

**APLIKASI MODEL TANGKI DAN PENDUGAAN EROSI
DENGAN METODE MUSLE BERBASIS DATA SPAS
DI SUB DAS SIBARASOK GADANG
KABUPATEN PADANG PARIAMAN**

ANDRIE RIDZKI P.



**DEPARTEMEN MANAJEMEN HUTAN
FAKULTAS KEHUTANAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR**

2012

RINGKASAN

ANDRIE RIDZKI P. Aplikasi Model Tangki dan Pendugaan Erosi dengan Metode Musle Berbasis Data Spas di Sub Das Sibarasok Gadang Kabupaten Padang Pariaman. Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Dibimbing oleh NANA MULYANA ARIFJAYA.

Distribusi aliran di suatu DAS merupakan proses dinamis yang dipengaruhi oleh iklim, presipitasi, dan kombinasi dari tutupan lahan, evapotranspirasi, jenis tanah, dan topografi DAS tersebut. Proses biofisik hidrologis DAS tersebut merupakan proses alami sebagai bagian dari suatu siklus hidrologi. Perubahan kondisi hidrologi daerah aliran sungai dapat mengakibatkan terjadinya bencana seperti banjir dan tanah longsor. Aplikasi model tangki merupakan suatu model hidrologi yang digunakan untuk menduga karakteristik aliran sungai dengan menggunakan data yang diperoleh dari Stasiun Pengamat Arus Sungai.

Penelitian dilaksanakan di Sub DAS Sibarasok Gadang Kecamatan IV Koto Aur Malintang, Kabupaten Padang Pariaman, Propinsi Sumatera Barat. Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Hidrologi Hutan dan DAS, Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Penelitian ini bertujuan: 1) Mengkaji distribusi aliran air secara horizontal dan vertikal menggunakan model tangki, 2) Mengkaji laju sedimentasi dengan metode MUSLE di Sub DAS Sibarasok Gadang. Tahapan penelitian meliputi analisis hubungan debit aliran sungai dengan tinggi muka air, pengolahan data curah hujan, debit aliran sungai, dan evapotranspirasi harian, dan analisis laju sedimen dan erosi.

Luas Sub DAS Sibarasok Gadang sebesar 1.677,1 ha dengan penutupan lahan sebagai berikut : hutan primer 786,6 ha (46,9%), hutan sekunder 596,2 ha (35,55%), pemukiman 150,2 ha (8,96%), sawah irigasi 75,1 ha (4,48%), dan tegalan atau ladang 69 ha (4,11%). Total curah hujan selama penelitian sebesar 1.575,6 mm. Persamaan yang dihasilkan antara TMA dengan debit aliran adalah: $Q = 7,724 TMA^{1,585}$ dengan R^2 sebesar 0,968 dan hubungan debit aliran dengan laju sedimen observasi sebagai berikut $Q_s = 0,525 Q^{2,637}$ dengan R^2 sebesar 0,971. Hubungan laju sedimen observasi dengan laju sedimen dugaan model MUSLE menunjukkan korelasi yang kuat dengan persamaan regresi $Q_s \text{ MUSLE} = 4,287 Q_s \text{ Observasi} + 0,005$ dengan $R^2 = 0,788$. Hal ini membuktikan model MUSLE dapat digunakan untuk menduga laju sedimen dengan cukup baik.

Hasil optimasi model tangki didapatkan nilai R^2 sebesar 0,816. Total aliran secara horizontal yang mengalir ke sungai didominasi oleh *base flow* sebesar 679,861 mm dengan persentase 73,10%, diikuti oleh *intermediate flow* sebesar 16,08%, *surface flow* sebesar 7,21%, dan *sub-base flow* dengan persentase terkecil sebesar 3,61%. Hal ini menunjukkan kapasitas infiltrasi cukup tinggi. *Water level* menunjukkan aliran secara vertikal dengan tinggi muka air tertinggi pada tangki D (*base flow*) sebesar 1.378,095 mm dan diikuti oleh tangki B *intermediate flow* (47,979 mm), tangki C *sub-base flow* (18,097 mm), tangki A *surfaceflow* (1,456mm). Hal ini menunjukkan kondisi Sub DAS Sibarasok Gadang masih baik.

Kata kunci : Sub DAS Sibarasok Gadang, model tangki, MUSLE

SUMMARY

ANDRIE RIDZKI P. Application Tank Model and Erosion Predicted with MUSLE Method Based on Hydrologic Data Measurement at Sibarasok Gadang Sub Watershed, Padang Pariaman District. Forest Management, Faculty of Forestry, Bogor Agricultural University. Supervised by NANA MULYANA ARIFJAYA.

Flow distribution in a watershed is a dynamic process and very dependent on climate, precipitation and combination of land coverage, evapotranspiration rate, soil type and topography of the watershed. Hydrologic biophysic process in a watershed is a natural process as a part of the hydrologic cycle. Change of watershed hydrological condition can result disaster such as floods and landslides. Application tank model is a hydrological model that used to predict river flow characteristic by using data from the SPAS.

The research located at Sibarasok Gadang Sub watershed, IV Koto Aur Malintang Sub-District, Padang Pariaman District, West Sumatra. Data was processed at the Laboratory of Forest Hydrology and Watershed, Department of Forest Management, Faculty of Forestry, Bogor Agricultural University. This study aims to examine the distribution of water flow horizontally and vertically using a Tank Model and examine rate of sedimentation in the Sub-watershed Sibarasok Gadang used MUSLE method. Stages of research include analysis of the relationship river flow and water level, processing of rainfall data, river flow, and daily evapotranspiration, and analysis of sediment and erosion rate.

Total rainfall during the research is 1,575.6 mm. The results equation between Water Level and Discharge in SPAS Sibarasok Gadang was $Q = 7.724 TMA^{1.585}$ with $R^2 = 0.968$, correlation between discharge and sediment rate was $Q_s = 0.525 Q^{2.637}$ with $R^2 = 0.971$. Correlation between sediment rate observation and sediment rate MUSLE model showed a high correlation with regression equation was $Q_{sMUSLE} = 4,287 Q_{sObservasi} + 0,005$ with $R^2 = 0.788$. This proves MUSLE models can be used to predict the sediment rate reasonably well.

Tank Model optimization results obtained parameter values $R^2 = 0,816$. Total flow horizontally into the river dominated by base flow of 679.861 mm with a percentage of 73.10%, followed by the intermediate flow of 16.08%, 7.21% of surface flow and sub-base flow with the smallest percentage of 3.61%. It means the capacity of infiltration is high. Water level shows the flow vertically with the highest water level in tank D (base flow) of 1378.095 mm, followed by tank B intermediate flow (47.979 mm), C sub-base tank flow (18.097 mm), tank A surfaceflow (1.456 mm). This situation shows the condition of the Sibarasok Gadang Sub Watershed is still good.

Keywords : Sibarasok Gadang Sub watershed, Tank Model, MUSLE

**APLIKASI MODEL TANGKI DAN PENDUGAAN EROSI
DENGAN METODE MUSLE BERBASIS DATA SPAS
DI SUB DAS SIBARASOK GADANG
KABUPATEN PADANG PARIAMAN**

ANDRIE RIDZKI P.

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Kehutanan pada

Departemen Manajemen Hutan

Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor

**DEPARTEMEN MANAJEMEN HUTAN
FAKULTAS KEHUTANAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR**

2012

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Penelitian : Aplikasi Model Tangki dan Pendugaan Erosi dengan
Metode MUSLE Berbasis Data SPAS di Sub DAS
Sibarasok Gadang Kabupaten Padang Pariaman
Nama Mahasiswa : ANDRIE RIDZKI P.
NIM : E14070097

Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Nana Mulyana Arifjaya, M.Si
NIP. 19660501 1999203 1 005

Mengetahui,
Ketua Departemen Manajemen Hutan

Dr. Ir. Didik Suharjito, MS
NIP. 19630401 199403 1 001

Tanggal Lulus :

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul Aplikasi Model Tangki dan Pendugaan Erosi dengan Metode MUSLE Berbasis Data Spas di Sub DAS Sibarasok Gadang Kabupaten Padang Pariaman adalah benar-benar hasil karya saya sendiri dengan bimbingan dosen pembimbing dan belum pernah digunakan sebagai karya ilmiah pada Perguruan Tinggi atau lembaga manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Bogor, Juni 2012

Andrie Ridzki P.
NRP. E14070097

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis diberikan kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan skripsi dengan judul Aplikasi Model Tangki dan Pendugaan Erosi dengan Metode MUSLE Berbasis Data Spas di Sub DAS Sibarasok Gadang Kabupaten Padang Pariaman.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Kehutanan di Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Skripsi ini berisi tentang pengkajian distribusi aliran dengan bantuan aplikasi model tangki dengan memanfaatkan data yang didapatkan dari SPAS. Penggunaan aplikasi model tangki dapat mempresentasikan karakteristik hidrologi di Sub DAS Sibarasok Gadang.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak sangat penulis harapkan untuk perbaikan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan dapat memberikan informasi yang berguna bagi semua pihak yang membutuhkan.

Bogor, Juni 2012

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan pada tanggal 26 Maret 1989 di Lubuk Basung, Sumatera Barat. Penulis adalah anak keempat dari lima bersaudara pasangan (Alm) Bapak Arbianto dan Azrida. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD Negeri 24 Parupuk tabing lulus tahun 2001, pendidikan menengah pertama di MTsN Model Padang lulus tahun 2004, dan menengah atas di SMA Negeri 2 Padang lulus tahun 2007. Pada tahun yang sama, penulis diterima di IPB melalui jalur SPMB (Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru) di Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi Asisten mata kuliah Hidrologi Hutan pada tahun ajaran 2011-2012, Asisten mata kuliah Pengelolaan Ekosistem Hutan dan Daerah Aliran Sungai pada tahun ajaran 2011-2012. Selain itu, penulis juga aktif sebagai Staf divisi Informasi dan Komunikasi (Infokom) dalam Forest Management Student Club (FMSC) periode 2010-2011, sebagai Ketua Organisasi Mahasiswa Daerah Himpunan Mahasiswa Padang dan Pariaman periode 2010-2011, dan sebagai Staf Badan Pengawas Anggota Ikatan Pelajar Mahasiswa Minang (IPMM) Bogor. Penulis ikut berpartisipasi dalam berbagai kepanitiaan kegiatan kemahasiswaan di Institut Pertanian Bogor khususnya kegiatan Fakultas Kehutanan.

Pada tahun 2009, penulis melakukan kegiatan Praktek Pengenalan Ekosistem Hutan (PPEH) di Gunung Sawal dan Pangandaran, Propinsi Jawa Barat, lalu Praktek Pengelolaan Hutan (PPH) di Hutan Pendidikan Gunung Walat Sukabumi pada tahun 2010 dan pada tahun 2011 melakukan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di PT. Mamberamo Alasmandiri, Propinsi Papua.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Pada Kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapakku (Alm) Arbianto dan Ibuku Azrida yang senantiasa melantunkan do'anya dan tanpa keluh kesah mencari rizki untuk kesuksesan anak tercinta, kakakku Andalia Gustari, Andhika Purnama Yudha, Agung Budi Satrio, adikku Arinie Gustiarisani yang tak henti-henti dengan ikhlas memberikan semangat, senyum, dan do'anya.
2. Dr. Ir. Nana Mulyana Arifjaya, M.Si selaku dosen pembimbing yang dengan ketulusan dan keikhlasan beliau dalam membimbing, memberikan ilmu, dan nasehat kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini. Semoga ilmu ini bermanfaat.
3. Dr. Ir. Trisna Priadi, M.Eng.Sc selaku dosen penguji dan Dr. Evi Yulianti Yovi, M.Life. Env. Sc selaku Ketua sidang dalam ujian komprehensif.
4. Dr. Nining Puspaningsih, M.Si sebagai komisi pendidikan yang telah meluangkan waktu membaca dan mengoreksi penulisan skripsi.
5. Bapak Kepala BPDAS Agam Kuantan atas izin yang telah diberikan untuk melakukan penelitian dan penggunaan data di Sub DAS Sibarasok Gadang.
6. Bapak Syamsuir beserta keluarga yang telah menyediakan tempat menginap selama kegiatan penelitian dan membantu penulis dalam mengambil data di lapangan.
7. Bapak Kusnadi Chan selaku staf BPDAS Agam Kuantan yang telah membantu dalam proses pengumpulan data.
8. Sahabat-sahabat Fahutan 44 dan MNH 44 terkhusus kawan-kawan seperjuangan di laboratorium Hidrologi Hutan dan DAS (Soni, Ilham, Rian, Rahma dan Dinda) atas bantuan semangat yang sangat berarti bagi penulis.

9. Keluarga besar Komando (Erry, Rizky, John, Sani, Adit, Rusdi, Rizki Agung, Akbar).
10. Kawan-kawan yang terus memberikan bantuan moril (Adek, Ade, Icha, Qori, Rudi, Puji, Ikma, Christa, Anggi Bob, Imel)
11. Deniamantari, S.Hut atas semangat dan doa yang diberikan kepada penulis.
12. Semua pihak yang telah membantu proses penyelesaian skripsi yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
RIWAYAT HIDUP	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Presipitasi	3
2.2 Erosi dan Sedimentasi	4
2.3 Hubungan Hutan dan Air	5
2.4 Limpasan dan Debit Aliran	6
2.5 Hidrograf Satuan	7
2.6 Tank Model	8
2.7 <i>Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE)</i>	9
BAB III METODOLOGI	11
3.1 Waktu dan Tempat	11
3.2 Alat dan Bahan	11
3.2.1 Alat-alat yang digunakan dalam penelitian	11
3.2.2 Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian	11
3.3 Tahapan Penelitian	12
3.4 Analisis Data	12
3.4.1 Analisis Curah Hujan	12
3.4.2 Analisis Debit Aliran	13
3.4.3 Analisis Hubungan Debit Aliran dengan Laju Sedimen	14
3.4.4 Analisis Hidrograf	15
3.5 Pengolahan Data Input <i>Tank Model</i>	16
3.5.1 Pengolahan Data Curah Hujan	18

3.5.2 Pengolahan Data Evapotranspirasi	18
3.5.3 Pengolahan Data Debit	19
3.6 Analisis Laju Sedimentasi MUSLE	19
BAB IV KONDISI UMUM	21
4.1 Letak dan Luas	21
4.2 Penggunaan Lahan	21
4.3 Topografi	22
4.4 Morfometri DAS	23
4.5 Tanah dan Iklim	24
4.6 Kondisi Sosial Ekonomi	25
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	26
5.1 Analisis Curah Hujan	26
5.2 Analisis Debit Aliran	28
5.3 Analisis Data Evapotranspirasi	32
5.4 Analisis Hidrograf	32
5.5 Aplikasi Model Tangki	34
5.6 Analisis Laju Sedimen Observasi	40
5.7 Analisis Laju Sedimen Metode MUSLE	41
5.8 Analisis Hubungan Laju Sedimen Observasi dengan Laju Sedimen Dugaan Model MUSLE	42
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	44
6.1 KESIMPULAN	44
6.2 SARAN	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	47

DAFTAR TABEL

No	Halaman
1. Rekapitulasi beberapa penelitian mengenai luasan hutan dengan hasil air	6
2. Penggunaan lahan di Sub DAS Sibarasok Gadang	22
3. Kelas kelerengan di Sub DAS Sibarasok Gadang	23
4. Analisis peluang kejadian hujan di Sub DAS Sibarasok Gadang	27
5. Hasil pengukuran debit lapang menggunakan koefisien kekasaran Manning	29
6. Analisis perhitungan hidrograf aliran beberapa kejadian hujan di Sub DAS Sibarasok Gadang	33
7. Parameter hasil optimasi model tangki di Sub DAS Sibarasok Gadang	35
8. Indikator Keandalan model tangki di Sub DAS Sibarasok Gadang	36
9. Komponen hasil optimasi model tangki	37
10. Kategori kinerja DAS berdasarkan laju sedimen	42

DAFTAR GAMBAR

No	Halaman
1. Skema representasi <i>Tank Model</i> (Setiawan 2003)	17
2. Peta lokasi penelitian	21
3. Peta penggunaan lahan di Sub DAS Sibarasok Gadang	22
4. Peta kelas lereng Sub DAS Sibarasok Gadang	23
5. Grafik curah hujan tanggal 2 Nopember-5 Nopember 2011.....	26
6. Grafik probabilitas curah hujan di Sub DAS Sibarasok Gadang.....	28
7. <i>Stage discharge rating curve</i> SPAS Sibarasok Gadang.....	29
8. Grafik hubungan curah hujan dan debit aliran sungai	30
9. Grafik akumulasi curah hujan dan debit aliran	31
10. Hidrograf aliran SPAS Sibarasok Gadang tanggal 14 Agustus 2011	33
11. Keseimbangan air hasil optimasi	38
12. Grafik fluktuasi hidrograf aliran hasil optimasi.....	38
13. <i>Water level</i> pada masing-masing tangki	39
14. <i>Sediment discharge rating curve</i>	40
15. Grafik hubungan laju sedimen MUSLE dengan laju sedimen observasi	43

DAFTAR LAMPIRAN

No	Halaman
1. Perhitungan debit lapang menggunakan koefisien Manning	48
2. Analisis regresi hubungan tinggi muka air dan debit lapang	49
3. Analisis regresi hubungan debit aliran dan laju sedimen.....	50
4. Contoh perhitungan Hidrograf Aliran 14 Agustus 2011.....	51
5. Hidrograf beberapa kejadian hujan	52
6. Data curah hujan harian SPAS Sibarasok Gadang tahun 2011.....	54
7. Data tinggi muka air hasil pengukuran AWLR tahun 2011.....	55
8. Data debit aliran harian Sub DAS Sibarasok Gadang tahun 2011.....	56
9. Data laju sedimen harian tahun 2011	57
10. Data evapotranspirasi harian tahun 2011	58
11. Data tinggi muka air tertinggi untuk debit puncak (Qpeak)	59
12. Analisis hubungan laju sedimen MUSLE dan laju sedimen Observasi.....	60
13. Tabel hasil verifikasi dan optimasi Tank Model tanggal 9 Juni – 8 Nopember 2011 di Sub DAS Sibarasok Gadang	61
14. Dokumentasi penelitian	68

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Distribusi air di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan proses dinamis yang dipengaruhi oleh iklim, presipitasi, dan kombinasi dari tutupan lahan, evapotranspirasi, jenis tanah, dan topografi DAS tersebut (Mulyana *et al.* 2011). Hadi (2006) menyatakan proses hidrologi dalam suatu DAS secara sederhana dapat digambarkan dengan adanya hubungan antara unsur masukan yakni hujan, proses dan keluaran berupa aliran. Proses biofisik hidrologi DAS tersebut merupakan proses alami sebagai bagian dari suatu siklus hidrologi.

Sudarto & Mukhlisin (2010) menyebutkan alih fungsi lahan dari lahan hijau terbuka menjadi daerah terbangun akan mengakibatkan terjadinya perubahan kondisi hidrologi. Perubahan kondisi hidrologi DAS dapat mengakibatkan terjadinya bencana seperti banjir dan tanah longsor (Sudarto & Mukhlisin 2010). Tata air merupakan komponen penting dalam pengelolaan DAS karena kondisi hidrologi menjadi perhatian. Informasi tata air merupakan tolak ukur yang diperlukan dalam rangka evaluasi keberhasilan program pengelolaan DAS. Hal ini menjadi alasan pentingnya perencanaan dan pengelolaan DAS secara berkelanjutan.

Penyusunan rencana pengelolaan sumberdaya air pada suatu DAS yang baik dan akurat membutuhkan seperangkat informasi yang memadai dan berkelanjutan mulai dari data curah hujan, tingkat sedimentasi, dan debit aliran. Sebagai sumber informasi dalam perencanaan dan pengelolaan suatu DAS, dibangun sebuah Stasiun Pengamat Arus Sungai (SPAS) yang dilengkapi alat pemantau otomatis yang akan memudahkan pihak-pihak terkait dalam pemantauan kondisi hidrologis daerah aliran sungai tersebut. Seiring dengan perkembangan teknologi, SPAS Sibarasok Gadang dilengkapi dengan alat pengukuran digital yang dintegrasikan dengan sistem *logger* sebagai alat perekam data hasil pengukuran yang dapat dihubungkan dengan komputer melalui *software* dan dapat diakses dari berbagai tempat dengan teknologi berbasis telepon selular maupun internet.

