkan pada Gambar 4.3. Sebaiknya pengukuran penampang sungai ini dilakukan pada saat cuaca cerah sehingga kekhawatiran akan adanya banjir kiriman tidak ada.



Gambar 4.1. Penampang Melintang Sungai DAS Way Kuala Garuntang



Gambar 4.2. Penampang Melintang Sungai DAS way Simpuri (Daerah Kotabaru)



Gambar 4.3. Penampang Melintang Sungai Way Awi

4.1.2. Pembuatan Liku Kalibrasi

Pembuatan liku kalibrasi ini diperlukan untuk mengubah data tinggi muka air yang didapat menjadi data debit. Data yang diperlukan untuk membuat suatu liku kalibrasi adalah data kecepatan aliran, tinggi muka air dan data penampang melintang sungai. Pada Tabel 4.1. dapat dilihat suatu hubungan tinggi muka air, kecepatan aliran, dan penampang melintang sungai untuk membuat suatu grafik liku kalibrasi pada DAS Way Kuala Garuntang, sedangkan untuk DAS Way Simpuri (Daerah Kotabaru) dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan untuk DAS Way Awi dapat dilihat di Tabel 4.3. Pengukuran kecepatan aliran sebaiknya dilakukan ketika ada kejadian banjir sehingga didapat kecepatan aliran ketika normal, banjir, dan juga surut. Diharapkan liku kalibrasi yang didapat mewakili debit yang ada di sungai tersebut ketika terjadinya banjir, sebaiknya pengukuran kecepatan aliran dilakukan tidak hanya satu kali tetapi beberapa kali sehingga liku kalibrasi yang didapat menjadi

lebih akurat.

Pembuatan liku kalibrasi dilakukan untuk setiap DAS yaitu liku kalibrasi untuk DAS Way Simpung (daerah Kotabaru) dan liku kalibrasi untuk DAS Way Kuala Garuntang. Grafik liku kalibrasi antara kedua DAS tersebut mempunyai perbedaan, yaitu untuk grafik liku kalibrasi untuk DAS Way Simpung mempunyai bentuk grafik persamaan kuadrat hal ini dikarenakan bentuk penampang sungainya tidak beraturan, sedangkan untuk grafik liku kalibrasi DAS Way Kuala Garuntang mempunyai bentuk grafik persamaan polinomial hal ini dikarenakan bentuk penampang sungainya teratur (persegi panjang).

Tabel 4.1. Hubungan antara tinggi muka air, kecepatan aliran, dan penampang melintang sungai untuk DAS Way Kuala Garuntang dalam membuat liku kalibrasi

No	H (cm)	H (m)	V (m/det)	L (m)	Q (m ³ /det)
1	115	1.15	2.26	9.10	23.62
2	110	1.10	2.15	9.10	21.49
3	105	1.05	2.35	9.10	22.42
4	100	1.00	2.22	9.10	20.17
5	95	0.95	2.11	9.10	18.27
6	90	0.90	2.06	9.10	16.87
7	85	0.85	1.97	9.10	15.26
8	80	0.80	2.00	9.10	14.56
9	75	0.75	2.03	9.10	13.85
10	70	0.70	1.43	9.10	9.13
11	65	0.65	1.51	9.10	8.91
12	60	0.60	1.66	9.10	9.08
13	55	0.55	1.55	9.10	7.74
14	50	0.50	1.29	9.10	5.87
15	48	0.48	1.16	9.10	5.05
16	70	0.70	1.89	9.10	12.04
17	69	0.69	1.83	9.10	11.46
18	68	0.68	1.84	9.10	11.40
19	67	0.67	1.80	9.10	10.94
20	66	0.66	1.77	9.10	10.62
21	65	0.65	1.64	9.10	9.72
22	64	0.64	1.76	9.10	10.22
23	63	0.63	1.70	9.10	9.73
24	62	0.62	1.61	9.10	9.07
25	61	0.61	1.61	9.10	8.95
26	60	0.60	1.59	9.10	8.70
27	59	0.59	1.56	9.10	8.39
28	58	0.58	1.54	9.10	8.10

Tabel 4.1. Lanjutan

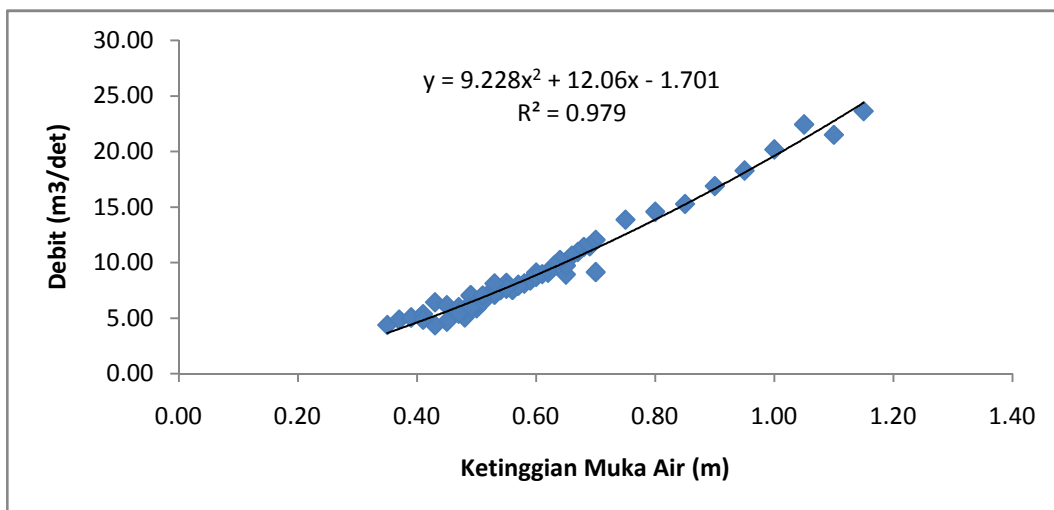
No	H (cm)	H (m)	V (m/det)	L (m)	Q (m ³ /det)
29	57	0.57	1.54	9.10	8.00
30	56	0.56	1.48	9.10	7.52
31	55	0.55	1.53	9.10	7.63
32	54	0.54	1.53	9.10	7.52
33	53	0.53	1.47	9.10	7.09
34	52	0.52	1.51	9.10	7.16
35	51	0.51	1.42	9.10	6.60
36	50	0.50	1.38	9.10	6.26
37	49	0.49	1.41	9.10	6.30
38	48	0.48	1.32	9.10	5.75
39	47	0.47	1.31	9.10	5.58
40	35	0.35	1.37	9.10	4.36
41	37	0.37	1.44	9.10	4.85
42	39	0.39	1.42	9.10	5.04
43	41	0.41	1.43	9.10	5.34
44	43	0.43	1.64	9.10	6.42
45	45	0.45	1.50	9.10	6.14
46	47	0.47	1.40	9.10	5.99
47	49	0.49	1.57	9.10	7.00
48	51	0.51	1.43	9.10	6.64
49	49	0.49	1.58	9.10	7.05
50	51	0.51	1.39	9.10	6.45
51	53	0.53	1.51	9.10	7.28
52	55	0.55	1.63	9.10	8.16
53	57	0.57	1.52	9.10	7.88
54	55	0.55	1.54	9.10	7.71
55	53	0.53	1.68	9.10	8.10
56	51	0.51	1.51	9.10	7.01
57	49	0.49	1.33	9.10	5.93
58	47	0.47	1.26	9.10	5.39
59	45	0.45	1.14	9.10	4.67
60	43	0.43	1.11	9.10	4.34
61	41	0.41	1.30	9.10	4.85

Tabel 4.2. Hubungan antara tinggi muka air, kecepatan aliran, dan penampang melintang sungai untuk DAS Way Simpur (Daerah Kotabaru) dalam membuat liku kalibrasi

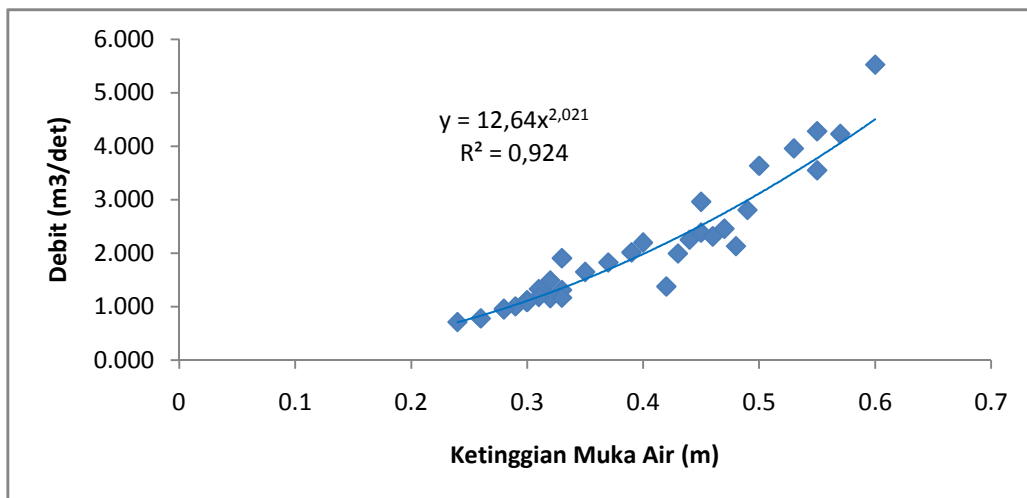
No.	Kecepatan	H		A	Q
	(m/det)	(cm)	(m)	(m ²)	(m ³ /det)
1	0.58	30	0.3	1.935	1.117
2	0.67	31	0.31	1.993	1.330
3	0.73	32	0.32	2.050	1.491
4	0.91	33	0.33	2.108	1.907
5	0.62	33	0.33	2.108	1.311
6	0.57	32	0.32	2.050	1.160
7	0.59	31	0.31	1.993	1.184
8	0.57	30	0.3	1.935	1.111
9	0.54	29	0.29	1.878	1.006
10	0.53	28	0.28	1.820	0.961
11	0.84	45	0.45	2.848	2.385
12	0.80	46	0.46	2.910	2.313
13	0.83	47	0.47	2.973	2.457
14	0.70	48	0.48	3.035	2.131
15	0.81	44	0.44	2.785	2.250
16	0.52	42	0.42	2.660	1.378
17	0.87	40	0.4	2.535	2.199
18	0.73	43	0.43	2.723	1.993
19	1.15	50	0.5	3.160	3.634
20	1.23	55	0.55	3.473	4.280
21	1.17	57	0.57	3.608	4.230
22	1.45	60	0.6	3.810	5.525
23	1.02	55	0.55	3.473	3.551
24	1.18	53	0.53	3.348	3.958
25	0.91	49	0.49	3.098	2.808
26	1.04	45	0.45	2.848	2.961
27	0.82	39	0.39	2.473	2.015
28	0.78	37	0.37	2.348	1.825
29	0.74	35	0.35	2.223	1.650
30	0.56	33	0.33	2.108	1.170
31	0.56	30	0.3	1.935	1.084
32	0.52	28	0.28	1.820	0.946
33	0.46	26	0.26	1.705	0.780
34	0.45	24	0.24	1.595	0.714

Tabel 4.3. Hubungan Tinggi Muka Air, Kecepatan Aliran dan Penampang Melintang Sungai dalam Membuat Liku Kalibrasi Way Awi

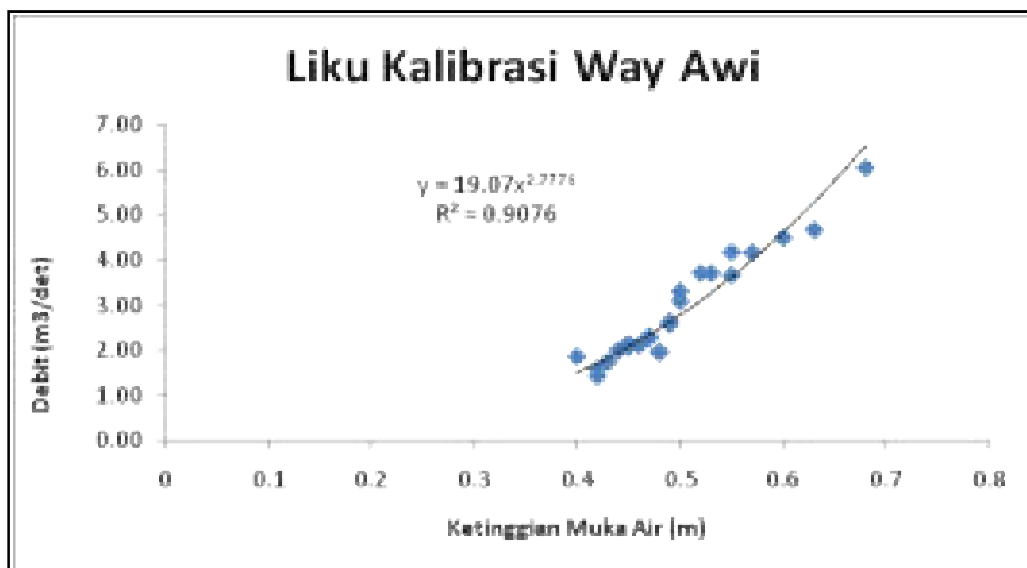
No.	Kecepatan	H		A	Q
	(m/det)	(cm)	(m)	(m ²)	(m ³ /det)
1	0,69	42	0,42	2,312	1,595
2	0,70	48	0,48	2,810	1,967
3	0,73	43	0,43	2,395	1,748
4	0,80	46	0,46	2,644	2,115
5	0,81	44	0,44	2,478	2,007
6	0,83	47	0,47	2,727	2,263
7	0,84	45	0,45	2,561	2,151
8	0,87	40	0,40	2,146	1,867
9	0,91	49	0,49	2,893	2,633
10	1,04	50	0,50	2,976	3,095
11	1,08	55	0,55	3,391	3,662
12	1,15	53	0,53	3,225	3,709
13	1,17	57	0,57	3,557	4,162
14	1,18	60	0,6	3,806	4,491
15	1,35	68	0,68	4,470	6,035
16	1,15	63	0,63	4,055	4,663
17	1,17	57	0,57	3,557	4,162
18	1,23	55	0,55	3,391	4,171
19	1,18	52	0,52	3,142	3,708
20	1,11	50	0,50	2,976	3,303
21	0,89	49	0,49	2,893	2,575
22	0,70	48	0,48	2,810	1,967
23	0,85	47	0,47	2,727	2,318
24	0,81	45	0,45	2,561	2,074
25	0,62	42	0,42	2,312	1,433



(a)



(b)



(c)

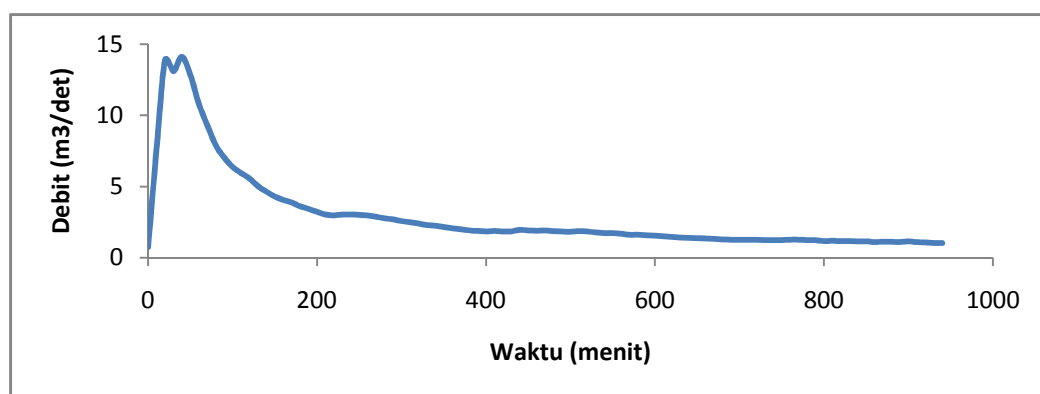
Gambar 4.4. (a). Liku kalibrasi DAS Way Kuala Garuntang, (b). Liku kalibrasi DAS Way Simpur (Daerah Kotabaru), Liku kalibrasi DAS Way Awi

4.1.3. Pemilihan Hidrograf Banjir

Hidrograf banjir yang tercatat selama penelitian baik secara manual maupun secara otomatis tidak semua dapat digunakan untuk mengolah data selanjutnya, hal ini dikarenakan harus adanya sinkronisasi antara waktu pencatatan data tinggi muka air dengan pencatatan data hujan yang tercatat dalam *tipping bucket*. Data manual tinggi muka air untuk DAS Way Kuala Garuntang dimulai pengukuran pada tanggal 26 Oktober 2009 dan pencatatan secara otomatis yang dilakukan mulai tanggal 29 November 2009,

untuk daerah DAS Way Simpur pencatatan secara manual dilakukan mulai tanggal 26 Oktober 2009 dan pencatatan secara otomatis dilakukan mulai tanggal 14 Januari 2010. Data tinggi muka air yang dapat dipakai harus disesuaikan dengan pemasangan alat *tipping bucket*, yaitu pada tanggal 16 Desember 2009 sehingga pemilihan hidrograf banjir yang bisa diolah untuk pembuatan HST adalah data tinggi muka air sesudah tanggal 16 Desember 2009.

Pemilihan hidrograf banjir juga harus disesuaikan dengan kejadian hujan yang terjadi, adakalanya AWLR mencatat adanya kejadian banjir akan tetapi *tipping bucket* tidak mencatat kejadian hujan atau hanya mencatat terjadinya hujan yang kecil dan tidak memungkinkan terjadinya banjir. Hal ini mungkin terjadi ketika banjir yang tercatat dalam AWLR merupakan banjir kiriman yang berasal dari hulu sungai, dan tidak meratanya hujan yang terjadi. Hujan yang terjadi hanya berada di daerah hulu sungai sehingga *tipping bucket* yang diletakkan pada daerah tengah sungai tidak dapat mencatat karena tidak adanya hujan yang terjadi di daerah tengah sungai. Pemilihan hidrograf banjir juga harus dilakukan dengan hati-hati dalam pemilihan waktu kejadian banjir (T_b) baik dalam pemilihan waktu normal menuju puncak (T_p) maupun pemilihan waktu puncak menuju normal (waktu resesi). Dibawah ini adalah contoh hidrograf banjir yang sudah dipilih dan siap dilakukan pengolahan lebih lanjut.



Gambar 4.5. Hidrograf banjir

Dapat dilihat pada gambar hidrograf banjir di atas debit puncaknya berada pada kisaran 14,111 m³/det dan mempunyai waktu dasar yang lebih dari 800 menit, dan untuk debit spesifiknya memiliki kisaran 0,233 m³/det/km². Dimana debit spesifik ini didapatkan dari pembagian debit puncak untuk hidrograf banjir dengan Luas DAS yang ada. Untuk

hidrograf di atas debit puncak (14,111 m³/det) dibagi dengan Luas DAS (60,52 km²) sehingga menghasilkan debit spesifik sebesar 0,233 m³/det/km². Kejadian-kejadian banjir yang terpilih pada DAS Way Kuala Garuntang ditunjukkan pada Tabel 4.4, sedangkan kejadian-kejadian banjir yang terpilih untuk DAS Way Simpur dan Way Awi ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan table 4.6.

Tabel 4.4. Kejadian-kejadian banjir yang terpilih pada DAS Way Kuala Garuntang (A = 60,52 km²)

No.	Tanggal	Debit Puncak (m ³ /det)	Debit Spesifik (m ³ /det/km ²)
1	25 Desember 2009	12,770	0,211
2	28 Desember 2009	31,426	0,156
3	31 Desember 2009	9,413	0,519
4	8 Januari 2010	14,111	0,233
5	10 Januari 2010	26,606	0,440
6	13 Januari 2010	9,413	0,156
7	14 Januari 2010	19,509	0,322
8	16 Januari 2010	21,089	0,348
9	20 Januari 2010	19,234	0,318
10	27 Januari 2010	48,232	0,797
11	28 Januari 2010	15,205	0,251
12	1 Februari 2010	38,442	0,635
13	4 Februari 2010	23,164	0,383
14	5 Februari 2010	47,388	0,783
15	8 Maret 2010	28,895	0,477
16	10 Maret 2010	30,537	0,505
17	13 Maret 2010	11,889	0,196

Tabel 4.5. Kejadian-kejadian banjir yang terpilih pada DAS Way Simpur (Daerah Kotabaru) (A = 3,691 km²)

No.	Tanggal	Debit Puncak (m ³ /det)	Debit Spesifik (m ³ /det/km ²)
1	16 Januari 2010	3,453	0,936
2	17 Januari 2010	6,437	1,744
3	17 Januari 2010	4,050	1,098
4	31 Januari 2010	3,769	1,021
5	1 Februari 2010	20,015	5,424
6	4 Februari 2010	2,705	0,733
7	6 Februari 2010	1,339	0,363

Tabel 4.6. Kejadian-kejadian banjir yang terpilih pada DAS Way Awi ($A = 9,846 \text{ km}^2$)

No.	Date	Peak discharge (m ³ /sec)	Rainfall Depth (mm)	Rainfall Duration (hours)	ϕ_{index} Time step 1 hr	ϕ_{index} Time step 30 min	ϕ_{index} Time step 10 min
1	08-01-2010	21.693	7.4	1	6.346	4.025	2.517
2	16-01-2010	17.354	7	1	5.640	3.038	3.147
3	17-01-2010	19.043	6.2	1	2.589	5.251	4.364
4	12-02-2010	14.426	8.6	2	6.170	4.965	2.868

Minimnya kasus banjir yang terjadi pada DAS Way Simpung (Daerah Kotabaru) dan Way Awi disebabkan pada saat terjadinya banjir tidak dilakukan pengambilan data. Sebab-sebabnya adalah pada saat bersamaan sedang melakukan pengambilan data kecepatan aliran di DAS Way Kuala Garuntang maupun di tempat lain, keterlambatan kejadian banjir, dan adanya perpindahan lokasi penelitian.