Aplikasi model tangki merupakan suatu model hidrologi yang digunakan untuk menduga karakteristik aliran sungai dengan menggunakan data yang diperoleh dari SPAS. Model tangki mampu menduga distribusi aliran air suatu DAS secara horizontal dan vertikal (Mulyana *et al.* 2011). Penggunaan aplikasi model tangki pernah dilakukan pada berbagai DAS dengan berbagai pengembangannya, seperti Sub DAS Cimanuk Hulu oleh Nurroh (2010), Sub DAS Cipedes oleh Sulistyowati (2010), dan Sub DAS Cisadane Hulu oleh Wulandari (2008). Penggunaan aplikasi model tangki dilakukan berdasarkan data harian berupa data curah hujan, evapotranspirasi, dan data debit aliran sungai.

Penutupan lahan yang beraneka ragam dan semakin sedikitnya jumlah luasan hutan di sekitar Sub DAS menyebabkan semakin meningkatnya jumlah debit aliran dan banyak sedimen yang terbawa aliran air saat terjadinya hujan (Sudarto & Mukhlisin 2010). Metode MUSLE digunakan untuk menduga besarnya erosi yang terjadi di suatu Sub DAS dengan berbagai jenis penutupan lahan. Metode MUSLE berbeda dengan metode USLE dalam menduga besar erosi yang terjadi. Metode MUSLE tidak menggunakan faktor energi hujan sebagai faktor penentu besarnya erosi, namun faktor limpasanlah yang menentukan besarnya erosi. Data limpasan yang digunakan sebagai *input* dalam metode MUSLE diperoleh dari hasil optimasi aplikasi model tangki.

1.2 Tujuan

Tujuan dari kegiatan penelitian ini adalah :

1. Mengkaji distribusi aliran air secara horizontal dan vertikal menggunakan aplikasi model tangki.
2. Mengkaji laju sedimentasi dengan metode MUSLE menggunakan limpasan hasil optimasi model tangki.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai bahan pertimbangan bagi pihak-pihak terkait dalam penyusunan perencanaan pengelolaan sumberdaya air di Sub DAS Sibarasok Gadang.
2. Mengetahui distribusi aliran di Sub DAS Sibarasok Gadang.
3. Pengembangan metode dalam pengkajian neraca air suatu DAS.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Presipitasi

Persipitasi adalah proses pelepasan air dari atmosfer untuk mencapai permukaan bumi. Jumlah presipitasi yang jatuh pada suatu lokasi akan bervariasi secara spasial dan temporal. Hal ini disebabkan oleh dua faktor yaitu faktor statis dan faktor dinamis. Faktor statis diantaranya ketinggian, arah lereng, dan kelerengan (topografi). Sedangkan faktor dinamis yaitu kondisi iklim dan cuaca suatu lokasi (Davie 2008).

Asdak (2002) mendefinisikan presipitasi sebagai faktor utama yang mengendalikan berlangsungnya daur hidrologi dalam suatu wilayah DAS. Besarnya curah hujan adalah volume air yang jatuh pada suatu areal tertentu. Besar curah hujan dapat dinyatakan dalam m^3 per satuan luas, atau secara umum dinyatakan dalam tinggi kolom air yaitu (mm). Besaran curah hujan dapat dimaksudkan untuk satu kali hujan atau untuk masa tertentu seperti per hari, per bulan, per musim atau per tahun (Arsyad 2010).

Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh di permukaan tanah datar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi (mm) di atas permukaan horizontal sebelum terjadi evaporasi, *run-off*, dan infiltrasi. Derajat curah hujan dinyatakan oleh jumlah curah hujan dalam suatu satuan waktu dan disebut intensitas curah hujan (Sosrodarsono & Takeda 2003).

Proses hidrologi dalam suatu DAS secara sederhana dapat digambarkan dengan adanya hubungan antara unsur masukan yakni hujan, proses dan keluaran yaitu berupa aliran. Adanya hujan tertentu akan menghasilkan aliran tertentu pula. Aliran ini selain dipengaruhi oleh karakteristik DAS dan juga sangat tergantung pada karakteristik hujan yang jatuh. Karakteristik hujan meliputi tebal hujan, intensitas dan durasi hujan, sedang karakteristik DAS meliputi topografi, geologi, geomorfologi, tanah, penutup lahan/vegetasi, dan pengelolaan lahan serta morfometri DAS (Hadi 2006). Dalam proses pengalihan hujan menjadi aliran sifat hujan yang penting untuk diperhatikan, antara lain intensitas hujan (I), lama waktu hujan (t), kedalaman hujan (d), frekuensi (f) dan luas daerah pengaruh hujan (A). Komponen hujan dengan sifat-sifatnya ini dapat dianalisis berupa hujan

titik maupun hujan rata-rata yang meliputi luas daerah tangkapan (*catchment*) yang kecil sampai yang besar.

Menurut Sandy (1985) dalam Anonim (2011) Sumatera Barat dilalui Daerah Konvergensi Antar Tropik (DKAT) sebanyak dua kali dalam setahun, yaitu pada bulan November dan akhir bulan Maret/awal April. Pada bulan November letak rata-rata DKAT adalah di sekitar pantai barat sampai ke wilayah Painan dan kemudian berbelok ke arah Provinsi Riau. Pada bulan November ini seluruh wilayah Sumatera Barat memiliki curah hujan tinggi. Sementara itu pada akhir bulan Maret atau awal April rata-rata DKAT berada di sekitar wilayah Panti sampai Lubuksikaping, kemudian melalui Koto Tangah. Hujan yang jatuh pada periode ke dua DKAT melewati Sumatera Barat ini cukup banyak, meskipun tidak sebanyak pada bulan November. Sandy (1985) dalam Anonim (2011) juga mengatakan bahwa semakin ke timur wilayah Sumatera Barat, curah hujannya juga semakin berkurang. Jumlah curah hujan rata-rata maksimum mencapai 4000 mm/tahun terutama di wilayah pantai Barat, sedangkan beberapa tempat dibagian timur Sumatera Barat curah hujannya relatif kecil antara 1500 – 2000 mm/tahun (Anonim 2011).

Gustari (2009) menyatakan sebagian besar wilayah Indonesia termasuk daerah dengan tipe hujan monsun dan merupakan daerah konvektif paling aktif di dunia, hal ini dapat dilihat dari tingginya aktifitas awan konvektif di daerah tersebut dan pola hujan rata-ratanya yang mengikuti siklus aktifitas monsun, terutama monsun Asia dan Australia. Sistem monsun Asia-Australia merupakan salah satu sistem monsun utama dunia, dimana monsun Asia sering menyebabkan hujan lebat termasuk dibagian pantai barat Sumatera atau secara umum dikenal sebagai musim hujan, demikian pula pada saat monsun Australia umumnya menyebabkan kemarau di Sumatera bahkan kekeringan di sebagian wilayah Indonesia lainnya.

2.2 Erosi dan Sedimentasi

Erosi adalah pindahnya atau terangkutnya material tanah atau bagian-bagian tanah dari satu tempat ke tempat lain oleh media alami (air/angin). Sedimentasi adalah proses perpindahan dan pengendapan erosi tanah, khususnya hasil erosi permukaan dan erosi parit. Sedimentasi menggambarkan material tersuspensi

(*suspended load*) yang diangkut oleh gerakan air dan atau diakumulasi sebagai material dasar (*bed load*). Dari proses sedimentasi, hanya sebagian material aliran sedimen di sungai yang diangkut keluar dari DAS, sedang yang lain mengendap di lokasi tertentu di sungai selama menempuh perjalanannya (Ditjen RLPS 2007).

Erosi merupakan peristiwa hilangnya tanah atau bagian-bagian tanah dari suatu oleh angin atau air. Erosi menyebabkan hilangnya lapisan tanah yang subur dan berkurangnya kemampuan tanah dalam menyerap dan menahan air. Kerusakan yang terjadi pada tanah tempat erosi berupa kemunduran sifat-sifat kimia dan fisika tanah yang mengakibatkan turunnya produktivitas tanah dan berkurangnya pengisian air bawah tanah. Tanah tererosi diangkut aliran permukaan yang akan diendapkan di tempat-tempat yang alirannya melambat. Endapan tersebut menyebabkan pendangkalan sungai dan akan mengakibatkan seringnya terjadi banjir (Arsyad 2010).

Arsyad (2010) menyatakan bahwa sedimen merupakan tanah yang terangkut oleh air dari suatu tempat yang mengalami erosi dan masuk ke dalam suatu badan air. Nisbah antara jumlah sedimen yang terangkut ke dalam sungai terhadap jumlah erosi yang terjadi di dalam DAS disebut Sediment Delivery Ratio (SDR) atau disebut juga Nisbah pe-Lepasan Sedimen (NLS). Nilai NLS mendekati satu berarti semua tanah yang terangkut erosi masuk ke dalam sungai. Hal ini hanya mungkin terjadi pada DAS kecil dan tidak memiliki daerah datar.

Sedimen layang merupakan sedimen yang bergerak melayang diatas dasar sungai terbawa bersama aliran air. Laju sedimen layang sangat dipengaruhi oleh laju erosi lahan di bagian hulu daerah aliran sungainya, pada daerah hilir keberadaan sedimen layang akan menimbulkan dampak negatif seperti penurunan kualitas air, pendangkalan sungai, pengurangan kapasitas waduk dan lain sebagainya. Besar kecilnya debit sedimen layang juga dapat digunakan sebagai tolok ukur adanya kerusakan pada suatu Daerah Pengaliran Sungai.

2.3 Hubungan Hutan dan Air

Air dan hutan merupakan sumberdaya alam yang memiliki peranan penting bagi kehidupan makhluk hidup. Hutan dan air menghasilkan makanan, energi, habitat, dan banyak fungsi lain seperti, fungsi biologis, kimia, dan sosial ekonomi.

Tanpa adanya air tidak akan ada hutan dan dengan adanya hutan akan tercipta sirkulasi air yang baik serta menjamin kualitas dan kuantitas air (Chang M 2003).

Suhartanto (2001) dalam Sudarto & Mukhlisin (2010) menyatakan dalam penelitiannya di Sub DAS Cidanau Kabupaten Serang Propinsi Banten diketahui bahwa perubahan tata guna lahan dari hutan campuran menjadi lahan pertanian akan mempengaruhi keseimbangan tata air di suatu DAS, yaitu terjadinya erosi, sedimentasi, dan banjir. Wangsaatmaja *et al.* (2006) dalam Sudarto & Mukhlisin (2010) menyatakan, berdasarkan penelitiannya di Cekungan Bandung diketahui bahwa pembangunan permukiman mengakibatkan kawasan vegetasi, seperti hutan dan sawah, berkurang sebesar 54% dan terjadi peningkatan area terbangun menjadi sebesar 223%. Kerusakan DAS diindikasikan oleh peningkatan koefisien *runoff* (C), dari 0,3 pada tahun 1950 menjadi 0,55 pada tahun 1998. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sensitifitas frekuensi terjadinya banjir cukup signifikan pada daerah yang mengalami perubahan tata guna lahan. Sensitifitas frekuensi terjadinya banjir ini cenderung untuk meningkat, walaupun dalam kondisi hujan biasa.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan dampak negatif dari dilakukannya pembukaan lahan hutan diantaranya debit aliran sungai yang meningkat. Peningkatan ini dihubungkan dengan berkurangnya intersepsi tajuk pohon, sehingga makin banyak air hujan yang langsung jatuh ke permukaan tanah (Sinukaban *et al* 2006). Rekapitulasi hasil penelitian mengenai luasan hutan dengan hasil air disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi beberapa penelitian mengenai luasan hutan dengan hasil air

No	Sub DAS	Luas DTA (Ha)	Luas Hutan (Ha)	Curah Hujan (mm)	Debit (mm/hari)	Peneliti
1	Cisadane Hulu	1.783,9	837,65	1.248	3,8	Wulandari (2008)
2	Cipedes	104,9	26	1.889	2,93	Sulistyowati (2010)
3	Cimanuk Hulu	423,4	250,5	1.678	4,93	Nurroh (2010)

2.4 Limpasan dan Debit Aliran

Limpasan merupakan air yang mengalir pada saluran-saluran yang kecil, sungai-sungai dan aliran-aliran yang merupakan kelebihan curah hujan terhadap evapotranspirasi, cadangan permukaan dan air bawah tanah. Faktor-faktor yang

mempengaruhi limpasan dibagi ke dalam dua kelompok, yaitu kelompok meteorologi yang diantaranya jenis presipitasi, intensitas curah hujan, lamanya hujan, distribusi curah hujan, arah pergerakan curah hujan, dan kondisi-kondisi meteorologi lain dan kelompok daerah pengaliran yang diantaranya yaitu, kondisi penggunaan tanah, daerah pengaliran, kondisi topografi dalam daerah pengaliran, dan jenis tanah (Sosrodarsono & Takeda 2003).

Aliran Air atau Limpasan (*runoff*) sinonim dengan aliran sungai (*stream flow*), hasil air daerah tangkapan air (*catchment yield*) adalah bagian dari air hujan (presipitasi) yang mengalir di atas permukaan tanah (*surface runoff*) dan atau di dalam tanah (*subsurface runoff*) menuju ke suatu sungai (Ditjen RLPS 2007). Limpasan permukaan adalah air yang mencapai sungai tanpa mencapai permukaan air tanah, yakni curah hujan yang dikurangi sebagian dari besarnya infiltrasi, air yang tertahan, dan genangan. Limpasan permukaan merupakan bagian penting dari banjir. Bagian terbesar dari curah hujan lebih mengalir selama periode hujan dan sebagian sesudahnya (Sosrodarsono & Takeda 2003).

Arsyad (2010) menyatakan debit merupakan banyaknya atau volume air yang mengalir melalui suatu titik persatuan waktu, dinyatakan dalam m^3 /detik atau m^3 /jam. Besaran debit ditentukan oleh luas penampang air dan kecepatan alirannya. Debit aliran merupakan satuan untuk menduga nilai-nilai hidrologis proses yang terjadi di lapangan. Kemampuan pengukuran debit aliran sangat diperlukan untuk mengetahui potensi sumberdaya air di suatu wilayah DAS. Debit aliran dapat dijadikan sebuah alat untuk memonitor dan mengevaluasi neraca air suatu kawasan melalui pendekatan potensi sumberdaya air permukaan yang ada.

2.5 Hidrograf Satuan

Diagram yang menggambarkan variasi debit atau permukaan air menurut waktu disebut hidrograf. Kurva ini memberikan Gambaran mengenai berbagai kondisi di daerah itu secara bersama-sama. Jadi, jika karakteristik daerah aliran itu berubah, maka bentuk hidrograf akan berubah. Hidrograf terdiri dari tiga bagian yaitu sisi naik (*rising limb*), puncak (*crest*), dan sisi resesi (*recession lomb*). Bentuk hidrograf dapat ditandai dengan tiga sifat pokoknya yaitu waktu naik (*time of rise*), debit puncak (*peak discharge*), dan waktu dasar (*base time*) (Sosrodarsono & Takeda 2003).

Hidrograf satuan adalah hidrograf limpasan permukaan yang diakibatkan oleh curah hujan jangka waktu yang relatif singkat dengan intensitas tinggi yang disebut hujan satuan. Hujan satuan adalah curah hujan yang lamanya sedemikian sehingga lama limpasan permukaan tidak menjadi pendek, walaupun curah hujan itu menjadi pendek. Hujan satuan yang dipilih yaitu hujan yang lamanya sama atau lebih pendek dari periode naik hidrograf (Sosrodarsono & Takeda 2003).

Asdak (2002) menyatakan bahwa Metoda Unit Hidrograf (UHG) mewakili 1 *inch* (2,54 cm) air larian (*Direct runoff*) suatu DAS. Debit puncak dan lama waktu aliran tidak berubah untuk curah hujan yang utuh dalam interval waktu tertentu. Interval waktu biasanya dipilih antara seperempat sampai setengah dari waktu yang diperlukan untuk tercapainya debit puncak (Q_p). Curah hujan efektif adalah curah hujan dikurangi air infiltrasi. Sedangkan air larian akan memerlukan waktu sama dengan waktu konsentrasi T_c untuk mencapai lokasi pengamatan. UHG berhenti ketika air larian terakhir dari tempat yang paling jauh mencapai lokasi pengamatan.

2.6 Tank Model

Sriharto (1993) diacu dalam Suprayogi (2003) menyebutkan tujuan penggunaan model dalam hidrologi adalah untuk: a) peramalan, termasuk untuk sistem peringatan dan pengelolaan; b) perkiraan; c) sebagai alat deteksi dalam masalah pengendalian, dengan sistem yang telah pasti dan keluaran yang diketahui maka masukan dapat dikontrol; d) sebagai alat pengenalan dalam masalah perencanaan, contoh untuk melihat pengaruh urbanisasi, pengelolaan tanah dengan membandingkan masukan dan keluaran dalam sistem tertentu; e) ekstrapolasi data; f) perkiraan lingkungan akibat tingkat perilaku manusia yang berubah; g) penelitian dasar dalam proses hidrologi.

Sugawara (1961) diacu dalam Sutoyo & Purwanto (1999) menyatakan, model tangki adalah suatu metoda non-linier yang berdasarkan kepada hipotesis bahwa aliran limpasan dan infiltrasi merupakan fungsi dari jumlah air yang tersimpan di dalam tanah. *Tank Model* adalah salah satu model hidrologi yang digunakan untuk menganalisis karakteristik aliran sungai. Model ini dapat memberikan informasi mengenai kualitas air dan untuk memprediksi banjir. Model ini menerima masukan data harian hujan, evapotranspirasi dan debit sungai

dalam satuan mm/hari sebagai parameter *Tank Model*. *Tank Model* tersusun atas 4 *reservoir* vertikal, dimana bagian atas mempresentasikan *surface reservoir*, dibawahnya *intermediate reservoir*, kemudian *sub-base reservoir* dan paling bawah *base reservoir*. Dalam konsep *Tank Model* ini air dapat mengisi *reservoir* dibawahnya dan bisa terjadi sebaliknya apabila evapotranspirasi sedemikian berpengaruh (Setiawan 2003).

Tank Model yang telah divalidasi dan telah diuji keabsahannya dengan tolak ukur koefisien determinasi (R^2) dapat digunakan untuk analisis hidrologi salah satunya adalah simulasi perubahan tata guna lahan dan kaitannya terhadap ketersediaan air/debit sungai (Harmailis *et al* 2001, diacu dalam Wulandari 2008).

Penggunaan aplikasi *Tank Model* pernah dilakukan pada penelitian-penelitian sebelumnya, pada penelitian yang dilakukan oleh Kurniawati pada tahun 2008 di Sub DAS Cisadane hulu dengan luas area 1.783,9 Ha, didapat nilai R^2 sebesar 0,89, hal ini menunjukkan *Tank Model* dapat mempresentasikan kondisi hidrologi di Sub DAS Cisadane hulu dengan cukup akurat. *surface flow* (Y_{a2}) sebesar 29,39 %, *intermediate flow* (Y_{b1}) 9,43 %, *sub-base flow* (Y_{c1}) 39,44 %, dan *Base flow* (Y_{d1}) 21,28 %. Sulistyowati (2010) menggunakan aplikasi *Tank Model* di Sub DAS Cipedes dengan luas area 104,939 Ha. Nilai parameter optimasi *Tank Model* diperoleh nilai $R = 0,6$. Total aliran *Tank Model* selama 4 tahun yaitu *surface flow* 628,43 mm (10,1%), *intermediate flow* 641,47 mm (10,2%), *sub-base flow* 2007,50 mm (32,1 %), dan *base flow* 2978 mm (47,6%). Nurroh (2010) menerapkan aplikasi *Tank Model* di Sub DAS Cimanuk Hulu dengan luas area 423,4 Ha, diperoleh nilai R^2 sebesar 0,7. Total aliran *Tank Model* hasil optimasi yaitu *surface flow* 149,524 mm (24%), *intermediate flow* 320,28 mm (51,5%), *sub-base flow* 47,2072 mm (7,6%), dan *base flow* 105,197 mm (16,9%).

2.7 Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE)

Penerapan model *Universal Soil Loss Equation* (USLE) secara umum untuk menduga laju erosi lahan yang terjadi di suatu DAS. Dalam perkembangannya metode USLE dimodifikasi menjadi *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) untuk meningkatkan akurasi. Revisi dilakukan pada cara perhitungan nilai faktor kemiringan lahan (LS). Berdasarkan prinsip pengelolaan DAS bahwa pengelolaan DAS memiliki luaran berupa efek lingkungan, baik

onsite maupun *offsite*, maka penggunaan model USLE maupun RUSLE belum memberikan cerminan seluruh efek yang terjadi (Supangat & Sukresno 2008).

Model erosi MUSLE merupakan pengembangan dari persamaan USLE. Metode USLE sebagai suatu persamaan hanya dapat menduga besar erosi tanah tahunan yang berasal erosi permukaan yang terjadi pada bagian profil bentang lahan (*landscape*) dan tidak dapat menghitung deposisi yang terjadi. USLE juga tidak diperuntukkan untuk menghitung hasil sedimen yang berada pada hilirnya maupun bentuk erosi *gully* (Murtiono 2008).

Anonim (2009) menyebutkan bahwa metode MUSLE mengganti faktor energi curah hujan pada metode USLE dengan faktor *Run-off*. Metode MUSLE meningkatkan akurasi prediksi hasil sedimen, menghilangkan masukan nisbah pengangkutan digunakan dalam metode USLE, karena faktor curah hujan hanya menggambarkan energi pengelupasan saja. Pada metode MUSLE nisbah pengangkutan tidak digunakan karena faktor *Run-off* menggambarkan energi pengelupasan dan pengangkutan sedimen.

BAB III

METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan September sampai dengan Nopember 2011 di Stasiun Pengamat Arus Sungai Sub DAS Sibarasok Gadang, DAS Antokan, yang terletak di Kecamatan IV Koto Aur Malintang, Kabupaten Padang Pariaman, Propinsi Sumatera Barat. Data yang digunakan adalah data dari tanggal 9 Juni 2011 hingga 8 Nopember 2011. Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Hidrologi Hutan dan DAS, Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat-alat yang digunakan dalam penelitian yaitu:

1. *Automatic Rainfall Recorder* (ARR) untuk mengukur curah hujan secara otomatis.
2. *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) untuk mencatat tinggi muka air secara otomatis.
3. *Global Potitioning System* (GPS) untuk mengetahui koordinat lokasi penelitian.
4. *Turbidity meter* untuk mengukur konsentrasi sedimen.
5. *Stopwatch* untuk mengukur waktu tempuh pelampung.
6. Meteran untuk mengukur ukuran SPAS.
7. Pelampung untuk mengukur kecepatan aliran air.
8. Botol sample untuk mengambil sample air.
9. Seperangkat komputer dengan sistem operasi *Microsoft Windows7* yang dilengkapi *software Minitab 14.0*, *ArcGIS 9.3* dengan berbagai *Extentions* yang dibutuhkan dalam pengolahan data spasial, *Tank Model GA Optimizer*, *Smartdatalog*, dan *Microsoft Office Excel 2007*.

3.2.2 Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu:

- a. Data primer dan sekunder yaitu:
 1. Data Pengukuran AWLR.
 2. Data curah hujan dari pencatat hujan otomatis (ARR).

3. Sampel air.
 4. Data kecepatan aliran air.
 5. Monografi lokasi penelitian
- b. Data Spasial
1. Peta tutupan lahan.
 2. Peta sungai.
 3. Peta kontur.
 4. Peta administrasi lokasi penelitian

3.3 Tahapan Penelitian

1. Melakukan pengukuran tinggi muka air (TMA) di lapangan.
2. Melakukan pengukuran debit aliran sungai (Q) di lapangan.
3. Melakukan pengukuran sedimentasi (Qs) menggunakan *turbiditymeter*.
4. Membuat *discharge rating curve* (hubungan antara tinggi muka air dengan debit aliran).
5. Mencari hubungan antara debit aliran sungai (Q) dengan sedimentasi (Qs).
6. Pengumpulan dan pengunduhan data primer (TMA dan curah hujan) dari sistem perekam data yang terdapat di SPAS ke sistem pengolahan data (komputer/laptop).
7. Pengolahan data tinggi muka air (meter) menjadi data debit aliran (m^3/detik atau mm/hari) dengan menggunakan persamaan yang didapat dari hubungan TMA dengan debit aliran.
8. Mencari nilai evapotranspirasi dengan menggunakan *Weather Generator* dan *ETP Penman Montheit*.
9. Data debit aliran (Q), curah hujan dan evapotranspirasi dalam satuan mm/hari digunakan sebagai *input Tank Model* untuk di optimasi sehingga menghasilkan *output Tank Model* yang nantinya digunakan untuk menghitung laju sedimentasi dengan menggunakan metode MUSLE.

3.4 Analisis Data

3.4.1 Analisis Curah Hujan

Analisis data curah hujan dilakukan dengan melakukan tabulasi curah hujan bulanan rata-rata, curah hujan tahunan, menganalisis sebaran bulan basah dan

bulan kering dalam selang waktu 9 Juni 2011 sampai 8 November 2011 serta dilakukan analisis korelasi antara curah hujan dan debit untuk mengetahui sejauh mana curah hujan berpengaruh terhadap besar debit aliran.

Analisis peluang curah hujan dilakukan dengan mengelompokkan semua data kejadian hujan harian yang terjadi di Sub DAS Sibarasok Gadang. Selanjutnya dilakukan pengelompokkan kejadian curah hujan dengan interval 20 mm. Setelah itu dilakukan perhitungan peluang terjadinya hujan pada masing-masing kelompok kejadian curah hujan dan dilanjutkan dengan mencari periode ulang (T) kejadian hujan masing-masing kelompok dengan persamaan:

$$T = \frac{1}{p} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

T = Periode Ulang (tahun)

P = Peluang / probabilitas

Kejadian hujan yang sangat besar dapat menyebabkan terjadinya tanah longsor atau bentuk gerakan tanah lainnya. Oleh karena itu, dilakukan analisis kejadian hujan yang memiliki curah hujan harian besar. Berdasarkan data curah hujan Sub DAS Sibarasok dilakukan analisis curah hujan harian berturut-turut yang memiliki akumulasi curah hujan yang besar.

3.4.2 Analisis Debit Aliran

Tinggi muka air diukur secara otomatis oleh AWLR dengan interval pengukuran setiap 15 menit. Untuk menghitung debit digunakan metode pelampung dengan melakukan minimal tiga kali ulangan kecepatan untuk masing-masing tinggi muka air, sehingga diperoleh kecepatan rata-rata dari pelampung. Dari kecepatan pelampung tersebut akan diperoleh kecepatan air dengan mengalikannya dengan koefisien kecepatan (Sosrodarsono & Takeda 2003).

Dalam perhitungan debit aliran digunakan persamaan Manning yang menganggap suatu penampang melintang seragam, kekasaran dasar sungai yang tidak berubah dan menggunakan aliran tetap yang seragam. Debit aliran diperoleh dari hasil perkalian kecepatan aliran rata-rata (m^3/s) dengan luas penampang sungai (m).

Pengukuran debit aliran dilakukan dengan beberapa ulangan pada tinggi muka air yang berbeda sehingga diperoleh hubungan antara debit aliran dengan tinggi muka air dari penampang sungai tersebut dalam sebuah *discharge rating curve* atau lengkung aliran. Berdasarkan hubungan antara tinggi muka air dan debit aliran diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$Q = a \text{ TMA}^b \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

Q = debit aliran (m³/s)

TMA = tinggi muka air (m)

a,b = konstanta

3.4.3 Analisis Hubungan Debit Aliran dengan Laju Sedimen

Beban angkutan sedimen diturunkan dari data laju sedimen melalui persamaan yang menggambarkan hubungan antara debit aliran dengan beban angkutan sedimen yang nilainya di dapat berdasarkan pengukuran dengan alat *turbiditymeter*, dimana satuan untuk sedimen adalah ppm atau mg/liter. Dengan asumsi bahwa konsentrasi sedimen merata pada seluruh bagian penampang melintang sungai maka laju sedimen dapat dihitung sebagai hasil perkalian antara konsentrasi dengan debit aliran (Asdak 2002) yaitu :

$$Q_s = 0,0864 \times C \times Q \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

Q_s = laju sedimen (ton/hari)

Q = debit aliran (m³/s)

C = konsentrasi sedimen (ppm atau mg/l)

Pengambilan sampel air sedimen dan pengukuran debit dilakukan berulang kali pada ketinggian muka air yang berbeda sehingga diperoleh hubungan antara debit aliran dengan angkutan sedimen. Berdasarkan hubungan tersebut diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$Q_s = a Q^b \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

Q_s = laju sedimen (ton/hari)

Q = debit aliran (m³/s)

a,b = konstanta

3.4.4 Analisis Hidrograf

Bentuk hidrograf dapat ditandai dengan tiga sifat pokoknya, yaitu waktu naik (*time of rise*), debit puncak (*peak discharge*), dan waktu dasar (*time of base*). Waktu naik (T_p) adalah waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai waktu terjadinya debit puncak. Debit puncak (Q_p) adalah debit maksimum yang terjadi dalam suatu kasus tertentu. Waktu resesi (T_b) adalah waktu yang diukur dari saat hidrograf berada saat debit puncak sampai waktu dimana debit kembali pada suatu besaran yang ditetapkan.

Prosedur penyusunan hidrograf satuan adalah:

1. Menentukan aliran dasar (*base flow*), aliran dasar yang dipakai adalah debit minimum (m^3/s) pada saat debit sebelum mengalami kenaikan setelah hujan.
2. Menghitung volume *direct runoff* (DRO), dihitung dengan cara debit (m^3/s) dikurangi *base flow* (m^3/s) yaitu:

$$DRO = Q - BF \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

$$DRO = \text{Direct Run Off} (m^3/s)$$

$$Q = \text{Debit} (m^3/s)$$

$$BF = \text{Base Flow} (m^3/s)$$

3. Menghitung volume aliran langsung dengan cara:

$$V DRO = \sum DRO \times t \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

$$V DRO = \text{Volume aliran langsung}$$

$$\sum DRO = \text{jumlah debit aliran langsung} (m^3/s)$$

$$T = \text{selang waktu (menit)}$$

4. Menghitung tebal aliran langsung dihitung dengan persamaan:

$$\text{Tebal DRO} = \frac{V DRO}{A} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

$$\text{Tebal DRO} = \text{tebal aliran langsung (mm)}$$

$$A = \text{luas Sub DAS} (m^2)$$

5. Menghitung Koefisien *Runoff*, yaitu:

$$\text{Koefisien runoff} = \frac{Q}{CH} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

CH = Curah hujan (mm)

Q = Debit (mm)

6. Membangun hidrograf satuan setelah didapat harga unit hidrograf satuan.

3.5 Pengolahan Data Input *Tank Model*

Data masukan utama *Tank Model* yaitu curah hujan (P), evapotranspirasi (ETP), dan debit (Q) yang dioptimasi menghasilkan keluaran berupa nilai parameter *Tank Model*, indikator keandalan model, nilai keseimbangan air, kurva hidrograf, dan regresi. Masukan data harian curah hujan, evapotranspirasi, dan debit semua dikonversi menjadi satuan mm.

Data kejadian hujan per 15 menit dari 9 Juni 2011 hingga 8 Nopember 2011 yang terekam pada ARR di *outlet* diolah menjadi data kejadian hujan harian. Data curah hujan dalam satuan mm/hari akan digunakan sebagai salah satu data input *Tank Model*. Setiawan (2003) menyatakan secara global persamaan keseimbangan air *Tank Model* sebagai berikut :

$$\frac{dH}{dt} = P(t) - ET(t) - Y(t) \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

H = tinggi air (mm)

Y= aliran total (mm/hari)

P = hujan (mm/hari)

t = waktu (hari)

ET = evapotranspirasi (mm/hari)

Pada standar *Tank Model* terdapat 4 *tank*, sehingga persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{dH}{dt} = \frac{dHa}{dt} + \frac{dHb}{dt} + \frac{dHc}{dt} + \frac{dHd}{dt} \dots\dots\dots (10)$$

Aliran total merupakan penjumlahan dari komponen aliran yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$Y(t) = Ya(t) + Yb(t) + Yc(t) + Yd(t) \dots\dots\dots(11)$$

Lebih rinci lagi keseimbangan air dalam setiap *reservoir* dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{dH_a}{dt} = P(t) - ET(t) - Y_a(t) \dots \dots \dots (12)$$

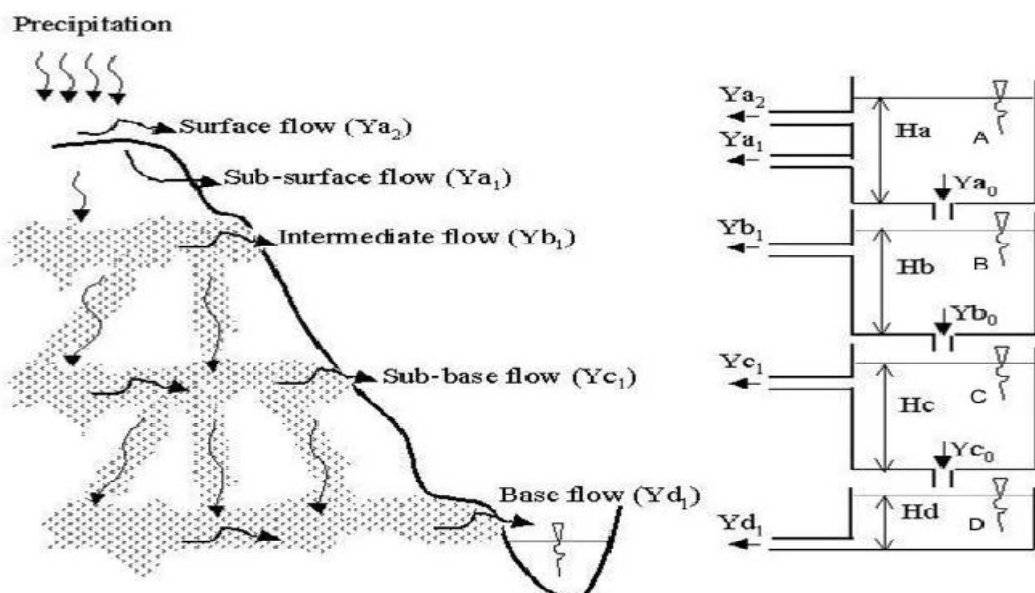
$$\frac{dH_b}{dt} = Y_{a_0}(t) - Y_b(t) \dots \dots \dots (13)$$

$$\frac{dH_c}{dt} = Y_{b_0}(t) - Y_c(t) \dots \dots \dots (14)$$

$$\frac{dH_d}{dt} = Y_{c_0}(t) - Y_d(t) \dots \dots \dots (15)$$

Dimana $Y_a, Y_b, Y_c,$ dan Y_d adalah komponen aliran horizontal dari setiap *reservoir*, dan $Y_{a_0}, Y_{b_0},$ dan Y_{c_0} adalah aliran vertikal (infiltrasi) setiap *tank* (A,B dan C).

Data-data masukan untuk aplikasi model tangki dari tanggal 9 Juni 2011 sampai 8 Nopember 2011 disimpan dalam bentuk *txt*. Data-data tersebut dimasukkan ke aplikasi model tangki setelah diatur *initial month* dan diisi parameter awal dari model tangki. Kemudian diperoleh data awal untuk proses *INITIAL* yaitu nilai parameter untuk tinggi air dan aliran air di setiap *reservoir*. Untuk memulai proses optimasi digunakan nilai parameter *initial*. Parameter *initial* untuk tinggi muka air diduga sebelum proses iterasi dengan menggunakan nilai koefisien *runoff* hidrograf satuan pada nilai *surface flow*. Kemudian dilakukan *OPTIMIZE* untuk menduga tinggi muka air (H_a, H_b, H_c dan H_d) dengan melihat keseimbangan air. Jika *performance R* lebih dari 60% dilakukan *VERIFICATION* atau kalibrasi data.



Gambar 1 Skema representasi *Tank Model* menurut Setiawan (2003).

Gambar 1 menjelaskan model ini tersusun atas 4 (empat) *reservoir vertical*, yaitu bagian atas mempresentasikan *surface reservoir* (A), dibawahnya *intermediate reservoir* (B), kemudian *sub-base reservoir* (C), dan paling bawah *base reservoir* (D). Lubang *outlet horizontal* mencerminkan aliran air, yang terdiri dari *surface flow* (Y_{a2}), *sub-surface flow* (Y_{a1}), *intermediate flow* (Y_{b1}), *sub-base flow* (Y_{c1}), dan *base flow* (Y_{d1}). Infiltrasi yang melalui lubang *outlet vertical* dan aliran yang melalui lubang *outlet horizontal tank* dikuantifikasikan oleh parameter-parameter *Tank Model*. Aliran ini hanya terjadi bila tinggi air pada masing-masing *reservoir* (H_a , H_b , H_c , dan H_d) melebihi tinggi lubangnya (H_{a1} , H_{a2} , H_{b1} , dan H_{c1}).

3.5.1 Pengolahan Data Curah Hujan

Salah satu data masukan untuk aplikasi model tangki yaitu data curah hujan harian. Data kejadian hujan yang terekam pada *logger* yang merupakan hasil pengukuran ARR (*Automatic Rainfall Recorder*) dengan interval pengukuran setiap 15 menit dari tanggal 9 Juni 2011 hingga 8 Nopember 2011 diolah menjadi data kejadian hujan harian dengan satuan mm/hari.

3.5.2 Pengolahan Data Evapotranspirasi

Metode *Penman-Monteith* adalah salah satu metode yang digunakan untuk menentukan besarnya evapotranspirasi potensial dari permukaan air terbuka dan permukaan vegetasi yang menjadi kajian. Model persamaan Penman-Monteith (Capece *et al.* 2002 *diacu dalam* Suprayogi *et al.* 2003) sebagai berikut:

$$E_{tp} = \frac{\Delta(R_n - G)}{\lambda(\Delta + \gamma)} + \frac{\gamma M_w (e_a - e_d)}{R \rho v (\Delta + \gamma)} \dots \dots \dots (16)$$

Keterangan:

- E_{tp} = Evapotranspirasi potensial (mm/hari)
- R_n = Radiasi *netto* (kW/m^2)
- Δ = *Slope* fungsi tekanan uap jenuh ($\text{Pa}/^\circ\text{C}$)
- γ = Konstanta *Psychometric* ($\text{Pa}/^\circ\text{C}$)
- G = Aliran bahang kedalam tanah (kW/m^2)
- $e_a - e_d$ = Defisit tekanan jenuh udara (kPa)
- M_w = Massa molekul air (0,018 kg/mol)
- R = Konstanta gas ($8,31 \times 10^{-3}$ kJ/mol/K)

θ = suhu (K)

rv = Tahanan kanopi (det/m)

Data evapotranspirasi potensial diperoleh dari persamaan (16) dengan menggunakan aplikasi *weather generator*.