4.1.4. Pembuatan Hidrograf Satuan Terukur

Contoh perhitungan Hidrograf Satuan Terukur untuk kedua DAS :

a. DAS Way Kuala Garuntang

1. Menghitung Hidrograf Limpasan Langsung (Tabel 4.7.)

Tabel 4.7. Perhitungan Hidrograf Limpasan Langsung untuk DAS Way Kuala Garuntang pada tanggal 8 Januari 2010

No.	Tanggal	Waktu	Waktu	Debit Banjir	Base Flow	HLL
			(menit)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m ³ /det)
1	01/08/2010	18:30:00	0	0,746	0,746	0,000
2	01/08/2010	18:40:00	10	7,586	0,749	6,837
3	01/08/2010	18:50:00	20	13,871	0,752	13,118
4	01/08/2010	19:00:00	30	13,100	0,755	12,345
5	01/08/2010	19:10:00	40	14,111	0,758	13,353
6	01/08/2010	19:20:00	50	12,852	0,761	12,091
7	01/08/2010	19:30:00	60	10,822	0,764	10,058
8	01/08/2010	19:40:00	70	9,326	0,767	8,558
9	01/08/2010	19:50:00	80	7,913	0,770	7,143
10	01/08/2010	20:00:00	90	7,045	0,773	6,272
11	01/08/2010	20:10:00	100	6,382	0,776	5,605
12	01/08/2010	20:20:00	110	5,953	0,779	5,173
13	01/08/2010	20:30:00	120	5,565	0,783	4,782
14	01/08/2010	20:40:00	130	5,036	0,786	4,251
15	01/08/2010	20:50:00	140	4,643	0,789	3,854

Tabel 4.7. Lanjutan

No.	Tanggal	Waktu	Waktu	Debit Banjir	Base Flow	HLL
			(menit)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m ³ /det)
16	01/08/2010	21:00:00	150	4,307	0,792	3,516
17	01/08/2010	21:10:00	160	4,066	0,795	3,271
18	01/08/2010	21:20:00	170	3,877	0,798	3,080
19	01/08/2010	21:30:00	180	3,614	0,801	2,813
20	01/08/2010	21:40:00	190	3,430	0,804	2,626
21	01/08/2010	21:50:00	200	3,229	0,807	2,422
22	01/08/2010	22:00:00	210	3,039	0,810	2,229
23	01/08/2010	22:10:00	220	2,983	0,813	2,170
24	01/08/2010	22:20:00	230	3,039	0,816	2,223
25	01/08/2010	22:30:00	240	3,039	0,819	2,220
26	01/08/2010	22:40:00	250	3,020	0,822	2,198
27	01/08/2010	22:50:00	260	2,963	0,825	2,138
28	01/08/2010	23:00:00	270	2,880	0,828	2,052
29	01/08/2010	23:10:00	280	2,777	0,831	1,945
30	01/08/2010	23:20:00	290	2,694	0,834	1,860
31	01/08/2010	23:30:00	300	2,575	0,837	1,737
32	01/08/2010	23:40:00	310	2,492	0,840	1,651
33	01/08/2010	23:50:00	320	2,401	0,843	1,558
34	01/08/2010	24:00:00	330	2,301	0,846	1,455
35	01/09/2010	00:10:00	340	2,247	0,849	1,398
36	01/09/2010	00:20:00	350	2,158	0,852	1,306
37	01/09/2010	00:30:00	360	2,077	0,856	1,222
38	01/09/2010	00:40:00	370	1,998	0,859	1,140
39	01/09/2010	00:50:00	380	1,928	0,862	1,066
40	01/09/2010	01:00:00	390	1,884	0,865	1,019
41	01/09/2010	01:10:00	400	1,848	0,868	0,980
42	01/09/2010	01:20:00	410	1,884	0,871	1,013
43	01/09/2010	01:30:00	420	1,848	0,874	0,974
44	01/09/2010	01:40:00	430	1,857	0,877	0,980
45	01/09/2010	01:50:00	440	1,962	0,880	1,082
46	01/09/2010	02:00:00	450	1,919	0,883	1,036
47	01/09/2010	02:10:00	460	1,901	0,886	1,015
48	01/09/2010	02:20:00	470	1,919	0,889	1,030
49	01/09/2010	02:30:00	480	1,875	0,892	0,983
50	01/09/2010	02:40:00	490	1,848	0,895	0,953
51	01/09/2010	02:50:00	500	1,832	0,898	0,933
52	01/09/2010	03:00:00	510	1,875	0,901	0,974
53	01/09/2010	03:10:00	520	1,840	0,904	0,936
54	01/09/2010	03:20:00	530	1,788	0,907	0,881
55	01/09/2010	03:30:00	540	1,744	0,910	0,833

Tabel 4.7. Lanjutan

No.	Tanggal	Waktu	Waktu	Debit Banjir	Base Flow	HLL
			(menit)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m ³ /det)
56	01/09/2010	03:40:00	550	1,744	0,913	0,830
57	01/09/2010	03:50:00	560	1,692	0,916	0,775
58	01/09/2010	04:00:00	570	1,615	0,919	0,695
59	01/09/2010	04:10:00	580	1,615	0,922	0,692
60	01/09/2010	04:20:00	590	1,588	0,926	0,663
61	01/09/2010	04:30:00	600	1,546	0,929	0,617
62	01/09/2010	04:40:00	610	1,503	0,932	0,572
63	01/09/2010	04:50:00	620	1,468	0,935	0,534
64	01/09/2010	05:00:00	630	1,426	0,938	0,488
65	01/09/2010	05:10:00	640	1,392	0,941	0,452
66	01/09/2010	05:20:00	650	1,375	0,944	0,431
67	01/09/2010	05:30:00	660	1,358	0,947	0,411
68	01/09/2010	05:40:00	670	1,324	0,950	0,375
69	01/09/2010	05:50:00	680	1,291	0,953	0,338
70	01/09/2010	06:00:00	690	1,265	0,956	0,309
71	01/09/2010	06:10:00	700	1,265	0,959	0,306
72	01/09/2010	06:20:00	710	1,265	0,962	0,303
73	01/09/2010	06:30:00	720	1,257	0,965	0,292
74	01/09/2010	06:40:00	730	1,240	0,968	0,272
75	01/09/2010	06:50:00	740	1,232	0,971	0,261
76	01/09/2010	07:00:00	750	1,248	0,974	0,274
77	01/09/2010	07:10:00	760	1,274	0,977	0,297
78	01/09/2010	07:20:00	770	1,274	0,980	0,294
79	01/09/2010	07:30:00	780	1,240	0,983	0,256
80	01/09/2010	07:40:00	790	1,232	0,986	0,246
81	01/09/2010	07:50:00	800	1,174	0,989	0,184
82	01/09/2010	08:00:00	810	1,198	0,992	0,206
83	01/09/2010	08:10:00	820	1,165	0,995	0,170
84	01/09/2010	08:20:00	830	1,165	0,999	0,167
85	01/09/2010	08:30:00	840	1,157	1,002	0,155
86	01/09/2010	08:40:00	850	1,157	1,005	0,152
87	01/09/2010	08:50:00	860	1,098	1,008	0,091
88	01/09/2010	09:00:00	870	1,139	1,011	0,129
89	01/09/2010	09:10:00	880	1,124	1,014	0,110
90	01/09/2010	09:20:00	890	1,115	1,017	0,098
91	01/09/2010	09:30:00	900	1,148	1,020	0,128
92	01/09/2010	09:40:00	910	1,098	1,023	0,075
93	01/09/2010	09:50:00	920	1,081	1,026	0,055
94	01/09/2010	10:00:00	930	1,049	1,029	0,020
95	01/09/2010	10:10:00	940	1,032	1,032	0,000

2. Menghitung tinggi limpasan

$$\begin{aligned}\text{Volume Limpasan} &= \text{Volume HLL} \times \text{Waktu} \\ &= \sum q \times \Delta t \\ &= 114648,190 \text{ m}^3 \\ &= 0,115 \text{ km}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tinggi Limpasan} &= \text{Volume Limpasan/Luas DAS} \\ &= V/A \\ &= (0,115/60,52) \times 1000 \\ &= 1,894 \text{ mm}\end{aligned}$$

3. Menghitung phi indeks dan hujan efektif

$$P_{\text{net}} = \text{tinggi limpasan} = 1,894 \text{ mm}$$

Data hujan yang tercatat ;

a. Hujan 10 menit pertama	= 6,4 mm
b. Hujan 10 menit kedua	= 0,8 mm
c. Hujan 10 menit ketiga	= 0,2 mm
Total hujan yang terjadi	= 7,4 mm

$$\text{Phi indeks } (\phi) = (P_n - \text{tinggi limpasan})/n$$

Trial pertama $0 \leq \phi \leq 0,2 \text{ mm}$

$$\Phi = 1,835 \text{ mm} \quad \dots \text{ Tidak Oke}$$

Trial Kedua $0,2 \leq \phi \leq 0,8 \text{ mm}$

$$\Phi = 2,635 \text{ mm} \quad \dots \text{ Tidak Oke}$$

Trial ketiga $0,8 \leq \phi \leq 6,4 \text{ mm}$

$$\Phi = 4,506 \text{ mm} \quad \dots \text{ Oke}$$

$$\text{Hujan Efektif} = 1,894 \text{ mm}$$

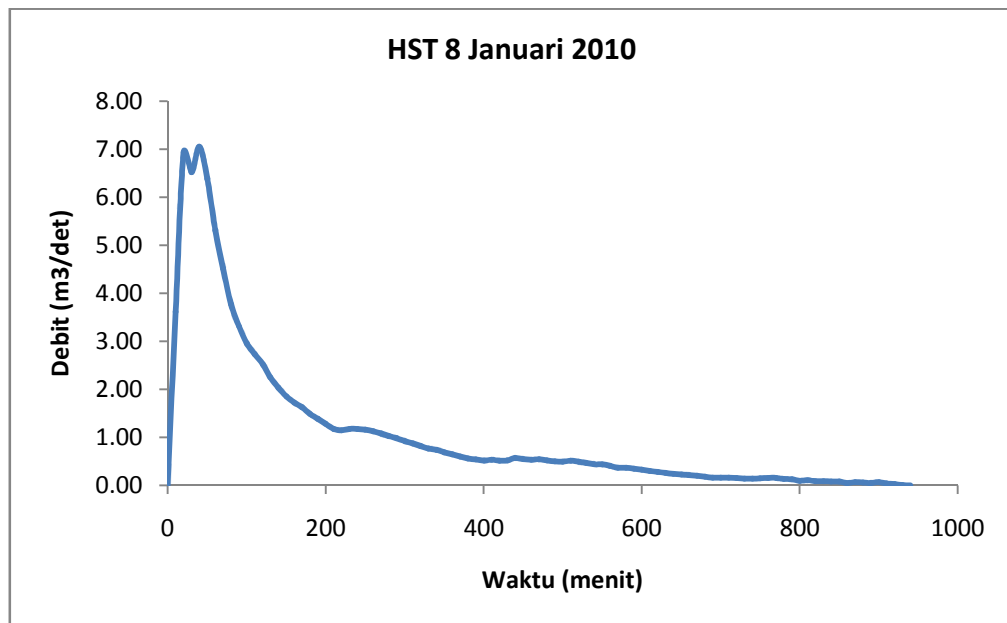
4. Pembuatan Hidrograf Satuan Terukur (Tabel 4.8)

Tabel 4.8. Hidrograf Satuan Terukur (HST) untuk DAS Way Kuala Garuntang pada tanggal 8 Januari 2010

Waktu (menit)	HLL (m ³ /det)	HST (m ³ /det)	Waktu (menit)	HLL (m ³ /det)	HST (m ³ /det)
0	0,000	0,000	480	0,983	0,519
10	6,837	3,610	490	0,953	0,503
20	13,118	6,926	500	0,933	0,493
30	12,345	6,518	510	0,974	0,514
40	13,353	7,050	520	0,936	0,494
50	12,091	6,384	530	0,881	0,465
60	10,058	5,310	540	0,833	0,440
70	8,558	4,519	550	0,830	0,438
80	7,143	3,771	560	0,775	0,409
90	6,272	3,311	570	0,695	0,367
100	5,605	2,959	580	0,692	0,365
110	5,173	2,731	590	0,663	0,350
120	4,782	2,525	600	0,617	0,326
130	4,251	2,244	610	0,572	0,302
140	3,854	2,035	620	0,534	0,282
150	3,516	1,856	630	0,488	0,258
160	3,271	1,727	640	0,452	0,238
170	3,080	1,626	650	0,431	0,228
180	2,813	1,485	660	0,411	0,217
190	2,626	1,387	670	0,375	0,198
200	2,422	1,279	680	0,338	0,179
210	2,229	1,177	690	0,309	0,163
220	2,170	1,146	700	0,306	0,162
230	2,223	1,174	710	0,303	0,160
240	2,220	1,172	720	0,292	0,154
250	2,198	1,160	730	0,272	0,143
260	2,138	1,129	740	0,261	0,138
270	2,052	1,083	750	0,274	0,145
280	1,945	1,027	760	0,297	0,157
290	1,860	0,982	770	0,294	0,155
300	1,737	0,917	780	0,256	0,135
310	1,651	0,872	790	0,246	0,130
320	1,558	0,823	800	0,184	0,097
330	1,455	0,768	810	0,206	0,109
340	1,398	0,738	820	0,170	0,090
350	1,306	0,689	830	0,167	0,088
360	1,222	0,645	840	0,155	0,082

Tabel 4.8. Lanjutan

Waktu (menit)	HLL (m ³ /det)	HST (m ³ /det)	Waktu (menit)	HLL (m ³ /det)	HST (m ³ /det)
370	1,140	0,602	850	0,152	0,080
380	1,066	0,563	860	0,091	0,048
390	1,019	0,538	870	0,129	0,068
400	0,980	0,518	880	0,110	0,058
410	1,013	0,535	890	0,098	0,052
420	0,974	0,514	900	0,128	0,068
430	0,980	0,518	910	0,075	0,040
440	1,082	0,572	920	0,055	0,029
450	1,036	0,547	930	0,020	0,010
460	1,015	0,536	940	0,000	0,000
470	1,030	0,544			



Gambar 4.6. HST DAS Way Kuala Garuntang tanggal 8 Januari 2010

- b. DAS Way Simpur (Daerah Kotabaru)
 - 1. Menghitung Hidrograf Limpasan Langsung (Tabel 4.9.)

Tabel 4.9. Perhitungan Hidrograf Limpasan Langsung untuk DAS Way Simpur (Daerah Kotabaru) pada tanggal 16 Januari 2010

No.	Tanggal	Waktu	Waktu	Debit Banjir	Base Flow	HLL
			(menit)	(m ³ /det)	(m ³ /det)	(m ³ /det)
1	16/01/2010	17:40:00	0	0,500	0,500	0,000
2	16/01/2010	17:50:00	10	2,807	0,498	2,309
3	16/01/2010	18:00:00	20	3,453	0,495	2,957
4	16/01/2010	18:10:00	30	2,118	0,493	1,625
5	16/01/2010	18:20:00	40	1,344	0,490	0,854
6	16/01/2010	18:30:00	50	1,026	0,488	0,539
7	16/01/2010	18:40:00	60	0,879	0,486	0,394
8	16/01/2010	18:50:00	70	0,680	0,483	0,197
9	16/01/2010	19:00:00	80	0,534	0,481	0,053
10	16/01/2010	19:10:00	90	0,487	0,478	0,008
11	16/01/2010	19:20:00	100	0,483	0,476	0,008
12	16/01/2010	19:30:00	110	0,483	0,473	0,010
13	16/01/2010	19:40:00	120	0,471	0,471	0,000

2. Menghitung tinggi timpasan

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Limpasan} &= \text{volume HLL} \times \text{waktu} \\
 &= \sum q \times \Delta t \\
 &= 5371,794 \text{ m}^3 \\
 &= 0,005 \text{ km}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi Limpasan} &= \text{Volume Limpasan} / \text{Luas DAS} \\
 &= V/A \\
 &= (0,115/60,52) \times 1000 \\
 &= 1,456 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

3. Menghitung phi indeks dan hujan efektif

$$P_{\text{net}} = \text{tinggi limpasan} = 1,456 \text{ mm}$$

Data hujan yang tercatat ;

- a. Hujan 10 menit pertama = 0,4 mm
 - b. Hujan 10 menit kedua = 0,2 mm
 - c. Hujan 10 menit ketiga = 0,4 mm
 - d. Hujan 10 menit keempat = 7 mm
- Total hujan yang terjadi = 8,0 mm

Phi indeks (ϕ) = (Pn – tinggi limpasan)/n

Trial pertama $0 \leq \phi \leq 0,2$ mm

$\Phi = 1,636$ mm . . . Tidak Oke

Trial Kedua $0,2 \leq \phi \leq 0,4$ mm

$\Phi = 2,115$ mm . . . Tidak Oke

Trial ketiga $0,4 \leq \phi \leq 7,0$ mm

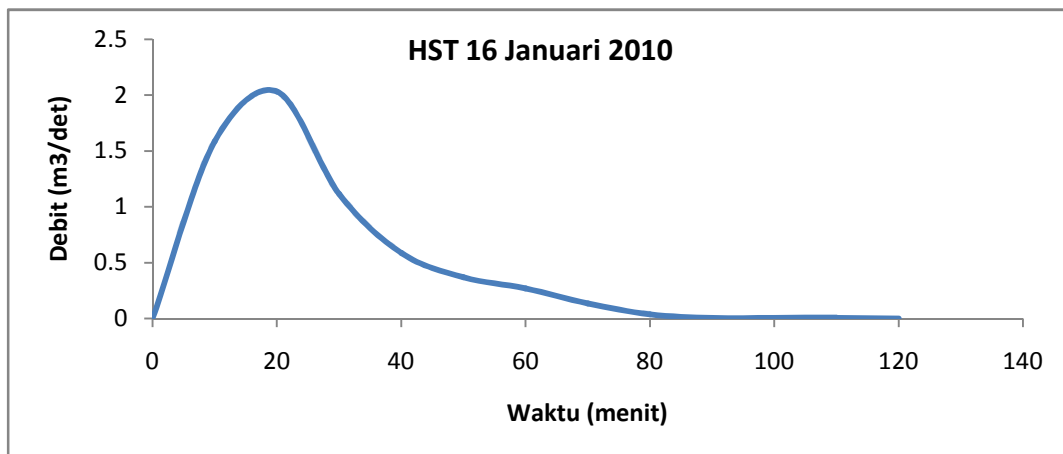
$\Phi = 5,544$ mm . . . Oke

Hujan Efektif = 1,456 mm

4. Pembuatan Hidrograf Satuan Terukur (Tabel 4.14. dan Gambar 4.9.)

Tabel 4.10. Hidrograf Satuan Terukur (HST) untuk DAS Way Simpур (Daerah Kotabaru) pada tanggal 16 Januari 2010

Waktu (menit)	HLL (m ³ /det)	HST (m ³ /det)
0	0,000	0,000
10	2,309	1,586
20	2,957	2,031
30	1,625	1,116
40	0,854	0,586
50	0,539	0,370
60	0,394	0,270
70	0,197	0,135
80	0,053	0,036
90	0,008	0,006
100	0,008	0,005
110	0,010	0,007
120	0,000	0,000



Gambar 4.7. HST DAS Way Simpур (Daerah Kotabaru) tanggal 16 Januari 2010

Pada penelitian ini periode waktu yang digunakan untuk membuat Hidrograf Satuan Terukur adalah 10 menitan, 30 menitan, dan 60 menitan untuk setiap DAS. Periode waktu ini digunakan dengan pertimbangan waktu menuju puncak (T_p) pada salah satu DAS tidak lebih dari setengah jam semenjak terjadinya banjir, ada beberapa kejadian banjir yang tinggi limpasannya lebih besar daripada curah hujan yang ada jika hanya menggunakan periode waktu yang kecil maka darinya dicoba periode waktu yang lebih besar, dan juga melihat apakah hidrograf jam-jaman masih bisa efisien di 2 (dua) DAS tersebut.

Hidrograf Satuan Terukur yang didapat untuk setiap periode waktu ditunjukkan pada Tabel 4.11, Tabel 4.12, dan Tabel 4.13 untuk DAS Way Kuala Garuntang, sedangkan untuk DAS Way Simpur ditunjukkan pada Tabel 4.14, Tabel 4.15, dan Tabel 4.16. Untuk grafik Hidrograf Satuan Terukur untuk setiap periode waktu ditunjukkan pada Gambar 4.8, Gambar 4.9, Gambar 4.10 untuk DAS Way Kuala Garuntang, sedangkan untuk DAS Way Simpur ditunjukkan pada Gambar 4.11, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13.