3.5.3 Pengolahan Data Debit

Data debit dari hasil perkalian luas penampang melintang *weirs* dan kecepatan aliran sungai sepanjang penampang *weirs* menghasilkan data debit aliran dengan satuan m^3/s , pada input data tank model data debit harian harus dikonversi ke dalam satuan mm/hari dengan rumus :

$$Q' = \frac{Q \times 86400}{A} \times 1.000 \dots\dots\dots (17)$$

Keterangan:

Q' = Debit dalam satuan mm/hari A = Luas (Ha)

Q = Debit dalam satuan $m^3/detik$

3.6 Analisis Laju Sedimentasi MUSLE

Adapun yang digunakan untuk menduga laju sedimen dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode *Modified Universal Soil Loss Equation* (MUSLE). Metode MUSLE merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menduga laju sedimentasi yang merupakan metode yang dikembangkan dari metode yang sudah ada sebelumnya yakni metode USLE. MUSLE tidak menggunakan faktor energi hujan sebagai *trigger* penyebab terjadinya erosi melainkan menggunakan faktor limpasan permukaan sehingga. Faktor limpasan permukaan mewakili energi yang digunakan untuk penghancuran dan pengangkutan sedimen.

Persamaan untuk menghitung jumlah sedimen yang berasal dari DTA menurut William (1975) diacu dalam Neitsch *et al.* (2005) adalah sebagai berikut:

$$Sed' = 11.8.(Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0,56} \cdot K.L.S.C.P \dots\dots\dots (18)$$

Keterangan:

Sed' = Jumlah sedimen dari DTA (ton)

q_{peak} = Puncak laju limpasan (m^3/s)

Q_{surf} = Limpasan permukaan (mm)

$area_{hru}$ = Luas DTA (ha)

K = Faktor erodibilitas tanah

C = Faktor vegetasi penutup tanah dan pengelolaan tanaman

P = Faktor tindakan-tindakan konservasi tanah

LS = Faktor topografi

Aliran lateral dan base flow juga membawa sedimen masuk ke dalam sungai. Neitsch *et al.* (2005) menyatakan jumlah sedimentasi yang berasal dari aliran lateral dan base flow dihitung dengan persamaan berikut :

$$sed_{lat} = \frac{(Q_{lat} + Q_{gw}) \cdot area_{hru} \cdot conc_{sed}}{1000} \dots\dots\dots(19)$$

Keterangan:

Q_{lat} = Lateral flow (mm)

Q_{gw} = Base flow (mm)

$area_{hru}$ = Luas DTA (Km²)

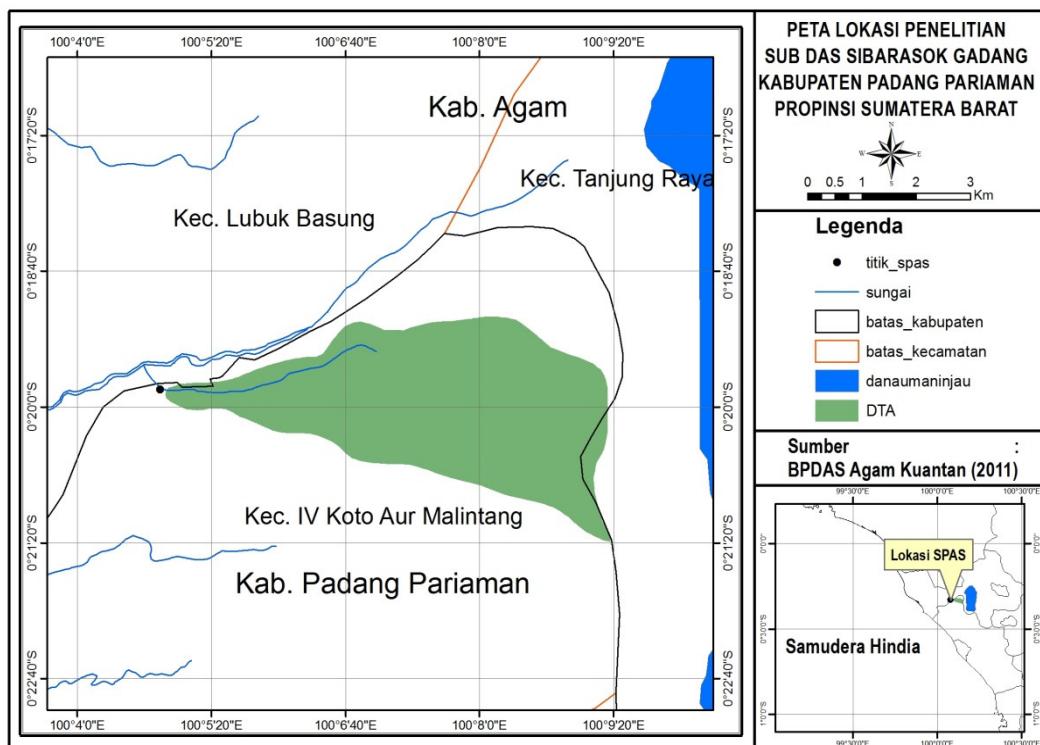
$conc_{sed}$ = Konsentrasi sedimen yang berasal dari lateral dan base flow (mg/L)

BAB IV

KONDISI UMUM

4.1 Letak dan Luas

Penelitian dilakukan di Stasiun Pengamat Arus Sungai (SPAS) Sub DAS Sibarasok Gadang, DAS Antokan berada pada koordinat $0^{\circ} 19' 49,6''$ LS dan $100^{\circ} 04' 50,4''$ BT. Berdasarkan wilayah administratif, lokasi SPAS berada di Korong Padang Laring, Nagari III Koto Aur Malintang, Kecamatan IV Koto Aur Malintang, Kabupaten Padang Pariaman, Propinsi Sumatera Barat. Daerah tangkapan air (DTA) SPAS berada pada koordinat $0^{\circ} 18' 04''$ s/d $0^{\circ} 47' 48''$ LS dan $100^{\circ} 04' 50,4''$ s/d $100^{\circ} 11' 49''$ BT, meliputi wilayah seluas 1.677,1 Ha. Bagian wilayah administrasi yang berbatasan langsung dengan DTA dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Peta lokasi penelitian.

4.2 Penggunaan Lahan

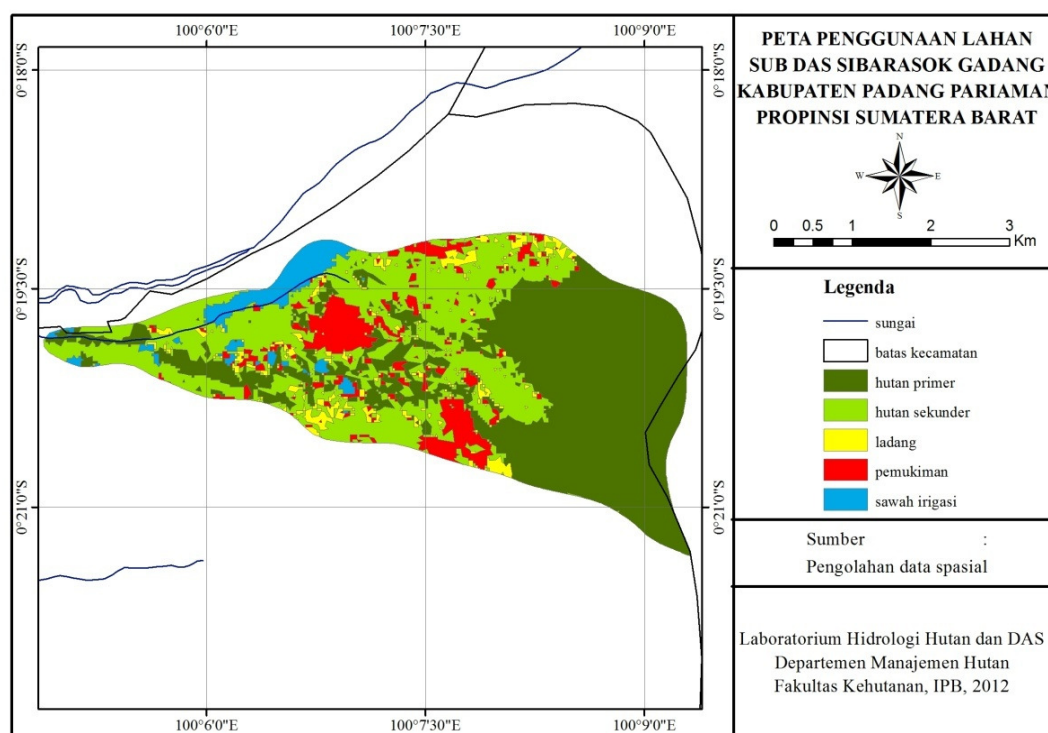
Jenis penutupan lahan di DTA Sibarasok Gadang dikelompokkan menjadi lima jenis penggunaan lahan. Pengelompokan jenis penggunaan lahan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Penggunaan lahan di Sub DAS Sibarasok Gadang

No	Jenis Penggunaan Lahan	Luas	
		ha	%
1	Sawah irigasi	75,1	4,48
2	Hutan primer	786,6	46,90
3	Ladang	69,0	4,11
4	Hutan sekunder	596,2	35,55
5	Pemukiman	150,2	8,96
Jumlah		1677,1	100

Sumber: Pengolahan data spasial

Penggunaan lahan di Sub DAS Sibarasok Gadang didominasi oleh penggunaan lahan jenis hutan primer sebesar 46,9 %, hutan sekunder sebesar 35,55 %, pemukiman sebesar 8,96 %, sawah irigasi sebesar 4,48 %, dan ladang sebesar 4,11 %. Penyebaran penggunaan lahan di Sub DAS Sibarasok Gadang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Peta penggunaan lahan di Sub DAS Sibarasok Gadang.

4.3 Topografi

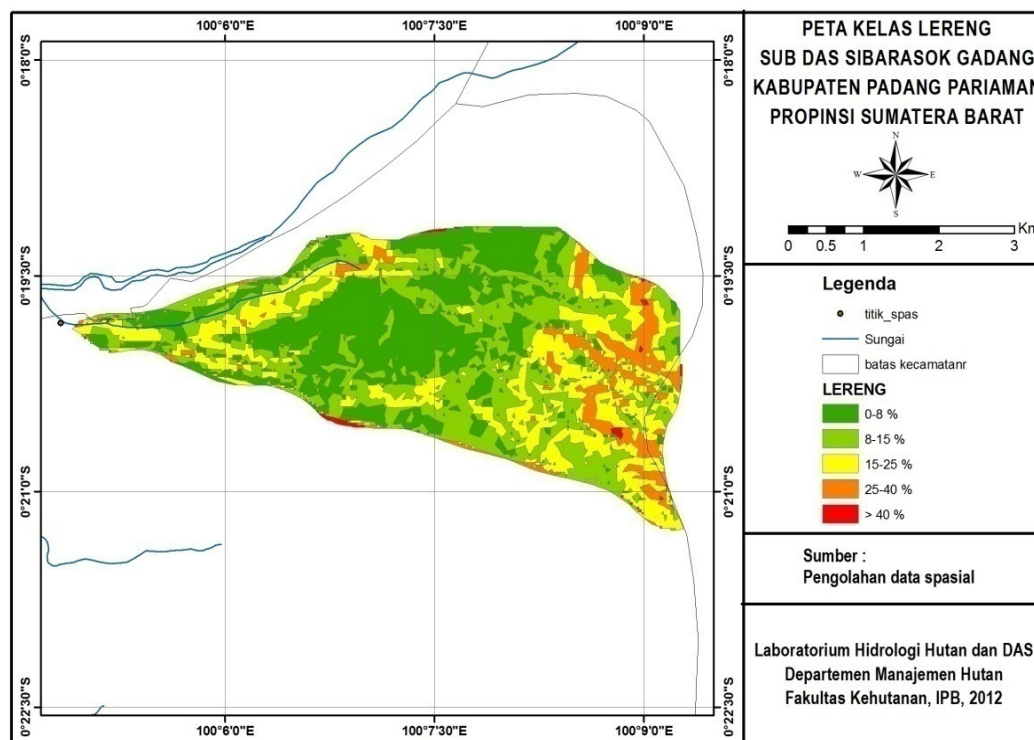
Keadaan topografi di wilayah Sub-sub DAS Sibarasok Gadang bervariasi mulai dari datar sampai dengan berbukit dan bergunung, dengan kelerengan datar (0-8%), landai, agak curam, curam, sampai sangat curam (>40%). Luas masing-masing kelas lereng disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kelas kelerengan di Sub DAS Sibarasok Gadang

No	Kelerengan	Kelas	Jenis Lereng	Luas (Ha)	Luas (%)
1	0 - 8 %	A	Datar	537,2	32
2	8 - 15 %	B	Landai	569,8	34
3	15 - 25 %	C	Agak Curam	401	23,9
4	25 - 40 %	D	Curam	159,7	9,5
5	> 40 %	E	Sangat Curam	9,3	0,6
Total				1677,1	100

Sumber: Pengolahan data spasial

Berdasarkan Tabel 2, topografi Sub DAS Sibarasok Gadang didominasi oleh kelas kelerengan landai (8-15%) dengan luasan sebesar 569,8 ha (34%) dan kelas kelerengan datar (0-8%) dengan luasan sebesar 537,2 ha (32%). Peta kelas lereng Sub DAS Sibarasok Gadang disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4 Peta kelas lereng Sub DAS Sibarasok Gadang.

4.4 Morfometri DAS

Morfometri DAS merupakan karakteristik fisik DAS yang dapat digunakan sebagai indikator karakteristik aliran di suatu DAS. Luas dan bentuk DAS merupakan bagian penting dari morfometri DAS. Luasan DAS berpengaruh terhadap besar kecilnya hujan yang diterima DAS tersebut, sehingga berpengaruh

terhadap debit aliran permukaan yang terjadi. Bentuk DAS mempengaruhi bentuk alirannya.

Sub DAS Sibarasok Gadang memiliki luasan sebesar 1677,1 ha atau setara dengan 16,77 km². Bentuk DAS diketahui melalui nilai sirkularitas DAS (Rc). Menurut Nagle *et al.* (1997) dalam Suprayogi (2003) persamaan yang digunakan untuk menghitung sirkularitas DAS adalah :

$$Rc = \frac{4\pi Ad}{KL^2} \dots\dots\dots (20)$$

Keterangan:

Rc = sirkularitas DAS

Ad = luas DAS (km²)

KL = keliling DAS (km)

Dari proses pengolahan data spasial dengan menggunakan *ArcGIS 9.3*, diketahui luas Sub DAS Sibarasok Gadang sebesar 16,77 km² dan keliling sebesar 20,92 km maka sirkularitas (Rc) Sub DAS Sibarasok Gadang adalah 0,481. Suprayogi (2003) menyatakan daerah aliran sungai yang memiliki nilai Rc < 0,5 mempunyai bentuk DAS yang memanjang. Hal ini sesuai dengan bentuk Sub DAS Sibarasok Gadang yang memanjang seperti yang tersaji pada Gambar 2. Sungai utama DTA SPAS Sibarasok Gadang memiliki panjang aliran sungai sekitar 5,4 Km.

4.5 Tanah dan Iklim

Daerah tangkapan air Sub DAS Sibarasok Gadang secara administrasi termasuk ke dalam kecamatan IV Koto Aur Malintang. Menurut taksonomi USDA tanah didaerah kecamatan IV Koto Aur Malintang termasuk kedalam golongan Ultisol yang tersebar didaerah perbukitan. Jenis tanah didominasi oleh Podsolik Merah Kuning (liat).

Ph tanah pada wilayah administrasi berkisar antara 4,2 - 6,8 pada sawah dan 4,5-6,4 pada lahan kering. Kecamatan IV Koto Aur Malintang beriklim tropis yang memiliki dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau dengan temperatur udara siang berkisar antara 26 °C – 28,5°C dan malam hari berkisar 24 °C – 25,5 °C. Curah hujan di kecamatan IV Koto Aur Malintang adalah >2000 mm/tahun.

4.6 Kondisi Sosial Ekonomi

Sub DAS Sibarasok Gadang secara administrasi terletak di Korong Padang Laring, Nagari III Koto Aur Malintang, Kecamatan IV Koto Aur Malintang, Kabupaten Padang Pariaman, Propinsi Sumatera Barat. Berdasarkan data kependudukan tahun 2007, jumlah penduduk di Korong Padang Laring adalah 2.982 jiwa. Penduduk Korong Padang Laring didominasi oleh usia produktif 22-60 tahun sebanyak 1.331 jiwa.

Mata pencaharian penduduk Korong Padang Laring didominasi oleh petani (25,1%), wirausaha (24,7%), lain-lain (18,8%), buruh tani (9,9%), PNS (1,04%) dan sisanya belum bekerja. Tingkat pendidikan penduduk Korong Padang Laring tergolong rendah, hampir sebagian besar penduduk hanya mencapai tingkat pendidikan sekolah dasar (SD) yaitu sebesar 33,67%. Sedangkan penduduk yang mencapai pendidikan perguruan tinggi hanya mencapai 0,77%. Jenis usaha tani pokok yang dilakukan petani diantaranya tanaman perkebunan (kelapa, pisang, kakao, dan pinang), tanaman pangan (padi, cabe, dan jagung), dan ternak.

BAB V

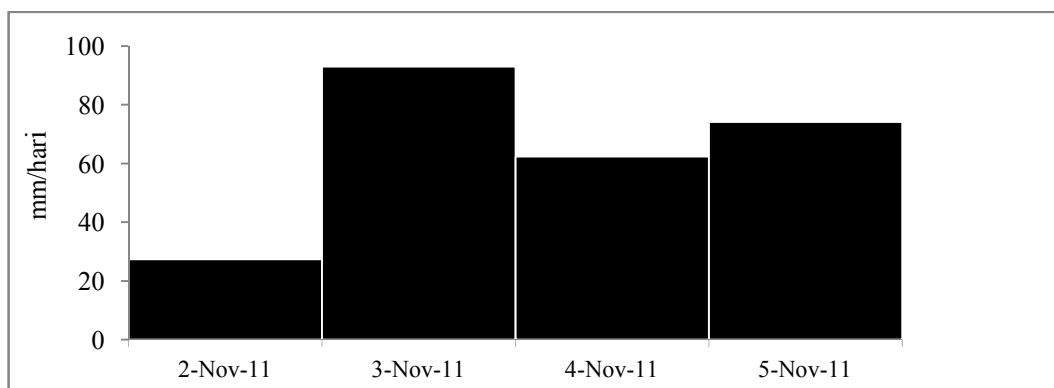
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Curah Hujan

Curah hujan diukur setiap hari dengan interval pengukuran dua puluh empat jam dengan satuan mm/hari. Pengukuran curah hujan dilakukan oleh *Automatic Rainfall Recorder* (ARR) yang secara otomatis mengukur curah hujan dan kemudian data hasil pengukuran curah hujan tadi disimpan oleh logger. Data yang terekam di SPAS adalah data harian dari tanggal 9 Juni 2011 hingga 8 November 2011.

Pengolahan data curah hujan dilakukan dari tanggal 9 Juni 2011 hingga 8 November 2011. Hasil pengolahan data curah hujan yang terjadi di Sub DAS Sibarasok Gadang menunjukkan curah hujan yang berfluktuasi. Curah hujan tertinggi terjadi pada tanggal 22 Oktober 2011 sebesar 95,4 mm/hari. Total curah hujan dari tanggal 9 Juni 2011 hingga 8 November 2011 sebesar 1.575,6 mm.

Asdak (2002) menyatakan kejadian hujan yang sangat besar dapat menyebabkan terjadinya tanah longsor atau bentuk gerakan tanah lainnya. Berdasarkan data curah hujan Sub DAS Sibarasok Gadang diketahui terjadi curah hujan yang cukup besar empat hari berturut-turut, yakni dari tanggal 2 Nopember 2011 hingga 5 Nopember 2011. Total curah hujan keempat hari tersebut sebesar 257 mm atau 16% dari total curah hujan tanggal 9 Juni 2011 hingga 8 November 2011. Grafik curah hujan yang terjadi selama empat hari tersebut disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5 Grafik curah hujan tanggal 2 Nopember-5 Nopember 2011.