Tabel 4.11. Hidrograf Satuan Untuk Periode Waktu 10 Menitan untuk DAS Way Kuala Garuntang

No	Tanggal	No.	Tanggal
1	25 Desember 2009	7	20 Januari 2010
2	28 Desember 2009	8	27 Januari 2010
3	31 Desember 2009	9	28 Januari 2010
4	8 Januari 2010	10	4 Februari 2010
5	13 Januari 2010	11	13 Maret 2010
6	16 Januari 2010		

Tabel 4.12. Hidrograf Satuan Untuk Periode Waktu 30 Menitan untuk DAS Way Kuala Garuntang

No	Tanggal	No.	Tanggal
1	25 Desember 2009	9	27 Januari 2010
2	28 Desember 2009	10	28 Januari 2010
3	31 Desember 2009	11	1 Februari 2010
4	8 Januari 2010	12	4 Februari 2010
5	13 Januari 2010	13	5 Februari 2010
6	14 Januari 2010	14	8 Maret 2010
7	16 Januari 2010	15	13 Maret 2010
8	20 Januari 2010		

Tabel 4.13. Hidrograf Satuan Untuk Periode Waktu 60 Menitan untuk DAS Way Kuala Garuntang

No	Tanggal	No.	Tanggal
1	25 Desember 2009	10	27 Januari 2010
2	28 Desember 2009	11	28 Januari 2010
3	31 Desember 2009	12	1 Februari 2010
4	8 Januari 2010	13	4 Februari 2010
5	10 Januari 2010	14	5 Februari 2010
6	13 Januari 2010	15	8 Maret 2010
7	14 Januari 2010	16	10 Maret 2010
8	16 Januari 2010	17	13 Maret 2010
9	20 Januari 2010		

Tabel 4.14. Hidrograf Satuan Untuk Periode Waktu 10 Menitan untuk DAS Way Simpurr

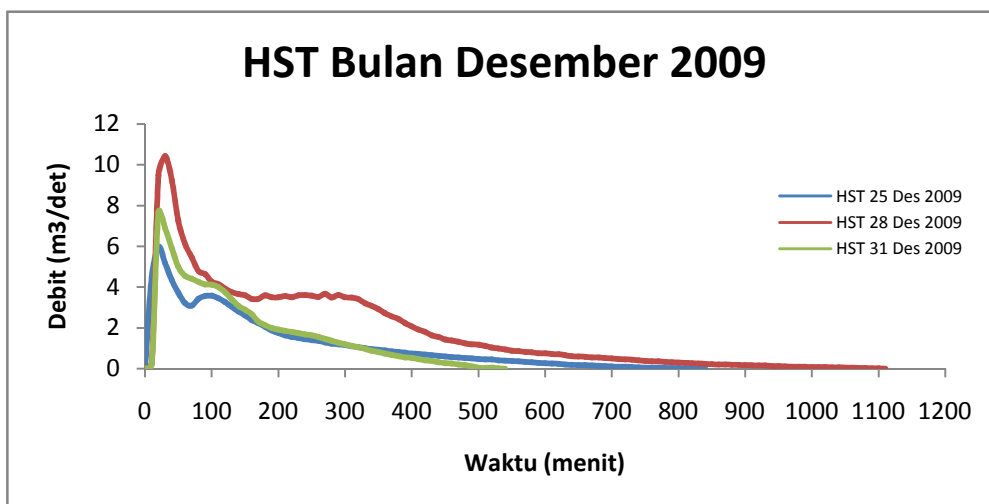
No	Tanggal	No.	Tanggal
1	16 Januari 2010	3	31 Januari 2010
2	17 Januari 2010	4	6 Februari 2010

Tabel 4.15. Hidrograf Satuan Untuk Periode Waktu 30 Menitan untuk DAS Way Simpurr

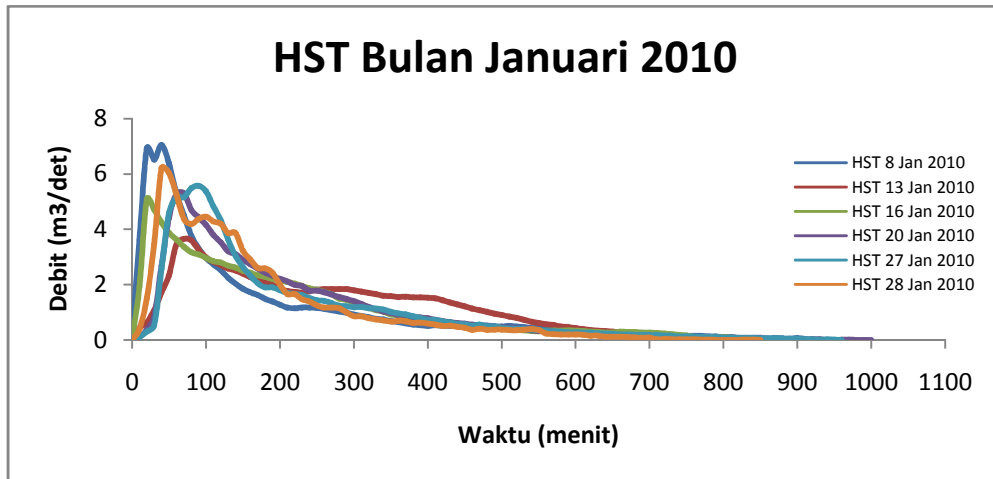
No	Tanggal	No.	Tanggal
1	16 Januari 2010	4	31 Januari 2010
2	17 Januari 2010	5	4 Februari 2010
3	17 Januari 2010	6	6 Februari 2010

Tabel 4.16. Hidrograf Satuan Untuk Periode Waktu 60 Menitan untuk DAS Way Simpurr

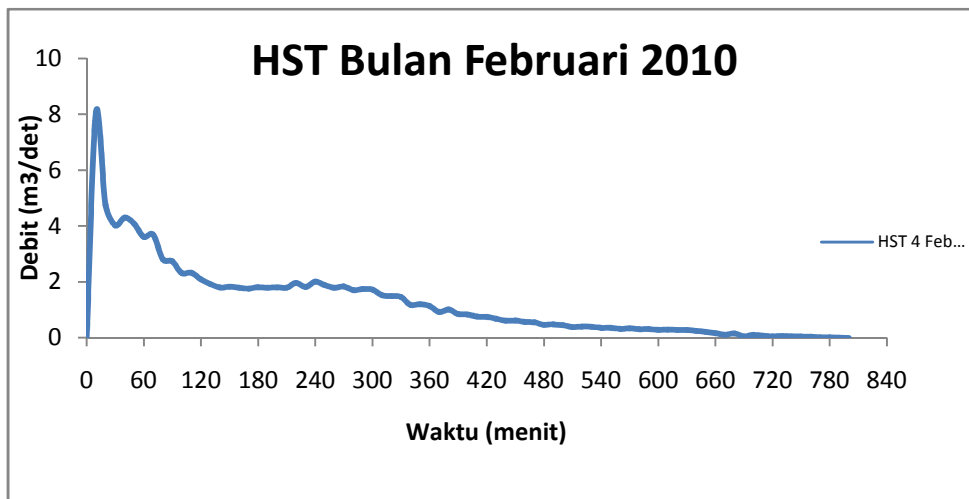
No	Tanggal	No.	Tanggal
1	16 Januari 2010	5	1 Februari 2010
2	17 Januari 2010	6	4 Februari 2010
3	17 Januari 2010	7	6 Februari 2010
4	31 Januari 2010		



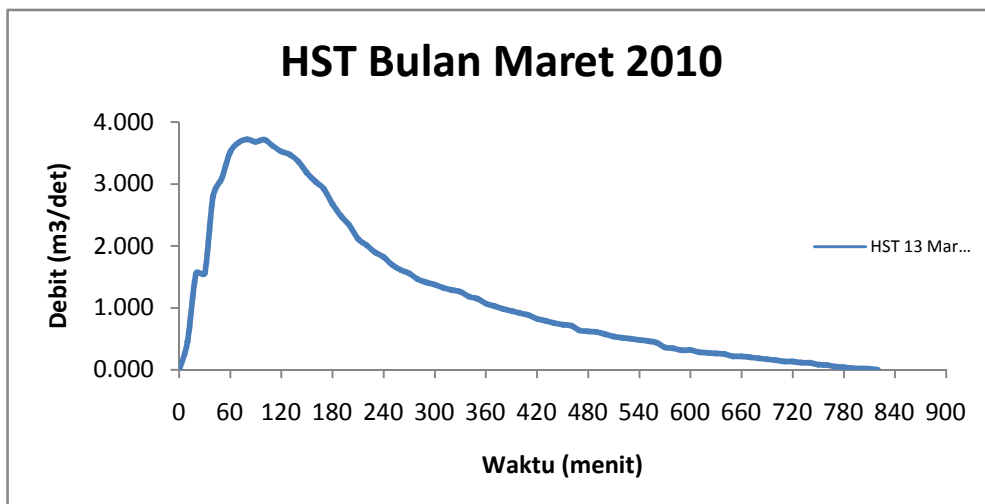
(a)



(b)

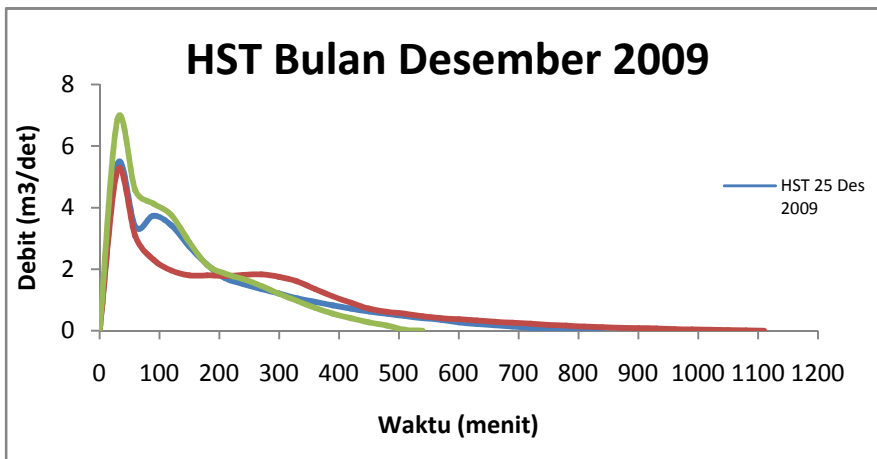


(c)

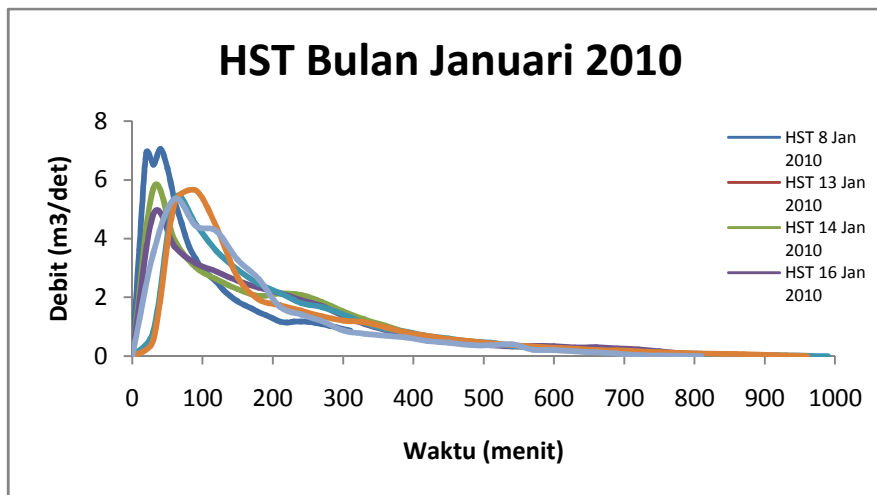


(d)

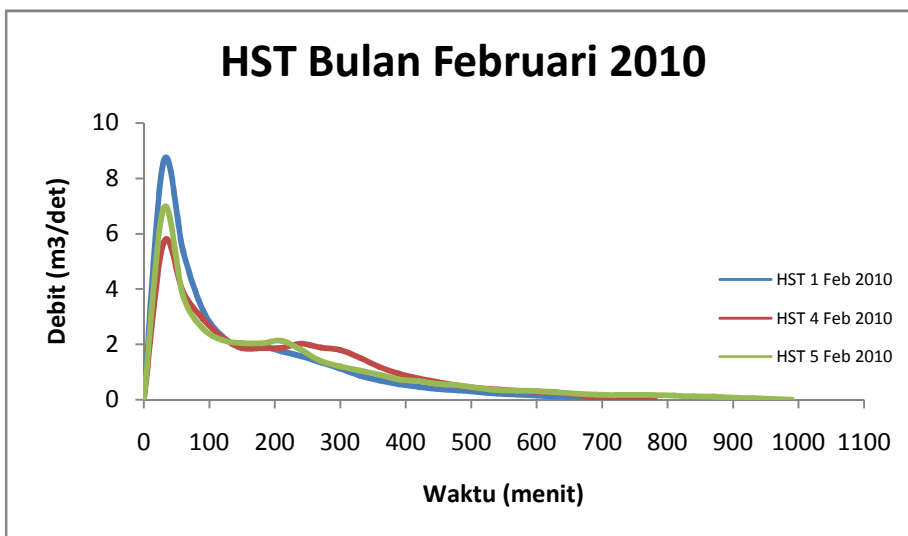
Gambar 4.8. HST DAS Way Kuala Garuntang untuk periode waktu 10 menit pada (a). Bulan Desember 2009, (b). Bulan Januari 2010, (c). Bulan Februari 2010, (d). Bulan Maret 2010.



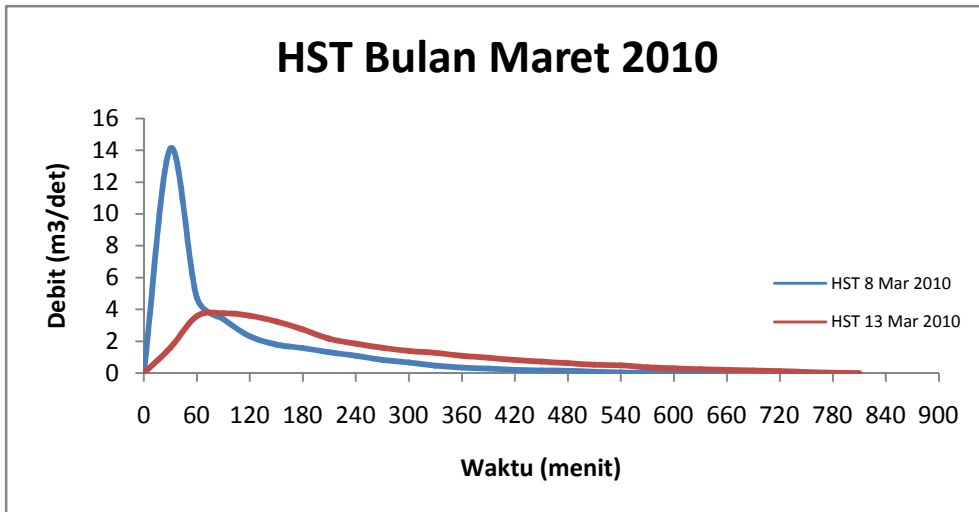
(a)



(b)

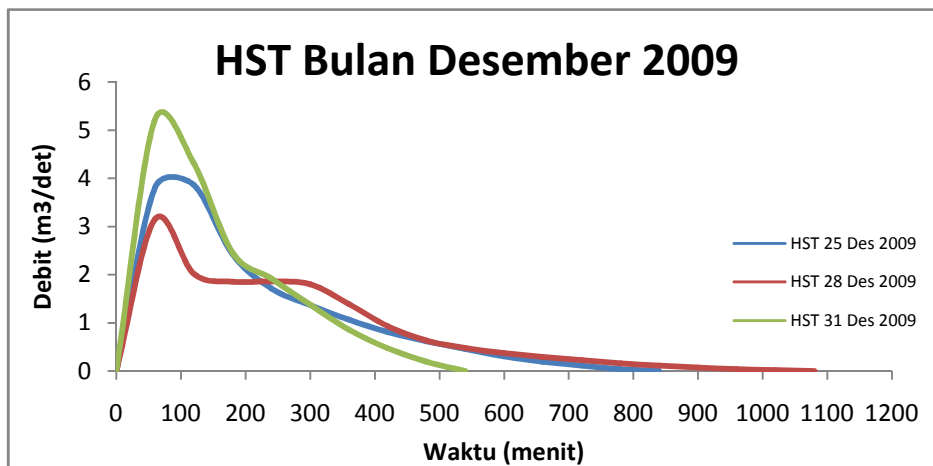


(c)

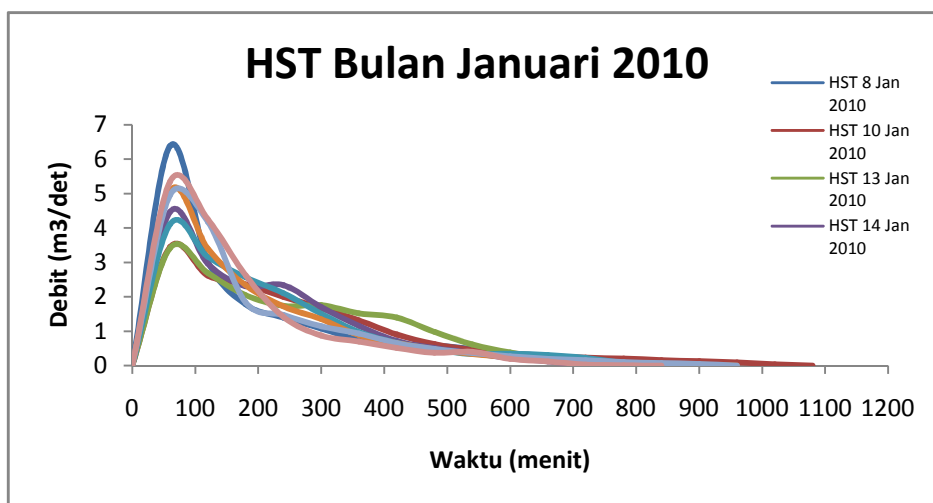


(d)

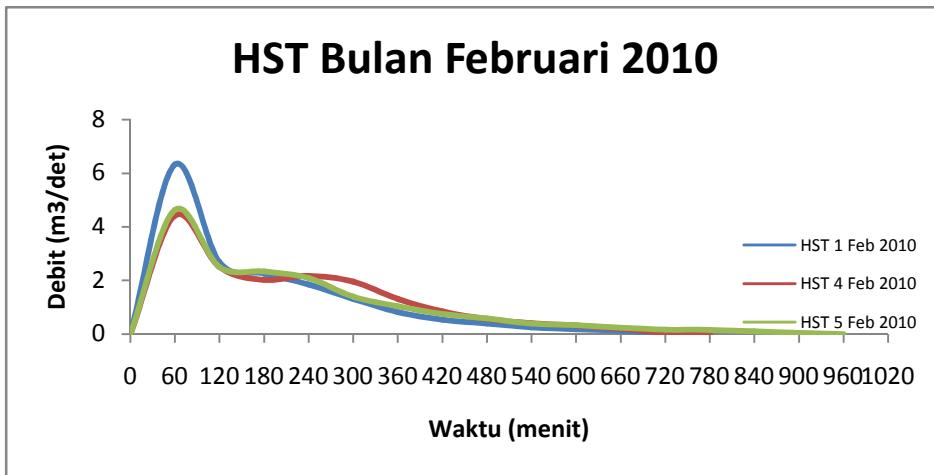
Gambar 4.9. (a). HST DAS Way Kuala Garuntang untuk periode waktu 30 menit pada (a). Bulan Desember 2009, (b). Bulan Januari 2010, (c). Bulan Februari 2010, (d). Bulan Maret 2010.



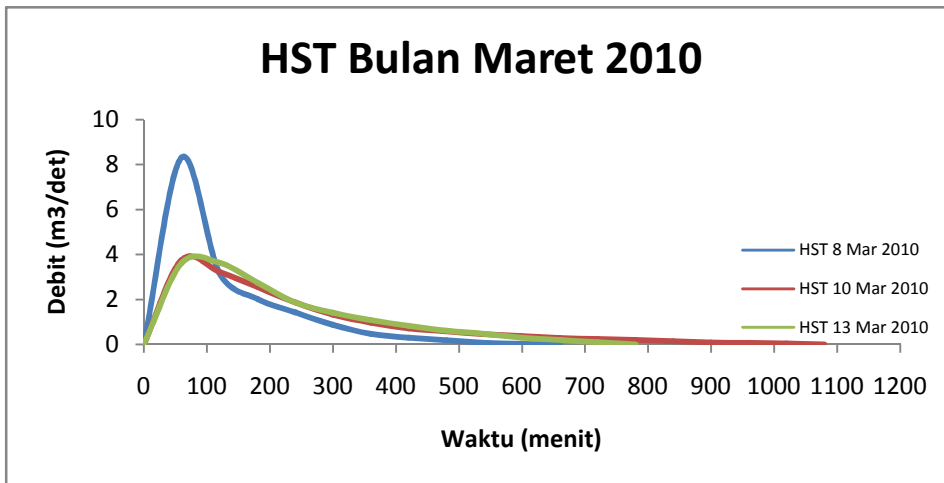
(a)



(b)

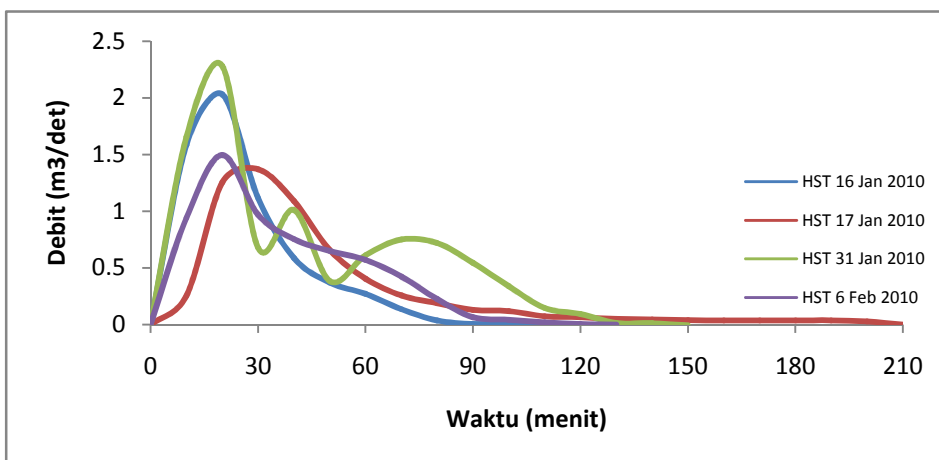


(c)

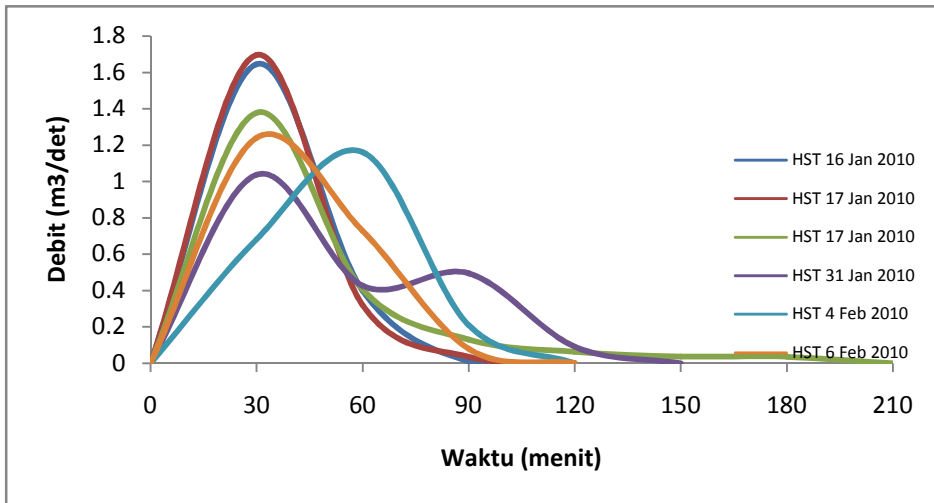


(d)

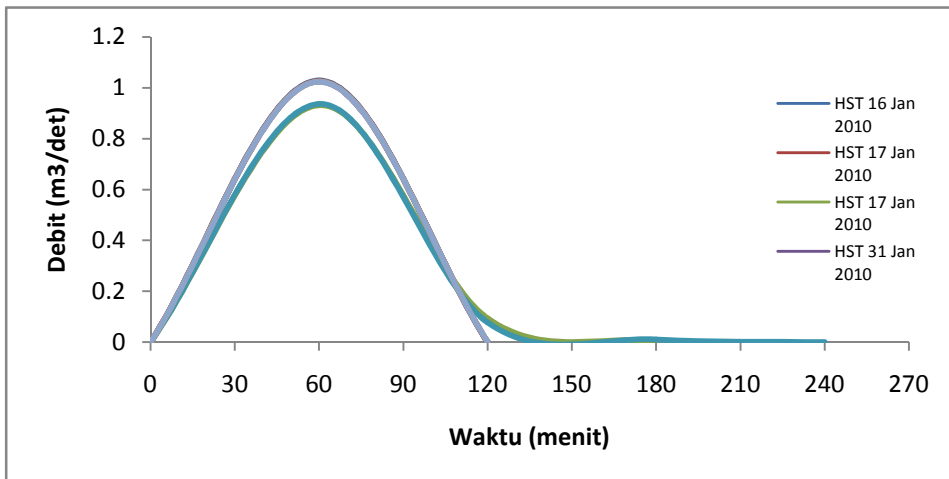
Gambar 4.10. (a). HST DAS Way Kuala Garuntang untuk periode waktu 60 menitan pada (a). Bulan Desember 2009, (b). Bulan Januari 2010, (c). Bulan Februari 2010, (d). Bulan Maret 2010.



Gambar 4.11. HST DAS Way Simpurn (Daerah Kotabaru) untuk periode waktu 10 menitan



Gambar 4.12. HST DAS Way Simpurn (Daerah Kotabaru) untuk periode waktu 30 menitan



Gambar 4.13. HST DAS Way Simpurn (Daerah Kotabaru) untuk periode waktu 60 menitan

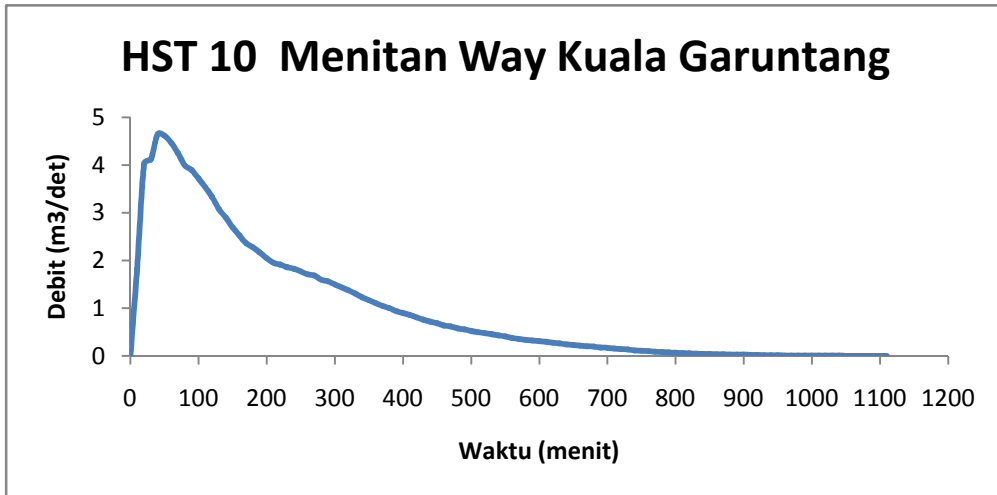
4.1.5. Perataan HST

Dari beberapa hidrograf satuan terukur yang terbentuk untuk setiap periode waktu baik pada DAS Way Kuala Garuntang maupun DAS Way Simpurn (Daerah Kotabaru), dibuat hidrograf rata-ratanya yang dapat dianggap mewakili masing-masing DAS tersebut. Hidrograf satuan terukur yang didapat pada setiap periode waktu pada setiap DAS memiliki waktu puncak yang berbeda. Untuk DAS Way Kuala Garuntang pada periode waktu 10 menitan waktu puncaknya mempunyai variasi yaitu waktu puncak pada 10 menit, pada 30 menit, pada 80 menit, dan 90 menit masing-masing ada satu buah hidrograf, untuk waktu puncak pada 20 menit ada tiga buah hidrograf, untuk waktu puncak pada 40 menit dan pada 70 menit masing-masing ada dua buah hidrograf. Dapat dilihat waktu puncak untuk DAS Way Kuala

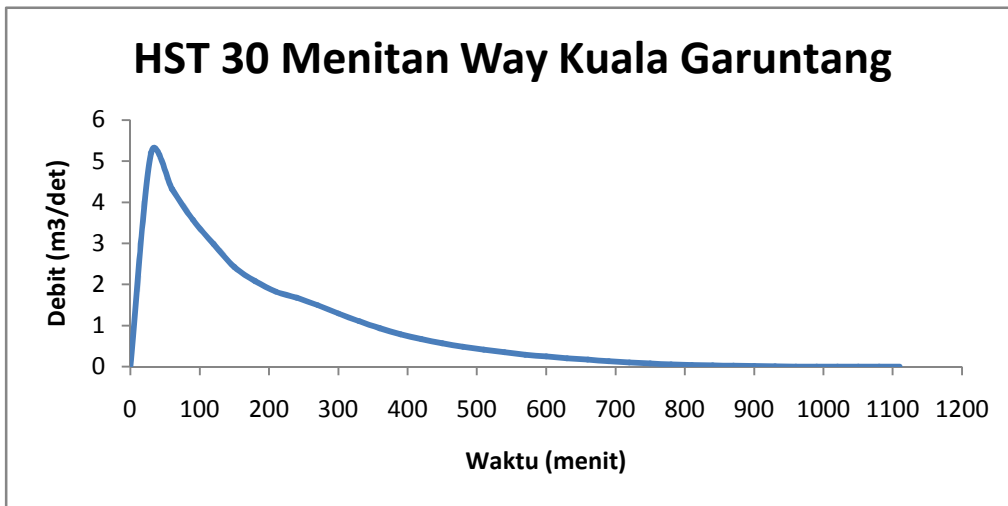
Garuntang yang sering muncul adalah pada waktu puncak pada 20 menit, akan tetapi pada hidrograf satuan rata-rata waktu puncaknya adalah pada 40 menit. Hal ini mungkin dikarenakan waktu puncak pada 40 menit ada dua buah dan jumlah ini tidak terlalu beda jauh dengan waktu puncak yang sering muncul yaitu pada 20 menit sebanyak tiga buah hidrograf.

Untuk periode waktu 30 menitan waktu puncak yang sering muncul berada pada 30 menit awal yaitu sebanyak sepuluh buah hidrograf, untuk tiga buah hidrograf waktu puncaknya berada pada 30 menit kedua (60 menit), dan untuk waktu puncaknya berada pada 30 menit ketiga (90 menit) sebanyak dua buah hidrograf. Dan untuk hidrograf satuan rata-rata waktu puncak berada pada 30 menit awal, hal ini sama persis seperti waktu puncak yang sering muncul. Untuk periode waktu 60 menitan waktu puncak yang sering muncul berada pada 60 menit awal yaitu sebanyak enam belas buah hidrograf, sedangkan satu hidrograf waktu puncaknya berada pada 60 menit kedua (120 menit), dan untuk hidrograf satuan rata-rata waktu puncaknya sesuai dengan waktu puncak yang sering muncul yaitu pada 60 menit awal.

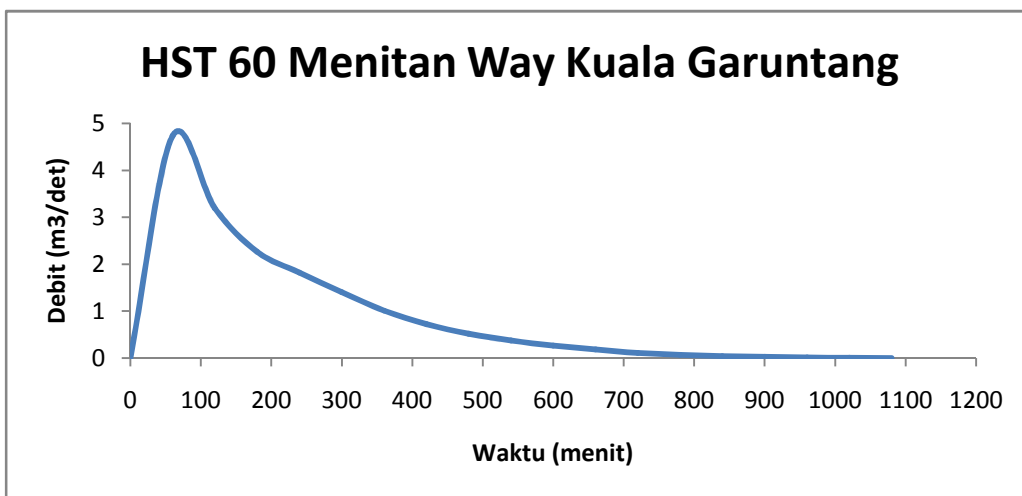
Untuk DAS Way Simpur (Daerah Kotabaru) pada periode waktu 10 menitan waktu puncaknya mempunyai variasi yaitu waktu puncak pada 10 menit awal ada dua buah hidrograf, untuk waktu puncak pada 10 menit kedua (20 menit) ada tiga buah hidrograf. Dapat dilihat waktu puncak untuk DAS Way Simpur (Daerah Kotabaru) mempunyai jumlah yang sama untuk waktu puncak yang berbeda, akan tetapi waktu puncak untuk hidrograf satuan rata-rata berada pada 10 menit kedua (20 menit). Untuk periode waktu 30 menitan waktu puncak yang sering muncul berada pada 30 menit awal yaitu sebanyak lima buah hidrograf, sedangkan satu buah hidrograf mempunyai waktu puncak pada 30 menit kedua (60 menit). Dan untuk hidrograf satuan rata-rata waktu puncak berada pada 30 menit awal, hal ini sama persis seperti waktu puncak yang sering muncul. Untuk periode waktu 60 menitan waktu puncaknya sama untuk semua hidrograf yang ada yaitu pada 60 menit awal. Hidrograf satuan terukur rata-rata untuk setiap periode waktu pada DAS Way Kuala Garuntang dapat dilihat pada Gambar 4.14, Gambar 4.15, dan Gambar 4.16, sedangkan untuk DAS Way Simpur (Daerah Kotabaru) pada setiap periode waktu dapat ditunjukkan pada Gambar 4.17, Gambar 4.18, dan Gambar 4.19.



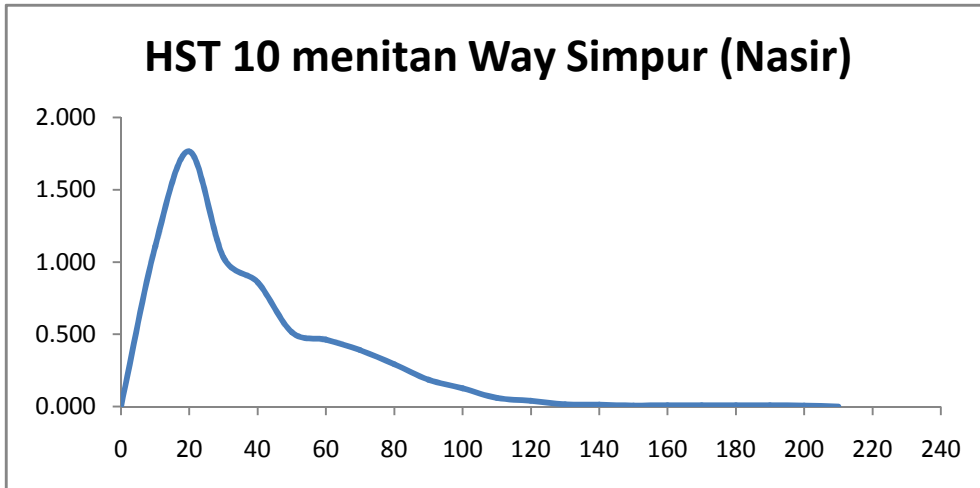
Gambar 4.14. HST rata-rata untuk periode waktu 10 menitan pada DAS Way Kuala Garuntang



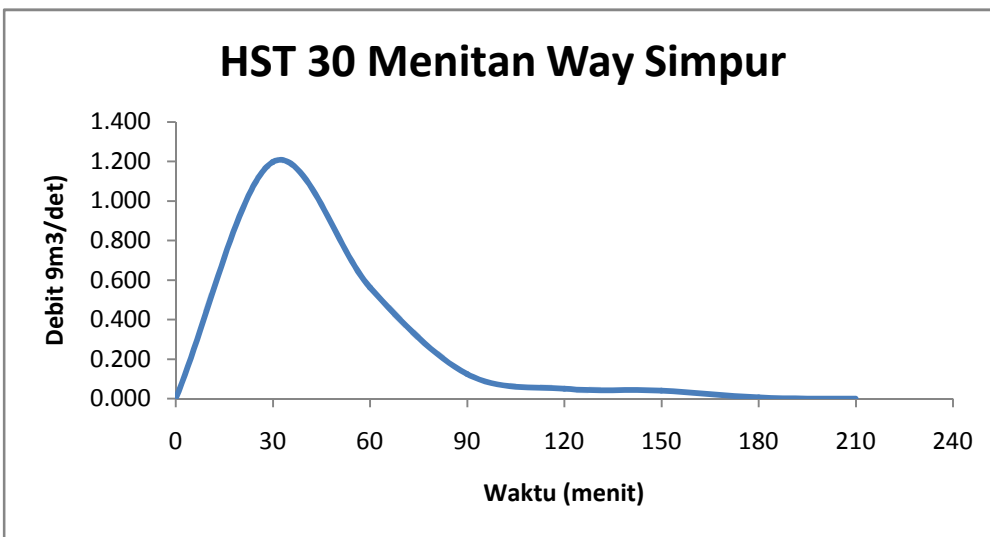
Gambar 4.15. HST rata-rata untuk periode waktu 30 menitan pada DAS Way Kuala Garuntang



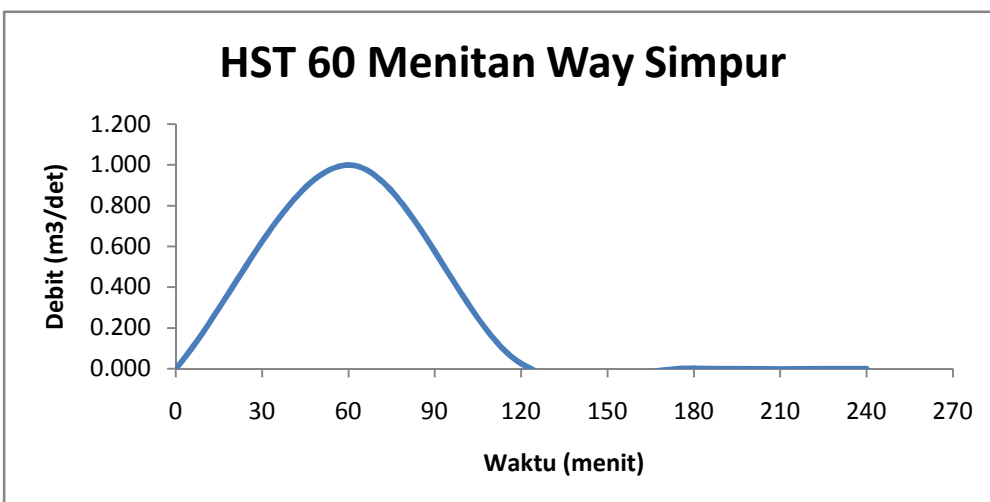
Gambar 4.16. HST rata-rata untuk periode waktu 60 menitan pada DAS Way Kuala Garuntang



Gambar 4.17. HST rata-rata untuk periode waktu 10 menitan pada DAS Way Simpurn



Gambar 4.18. HST rata-rata untuk periode waktu 30 menitan pada DAS Way Simpurn



Gambar 4.19. HST rata-rata untuk periode waktu 60 menitan pada DAS Way Simpurn

4.1.6. Analisis Hidrograf Satuan Terukur

Analisa yang dilakukan terhadap hidrograf satuan terukur yang didapat yaitu debit puncak, waktu dasar, waktu mencapai puncak, dan pola hidrograf satuan terukur.

a. Debit puncak

Debit puncak yang didapat dari beberapa hidrograf satuan terukur mempunyai variasi yang berbeda-beda. Baik itu hidrograf yang didapat pada bagian tengah Sungai Way Kuala Garuntang (DAS Way Simpurn) dengan bagian hilir Sungai Way Kuala Garuntang (DAS Way Kuala Garuntang). Pada bagian tengah sungai debit puncak yang didapat relatif kecil jika dibandingkan dengan debit puncak yang ada di bagian hilir sungai. Hal ini dikarenakan luas daerah pengalirannya berbeda cukup jauh yaitu untuk bagian tengah sungai memiliki luas DAS sebesar $3,69 \text{ km}^2$, sedangkan untuk daerah hilir sungai luas DAS relatif sangat luas yaitu sebesar $60,52 \text{ km}^2$.

Pada bagian tengah sungai (DAS Way Simpurn) tidak mempunyai cabang sungai sebelumnya, sehingga debitnya hanya ada di daerah pengalirannya saja. Untuk bagian hulu sungai mempunyai cabang yang cukup banyak, sehingga mendapatkan limpasan langsung yang berasal dari sub DAS lainnya. Dan juga limpasan yang berasal dari DAS Way Simpurn pun akan mencapai hilir sungai dan menjadi tambahan debit yang ada

b. Waktu dasar

Waktu dasar untuk kedua DAS mempunyai perbedaan yang sangat mencolok. Pada DAS Way Simpurn waktu dasar yang terpanjang pada periode waktu 60 menit, yaitu pada tanggal 1 Februari 2010 dimana waktu dasarnya mencapai 240 menit, sedangkan untuk HST lain waktu dasarnya hanya mencapai tidak lebih dari 3 jam. Untuk DAS Way Kuala Garuntang waktu dasar yang terjadi cukup banyak, dimana waktu dasar yang terpendek hanya 540 menit sedangkan untuk waktu dasar yang terpanjang mencapai 1100 menit.