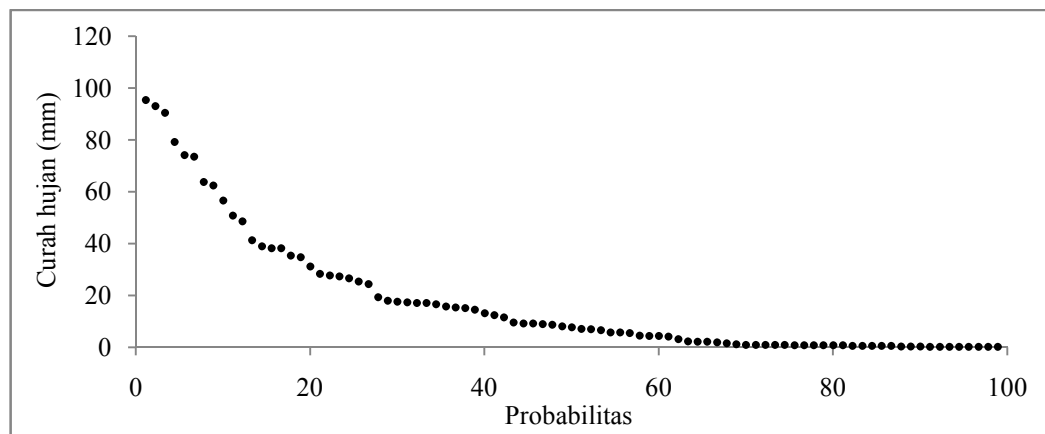
Curah hujan yang turun ke permukaan bumi akan memiliki besaran yang bervariasi dalam kurun waktu satu tahun (Asdak 2002). Berdasarkan pengolahan data curah hujan di Sub DAS Sibarasok Gadang diketahui curah hujan dengan besaran < 20 mm sangat banyak terjadi yakni dengan frekuensi kejadian sebesar 65 dengan peluang kejadiannya sebesar 73,03 %. Sedangkan untuk curah hujan dalam selang 80 sampai < 100 mm memiliki peluang kejadian terkecil yakni sebesar 3,37 %. Analisis peluang kejadian hujan di Sub DAS Sibarasok Gadang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Analisis peluang kejadian hujan di Sub DAS Sibarasok Gadang

Curah hujan (mm)	frekuensi	Peluang		Periode ulang (tahun)
< 20	65	0,730	73,03 %	1
20 sampai < 40	12	0,135	13,48 %	7
40 sampai < 60	4	0,045	4,49 %	22
60 sampai < 80	5	0,056	5,62 %	18
80 sampai < 100	3	0,034	3,37 %	30

Asdak (2002) menyatakan periode ulang diartikan sebagai waktu di mana hujan atau debit dengan satuan besaran tertentu rata-rata akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tersebut. Dalam hal ini tidak berarti bahwa selama jangka waktu 29 tahun, hanya sekali kejadian curah hujan 80 mm sampai <100 mm yang menyamai atau melampaui, tetapi merupakan perkiraan bahwa hujan tersebut akan disamai atau dilampaui K kali dalam jangka panjang L tahun, dimana K/L kira-kira sama dengan 1/T.

Sistem hidrologi terkadang dipengaruhi oleh keadaan-keadaan yang ekstrim. Seperti curah hujan yang dapat terjadi dengan intensitas yang sangat tinggi. Besarnya kejadian ekstrim berbanding terbalik dengan frekuensi kejadian (Asdak 2002). Kejadian luar biasa ekstrim terjadi sangat langka. Hal ini dapat kita lihat pada Gambar 6. Semakin tinggi curah hujan maka akan semakin kecil kemungkinan akan terjadinya kondisi tersebut, akan tetapi semakin rendah curah hujan maka akan semakin besar kemungkinan terjadinya hal tersebut.



Gambar 6 Grafik probabilitas curah hujan di Sub DAS Sibarasok Gadang.

Sistem klasifikasi iklim Schmidh-Ferguson menjelaskan bahwa bulan basah adalah bulan dengan jumlah curah hujan lebih dari 100 mm, bulan kering merupakan bulan dengan jumlah curah hujan kecil dari 60 mm, dan bulan lembab adalah bulan dengan jumlah curah hujan diantara 60 sampai 100 mm. Berdasarkan tabulasi data curah hujan diketahui bulan basah pada Sub DAS Sibarasok Gadang terjadi pada bulan Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, dan November. Curah hujan bulanan terbesar terjadi di bulan Oktober 2011 dengan jumlah curah hujan bulanannya sebesar 426,6 mm.

5.2 Analisis Debit Aliran

Debit sungai adalah volume air yang melalui penampang basah sungai dalam satuan waktu, satuan debit adalah $m^3/detik$. Data debit aliran harian didapatkan dari pengolahan data tinggi muka air (TMA) yang diukur oleh AWLR dengan interval pengukuran setiap 15 menit kemudian disimpan oleh logger secara otomatis. Data TMA yang digunakan untuk analisis debit aliran adalah data TMA harian mulai tanggal 9 Juni 2011 sampai 8 November 2011.

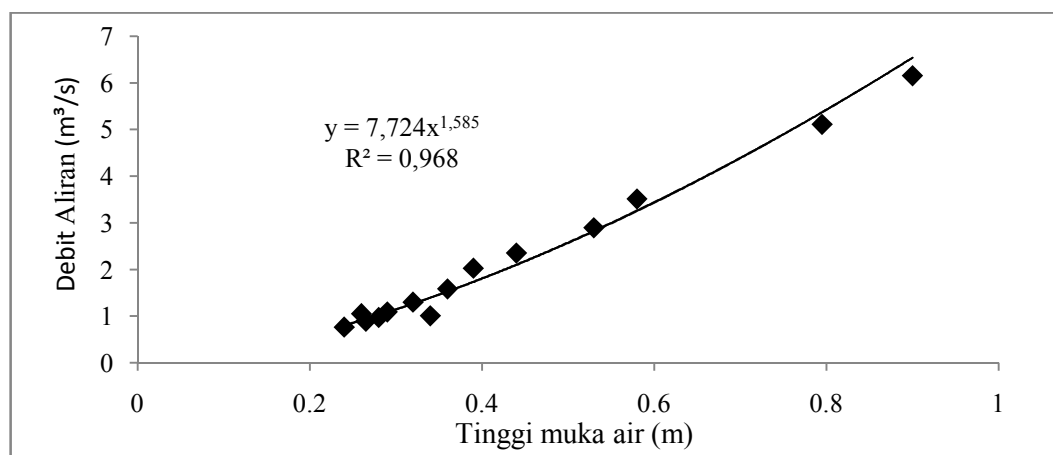
Data TMA yang diperoleh dari *logger* SPAS dapat digunakan untuk menentukan debit aliran dengan menggunakan persamaan regresi kemudian didapatkan *stage discharge rating curve*. *Stage Discharge Rating Curve* dibuat berdasarkan pengukuran debit di lapangan pada ketinggian muka air yang berbeda-beda sehingga didapatkan hubungan tinggi muka air dengan debit aliran. Hasil observasi lapangan mengenai pengukuran tinggi muka air dan debit aliran disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengukuran debit lapang menggunakan koefisien kekasaran Manning

Tanggal Pengamatan	Jarak (m)	waktu rata-rata	TMA (m)	A (m ²)	V (m/s)	Debit (m ³ /s)
23-Sep-11	11	18,95	0,28	1,546	0,63	0,97
27-Sep-11	11	13,49	0,36	2,08	0,76	1,59
27-Sep-11	11	10,77	0,39	2,415	0,84	2,03
28-Sep-11	11	17,71	0,34	1,586	0,64	1,01
1-Oct-11	11	14,92	0,32	1,845	0,71	1,30
11-Oct-11	11	16,83	0,29	1,658	0,66	1,09
18-Oct-11	11	22,63	0,24	1,339	0,57	0,77
19-Oct-11	11	19,62	0,265	1,469	0,61	0,89
21-Oct-11	11	19,34	0,26	1,621	0,65	1,05
21-Oct-11	11	9,49	0,53	3,005	0,96	2,89
22-Oct-11	11	8,46	0,795	4,273	1,20	5,11
24-Oct-11	11	8,82	0,58	3,382	1,04	3,51
1-Nov-11	11	7,98	0,9	4,797	1,28	6,15
2-Nov-11	11	9,95	0,44	2,645	0,89	2,35

Keterangan : s^* = Panjang penampang; t = Waktu; v = Kecepatan; TMA = Tinggi Muka Air; A = Luas Penampang Melintang; Q = Debit sungai; N = Koefisien kekasaran Manning sebesar 0,04

Perhitungan kecepatan aliran sungai menggunakan faktor koreksi untuk berbagai tipe saluran penampang sungai dengan menggunakan koefisien Manning. Nilai $S^{1/2}$ didapatkan dari rata-rata ulangan pengukuran kecepatan aliran sungai (V) aktual di lapangan untuk mendapatkan tetapan $S^{1/2}$ yang akan digunakan seterusnya dalam perhitungan debit. Hubungan antara TMA dengan debit aliran disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7 Stage discharge rating curve SPAS Sibarasok Gadang.

Gambar 7 menggambarkan hubungan antara debit aliran sungai di SPAS Sibarasok Gadang dengan TMA dimana dalam persamaan matematisnya terdapat nilai R^2 yang merupakan koefisien determinasi yang menunjukkan seberapa besar kesalahan dalam memprediksi besarnya y (debit) dapat direduksi dengan menggunakan informasi yang dimiliki oleh variabel x (tinggi muka air).

Model persamaan *stage discharge rating curve* yang dihasilkan antara TMA dengan debit aliran di SPAS Sibarasok Gadang adalah sebagai berikut :

$$Q = 7,724 TMA^{1,585} \dots\dots\dots(21)$$

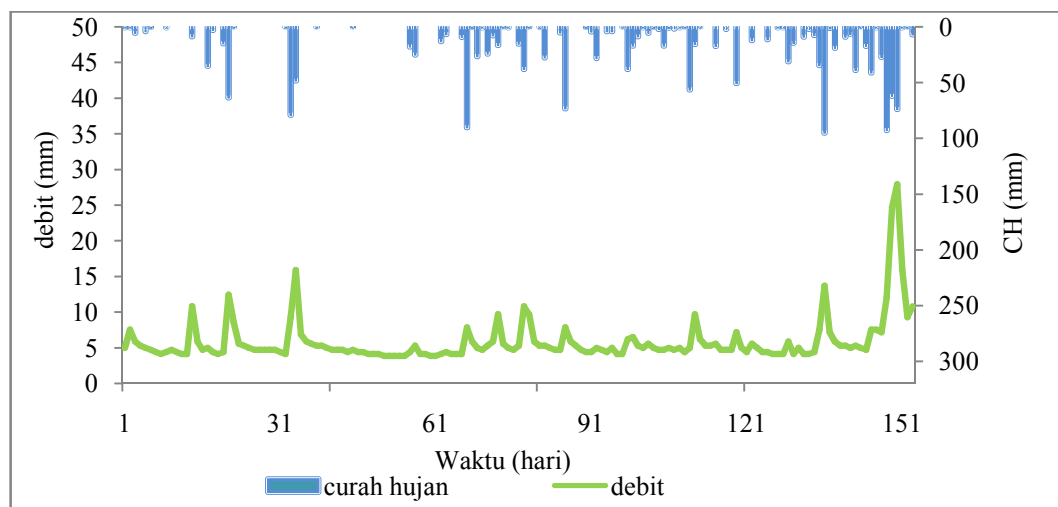
Keterangan:

Q = debit aliran sungai ($m^3/detik$)

TMA = tinggi muka air (m)

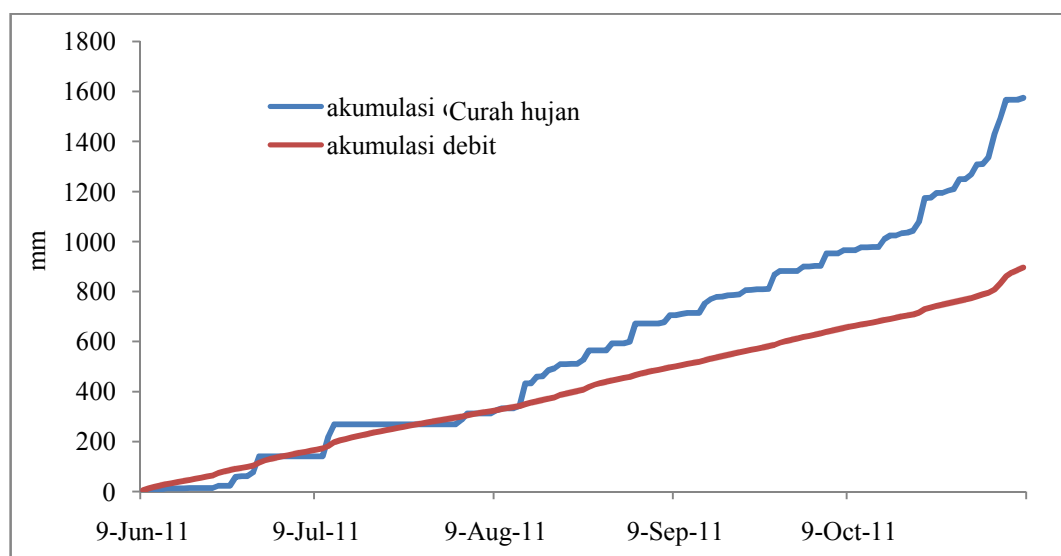
Persamaan (21) mempunyai nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,968. Ini menunjukkan adanya korelasi yang kuat antara TMA dengan debit aliran sungai. Besarnya nilai koefien determinasi menunjukkan besarnya keragaman dari debit aliran dapat dijelaskan oleh tinggi muka air sebesar 96,8%.

Persamaan (21) yang dihasilkan tersebut digunakan untuk mengetahui debit aliran sungai harian di SPAS Sibarasok Gadang tanggal 9 Juni 2011 hingga 8 November 2011 dengan menggunakan data tinggi muka air harian yang didapat dari SPAS. Grafik fluktuasi hubungan debit aliran dengan besarnya curah hujan dimana satuan debit aliran telah dikonversi dari ($m^3/detik$) menjadi mm/hari, disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8 Grafik hubungan curah hujan dan debit aliran sungai.

Gambar 8 menunjukkan bahwa debit harian tertinggi dalam selang waktu tanggal 9 Juni 2011 hingga 8 Nopember 2011 terjadi pada tanggal 5 November 2011 sebesar 27,938 mm/hari dengan curah hujan sebesar 74,2 mm/hari. Fluktuasi debit aliran dipengaruhi oleh besar kecilnya curah hujan yang terjadi, tetapi curah hujan yang maksimal tidak pasti selalu menyebabkan debit aliran maksimal, hal ini dapat dilihat pada grafik, pada tanggal 22 Oktober 2011 curah hujan yang terjadi sebesar 94,5 mm akan tetapi debit aliran yang terjadi hanya 13,69 mm lebih kecil dibanding dengan kejadian hujan pada tanggal 5 Nopember 2011 dengan curah hujan 74,2 mm/hari mampu menghasilkan debit aliran maksimal sebesar 27,938 mm. Hal ini dapat disebabkan lamanya hujan, intensitas hujan dan akumulasi dari curah hujan hari-hari sebelumnya. Intensitas hujan yang tinggi pada suatu daerah tangkapan air akan menyebabkan laju infiltrasi terlampaui oleh laju aliran, dengan demikian total debit akan lebih besar pada hujan dengan intensitas tinggi atau intensif dibanding dengan hujan yang kurang intensif meskipun curah hujan untuk kedua kejadian hujan tersebut relatif sama. Dari data curah hujan diketahui bahwa terjadi kejadian hujan berturut-turut dari tanggal 2 Nopember 2011 hingga 5 Nopember 2011 dengan akumulasi curah hujan sebesar 257 mm, hal inilah yang menyebabkan pada tanggal 5 Nopember 2011 terjadi debit aliran maksimal. Total debit aliran dari tanggal 9 Juni 2011 sampai 8 Nopember 2011 sebesar 895,75 mm. Grafik akumulasi curah hujan dan debit aliran di Sub DAS Sibarasok Gadang disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik akumulasi curah hujan dan debit aliran.

5.3 Analisis Data Evapotranspirasi

Arsyad (2010) menyebutkan bahwa evapotranspirasi merupakan gabungan antara evaporasi dan transpirasi yang mempunyai makna sebagai jumlah air yang digunakan untuk transpirasi, diuapkan dari tanah dan permukaan air serta permukaan tanaman, pada suatu areal bertanaman. Evapotranspirasi merupakan salah satu data *input* Model tangki dengan satuan mm/hari.

Perhitungan evapotranspirasi yang digunakan adalah metode Penman-Monteith, cara perhitungan menggunakan metode ini dijelaskan pada persamaan 18 di metodologi pengolahan data. Perhitungan evapotranspirasi ini menggunakan bantuan aplikasi *Weather Generator* dan *ETP Penman Montheit*. Berdasarkan hasil perhitungan data evapotranspirasi, diperoleh total evapotranspirasi yang terjadi pada tanggal 9 Juni 2011 sampai 8 Nopember 2011 sebesar 725,52 mm dan rata-rata evapotranspirasi harian sebesar 4,74 mm/hari. Selanjutnya data evapotranspirasi digunakan sebagai data *input* dalam aplikasi model tangki, dalam bentuk data evapotranspirasi harian.

5.4 Analisis Hidrograf

Hujan merupakan suatu variabel yang memiliki peranan penting dalam siklus hidrologi. Ketika hujan mencapai permukaan tanah sebagian air tersebut masuk kedalam tanah (infiltrasi) dan sebagian menjadi aliran permukaan yang nantinya akan masuk kedalam aliran sungai. Dengan demikian curah hujan memiliki pengaruh terhadap fluktuasi debit aliran sungai.

Hubungan curah hujan dengan debit aliran dapat menerangkan respon debit aliran terhadap curah hujan melalui hidrograf. Diagram yang menggambarkan variasi debit atau permukaan air menurut waktu disebut hidrograf. Kurva ini memberikan Gambaran mengenai berbagai kondisi di daerah itu secara bersama-sama. Jadi, jika karakteristik daerah aliran itu berubah, maka bentuk hidrograf akan berubah. Hidrograf terdiri dari tiga bagian yaitu sisi naik (*rising limb*), puncak (*crest*), dan sisi resesi (*recession lomb*). Bentuk hidrograf dapat ditandai dengan tiga sifat pokoknya yaitu waktu naik (*time of rise*), debit puncak (*peak discharge*), dan waktu dasar (*base time*) (Sosrodarsono & Takeda 2003). Tanggapan aliran sungai terhadap curah hujan ditunjukkan oleh nilai koefisien

limpasan yang merupakan perbandingan (nisbah) antara besarnya limpasan terhadap besar curah hujan yang terjadi.

Analisis hidrograf di Sub DAS Sibarasok Gadang dilakukan berdasarkan kejadian hujan dengan interval kejadian hujan setiap 15 menit dan 30 menit. Hidrograf aliran daerah tangkapan air SPAS Sibarasok Gadang disajikan pada Tabel 6. Contoh salah satu hidrograf aliran di daerah tangkapan air SPAS Sibarasok Gadang disajikan pada Gambar 10.

Tabel 6. Analisis perhitungan hidrograf aliran beberapa kejadian hujan di Sub DAS Sibarasok Gadang

Tanggal	Σ CH mm	Σ Q mm/jam	Σ DRO mm/jam	Qp mm/jam	Tp jam	Td jam	Tb jam	TDRO (mm)	C
14/8/2011	70,8	23,08	9,85	1,75	1	0	3,75	2,48	0,035
2/9/2011	32,8	19,74	10,74	1,22	1,75	1,75	5,5	2,70	0,082
3/11/2011	43,8	7,69	1,68	1,41	1	1	2	0,85	0,019
5/11/2011	58,2	53,85	18,67	1,69	11	10,5	9,5	9,39	0,161
Min	32,8	7,69	1,68	1,22	1	0	2	0,85	0,02
Maks	70,8	53,85	18,67	1,75	11	10,5	9,5	9,39	0,16
Rata-rata	51,4	26,09	10,24	1,52	3,69	3,31	5,19	3,85	0,075

Keterangan:

Q_p = debit puncak

T_p = waktu yang diperlukan dari debit sungai mulai naik sampai mencapai debit puncak

T_d = selisih waktu puncak antara Q_p dengan CH maksimal

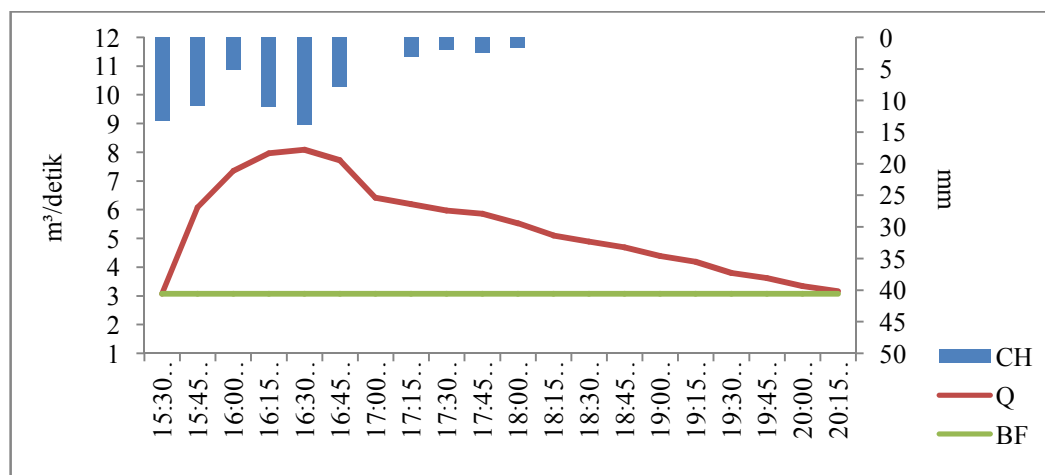
T_b = waktu yang diperlukan dari mulai tercapai Q_p sampai debit kembali ke debit awal

DRO = aliran langsung (Direct Runoff)

CH = Curah Hujan

C = Koefisien limpasan

TDRO = Tebal Direct Run Off



Gambar 10 Hidrograf aliran SPAS Sibarasok Gadang tanggal 14 Agustus 2011.

Contoh perhitungan hidrograf aliran per kejadian hujan terdapat pada Lampiran 14. Berdasarkan analisis perhitungan hidrograf aliran, rata-rata waktu

yang dibutuhkan untuk mencapai debit puncak (T_p) sebesar 3,69 jam, waktu yang dibutuhkan dari debit puncak sampai debit kembali ke debit awal (T_b) sebesar 5,19 jam dan Q_p rata-rata sebesar 1,52 mm/jam. Hendrayanto *et al.* dalam Nurroh (2010) menyatakan kejadian hujan yang terjadi lebih ke arah hulu cenderung menghasilkan hidrograf yang memiliki nilai T_p dan T_b yang panjang dan Q_p yang rendah. Hasil analisis hidrograf ini juga menggambarkan fisiografi yang landai terlihat dengan kelas lereng pada DTA didominasi oleh kelas kelerengan landai. Dari beberapa kejadian hujan terlihat pada tanggal 14 Agustus 2011, 2 September 2011, dan 3 November 2011 memiliki T_p pendek yang berarti waktu untuk mencapai debit puncak sangat cepat. Hal ini dapat dipengaruhi oleh intensitas hujan yang tinggi dan lamanya kejadian hujan.

Perbandingan antara tebal DRO dan curah hujan dapat menentukan nilai koefisien limpasan. Perbandingan tersebut menjelaskan persentase curah hujan yang menjadi limpasan. Hasil perhitungan analisis hidrograf menghasilkan koefisien limpasan sebesar 0,075. Nilai ini menjelaskan sebanyak 7,5% dari air hujan yang masuk ke DTA menjadi limpasan. Nilai koefisien limpasan di SPAS Sibarasok Gadang ini akan menjadi inisiasi pada proses optimasi Model tangki.

5.5 Aplikasi Model Tangki

Model tangki merupakan suatu model hidrologi yang dapat dipergunakan untuk menduga karakteristik aliran sungai dan mensimulasikan distribusi aliran air. Model tangki yang digunakan adalah standard Model tangki yang tersusun atas empat *reservoir* vertikal. Bagian teratas menggambarkan *surface reservoir* (A), kedua menggambarkan *intermediate reservoir* (B), ketiga menggambarkan *sub-base reservoir* (C), dan yang paling bawah menggambarkan *base reservoir* (D). Model tangki secara keseluruhan memiliki 12 parameter (Setiawan, 2003).

Data masukan model tangki berupa data curah hujan, evapotranspirasi, dan data debit dengan satuan untuk setiap masukkan adalah mm/hari. Data tersebut nantinya menjadi input dalam penentuan 12 parameter melalui proses optimasi dengan *software* Model Tangki. Data yang digunakan adalah data curah hujan harian, evapotranspirasi harian, dan debit harian di Sub DAS Sibarasok Gadang tanggal 9 Juni 2011 sampai 8 Nopember 2011. Hasil optimasi model tangki

tanggal 9 Juni 2011 hingga 8 Nopember berupa 12 parameter model tangki di Sub DAS Sibarasok Gadang disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Parameter hasil optimasi Model tangki di Sub DAS Sibarasok Gadang.

No	Parameters Model tangki	Hasil Optimasi
1	a0	0,700
2	a1	0,029
3	Ha1	8,179
4	a2	0,079
5	Ha2	50,864
6	b0	0,25
7	b1	0,063
8	Hb1	15
9	c0	0,498
10	c1	0,5
11	Hc1	37,704
12	d1	0,004

Sumber : Hasil optimasi model tangki di SPAS Sibarasok Gadang

Parameter-parameter model tangki dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis yaitu:

1. Koefisien laju aliran (*Run-off coefficient*), menunjukkan besarnya laju aliran, $a1=0,029$, $a2=0,079$, $b1=0,063$, $c1=0,5$ dan $d1=0,004$. Parameter yang menunjukkan laju aliran terbesar adalah pada tank pertama.
2. Koefisien Infiltrasi (*Infiltration coefficient*), menunjukkan besarnya laju infiltrasi $a0=0,700$, $b0=0,25$, dan $c0=0,498$, Parameter tersebut menunjukkan laju infiltrasi terbesar adalah pada lubang *outlet* vertikal tank pertama.
3. Parameter simpanan (*Storage parameter*), menunjukkan tinggi lubang outlet horizontal masing-masing tank, $Ha1=8,179$, $Ha2=50,864$, $Hb1=15$, dan $Hc1=37,704$. Parameter tersebut menunjukkan bahwa lubang outlet horizontal tank kedua adalah yang tertinggi.

Koefisien limpasan yang didapatkan dari analisis hidrograf aliran adalah 0,075 atau 7,5% dari curah hujan yang turun langsung menjadi limpasan. Dalam aplikasi model tangki, koefisien limpasan permukaan ditunjukkan oleh parameter $a1$ dan $a2$ (*Runoff coefficients sub-surface flow* dan *surface flow*) dengan nilai

masing-masing sebesar 0,029 dan 0,079, ini berarti hasil optimasi limpasan langsung yang terjadi berkisar antara 2,9% hingga 7,9%. Nurroh (2010) menyatakan nilai koefisien limpasan analisis hidrograf aliran yang berada pada kisaran hasil optimasi model tangki menunjukkan keakuratan hasil optimasi model tangki dari analisis input data yang diperoleh. Indikator keandalan Model tangki di Sub DAS Sibarasok Gadang disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Indikator keandalan Model tangki di Sub DAS Sibarasok Gadang.

Parameter Optimasi	Nilai Parameter Optimasi
R (<i>Coefficient of Correlation</i>)	0,903
R ² (<i>Determination</i>)	0,816
RMSE (<i>Root Mean Square Error</i>)	1,699
MAE (<i>Mean Average Error</i>)	0,961
LOG (<i>Log Root Square Mean Error</i>)	0,084

Sumber : Hasil optimasi Model tangki di Sub DAS Sibarasok Gadang

Tabel 8 menyajikan indikator kebenaran dan kesalahan dari keandalan Model tangki. Indikator kebenaran dapat dilihat dari nilai R dan R². Nilai R (korelasi) sebesar 0,903 dapat menggambarkan kondisi lapang dengan baik antara Q observasi dan Q kalkulasi. Koefisien determinasi (R²) sebesar 0,816 menyatakan verifikasi Model tangki dalam penelitian ini cukup memuaskan.

Setiawan (2003) menyatakan indikator kesalahan ditunjukkan oleh parameter-parameter seperti RMSE (1,699) yang kecil menunjukkan bahwa model dapat digunakan untuk menentukan aliran permukaan dengan ketepatan yang baik, MAE (0,961) yang kecil memberikan informasi ketepatan model dalam menggambarkan aliran secara keseluruhan, dan LOG (0,084) yang kecil menunjukkan bahwa model memperkirakan aliran bawah tanah dengan baik.

Output model tangki menghasilkan komponen hasil optimasi berupa keseimbangan air (*water balance*), tinggi muka air di tangki (*water level*), dan total aliran air (*water flow*). Komponen model tangki hasil optimasi disajikan pada Tabel 9.

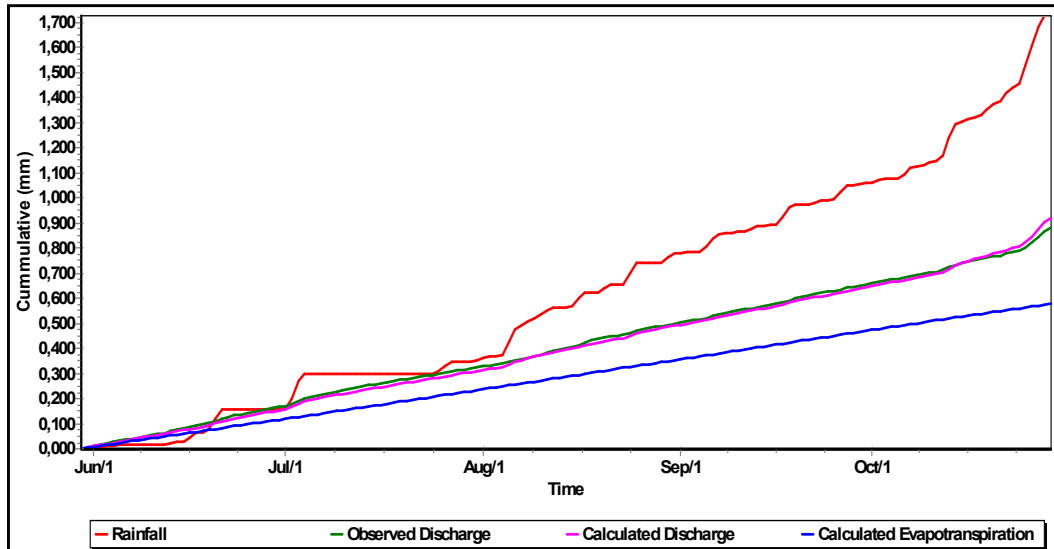
Tabel 9. Komponen hasil optimasi Model tangki

Komponen Model tangki	Bagian Komponen	Nilai	
		Satuan (mm)	%
Keseimbangan air (<i>Water balance</i>)	In Flow	1729,2	
	observation of out flow	890,335	
	calculation of out flow	930,03	
	Etp calculation	580,416	
	Stored	218,342	
Tinggi muka air setiap tank (<i>Water level</i>)	Ha	1,456	
	Hb	47,979	
	Hc	18,097	
	Hd	1378,095	
Total aliran (<i>Water flow</i>)	Surface flow	67,044	7,21%
	intermediate flow	149,539	16,08%
	sub-base flow	33,587	3,61%
	Base flow	679,861	73,10%

Sumber : Hasil optimasi Model tangki di Sub DAS Sibarasok Gadang

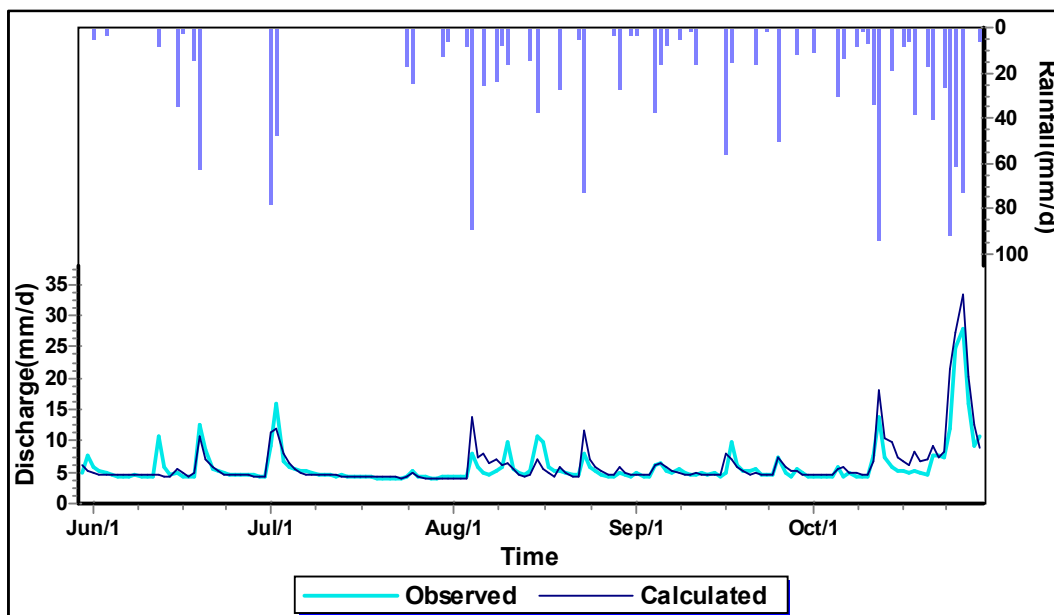
Proses optimasi model tangki menghasilkan komponen total aliran. Berdasarkan hasil optimasi diketahui total aliran terdistribusi di *surface flow*, *intermediate flow*, *sub-base flow* dan *base flow*. Total aliran yang mengalir ke sungai didominasi oleh *base flow* sebesar 679,861 mm dengan persentase 73,10%, diikuti oleh *intermediate flow* sebesar 16,08%, *surface flow* sebesar 7,21%, dan *sub-base flow* dengan persentase terkecil sebesar 3,61%. Hal ini menunjukkan kapasitas infiltrasi cukup tinggi. Hujan yang jatuh ke permukaan bumi meresap ke dalam tanah terlebih dahulu sebelum menjadi debit aliran sungai.

Indikator kemampuan model tangki dalam menjaga keseimbangan air dapat dilihat dari persentase *discrepancy*. Nilai *discrepancy* yang diperoleh positif yaitu $9,98E+01$. Sulistyowati (2010) menyebutkan nilai *discrepancy* positif menunjukkan terjadinya surplus dalam keseimbangan air, yang berarti *inflow* (*rainfall*) lebih besar dari *outflow* (Etp kalkulasi dan debit kalkulasi). Hal ini terlihat pada komponen hasil optimasi Model tangki adanya *stored* (simpanan air) sebesar 218,342 mm. Keseimbangan air hasil optimasi model tangki disajikan pada Gambar 11.



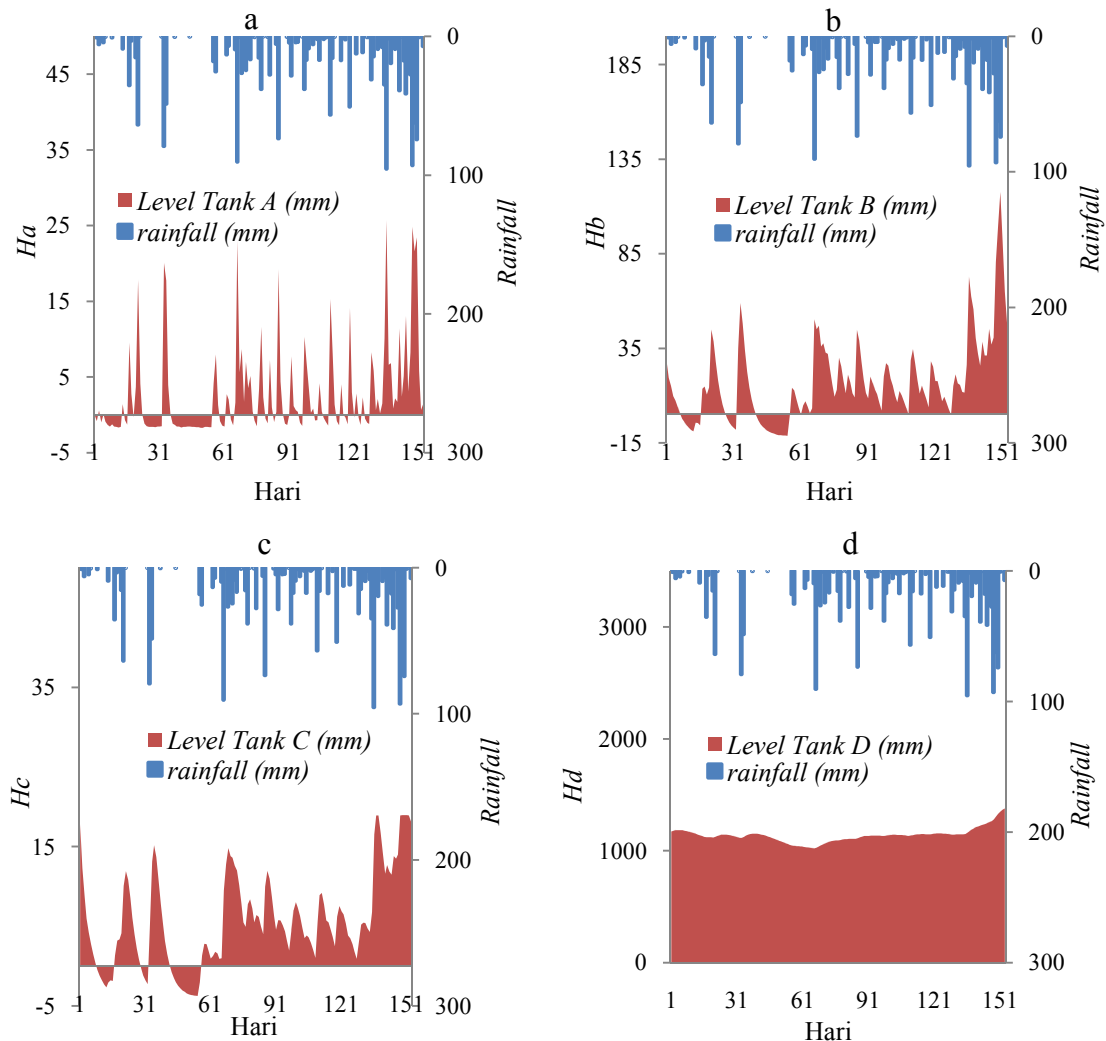
Gambar 11 Keseimbangan air hasil optimasi.

Fluktuasi hidrograf aliran hasil optimasi model tangki dengan perbandingan antara hasil observasi dengan hasil kalkulasi dari tanggal 9 Juni 2011 sampai 8 Nopember 2011 disajikan pada Gambar 12. Terlihat bahwa debit hasil kalkulasi model tangki sudah mendekati debit observasi.



Gambar 12 Grafik fluktuasi hidrograf aliran hasil optimasi.

Hasil optimasi model tangki mampu mempresentasikan ketersediaan air melalui keseimbangan tinggi air pada masing – masing *tank*. Gambar tinggi air pada masing – masing tank dapat dilihat pada Gambar 13.