Waktu dasar yang berbeda untuk setiap DAS terjadi karena luas DAS yang berbeda, kondisi tata guna lahan yang ada, penampang sungai yang berbeda, dan juga intensitas hujan yang terjadi. Dimana kadang kala hujan yang sebentar dapat mengakibatkan waktu dasar yang cukup panjang.

c. Waktu mencapai puncak

Untuk DAS Way Simpur (Daerah Kotabaru) waktu mencapai puncak dari beberapa hidrograf satuan terukur yang didapat berada pada waktu yang kedua yaitu pada waktu 10 menit setelah terjadinya kenaikan air. Hal ini dikarenakan air hujan yang jatuh langsung menjadi aliran limpasan langsung tanpa adanya infiltrasi ke dalam tanah. Walaupun ada juga infiltrasinya hanya sedikit yang masuk kedalam tanah.

Untuk DAS Way Kuala Garuntang waktu menuju puncak dari beberapa hidrograf satuan yang didapat mempunyai variasi yang cukup. Ada yang waktu puncaknya pada waktu yang pertama, ada yang pada waktu keempat, dan juga ada pada waktu setelah waktu kelima. Begitu banyaknya variasi yang terjadi untuk waktu menuju puncak banyak dipengaruhi oleh hujan efektif yang terjadi. Hujan efektif yang terjadi ada kalanya berjumlah satu buah, tetapi juga ada yang lebih dari satu buah. Akan tetapi pada hidrograf satuan rata-rata waktu puncaknya berada pada waktu yang keempat.

d. Pola hidrograf

Letak DAS Way Simpur (Daerah Kotabaru) berada pada DAS Way Kuala Garuntang, sehingga secara umum respon kedua DAS tersebut hampir sama, tetapi dari gambar-gambar tersebut dapat dilihat respon kedua DAS tersebut berbeda (debit puncak, waktu dasar, dan waktu mencapai puncak). Kemungkinan ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya yaitu:

1. Kondisi penggunaan tanah (*land use*)

Hidrograf yang terbentuk pada kedua DAS tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi penggunaan tanah dalam daerah pengaliran tersebut. DAS Way Kuala Garuntang merupakan daerah pembangunan/perkotaan, yang hampir seluruh permukaannya tertutupi oleh lapisan kedap air tetapi masih adanya lahan yang ditutupi oleh tumbuhan hijau sehingga air hujan akan mudah terkumpul ke sungai-sungai dengan kecepatan yang cukup tinggi, sedangkan DAS Way Simpur daerah pengalirannya merupakan pasar maupun pusat keramaian dimana air hujan akan langsung menuju sungai dengan cepat.

2. Daerah pengaliran

Pada dasarnya jika semua faktor termasuk curah hujan, intensitas hujan, durasi dan frekuensi curah hujan tetap, maka limpasan akan selalu sama, dan tidak tergantung dari luas daerah pengaliran, sehingga hidrograf selalu sebanding dengan luas daerah pengaliran. Akan tetapi sebenarnya makin besar daerah pengaliran, maka makin lama limpasan mencapai tempat titik pengukuran, sehingga panjang dasar hidrograf menjadi lebih besar dan puncaknya menjadi berkurang. Penyebab pengurangan debit adalah hubungan antara intensitas curah hujan maksimum yang berbanding terbalik dengan luas daerah hujan tersebut, dengan asumsi curah hujan dianggap merata. Pada penelitian ini DAS Way Kuala Garuntang lebih besar dibandingkan dengan DAS Way Simpung (Daerah Kotabaru).

3. Kondisi topografi dalam daerah pengaliran

Kondisi topografi dalam daerah pengaliran meliputi corak, elevasi dan gradien. Dimana corak daerah pengaliran adalah faktor bentuk yang merupakan perbandingan panjang sungai utama terhadap lebar rata-rata daerah pengaliran. Elevasi daerah pengaliran dan elevasi rata-rata mempunyai hubungan yang penting terhadap suhu dan curah hujan. Sedangkan gradien daerah pengaliran merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi waktu mengalirnya aliran permukaan, waktu konsentrasi ke sungai dari curah hujan.

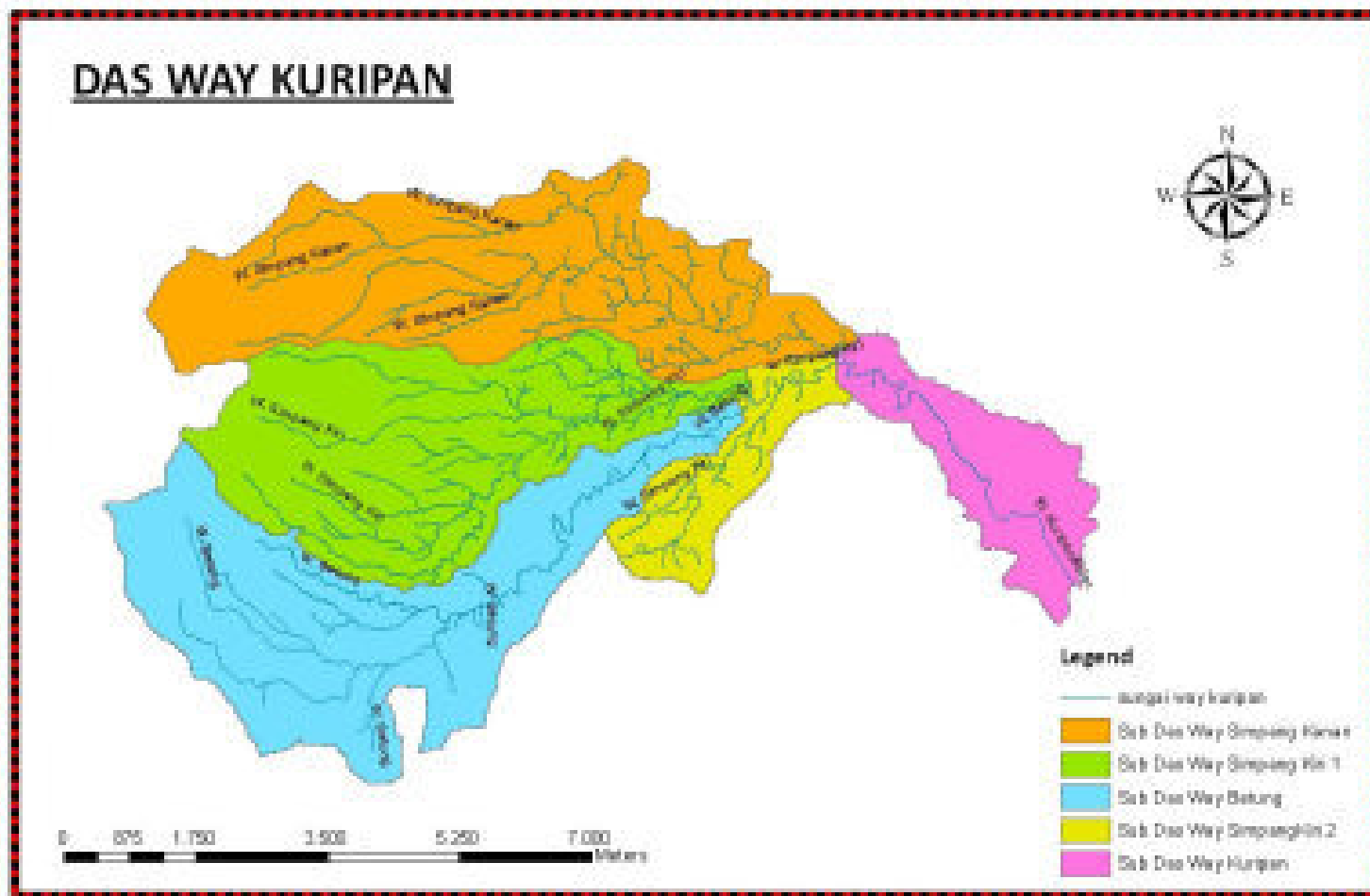
4.2. Deliniasi DAS dan Sungai di Bandar Lampung

Deliniasi DAS di Kota Bandar Lampung didapat dari proses *generate* atas peta *Digital Elevation Model* (DEM). Sedangkan peta sungai didapatkan dari proses digitasi on screen yang mengacu pada citra satelit google earth. Peta DAS dan sungai di Bandar Lampung tersebut kemudian digunakan untuk menghitung parameter-parameter yang digunakan dalam hidrograf satuan sintetik Gamma 1 dan Nakayasu seperti sungai-sungai utama, luas DAS dan sub DAS, orde sungai, faktor lebar, faktor luas di sebelah hulu, dan lain-lain.

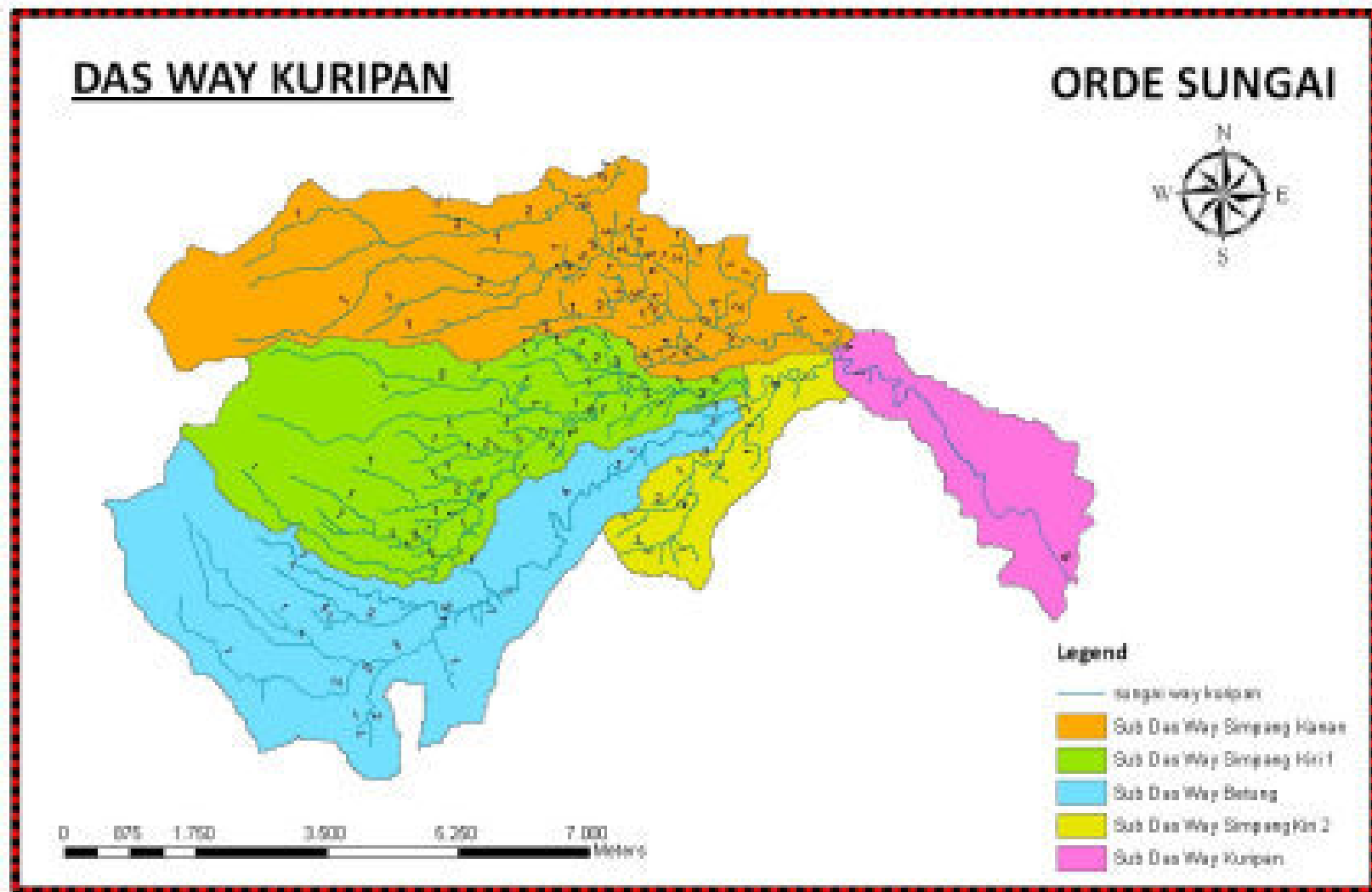
Dari hasil deliniasi DAS di Kota Bandar Lampung, terdapat 14 DAS. Dari 14 DAS tersebut terdapat 2 DAS terbesar yaitu DAS Kuala Garuntang dan DAS Kuripan. Kedua DAS terbesar inilah yang menjadi fokus pada penelitian tahap pertama. Baik DAS Kuala Garuntang dan DAS kuripan kemudian dideliniasi kembali untuk penentuan DAS-DAS kecil (Sub DAS) yang termasuk ke dalam kedua DAS tersebut sehingga akan terlihat hasil

cascade HSS dan *neighbouring* HSS dengan metode HSS Gamma 1 dan HSS Nakayasu. Dari hasil deliniasi DAS-DAS kecil, terdapat 11 DAS kecil pada DAS Kuala Garuntang, sedangkan pada DAS Kuripan terdapat 4 DAS kecil.

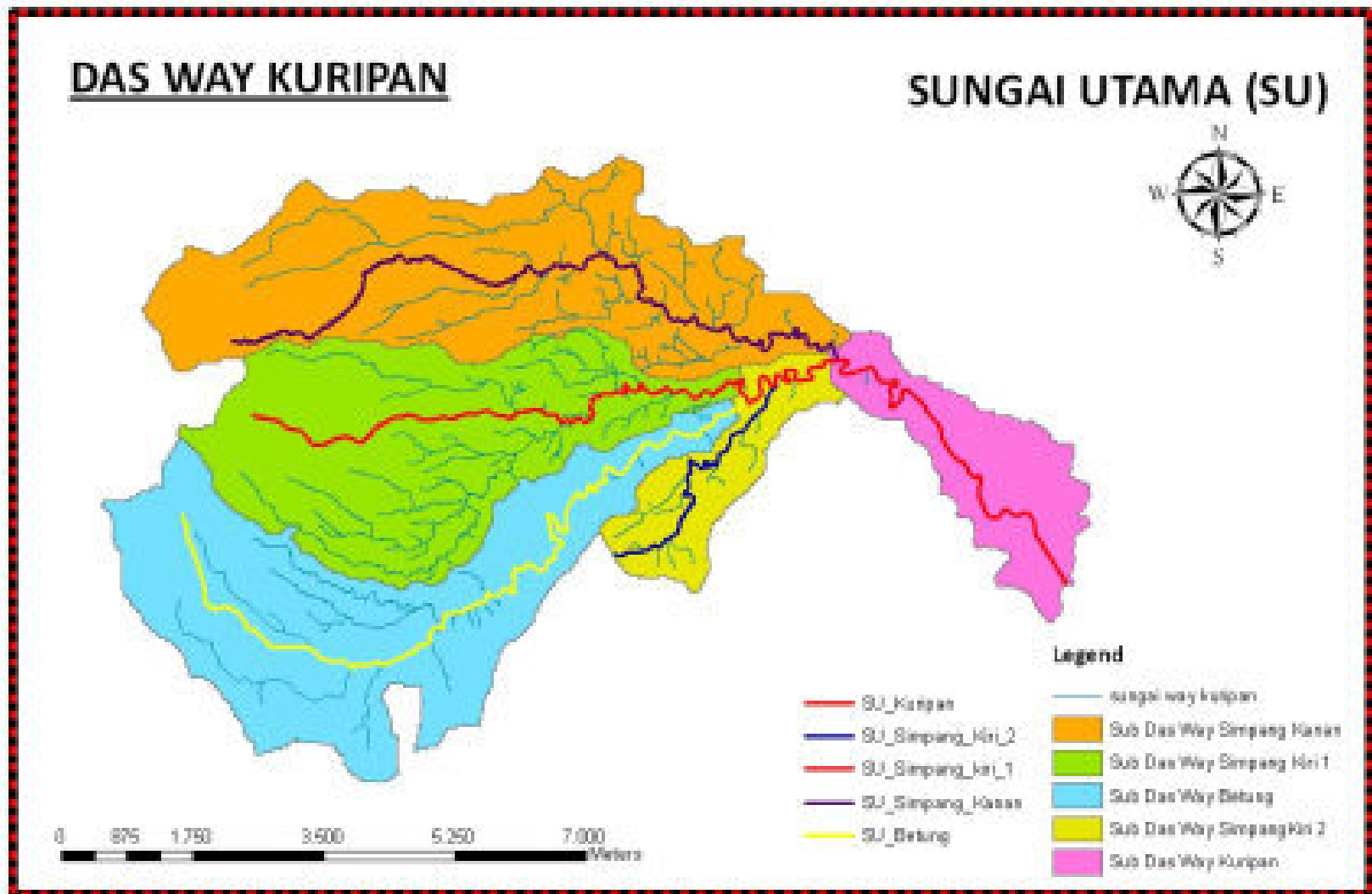
Gambar 20 sampai dengan Gambar 26 adalah hasil deliniasi untuk DAS dan sungai Way Kuripan beserta pengolahan petanya yang digunakan untuk menentukan parameter-parameter yang digunakan di dalam perhitungan HSS Gamma 1 dan HSS Nakayasu. Penentuan parameter-parameter ini dilakukan untuk masing-masing sub DAS dan DAS utama untuk membantu menghasilkan *neighbouring* HSS dan *cascade* HSS. Sedangkan untuk Gambar 27 sampai dengan Gambar 33 merupakan deliniasi DAS dan Sungai Way Kuala Garuntang beserta parameter-parameter yang digunakan untuk perhitungan HSS nya.



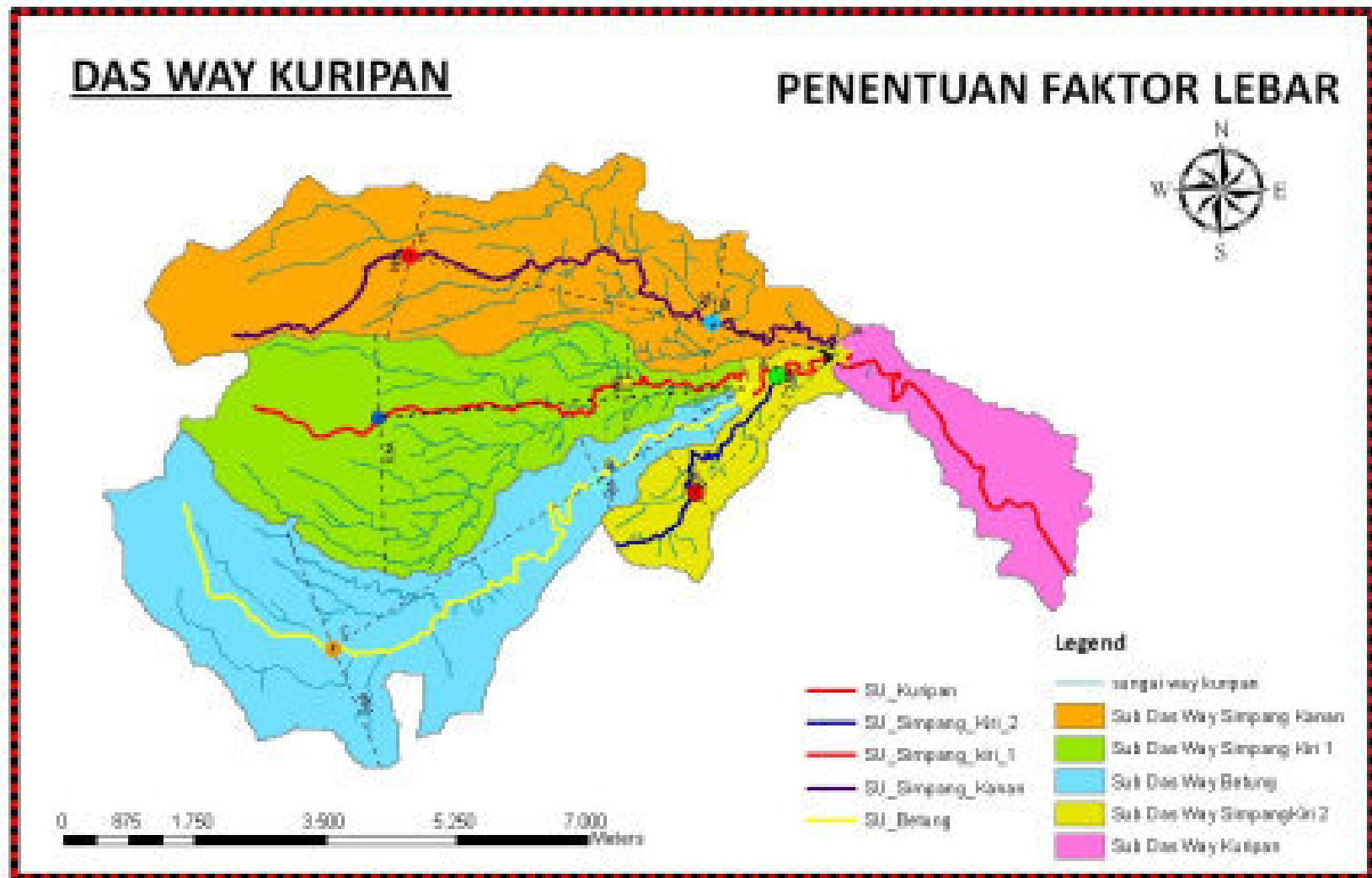
Gambar 4.20. DAS Way Kuripan beserta sub DAS dan anak-anak sungainya



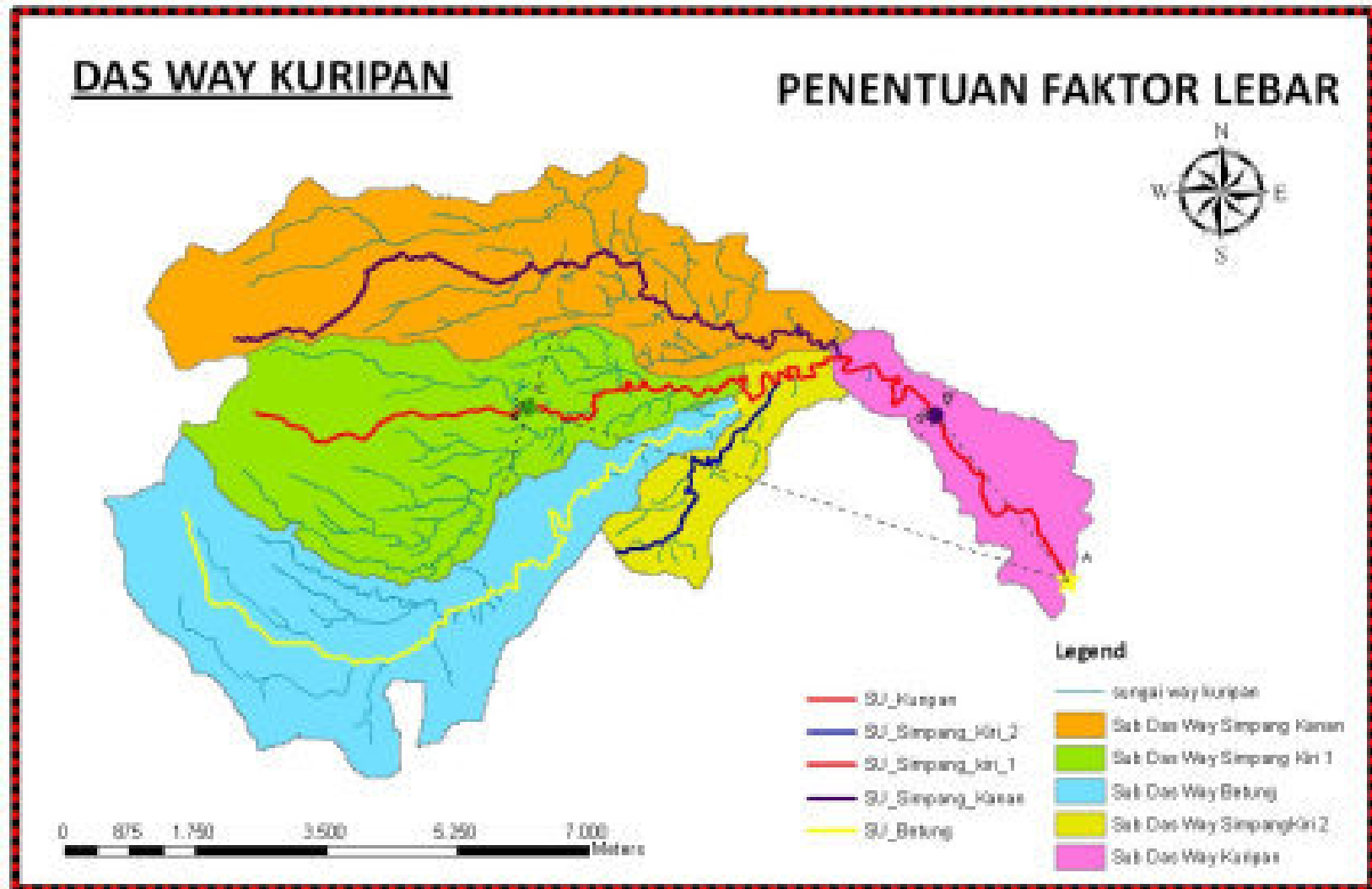
Gambar 4.21. DAS Way Kuripan dan orde sungai



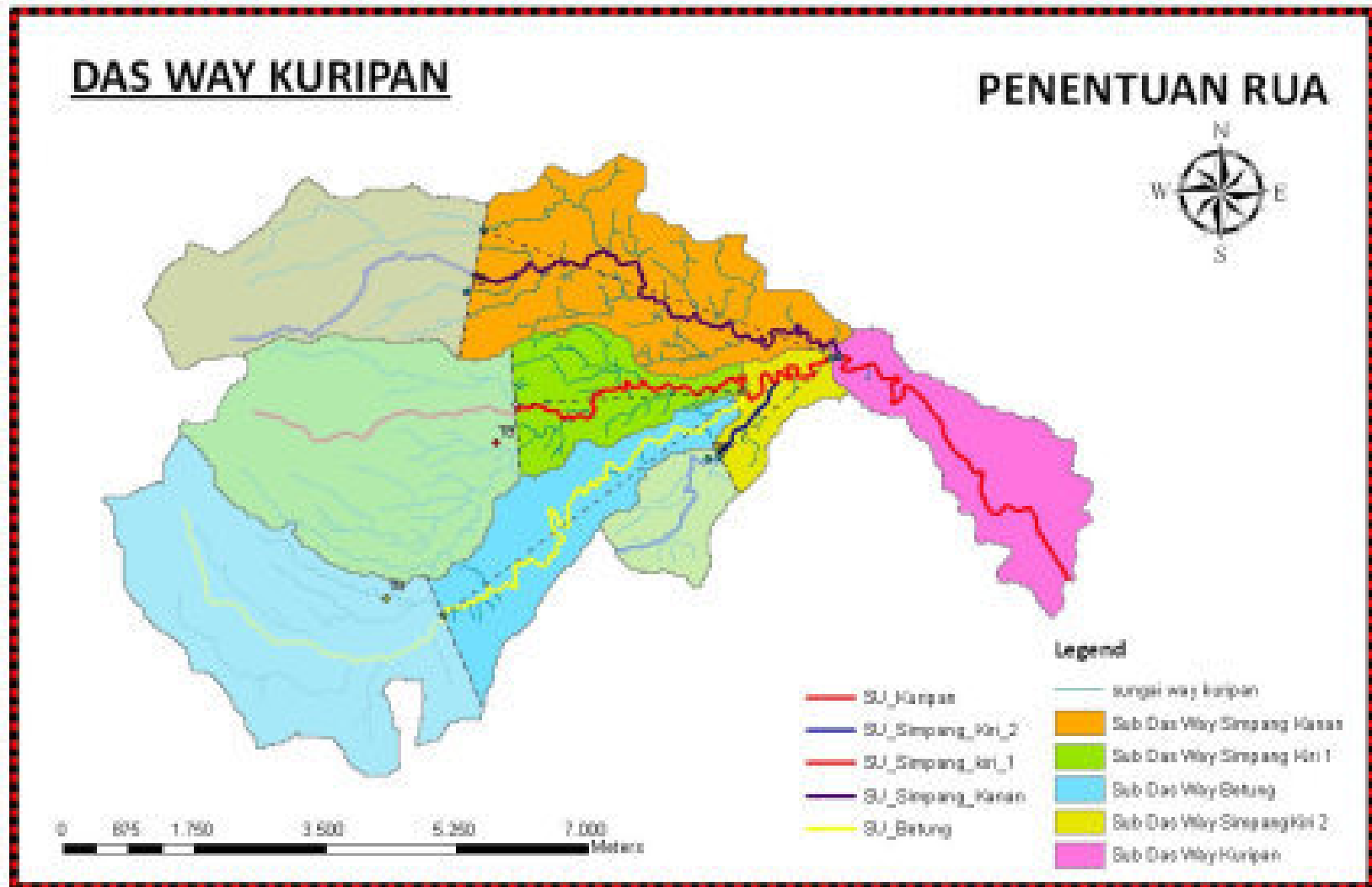
Gambar 4.22. DAS Way Kuripan dan sungai utama pada sub DASnya



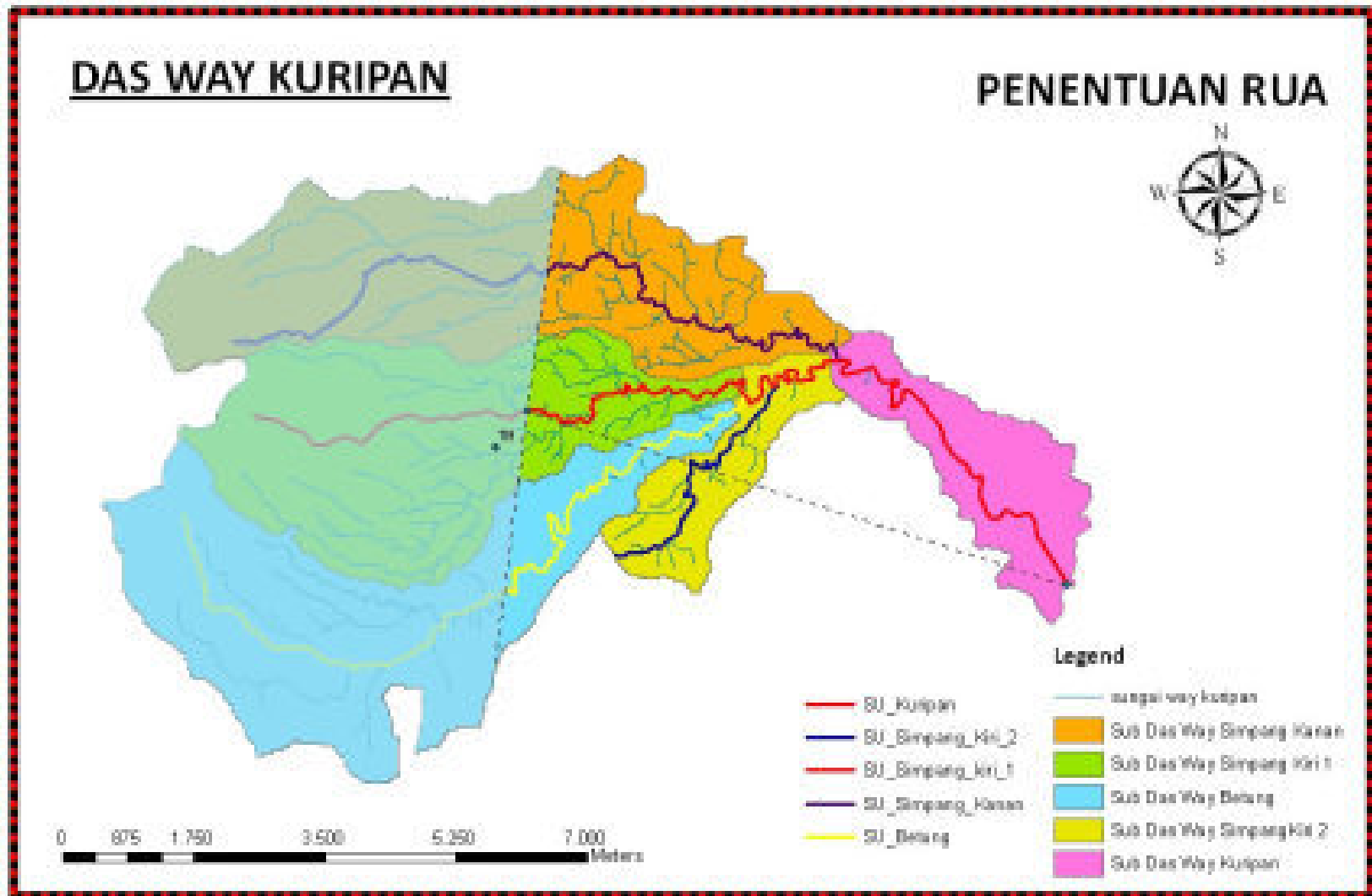
Gambar 4.23. Penentuan faktor lebar pada masing-masing sub DAS



Gambar 4.24. Penentuan faktor lebar sungai utama



Gambar 4.25. Penentuan faktor RUA pada sub DAS



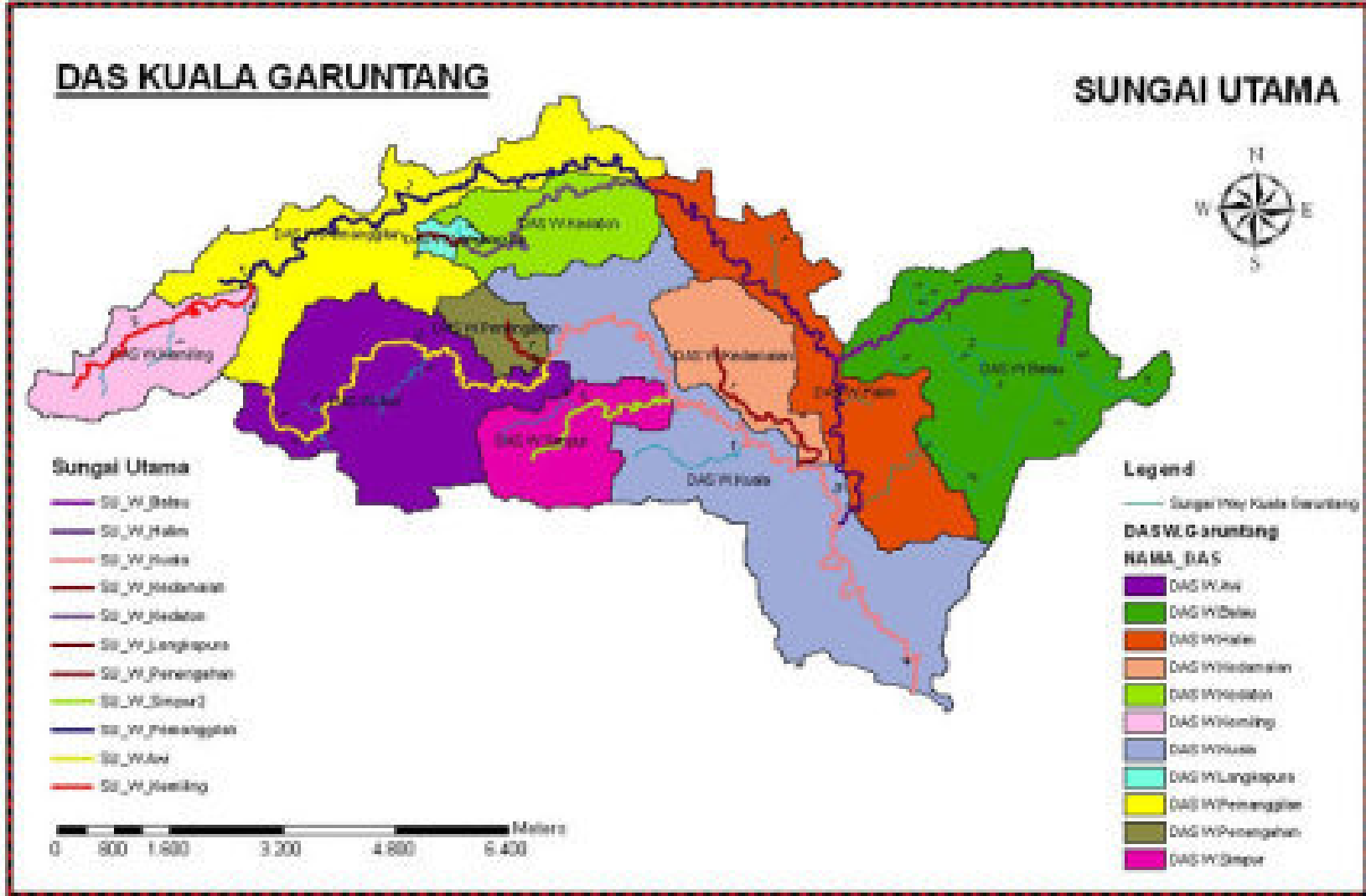
Gambar 4.26. Penentuan faktor RUA untuk DAS utama



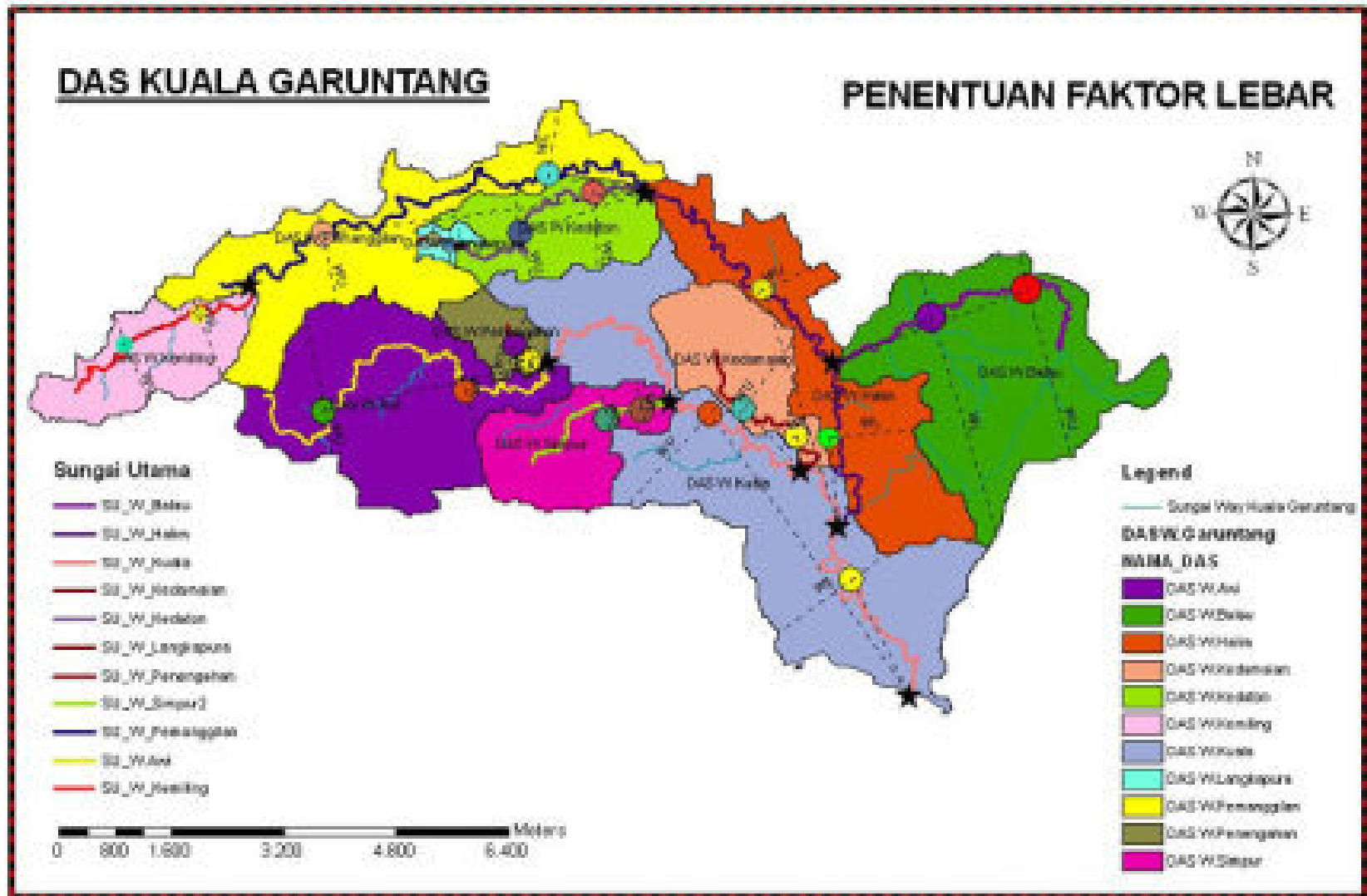
Gambar 4.27. DAS Way Kuala Garuntang beserta sub DAS dan anak-anak sungainya