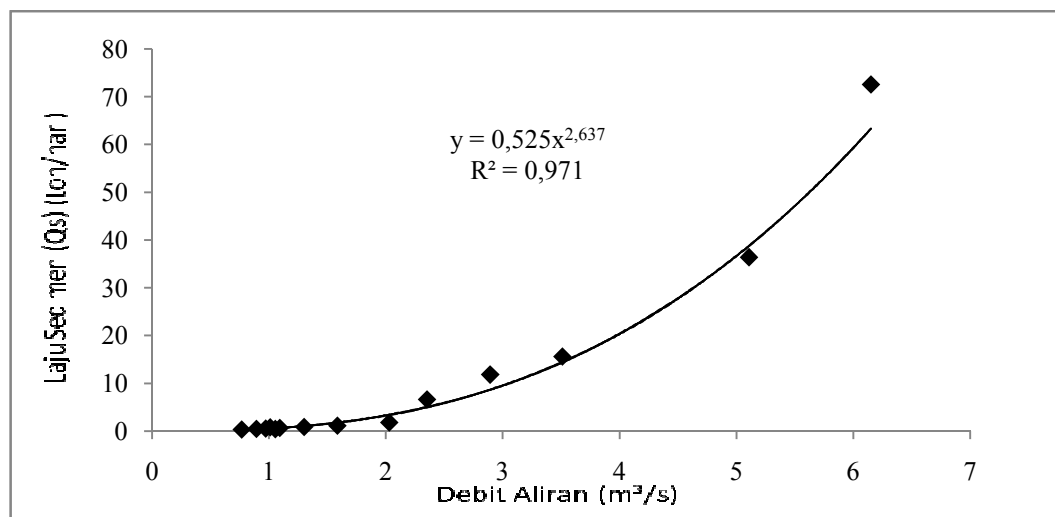
Gambar 13 Water level pada masing-masing tangki : (a) tangki A, (b) tangki B, (c) tangki C, dan (d) tangki D.

Level air di tangki A sangat dipengaruhi oleh hujan, hal ini terlihat dengan adanya peningkatan dan penurunan curah hujan yang berdampak langsung terhadap perubahan level air tangki A. Dari hasil verifikasi model tangki diketahui bahwa curah hujan dengan besaran diatas 12,4 mm akan menghasilkan *surface flow*, sedangkan curah hujan dibawahnya tidak menghasilkan *surface flow* karena curah hujan langsung terinfiltrasi kedalam tanah. Pada tangki B hujan masih sangat mempengaruhi fluktuasi ketinggian air di tangki, namun terlihat ada sedikit pengurangan respon yang disebabkan koefisien infiltrasi yang lebih kecil dari pada tangki A. Fluktuasi ketinggian air di tangki C jika dibandingkan dengan tangki A dan B mengalami pengurangan respon terhadap hujan terlihat dari bentuk grafiknya yang lebih halus dibanding tangki A dan B. Pada tangki D curah hujan tidak memberikan pengaruh langsung terhadap perubahan level air. Level

air di tangki D terlihat stabil. Level air pada masing-masing *tank* A, B, C dan D dianalisis untuk mengetahui karakteristik pergerakan aliran air. *Water level* tertinggi berada pada tangki D (*base flow*) sebesar 1378,095 mm, nilai ini menunjukkan curah hujan yang jatuh ke permukaan tanah mampu diresapkan (infiltrasi) dan mengalami proses perlokasi dimana air secara terus menerus bergerak vertikal sehingga tersimpan menjadi air tanah (*stored*). Hal ini menunjukkan bahwa Sub DAS Sibarasok Gadang memiliki penutupan hutan yang baik.

5.6 Analisis Laju Sedimen Observasi

Laju sedimen diduga melalui model persamaan regresi hubungan debit aliran dengan laju sedimen hasil pengukuran lapangan. Data lapangan yang digunakan adalah data tanggal 23 September - 2 Nopember 2011. Beberapa sampel air sungai yang di ambil pada TMA yang berbeda diukur konsentrasi sedimennya dengan menggunakan *turbidimeter*. Satuan untuk sedimen yaitu gram/liter atau ppm. Grafik hubungan debit aliran dengan laju sedimen disajikan pada Gambar 14.



Gambar 14 *Sediment discharge rating curve.*

Model persamaan regresi *sediment discharge rating curve* yang dihasilkan di SPAS Sibarasok Gadang adalah sebagai berikut:

$$Q_s = 0,525 Q^{2,637} \dots\dots\dots(22)$$

Model persamaan regresi hubungan antara debit aliran dengan laju sedimentasi memiliki koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,971. Koefisien

determinasi ini menjelaskan hubungan antara debit aliran dengan laju sedimentasi memiliki korelasi yang kuat, dimana besarnya laju sedimentasi (Q_s) dapat diterangkan oleh debit aliran (Q). Peningkatan debit diikuti dengan peningkatan laju sedimen. Laju sedimen harian tertinggi dalam selang waktu 9 Juni 2011 sampai 8 Nopember 2011 terjadi pada tanggal 5 Nopember 2011 sebesar 45,33 ton/hari dengan debit aliran sebesar 27,938 mm/hari. Total laju sedimentasi yang terjadi dalam selang waktu 9 Juni 2011 sampai 8 Nopember 2011 sebesar 213,329 ton/tahun.

Berbeda dengan peningkatan laju sedimen yang berbanding lurus dengan peningkatan debit, curah hujan tidak langsung memberikan pengaruhnya terhadap perubahan laju sedimen. Hal ini terlihat ketika curah hujan maksimal sebesar 95,4 mm tanggal 22 Oktober 2011 laju sedimen yang dihasilkan sebesar 6,9 ton/hari, lebih kecil dibanding curah hujan sebesar 74,2 mm/hari tanggal 5 Nopember 2011 yang memiliki laju sedimen sebesar 45,33 ton/hari. Hal tersebut mungkin terjadi ketika hujan terjadi pada intensitas yang rendah atau hujan jatuh pada daerah yang datar.

5.7 Analisis Laju Sedimen Metode MUSLE

Model tangki menghasikan data aliran pada setiap tank diantaranya *surface flow* dan *base flow*, kedua data tersebut menjadi data dasar dalam perhitungan laju sedimen lateral dan *base flow* pada persamaan (19) yang merupakan model persamaan MUSLE. Pada model ini, faktor limpasan digunakan sebagai pengganti faktor erosivitas hujan, sehingga MUSLE tidak memerlukan faktor *sediment delivery ratio* (SDR). Faktor limpasan permukaan mewakili energi yang digunakan untuk melepaskan dan mengangkut sedimen.

Hasil perhitungan model persamaan MUSLE dalam menentukan laju sedimen yang berasal dari aliran lateral dan *base flow*, didapatkan laju sedimen aliran lateral dan *base flow* harian tertinggi dalam selang waktu 9 Juni 2011 sampai 8 November 2011 terjadi pada tanggal 22 Oktober 2011 sebesar 3,496 ton/hari dengan debit aliran lapangan sebesar 13,69 mm. Total laju sedimen dari aliran lateral dan *base flow* dalam selang waktu 9 Juni 2011 sampai 8 November 2011 sebesar 72,49 ton/hari.

Berdasarkan analisis laju sedimen dari Sub DAS hasil perhitungan model persamaan MUSLE pada persamaan (18), laju sedimen dari Sub DAS harian tertinggi dalam selang waktu 9 Juni 2011 sampai 8 Nopember 2011 terjadi pada tanggal 22 Oktober 2011 sebesar 361,8 ton/hari. Total laju sedimen dari Sub DAS dalam selang waktu 9 Juni 2011 sampai 8 November 2011 sebesar 3669,24 ton/tahun setara 2,1878 ton/ha/tahun.

Laju sedimen aliran lateral (*surface flow*) dan *base flow* dijumlahkan dengan laju sedimen dari Sub DAS pada satuan waktu hari, untuk menghasilkan laju sedimen dugaan model MUSLE. Laju sedimen hasil dugaan model MUSLE dalam hal ini sudah menggambarkan laju erosi di Sub DAS Sibarasok Gadang. Total laju sedimentasi dengan menggunakan Metode MUSLE di Sub DAS Sibarasok Gadang dari tanggal 9 Juni 2011 sampai 8 November 2011 sebesar 3741,7 ton/tahun (2,231 ton/ha/tahun) atau setara dengan 0,185 mm/tahun. Berdasarkan SK Menteri Kehutanan No. 52/Kpts-II/2001 tentang penyelenggaraan pengelolaan DAS yang terdapat pada Tabel 10 diketahui laju sedimen di Sub DAS Sibarasok Gadang termasuk kedalam kategori kelas baik. Hal ini terjadi karena tutupan hutan di Daerah Tangkapan Airnya masih cukup baik.

Tabel 10 Kategori kinerja DAS berdasarkan laju sedimen

No	Laju sedimen (mm/tahun)	Kategori Kelas
1	< 2	Baik
2	2-5	Sedang
3	> 5	Buruk

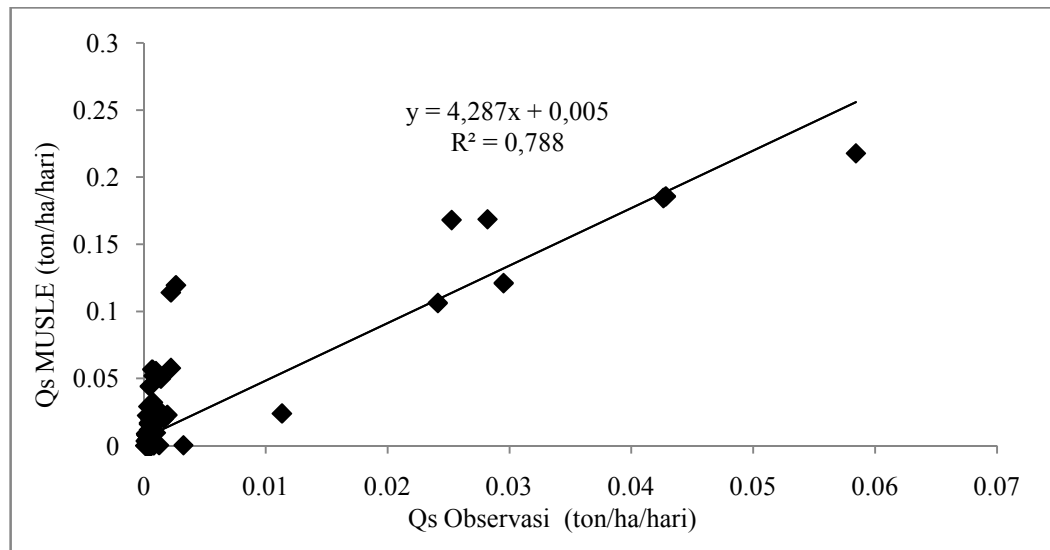
Sumber: SK Menteri Kehutanan No. 52/Kpts-II/2001

5.8 Analisis Hubungan Laju Sedimen Observasi dengan Laju Sedimen Dugaan Model MUSLE

Hubungan antara laju sedimen observasi dengan laju sedimen kalkulasi model MUSLE dapat dilihat dengan menggunakan regresi linearnya. Hasil regresi linear laju sedimen observasi dengan laju sedimen metode MUSLE menunjukkan korelasi yang cukup kuat dengan nilai $R^2 = 0,788$. Hal ini membuktikan model MUSLE dapat digunakan untuk menduga laju sedimen dengan cukup baik. Persamaan regresi laju sedimen observasi dengan laju sedimen dugaan model MUSLE :

$$Q_s \text{ MUSLE} = 4,287 Q_s \text{ Observasi} + 0,005 \dots \dots \dots (23)$$

Grafik hubungan laju sedimen observasi dengan laju sedimen dugaan model MUSLE disajikan pada Gambar 15.



Gambar 15 Grafik hubungan laju sedimen MUSLE dengan laju sedimen observasi.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,816 menyatakan verifikasi Model Tangki dalam penelitian ini cukup memuaskan. Total aliran secara horizontal yang mengalir ke sungai didominasi oleh *base flow* sebesar 679,861 mm dengan persentase 73,10%, diikuti oleh *intermediate flow* sebesar 16,08%, *surface flow* sebesar 7,21%, dan *sub-base flow* dengan persentase terkecil sebesar 3,61%. *Water level* menunjukkan aliran secara vertikal dengan tinggi muka air tertinggi pada tangki D (*base flow*) sebesar 1378,095 mm dan diikuti oleh tangki B *intermediate flow* (47,979 mm), tangki C *sub-base flow* (18,097 mm), tangki A *surface flow* (1,456 mm).
2. Total laju sedimentasi menggunakan Metode MUSLE di Sub DAS Sibarasok Gadang selama penelitian sebesar 2,231 ton/ha/tahun. Kinerja Sub DAS Sibarasok Gadang termasuk kedalam kategori kelas baik. Laju sedimen observasi dengan laju sedimen dugaan model MUSLE memiliki korelasi yang cukup kuat dengan nilai $R^2 = 0,788$ menunjukkan metode MUSLE dapat digunakan dalam pendugaan laju sedimentasi.

6.2 Saran

1. Perlu dilakukan kegiatan pengunduhan data dari SPAS secara rutin dan berkelanjutan agar proses monitoring dan evaluasi DAS serta proses analisis model tangki dapat dilakukan dengan baik.
2. Perlu dilakukan pelatihan dilingkup BPDAS dalam rangka meningkatkan kemampuan dalam pemodelan hidrologi untuk keperluan monitoring evaluasi DAS, salah satunya pengaplikasian *Tank Model*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2011. Kondisi Iklim Sumatera Barat. <http://ichatal.wordpress.com/2011/12/17/kondisi-iklim-sumatera-barat> [1 Jun 2012]
- Anonim. 2009. Studi Aplikatif Metode Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE). <http://download-tesis.blogspot.com/2009/11/studi-aplikasi-metode-modified.html> [11 Jul 2011]
- Arsyad, S. 2006. *Konservasi Tanah dan Air*. Edisi Kedua Cetakan Pertama. Bogor : Institut Pertanian Bogor Press.
- Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air*. Edisi Kedua Cetakan Kedua. Bogor : Institut Pertanian Bogor Press.
- Asdak, C. 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Chang, M. 2003. *Forest Hydrology: an Introduction to Water and Forest*. Florida: CRC press.
- Davie, T. 2008. *Fundamentals of Hydrology*. Second Edition. New York.: Routledge Taylor & Francis Group.
- Ditjen RLPS. 2007. Pedoman Pemantauan Tata Air Daerah Aliran Sungai dengan Pendekatan Model Hidrologi. Jakarta: Direktorat Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan, Departemen Kehutanan.
- Dwiprabowo H, Basuki S, Purnomo H, Haryono. 2001. Penentuan Luas Optimal Hutan di Daerah Aliran Sungai dengan Goal Programming dan AHP: Suatu Pendekatan Model. *Jurnal Sosial Ekonomi*. 2(1):79-98.
- Gustari, I. 2009. Analisis Curah Hujan Pantai Barat Sumatera Bagian Utara Periode 1994-2007. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. 10 (1): 29-38.
- Hadi, P. 2006. Pemahaman Karakteristik Hujan sebagai Dasar Pemilihan Model Hidrologi : Studi Kasus di DAS Bengawan Solo Hulu. *Forum Geografi*. 20 (1): 13 – 26.
- Mulyana Arifjaya N, Kusmana C, Abdullah K, Prasetyo LB, Setiawan BI. 2011. Application of Tank Model for Predicting Water Balance and Flow Discharge Components of Cisadane Upper Catchment. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*. 17(2): 63-70.
- Murtiono, UH. 2008. Kajian Model Estimasi Volume Limpasan Permukaan, Debit Puncak Aliran, dan Erosi Tanah dengan Model Soil Conservation Service (SCS), Rasional dan Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE): Studi Kasus di DAS Keduang, Wonogiri. *Forum Geografi*. 22 (2): 169-185.
- Neitsch SL, Agnold JG, Kiniry JR, Williams JR. 2005. *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation*. Texas : Texas Agricultural experiment Station.

- Nurroh, S. 2010. Aplikasi Tank Model dan Perhitungan Neraca Air di Model DAS Mikro (MDM) Cisampora Sub DAS Cimanuk Hulu, Kabupaten Majalengka.[Skripsi]. Bogor: Fakultas Kehutanan IPB.
- Setiawan BI. 2003. Optimasi Parameter *Tank Model*. Jurnal Keteknikan Pertanian. 17(1):8-20. Bogor: Fakultas Teknik Pertanian IPB
- Sinukaban N, Pawitan H, Tarigan SD, Hidayat Y. 2006. *Kajian Dampak Perambahan Hutan Taman Nasional Lore Lindu terhadap Fungsi Hidrologi dan Beban Erosi*: Laporan Akhir Penelitian Hibah Bersaing (XIII) Tahun Anggaran 2005-2006. LPPM Institut Pertanian Bogor.
- Sosrodarsono S, Takeda K. 2003. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Sudarto, Mukhlisin M. 2010. Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Peningkatan Aliran Permukaan : Studi Kasus di DAS Gatak, Surakarta. Jurnal Purifikasi. 11(1): 29-40.
- Sulistyowati, T. 2010. Aplikasi Tank Model Dalam Analisis Hidrologi Berbasis Data SPAS Di Sub-Sub DAS Cipedes, Kabupaten Garut.[Skripsi]. Bogor: Fakultas Kehutanan IPB.
- Supangat AB, Sukresno. 2008. Penerapan Model ANSWER untuk Pendugaan Limpasan dan Hasil Sedimen pada Sub DAS Kawasan Hutan Pinus di Gombang, Jawa Tengah : Studi Pendahuluan. Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam. 5(5): 409-422.
- Suprayogi, S. 2003. Prediksi Ketersediaan Air Menggunakan Tank Model dan Pendekatan Artificial Neural Network: studi kasus Sub DAS Ciriung Kabupaten Serang [disertasi]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Sutoyo, J. Purwanto, MY. 1999. Pendugaan Debit Sungai Berdasarkan Hujan dengan Menggunakan Model Tangki di DAS Cidanau, Serang. Buletin Keteknikan Pertanian 13 (3): 25-34.
- Wulandari. 2008. Aplikasi Tank Model Dalam Penentuan Karakteristik DAS Berbasis Data AWS Dan SPAS Digital Otomatis Di Sub DAS Cisadane Hulu.[Skripsi]Bogor: Fakultas Kehutanan IPB .

LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan debit lapang menggunakan koefisien Manning

No	Tanggal Hujan	S (m)	waktu rata-rata	V air (m/s)	TMA (m)	A (m ²)	P (m)	R	Q (m ³ /s)	N	S	V Manning	Q Manning (m ³ /s)
1	23-Sep-11	11	18,95	0,554	0,28	1,5462	18,56	0,083308	0,856664	0,04	0,132	0,629	0,973
2	27-Sep-11	11	13,49	0,778	0,36	2,0798	18,72	0,1111	1,618584	0,04	0,132	0,762	1,586
3	27-Sep-11	11	10,77	0,974	0,39	2,4147	18,78	0,128578	2,352938	0,04	0,132	0,840	2,030
4	28-Sep-11	11	17,71	0,593	0,34	1,5861	18,68	0,084909	0,940284	0,04	0,132	0,637	1,011
5	01-Oct-11	11	14,92	0,704	0,32	1,8446	18,64	0,098959	1,29809	0,04	0,132	0,706	1,302
6	11-Oct-11	11	16,83	0,624	0,29	1,6583	18,58	0,089252	1,034649	0,04	0,132	0,659	1,093
7	18-Oct-11	11	22,63	0,464	0,24	1,339	18,48	0,072457	0,621357	0,04	0,132	0,573	0,768
8	19-Oct-11	11	19,62	0,535	0,265	1,4688	18,53	0,079266	0,786178	0,04	0,132	0,609	0,894
9	21-Oct-11	11	19,34	0,543	0,26	1,6214	18,52	0,087549	0,880593	0,04	0,132	0,651	1,055
10	21-Oct-11	11	9,49	1,106	0,53	3,0052	19,06	0,157671	3,322482	0,04	0,132	0,963	2,894
11	22-Oct-11	11	8,46	1,241	0,795	4,2726	19,59	0,218101	5,301735	0,04	0,132	1,195	5,108
12	24-Oct-11	11	8,82	1,190	0,58	3,3824	19,16	0,176534	4,024788	0,04	0,132	1,038	3,512
13	01-Nov-11	11	7,98	1,314	0,9	4,797	19,8	0,242273	6,305087	0,04	0,132	1,282	6,151
14	02-Nov-11	11	9,95	1,055	0,44	2,6449	18,88	0,14009	2,789329	0,04	0,132	0,890	2,354

Keterangan:

A = Luas penampang melintang basah (m²)

R = Radius hidrolik (m)

P = Keliling basah (m)

S = Kemiringan saluran (m)

N = Koefisien kekasaran saluran Manning

Lampiran 2 Analisis regresi hubungan tinggi muka air dan debit lapang Regression Analysis: log TMA versus log Q

The regression equation is
 $\log \text{TMA} = -0,555 + 0,611 \log Q$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,55525	0,01177	-47,17	0,000
log Q	0,61108	0,03164	19,32	0,000

S = 0,0334463 R-Sq = 96,9% R-Sq(adj) = 96,6%

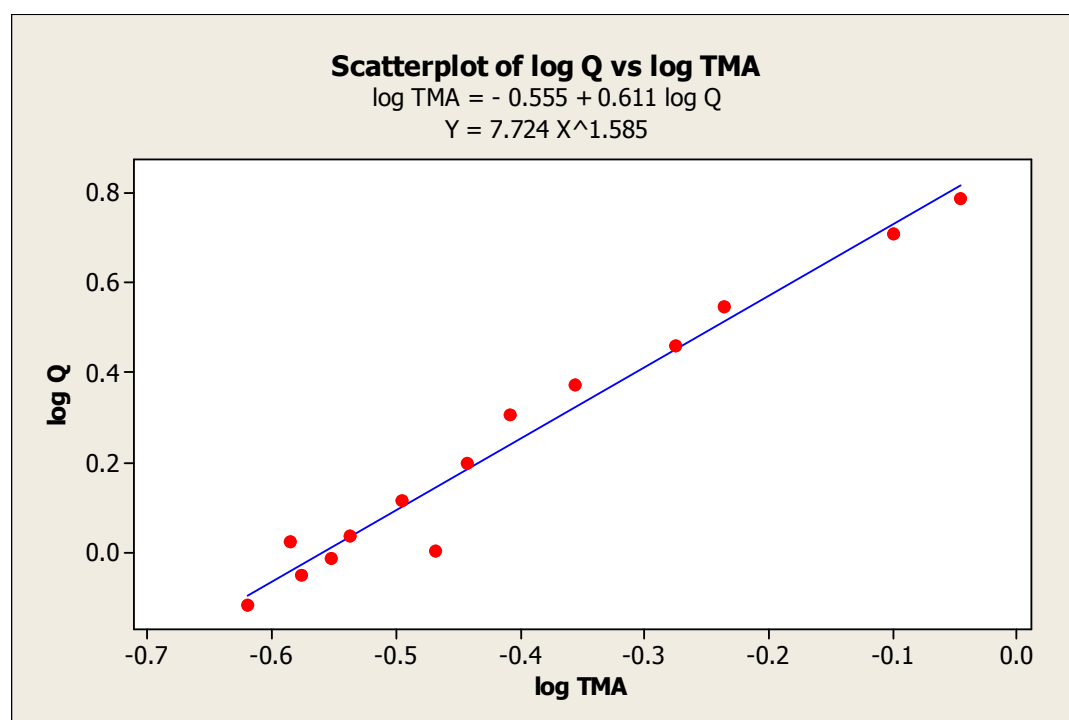
Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,41734	0,41734	373,07	0,000
Residual Error	12	0,01342	0,00112		
Total	13	0,43076			

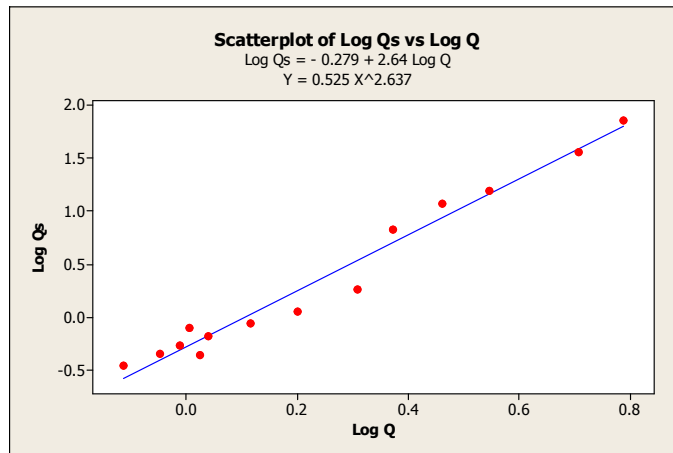
Unusual Observations

Obs	log Q	log TMA	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	0,005	-0,46852	-0,55236	0,01167	0,08384	2,67R

R denotes an observation with a large standardized residual,



Lampiran 3 Analisis regresi hubungan debit aliran dan laju sedimen
Regression Analysis: Log Qs versus Log Q



The regression equation is
Log Qs = - 0,279 + 2,64 Log Q

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,27949	0,04840	-5,78	0,000
Log Q	2,6375	0,1301	20,28	0,000

S = 0,137503 R-Sq = 97,2% R-Sq(adj) = 96,9%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	7,7743	7,7743	411,18	0,000
Residual Error	12	0,2269	0,0189		
Total	13	8,0012			

Tabel hasil pengukuran laju sedimen dilapangan

Tanggal Hujan	TMA (m)	Q Manning	Cs(ppm)atau (mg/l)	Qs (ton/hari)
23-Sep-11	0,28	0,973	6	0,532418
27-Sep-11	0,36	1,586	8,5	1,1233482
27-Sep-11	0,39	2,030	12	1,8004234
28-Sep-11	0,34	1,011	6,5	0,7846274
01-Oct-11	0,32	1,302	8	0,8772204
11-Oct-11	0,29	1,093	7	0,6566816
18-Oct-11	0,24	0,768	5	0,3475048
19-Oct-11	0,265	0,894	5,5	0,4472634
21-Oct-11	0,26	1,055	5,5	0,4339618
21-Oct-11	0,53	2,894	48,5	11,832459
22-Oct-11	0,795	5,108	78,5	36,417285
24-Oct-11	0,58	3,512	55,5	15,620048
01-Nov-11	0,9	6,151	128,5	72,566055
02-Nov-11	0,44	2,354	36,5	6,6301196

Lampiran 4 Contoh perhitungan Hidrograf Aliran 14 Agustus 2011

Jam	CH (mm)	Q (m ³ /s)	BF (m ³ /s)	DRO (m ³ /s)	VDRO (m ³)	Tebal DRO (mm)
15:30:00	13,2	3,081	3,081	0,000	0,000	0,000
15:45:00	10,8	6,082	3,081	3,000	2700,414	0,162
16:00:00	5,2	7,360	3,081	4,279	3850,882	0,231
16:15:00	11	7,970	3,081	4,889	4400,169	0,264
16:30:00	13,8	8,094	3,081	5,013	4511,955	0,271
16:45:00	7,8	7,724	3,081	4,643	4178,517	0,251
17:00:00	0	6,421	3,081	3,340	3006,120	0,180
17:15:00	3	6,194	3,081	3,113	2801,634	0,168
17:30:00	2	5,970	3,081	2,889	2599,879	0,156
17:45:00	2,4	5,859	3,081	2,778	2500,035	0,150
18:00:00	1,6	5,531	3,081	2,450	2204,673	0,132
18:15:00	0	5,104	3,081	2,023	1820,723	0,109
18:30:00	0	4,896	3,081	1,814	1633,043	0,098
18:45:00	0	4,690	3,081	1,609	1448,269	0,087
19:00:00	0	4,389	3,081	1,307	1176,627	0,071
19:15:00	0	4,191	3,081	1,110	999,262	0,060
19:30:00	0	3,807	3,081	0,726	653,649	0,039
19:45:00	0	3,621	3,081	0,539	485,477	0,029
20:00:00	0	3,347	3,081	0,266	239,127	0,014
20:15:00	0	3,169	3,081	0,088	78,897	0,005
TOTAL	70,8	107,501	61,624	45,877	41289,351	2,477

Luas daerah tangkapan air (*catchment area*)

Waktu interval pengamatan

Tebal DRO

Koefisien limpasan

= 1677,1 ha

= 15 menit = 900 detik

= 2,477 mm

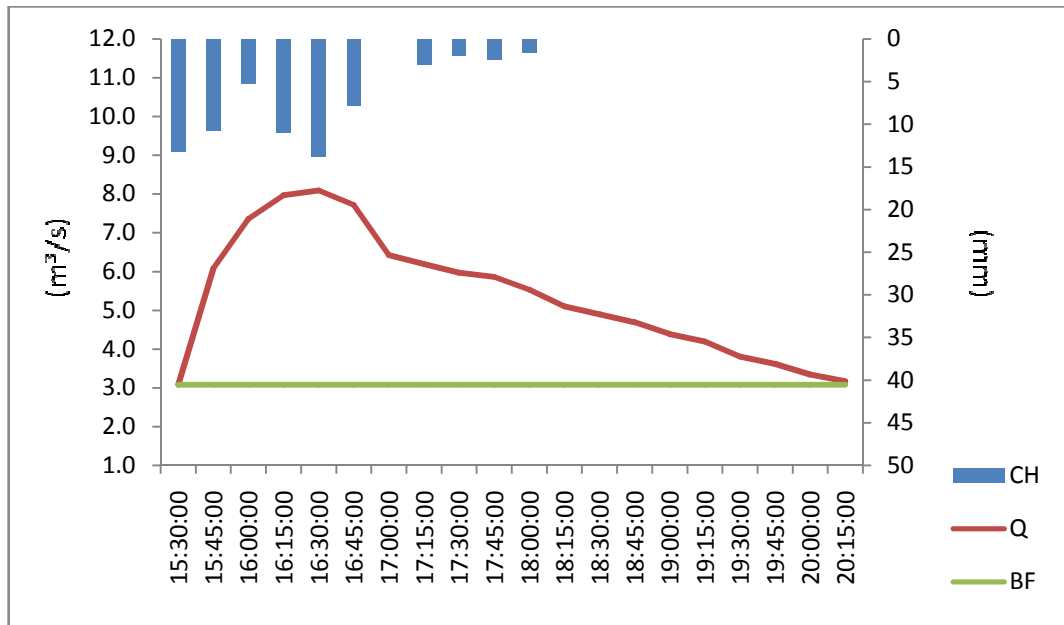
= tebal DRO / jumlah CH

= 2,477 mm/70,8 mm

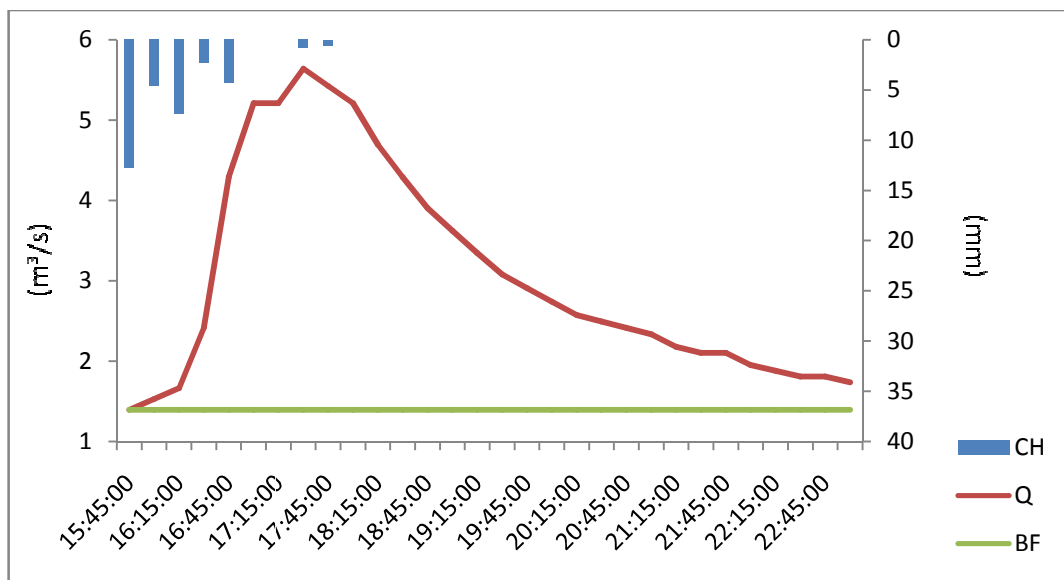
= 0,035

Lampiran 5 Hidrograf beberapa kejadian hujan

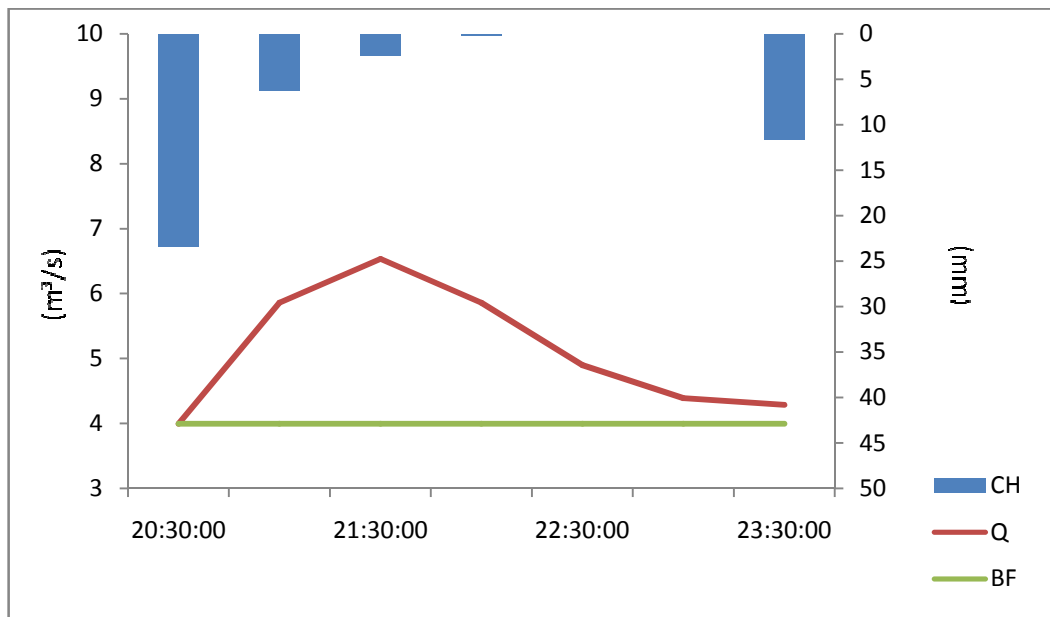
Hidrograf aliran 14 Agustus 2011



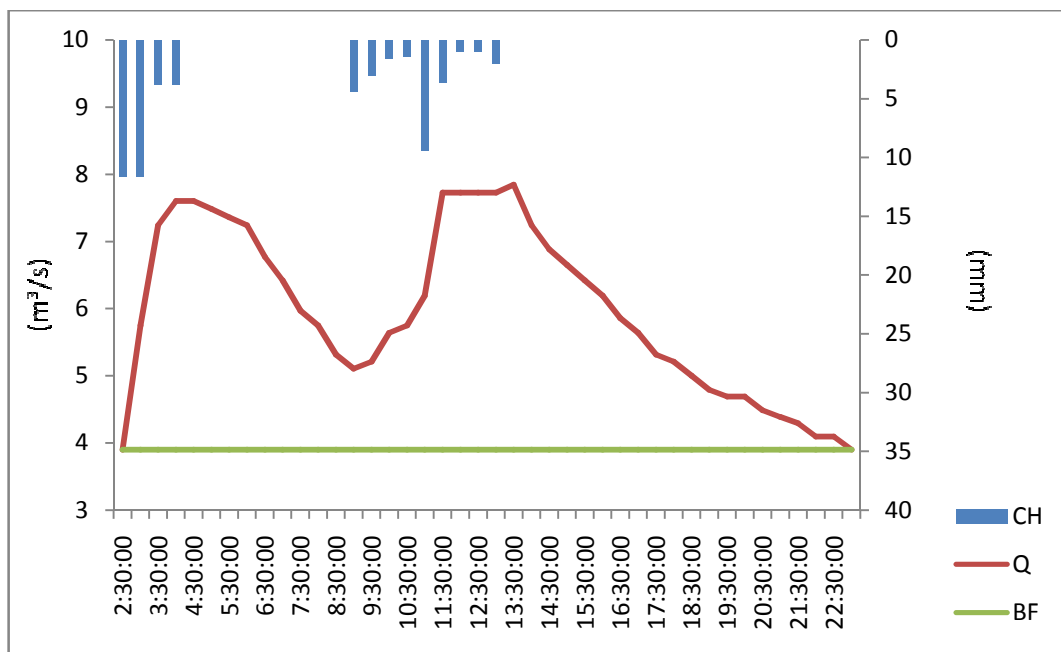
Hidrograf aliran 2 September 2011



Hidrograf aliran 3 Nopember 2011



Hidrograf aliran 5 Nopember 2011



Lampiran 6 Data curah hujan harian SPAS Sibarasok Gadang tahun 2011

Curah hujan (mm/hari)						
Tgl	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop
1	-	0	0	5,6	17,4	1
2	-	0	0	73,6	0	27,4
3	-	0	18	0	2,4	93
4	-	0	25,4	0	0	62,4
5	-	0	0	0	50,8	74,2
6	-	0	0	0,6	0	0,8
7	-	0	0	4,6	0	0,2
8	-	0	0	28,4	12,4	7,2
9	0,8	0	13,2	0	0	-
10	1	0,2	7	4,4	0	-
11	5,8	79,2	0	4,2	11,6	-
12	0	48,6	0	0	0	-
13	4,4	0	9,6	0,2	0,8	-
14	0,6	0	90,4	38,2	0,8	-
15	0	0	0,6	17,2	31,2	-
16	0	0,4	26,6	8,8	14,6	-
17	1	0	0,8	1	0	-
18	0	0	24,4	5,8	9,2	-
19	0	0	8,2	0,6	2,2	-
20	0	0	16,6	2,2	7,8	-
21	0	0	0,2	17,2	34,8	-
22	9	0	0,8	1,2	95,4	-
23	0	0,2	0	2	1,6	-
24	0	0	15,4	1	19,4	-
25	35,4	0	38,2	0,2	0	-
26	3,2	0	0,2	56,6	9,2	-
27	0	0	0	15,8	6,6	-
28	15,2	0	0,6	0,4	39	-
29	63,8	0	27,8	0	0,4	-
30	0,2	0	0	0	17,6	-
31		0	0		41,4	
Total	140,4	128,6	324	289,8	426,6	266,2
maks	63,8	79,2	90,4	73,6	95,4	93
hari hujan	12	5	19	23	22	8

Lampiran 7 Data tinggi muka air hasil pengukuran AWLR tahun 2011

TINGGI MUKA AIR (METER)						
Tgl	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop
1	-	0,29	0,23	0,26	0,29	0,35
2	-	0,28	0,23	0,36	0,26	0,34
3	-	0,27	0,25	0,30	0,26	0,47
4	-	0,26	0,28	0,28	0,26	0,74
5	-	0,26	0,24	0,26	0,34	0,80
6	-	0,26	0,24	0,25	0,27	0,56
7	-	0,26	0,23	0,25	0,25	0,40
8	-	0,26	0,23	0,27	0,29	0,44
9	0,27	0,25	0,24	0,26	0,27	-
10	0,35	0,24	0,25	0,25	0,25	-
11	0,30	0,40	0,24	0,27	0,25	-
12	0,28	0,56	0,24	0,24	0,24	-
13	0,27	0,33	0,24	0,24	0,24	-
14	0,26	0,30	0,36	0,31	0,24	-
15	0,25	0,29	0,30	0,32	0,30	-
16	0,24	0,28	0,27	0,28	0,24	-
17	0,25	0,28	0,26	0,27	0,27	-
18	0,26	0,27	0,28	0,29	0,24	-
19	0,25	0,26	0,30	0,