Gambar 4.28. DAS Way Kuala Garuntang dan orde sungai



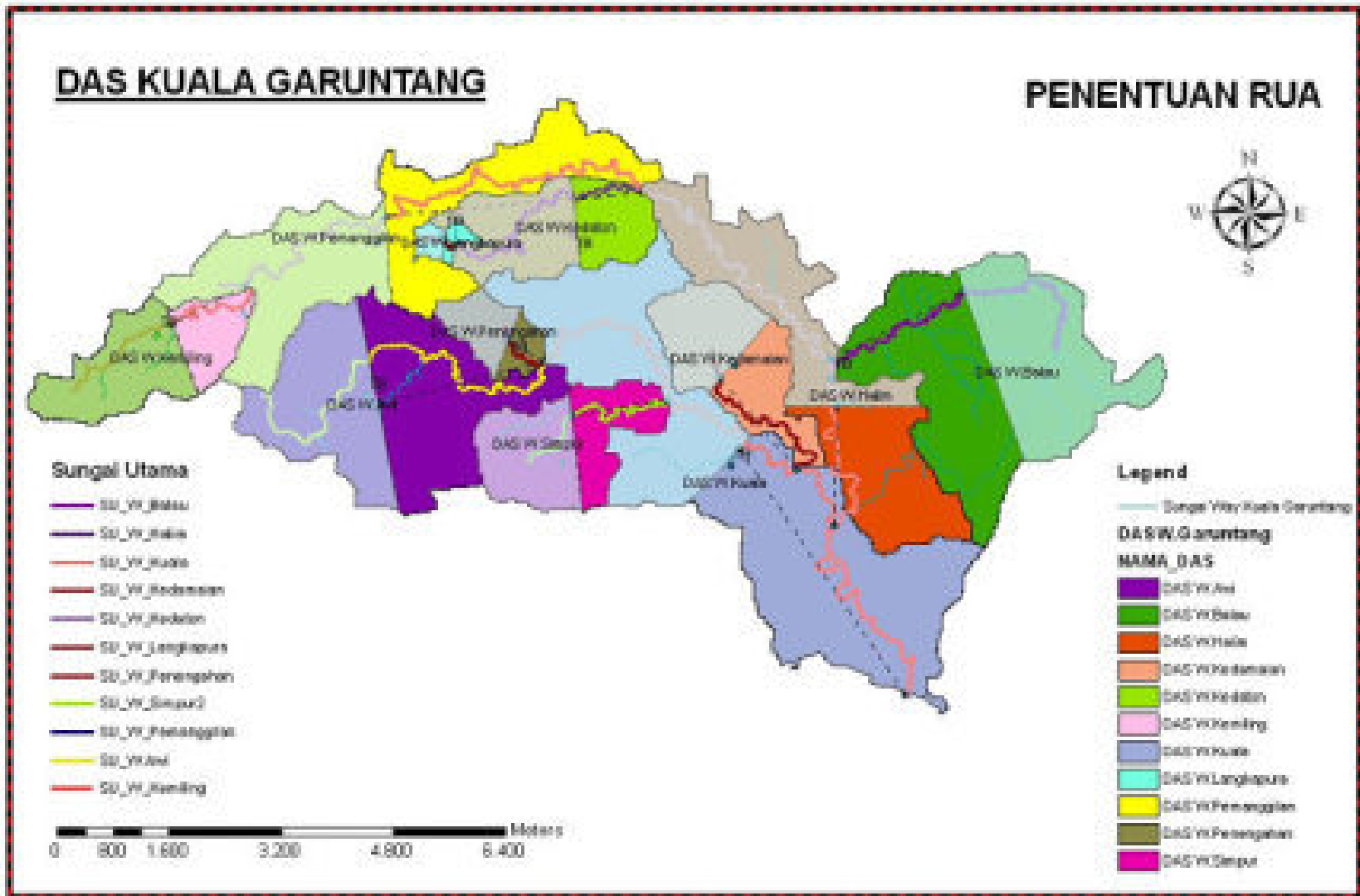
Gambar 4.29. DAS Way Kuala Garuntang dan sungai utama pada sub DASnya



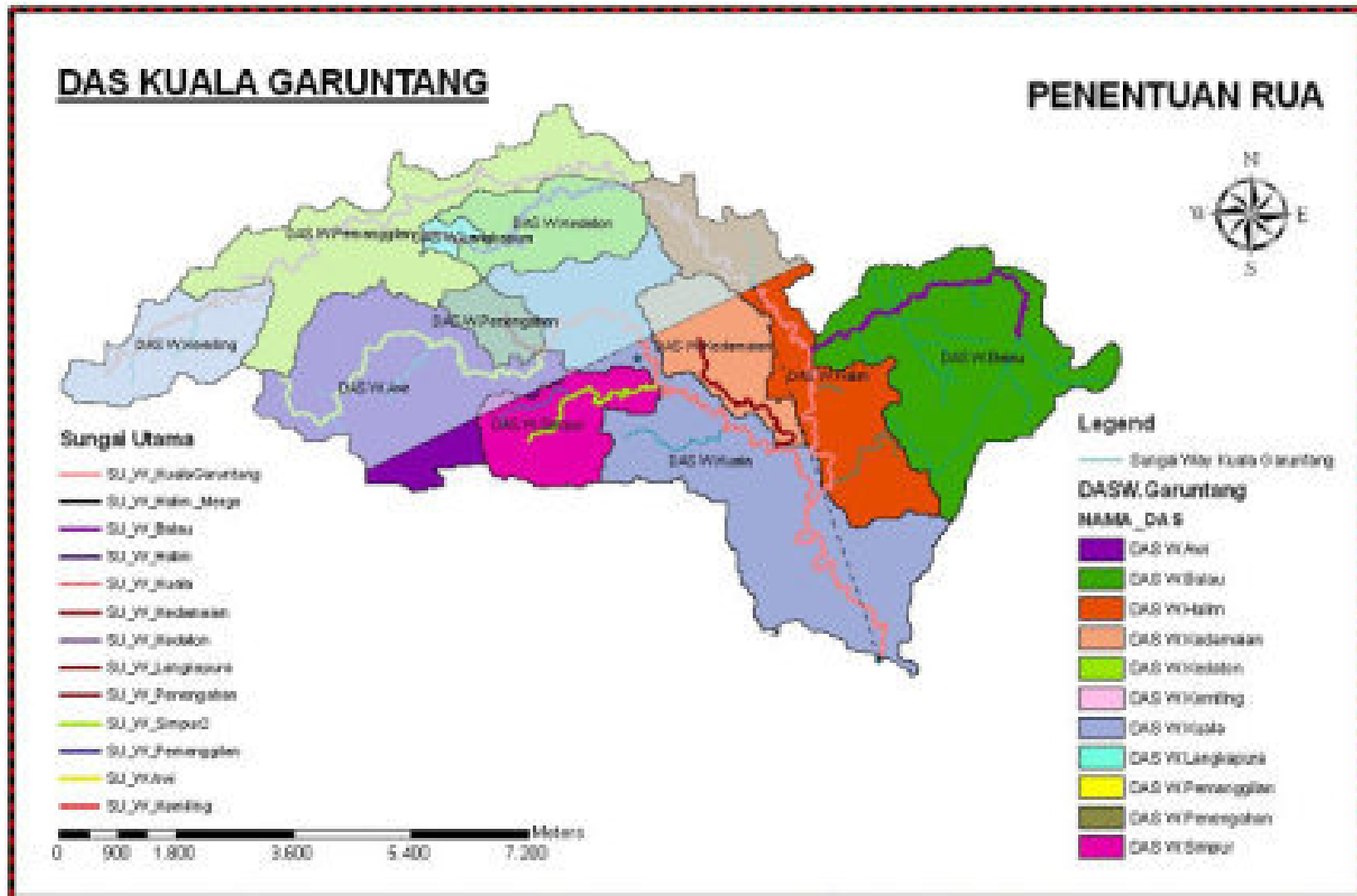
Gambar 4.30. Penentuan faktor lebar pada masing-masing sub DAS



Gambar 4.31. Penentuan faktor lebar pada DAS utama



Gambar 4.32. Penentuan faktor RUA pada masing-masing sub DAS



Gambar 4.33. Penentuan faktor RUA untuk DAS utama

4.3. Pembuatan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Gamma 1 dan Nakayasu.

4.3.1. HSS Gamma 1

Perhitungan HSS Gamma 1 secara detil dan keseluruhan (pada sud DAS dan DAS Utama Way Kuripan dan Way Kuala Garuntang) dapat dilihat pada Lampiran E dan F. Dalam sub bab ini, untuk menunjukkan perhitungan HSS Gamma 1, diberikan satu contoh perhitungan seperti terlihat di bawah ini (Hitungan HSS Gamma 1 pada DAS utama Way Kuripan).

Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan
A	: 54,173	km ²	Luas DAS
L	: 16,675876	km	Panjang sungai utama
S	: 0,005		Kemiringan dasar sungai
ΣL1	: 75,389723	km	Jumlah panjang sungai tingkat 1
ΣLn	: 145,84932	km	Jumlah panjang sungai semua tingkat
SF	: 0,5169014		Faktor sumber, perbandingan ΣL1 dan ΣLn
n1	: 145		Jumlah pangsa sungai tingkat 1
nn	: 291		Jumlah pangsa sungai semua tingkat
SN	: 0,4982818		Frekuensi sumber, perbandingan n1 dan nn
WU	: 6,498838	km	Lebar DAS yang diukur di titik sungai berjarak 0,75 L dari stasiun hidrometri
WL	: 4,175573	km	Lebar DAS yang diukur di titik sungai berjarak 0,25 L dari stasiun hidrometri
WF	: 1,5563943		Faktor lebar, perbandingan n1 dan nn
JN	: 144		Jumlah pertemuan sungai
Au	: 41,53	km ²	Luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik
RUA	: 0,7666181		Luas relatif DAS sebelah hulu (RUA)
SIM	: 1,19316		Faktor simetri, hasil kali antara WF dan RUA
D	: 2,692288		Kerapatan jaringan kuras, ΣLn/A

Maka:

1. Waktu Puncak HSS Gamma 1 (TR)

$$TR = 0,43 \left(\frac{L}{100SF} \right)^3 + 1,06655SIM + 1,2775$$

$$TR = 2,5644432 \text{ jam}$$

2. Debit Puncak banjir (QP)

$$QP = 0,1836A^{0,5886} TR^{-0,4038} JN^{0,2381}$$

$$QP = 4,3088261 \text{ m}^3/\text{dt}$$

3. Waktu dasar (TB)

$$TB = 27,4132TR^{0,1457}S^{0,00986}SN^{0,7344}RUA^{0,2574}$$

$$TB = 29,68574 \text{ jam}$$

4. Koefisien resesi (K)

$$K = 0,5617A^{0,1798}S^{-0,1446}SF^{-1,0887}D^{0,0452}$$

$$K = 5,3175135$$

5. Aliran dasar (QB)

$$QB = 0,4715A^{0,1798}D^{0,9430}$$

$$QB = 15,715781 \text{ m}^3/\text{dt}$$

6. Besarnya Φ indeks

$$\Phi_{\text{indeks}} = -10,4903 - 3,859A^2 + 1,6985 \times 10^{13} (A/SN)^4$$

$$\Phi_{\text{indeks}} = 10,478999 \text{ mm/jam}$$

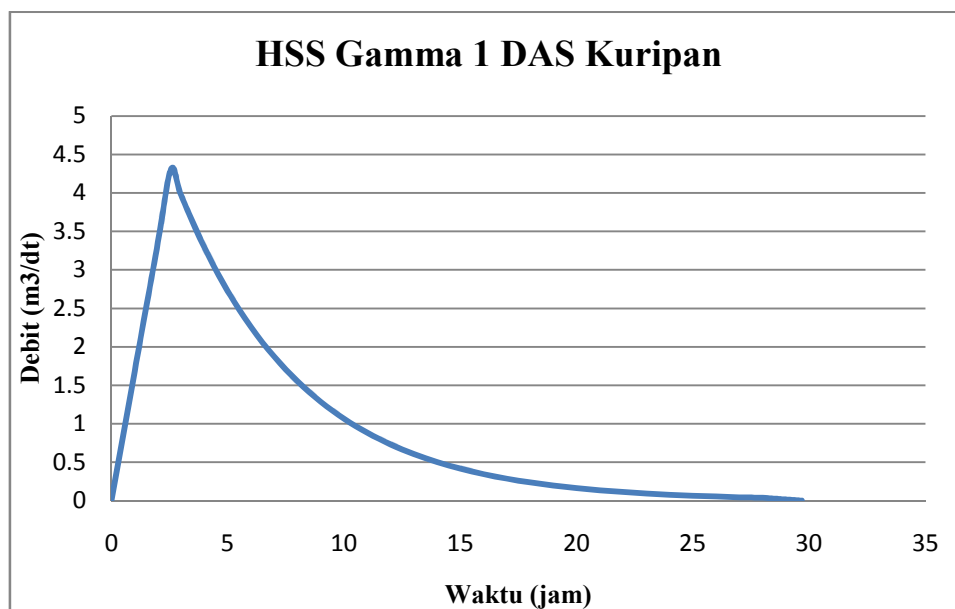
Berdasarkan parameter hidrograf satuan Gamma I, hidrograf satuan sintetis dihitung sesuai dengan Tabel 4.17 Grafik HSS Gamma -1 sebagai berikut:

Tabel 4.17 Hitungan Hidrograf Satuan Gamma I DAS Utama Way Kuripan

Waktu Hidrograf	Unit Hidrograf (m ³ /det)
0	0
1	1,680218915
2	3,360437831
2,564443248	4,308826052
3	3,969958477
4	3,289375781
5	2,725467556
6	2,258231924
7	1,871095993
8	1,550328014
9	1,284550317
10	1,064335742
11	0,881873257
12	0,7306909
13	0,605426219

Waktu Hidrograf	Unit Hidrograf (m ³ /det)
14	0,501636063
15	0,415638986
16	0,344384664
17	0,285345698
18	0,236427971
19	0,195896367
20	0,162313225
21	0,134487349
22	0,111431752
23	0,09232865
24	0,076500454
25	0,063385736
26	0,052519316
27	0,043515762
28	0,036055715
28,68574014	0,021388656
29	0,01466706
29,68574014	0

Dengan grafik HSS Gamma 1 DAS Utama Way Kuripan seperti terlihat di bawah ini:



Gambar 4.34. HSS Gamma 1 DAS Kuripan

Secara keseluruhan hasil HSS Gamma 1 pada DAS Way Kuripan dan Kuala Garuntang di tabelkan di bawah ini:

Tabel 4.18 Rekapitulasi Perhitungan HSS Gamma 1 pada DAS Way Kuripan

Sub DAS dan DAS Utama	Waktu Puncak ((T_p) jam)	Debit Puncak ((Q_p) m³/detik)	Waktu Dasar ((TB) jam)
Sub DAS Way Simpang Kiri 1	3,25839028	1,41448825	29,4131147
Sub DAS Way Simpang Kiri 2	2,1165729	0,52562536	23,2594194
Sub DAS Way Simpang Kanan	1,81989675	1,88337473	25,1281001
Sub DAS Way Betung	3,76181458	1,13825514	29,375554
DAS Way Kuripan	2,5644432	4,3088261	29,6857401

Tabel 4.19 Rekapitulasi Perhitungan HSS Gamma 1 pada DAS Way Kuala Garuntang

Sub DAS dan DAS Utama	Waktu Puncak ((T_p) jam)	Debit Puncak ((Q_p) m³/detik)	Waktu Dasar ((TB) jam)
Sub DAS Way Kemiling	2,11721489	0,38427141	30,3140001
Sub DAS Way Awi	1,94368187	0,75937998	26,2515335
Sub DAS Way Pemanggilan	6,66827976	0,28587968	31,0897643
Sub DAS Way Simpung	1,90852936	0,28551799	32,6588988
Sub DAS Way Penengahan	2,14183409	0,14936872	46,4152514
Sub DAS Way Langkapura	1,8352727	0,07826175	42,7163141
Sub DAS Way Kedaton	1,90362445	0,2867544	44,9018892
Sub DAS Way Kedamaian	2,61139277	0,25144283	45,1444978
Sub DAS Way Kuala	2,17294111	0,61137949	11,1241639
Sub DAS Way Halim	1,85808821	0,51971727	21,2601897
Sub DAS Way Balau	4,98260808	0,66354511	51,8831401
DAS Way Kuala Garuntang	2,02266889	3,64315565	25,6121331

Pengembangan HSS Gamma 1 pada dua DAS terbesar di Kota Bandar Lampung ini (DAS Way Kuripan dan Way Kuala Garuntang) ditujukan untuk melihat tren HSS pada *cascade* DAS dan *Neighbouring* DAS. Pada DAS Way Kuripan Sub DAS yang termasuk saling bertetangga (*neighbouring*) adalah Sub DAS Way Simpang Kiri 1, Sub DAS Way Simpang Kiri 2 dan Sub Way DAS Simpang Kanan. Sedangkan Efek *cascade* DAS Way Kuripan dapat dilihat pada HSS di DAS utama Way Kuripan. Pada DAS Way Kuala Garuntang, *neighbouring* DAS meliputi Sub DAS Way Pemanggilan, Sub DAS Way Awi, Sub DAS Way Langkapura, Sub DAS Way Penengahan, Sub DAS Way Simpung dan Sub DAS Way

Kedaton. Sedangkan kondisi *cascade* DAS terlihat pada Sub DAS Way Kuala yang menjadi hilir dari Sub DAS Way Awi, Sub DAS Way Penengahan, Sub DAS Way Simpuh, Sub DAS Way Kedamaian dan Sub DAS Way Halim. HSS pada DAS Utama Way Kuala Garuntang pun menunjukkan HSS *cascade* dari semua sub DAS yang ada.

Dari hasil pengembangan HSS Gamma 1 (Tabel 4.18 dan Tabel 4.19), pada setiap *neighbouring* DAS, baik DAS Kuripan maupun DAS Kuala Garuntang menunjukkan pola HSS tidak saling terikat (*independent*) atau tidak saling mempengaruhi. Pola yang terlihat adalah semakin luas wilayah DAS, terlihat bahwa debit banjir puncak yang dihasilkan lebih besar. Diantara *neighbouring* DAS pada DAS Kuripan, debit banjir puncak yang terbesar terjadi pada Sub DAS Simpang Kanan dimana Sub DAS ini memiliki luas Sub DAS terbesar. Debit banjir puncak pada Sub DAS Simpang Kanan adalah 1,88 m³/det dan memiliki waktu puncak tercepat yaitu 1,82 jam. Pada DAS Kuala Garuntang, Sub DAS yang memiliki debit puncak terbesar adalah Sub DAS Way Awi dengan nilai 0,76 m³/det dimana waktu puncaknya tercapai setelah 1,9 jam.

Sedangkan pada *cascade* DAS, baik pada DAS Kuripan dan DAS Kuala Garuntang terlihat bahwa DAS yang di hilir memiliki debit puncak yang terbesar. Contohnya pada DAS Utama Kuripan menunjukkan debit banjir puncak sebesar 4,3 m³/det sedangkan pada DAS Utama DAS Kuala Garuntang debit banjir puncak sebesar 3,6 m³/det.

Dari hasil pengembangan HSS Gamma 1 ini terdapat kejanggalan hasil pada Sub DAS Way Pemanggilan (termasuk ke dalam DAS Kuripan), dimana debit puncak sebesar 0,28 m³/det terjadi pada jam puncak sebesar 6 jam. Nilai waktu puncak sebesar 6 jam ini tampak tidak logis. Hal ini bisa jadi disebabkan karena nilai SF (yaitu nilai perbandingan panjang sungai orde 1 dengan panjang semua tingkat sangat kecil, SF = 0,04575). Pada pendekatan rumus HSS Gamma 1, nilai waktu puncak berbanding terbalik dengan nilai SF sehingga semakin kecil nilai SF, waktu puncak akan semakin besar. Panjang sungai orde 1 hanya memiliki panjang 0.46 km sedangkan panjang sungai semua orde 10.14 km. Hal ini menunjukkan adanya kelemahan pada pendekatan pada rumus HSS Gamma 1, yaitu kurang cocok pada sungai yang memiliki jumlah panjang sungai orde 1 sangat kecil dibandingkan panjang sungai keseluruhan orde.

4.3.2. HSS Nakayasu

Perhitungan HSS Nakayasu secara detil dan keseluruhan (pada sub DAS dan DAS Utama Way Kuripan dan Way Kuala Garuntang) dapat dilihat pada Lampiran G dan H. Dalam sub bab ini, untuk menunjukkan perhitungan HSS Nakayasu, diberikan satu contoh perhitungan seperti terlihat di bawah ini (Hitungan HSS Gamma 1 pada DAS utama Way Kuripan).

Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan
A	54,173	km ²	Luas DAS
L	16,675876	km	Panjang sungai utama
Re	1	mm	Curah Hujan Efektif
β	0,5		Nilainya antara 0,5 - 1
α	2		

Maka:

1. Waktu Konsentrasi

$$T_g = 0,4 + 0,058L$$

$$T_g = 0,21L^{0,7}$$

Untuk $L > 15$ km

Untuk $L < 15$ km

$$T_g = 1,3672008 \text{ jam}$$

2. Satuan Waktu dari curah hujan

$$T_r = \beta T_g$$

$$T_r = 0,6836004 \text{ jam}$$

$$0,8T_r = 0,5468803 \text{ jam}$$

3. Waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf banjir

$$T_p = T_g + 0,8T_r$$

$$T_p = 1,9140811 \text{ jam}$$

4. Waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak banjir

$$T_{0,3} = \alpha T_g$$

T0,3	=	2,7344016	jam
Tp+T0,3	=	4,6484827	jam
Q(Tp+T0,3)	=	1,3644385	(m3/det)
Tp+2,5*T0,3	=	8,7500852	jam
Q(Tp+2,5*T0,3)	=	0,4093316	(m3/det)

5. Debit puncak banjir

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \left(\frac{AR_s}{0,3T_p + T_{0,3}} \right)$$

Qp	=	4,5481284	m3/dt
-----------	---	------------------	--------------

Berdasarkan parameter hidrograf satuan Nakayasu, hidrograf satuan sintetis dihitung sesuai dengan Tabel 4.20 Grafik HSS Nakayasu sebagai berikut:

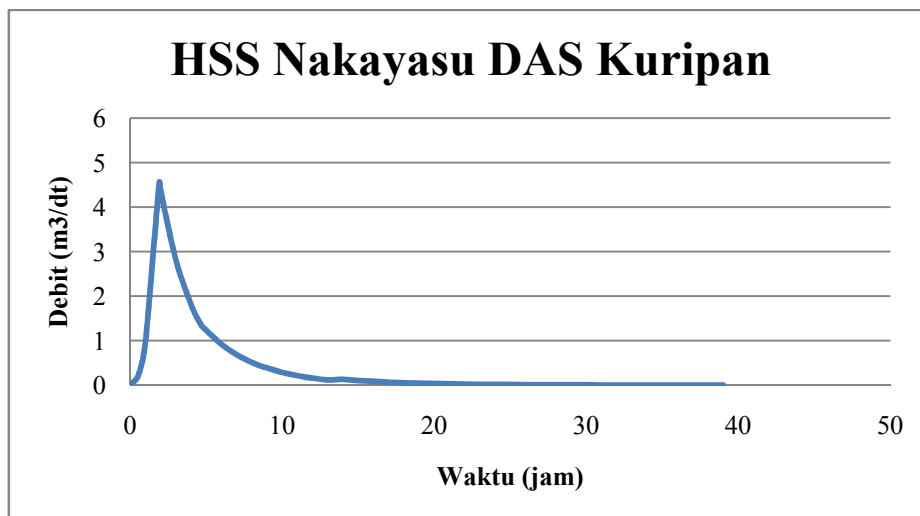
Tabel 4.20 Hitungan Hidrograf Satuan Nakayasu I DAS Utama Way Kuripan

Waktu Hidrograf	Unit Hidrograf (m3/det)
0	0
0,54688032	0,224941407
1	0,957475991
1,91408113	4,548128365
2	4,379283937
3	2,819556091
4	1,815341655
4,64848275	1,364438509
5	1,230671078
6	0,917614817
7	0,684193337
8	0,510149263
8,75008517	0,409331553
9	0,387418692
10	0,283618209
11	0,211471834
12	0,157677947
13	0,117568067
14	0,128861937
15	0,103398318
16	0,082966409

Tabel 4.20. Lanjutan

Waktu Hidrograf	Unit Hidrograf (m ³ /det)
17	0,066571924
18	0,053417053
19	0,042861636
20	0,03439201
21	0,027596015
22	0,022142935
23	0,017767405
24	0,014256497
25	0,011439358
26	0,009178896
27	0,007365111
28	0,005909736
29	0,004741949
30	0,003804922
31	0,003053054
32	0,002449759
33	0,001965677
34	0,001577252
35	0,001265581
36	0,001015497
37	0,000814831
38	0,000653817
39	0,00052462

Dengan grafik HSS Nakayasu DAS Utama Way Kuripan seperti terlihat di bawah ini:



Gambar 4.35. HSS Nakayasu DAS Kuripan.

Secara keseluruhan hasil HSS Nakayasu pada DAS Way Kuripan dan Kuala Garuntang di tabelkan di bawah ini:

Tabel 4.21 Rekapitulasi Perhitungan HSS Nakayasu pada DAS Way Kuripan

Sub DAS dan DAS Utama	Waktu Puncak ((T_p) jam)	Debit Puncak ((Q_p) m3/detik)
Sub DAS Way Sempang Kiri 1	1,327941082	1,716507721
Sub DAS Way Sempang Kiri 2	1,006463469	0,562887574
Sub DAS Way Sempang Kanan	1,67207807	1,549912582
Sub DAS Way Betung	1,79564358	1,377031851
DAS Way Kuripan	1,91408113	4,548128365

Tabel 4.22 Rekapitulasi Perhitungan HSS Nakayasu pada DAS Way Kuala Garuntang

Sub DAS dan DAS Utama	Waktu Puncak ((T_p) jam)	Debit Puncak ((Q_p) m3/detik)
Sub DAS Way Kemiling	0,821284731	0,652770557
Sub DAS Way Awi	1,243087359	1,032127746
Sub DAS Way Pemanggilan	1,522600239	0,815177007
Sub DAS Way Sempur	0,707300055	0,74702701
Sub DAS Way Penengahan	0,333881739	0,569395933
Sub DAS Way Langkapura	0,257373274	0,221743656
Sub DAS Way Kedaton	0,871392394	0,609752379
Sub DAS Way Kedamaian	0,695320179	0,758068957
Sub DAS Way Kuala	1,898435279	1,108454031
Sub DAS Way Halim	1,473626128	0,735889277
Sub DAS Way Balau	1,126160185	1,299308621
DAS Way Kuala Garuntang	2,882291905	3,312050366

Sama halnya dengan pengembangan HSS Gamma 1, pengembangan HSS Nakayasu pada dua DAS terbesar di Kota Bandar Lampung ini (DAS Way Kuripan dan Way Kuala Garuntang) ditujukan untuk melihat tren HSS pada *cascade* DAS dan *Neighbouring* DAS.

Tentunya pembagian kelompok mana yang termasuk *neighbouring* dan *cascade* DAS pada kedua DAS terbesar tersebut pun didefinisikan sama dengan seperti pada metode HSS Gamma 1.

Pada HSS Nakayasu, terlihat pada *neighbouring* DAS juga menunjukkan pola yang sama yaitu saling independen antara satu Sub DAS dengan Sub DAS lainnya. Diantara *neighbouring* DAS pada DAS Kuripan, debit banjir puncak yang terbesar terjadi pada Sub DAS Simpang Kiri 1 yaitu sebesar 1,72 m³/det dengan waktu puncak 1,33 jam. Sedangkan *neighbouring* DAS pada Way Kuala Garuntang, debit banjir puncak terbesar terjadi pada Sub DAS Way Awi 1,03 m³/det dengan waktu puncak 1,24 jam.

Sedangkan pada *cascade* DAS, baik pada DAS Kuripan dan DAS Kuala Garuntang terlihat bahwa DAS yang di hilir memiliki debit puncak yang terbesar. Contohnya pada DAS Utama Kuripan menunjukkan debit banjir puncak sebesar 4,55 m³/det sedangkan pada DAS Utama DAS Kuala Garuntang debit banjir puncak sebesar 3,3 m³/det.

4.3.3. Perbandingan Hidrograf Satuan Terukur dan Hidrograf Satuan Sintetis

Hidrograf satuan terukur karena dikembangkan dari data primer terkait seperti data hujan dan data aliran pada saat kejadian banjir tersebut, maka dapat dikatakan bahwa hasil yang didapatkan lebih akurat dibandingkan hasil yang didapatkan melalui hidrograf satuan sintetis. Oleh karena itu hidrograf satuan terukur bisa dijadikan tolok ukur untuk mengetahui karakteristik banjir di suatu tempat. Hidrograf satuan sintetis dapat dibandingkan dengan hidrograf satuan terukur untuk mengetahui tingkat ketelitian dari metode yang dipakai. Dalam penelitian ini digunakan HSS Gamma I serta HSS Nakayasu.

Hidrograf satuan terukur dikembangkan pada DAS Kuala Garuntang dan dua sub-DASnya yaitu Way Simpung dan Way Awi, yang masing-masing memiliki luas 60,52 km², 3,691 km² dan 9,846 km². Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu puncak pada HST di DAS Kuala Garuntang, Way Simpung dan Way Awi berturut-turut adalah 1 jam, 20 menit dan 30 menit. Hal ini *reasonable* mengingat luas DAS tersebut tidak terlalu besar. Sementara itu waktu puncak yang dihasilkan dari HSS Gamma I untuk DAS Kuala Garuntang dan kedua sub-DAS tersebut adalah 2,02, 1,91 dan 1,94 jam. Sedangkan waktu puncak yang

dihasilkan dari HSS Nakayasu untuk DAS Kuala Garuntang, Way Simpuri dan Way Awi adalah 2,88, 0,71 dan 1,24 jam.

Debit puncak yang dihasilkan oleh HST untuk Way Kuala Garuntang, Way Simpuri dan Way Awi adalah 4,7, 1 dan 1,8 m³/det. Sementara debit puncak yang dihasilkan dari HSS Gamma I untuk ketiga sungai tersebut masing-masing adalah 3,64, 0,28 dan 0,76 m³/det. Sedangkan debit puncak yang dihasilkan dari HSS Nakayasu untuk ketiga sungai tersebut masing-masing adalah 3,1, 0,75 dan 1,03 m³/det.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa ketiganya memiliki tren debit puncak yang sama. Way Simpuri, karena luas DASnya yang paling kecil, memiliki debit puncak yang terkecil pula. Sedangkan Way Kuala Garuntang, disebabkan luas DASnya yang terbesar diantara ketiganya, maka memiliki debit puncak yang terbesar. Hal ini mengkonfirmasi tentang *cascade unit hydrograph*. Bahwa Way Simpuri dan Way Awi akhirnya bermuara ke sungai Way Kuala Garuntang ditunjukkan dengan debit puncak banjir Way Kuala Garuntang yang paling besar di antara ketiganya.

Waktu puncak untuk ketiga hidrograf satuan tersebut menunjukkan pengaruh *cascade unit hydrograph* dimana DAS yang berada di hilir menampung aliran dari sungai-sungai di hulunya, sehingga waktu puncak untuk DAS di hilir menjadi lebih lama. Hal ini terlihat pada HST maupun HSS, dimana waktu puncak untuk Way Kuala Garuntang paling lama di antara ketiganya. Pengaruh *neighbouring unit hydrograph* juga tampak di sini bahwa waktu puncak untuk Way Simpuri dan way Awi saling independen. Mempertimbangkan luasan DAS maupun sub DAS, waktu puncak yang dihasilkan oleh HSS Nakayasu lebih *reasonable*. Hal ini melihat perbandingan luasan DAS yang cukup signifikan antara Way Simpuri, Way Awi dan Way Kuala Garuntang dibandingkan dengan waktu puncak masing-masing. Sementara hasil dari HSS Gamma I menunjukkan kedekatan waktu puncak antara HSS Way Simpuri dan Way Awi, bahkan selisih waktu yang tidak signifikan dengan waktu puncak untuk HSS Way Kuala Garuntang.

Fenomena lain yang dihasilkan dari penelitian ini ialah waktu puncak dan debit puncak untuk HST DAS Way Kuala Garuntang lebih dekat dengan HSS Gamma I dibandingkan HSS Nakayasu. Waktu puncak untuk Kuala Garuntang untuk HST, HSS Gamma I dan HSS

Nakayasu masing-masing adalah 1, 2,02 dan 2,88 jam. Sedangkan debit puncak untuk HST, HSS Gamma I dan HSS Nakayasu masing-masing adalah 4,7, 3,64 dan 3,1 m³/det. Hal ini menunjukkan adanya indikasi bahwa untuk luasan DAS yang besar HSS Gamma I lebih sesuai untuk digunakan, sebaliknya HSS Nakayasu lebih sesuai diaplikasikan untuk DAS yang kecil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian pada tahun pertama ini adalah sebagai berikut:

1. Di dalam penelitian ini, prakiraan banjir dengan mengembangkan Hidrograf Satuan Terukur (HST) yang berdasarkan data primer hujan dilakukan pada DAS Way Kuala Garuntang dan pada dua sub DAS nya, yaitu Sub DAS Way Simpurn dan Sub DAS Way Awi.
2. Untuk kepentingan pengembangan HST dan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) dilakukan deliniasi DAS dan Sungai berbasis Sistem Informasi Geografis.
3. Dari hasil deliniasi DAS didapatkan 14 DAS dengan 2 DAS terbesar yaitu DAS Way Kuala Garuntang dan DAS Way Kuripan. Dua DAS terbesar ini dibagi kembali menjadi Sub DAS-Sub DAS.
4. DAS Way Kuala Garuntang memiliki 11 Sub DAS sedangkan DAS Way Kuripan memiliki 4 Sub DAS.
5. Prakiraan banjir dengan mengembangkan HSS (yang tidak tergantung pada data primer hujan) dilakukan pada dua DAS terbesar di Kota Bandar Lampung, yaitu DAS Way Kuala Garuntang dan DAS Way Kuripan beserta Sub DAS – Sub DAS yang ada pada kedua DAS terbesar tersebut (11 Sub DAS untuk DAS Way Kuala Garuntang dan 4 Sub DAS untuk DAS Way Kuripan).
6. Pengembangan HST dan HSS (pada DAS dan Sub DAS) di tahun pertama penelitian ini (yaitu HSS Gamma 1 dan HSS Nakayasu), selain bertujuan untuk memprediksikan banjir, penelitian ini juga ingin efek *neighbouring* dan *cascade* DAS pada pola banjir yang terbentuk.
7. Dari hasil HST pada DAS Way Kuala Garuntang, Sub DAS Way Simpurn dan Sub DAS Way Awi dengan masing-masing luas adalah 60,52 km², 3,691 km² dan 9,846 km² menunjukkan debit banjir puncak adalah 4,7 m³/det, 1 m³/det dan 1,8 m³/det secara berurutan.
8. Waktu puncak yang dihasilkan pada HST DAS Way Kuala Garuntang, Sub DAS Way

Simpur dan Sub DAS Way Awi adalah 1 jam, 20 menit dan 30 menit.

9. Hasil HST pada DAS Way Kuala Garuntang, Sub DAS Way Simpurn dan Sub DAS Way Awi adalah *reasonable* karena HST tersebut menunjukkan semakin besar luas DAS semakin besar debit banjir puncak yang didapat dan semakin lama waktu puncak terjadi.
10. Hasil HST menunjukkan bahwa *neighbouring* DAS memiliki karakter yang saling lepas (*independent*) sedangkan pada *cascade* DAS terlihat bahwa efek kontribusi debit banjir di hulu memperbesar debit banjir di hilir.
11. Hasil dari pengembangan HSS dengan metode Gamma 1 dan Nakayasu di dua DAS terbesar beserta seluruh Sub DAS-Sub DAS di dalamnya di Kota Bandar Lampung adalah penting sebagai referensi metode apa yang mungkin lebih cocok digunakan untuk memprediksi banjir diantara kedua metode tersebut bagi Kota Bandar Lampung terutama jika data primer hujan tidak dimiliki.
12. Hasil HSS baik pada metode Gamma 1 dan Nakayasu menunjukkan pola yang sama yaitu pada *neighbouring* DAS memiliki karakter yang saling lepas (*independent*) sedangkan pada *cascade* DAS terlihat bahwa efek kontribusi debit banjir di hulu memperbesar debit banjir di hilir.
13. Nilai debit banjir pada DAS Way Kuala Garuntang, Sub DAS Way Simpurn dan Sub DAS Way Awi dari HSS Gamma 1 menunjukkan nilai 3, 64 m³/det, 0,28 m³/det dan 0,76 secara berurutan dengan waktu puncak 2,02 jam, 1,91 jam dan 1,94 jam.
14. Pada HSS Nakayasu, debit banjir puncak pada DAS Way Kuala Garuntang, Sub DAS Way Simpurn dan Sub DAS Way Awi adalah 3,1 m³/det, 0,75 m³/det, dan 1,03 m³/det dengan waktu puncak 2,88 jam, 0,71 jam dan 1,24 jam.
15. Perbandingan antara HST dan HSS (pada lokasi DAS Way Kuala Garuntang, Sub DAS Way Simpurn dan Sub DAS Way Awi) menunjukkan bahwa pada HST, HSS Gamma 1, dan HSS Nakayasu memiliki pola debit banjir dan waktu puncak yang sama, yaitu debit banjir dan waktu puncak pada Way Kuala Garuntang merupakan akumulasi Sub DAS-Sub DAS didalamnya sehingga menunjukkan hasil debit banjir terbesar dan waktu puncak terlama, selain itu pola lain yang terlihat adalah Sub DAS Way Awi pada ketiga metode menghasilkan debit banjir puncak lebih besar dibandingkan Sub DAS Way Simpurn dan waktu puncak pada Sub DAS Way Awi lebih lama dibandingkan Sub DAS Way Simpurn.
16. Adanya indikasi bahwa HSS Gamma 1 akan lebih cocok diterapkan pada DAS dengan

luasan yang lebih besar sedangkan DAS dengan luasan yang lebih kecil HSS Nakayasu tampaknya lebih cocok.

17. Karena pada metode HSS Gamma 1 memperhitungkan orde sungai ternyata dari hasil penelitian menunjukkan bahwa HSS Gamma 1 kurang cocok pada DAS yang memiliki perbandingan jumlah panjang orde 1 dan jumlah panjang seluruh orde (SF) sangat kecil, hal ini dibuktikan oleh hasil HSS Gamma 1 pada Sub DAS Way Pemanggilan yang memiliki waktu puncak lebih dari 6 jam, padahal luas DASnya kecil, kondisi ini tidak logis.

5.2. Saran

Adapun saran dari hasil penelitian ini adalah:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dalam pengembangan HST pada Sub DAS- Sub DAS lain di DAS Way Kuala Garuntang dan DAS Way Kuripan pada tahap tahun penelitian selanjutnya.
2. Pengaruh perbedaan *land use* pada *neighbouring* DAS perlu dikaji dalam memperkirakan banjir dalam penelitian tahap tahun kedua.

DAFTAR PUSTAKA

- Beven, K.J. 1989. Changing ideas in hydrology – the case of physically based models. *J. Hydrol.*, 105, 157-172.
- Beven, K.J. 1996. A discussion of distributed hydrological modeling. In: *Distributed Hydrological Modelling*, M.B. Abbott, J.C. Refsgaard (Eds). Kluwer Academics, 255 – 278.
- Hydrologic Engineering Center. 2000. *Hydrologic Modeling System: HEC-HMS, Users Manual*, U.S. Army Corps of Engineers hydrologic Engineering Center, Davis California.
- Kusumastuti, D.I. 2008a. Metode analisis dalam analisis banjir rancangan : studi kasus penentuan debit banjir rancangan Way Pegadungan. **Jurnal Rekayasa**, Vol.12, No.1, 14-22, April 2008.
- Kusumastuti, D.I. 2008b. Insight of catchment behaviour based on simple analysis of rainfall runoff data. **Jurnal Rekayasa**, Vol.12, No.2, 16-26, Agustus 2008.
- Kusumastuti, D.I. 2008c. Konsep tampungan dan perlindungan banjir. **Seminar Hasil Penelitian**, diselenggarakan oleh Lembaga Penelitian Unila, pada acara Dies Natalis Unila ke-43
- Kusumastuti, D.I., Sivapalan, M., Struthers, I., Reynolds, D.A., Murray, K., and Turlach, B.A. 2008a. Thresholds in the storm response of a catchment-lake system and the occurrence and magnitude of lake overflows: implications for flood frequency, **Water resources Research Journal** VOL. 44, W02438, doi:10.1029/2006WR005628, 2008
- Kusumastuti, D.I., Sivapalan, M., Struther, I., and Reynolds, D. 2008b. Thresholds in the storm response of a chain of catchment-lake system and the occurrence and magnitude of lake overflows: implications for flood frequency. **Advances in Water Resources Journal**, 31, 1651–1661, 2008.
- Kusumastuti, D.I., Struther, I., Sivapalan, M., and Reynolds, D.A. 2007, Threshold effects in catchment storm response and the occurrence and magnitude of flood events: implications for flood frequency. **Hidrological and Environmental System Science Journal**, special Issue : Thresholds and Pattern Dynamics, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1515–1528, 2007

- Kusumastuti, D.I., Sivapalan, M., and Reynolds, D.A. 2005. The impact of within storm temporal pattern and surface runoff triggering on flood frequency. Presented at **VIIth IAHS Scientific Assembly**, Foz do Iguassu, Brasil, 3-9 April 2005.
- Kusumastuti, D.I., Sivapalan, M., and Reynolds, D.A. 2004. Effect of within storm pattern on flood frequency. Presented at International **Workshop on Prediction in Ungauged basin**, held by UWA and Centre for Water research, 2 – 5 Februari 2004.
- Refsgaard, J.C. dan Storm, B. 1996. Construction, calibration and validation of hydrological models. In: Distributed Hydrological Modelling, M.B. Abbott, J.C. Refsgaard, (Eds). Kluwer Academic, 41-54.
- Sivapalan, M., Kumar, P. and Harris, D. 2001. Preface: Nonlinear propagation of multi-scale dynamics through hydrologic subsystems. *Adv. in Water Resour.*, 24, 935-940.
- Soemarto, CD. (1987). *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional, Surabaya.
- Sri Harto Br. (1989). *Aliran Dasar Karakteristik Beberapa Sungai di Pulau Jawa*, Proceeding PIT VI, HATHI, Denpasar.
- Sri Harto Br. (1993). *Analisis Hidrologi*. PT Gramedia, Jakarta.
- Triatmodjo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta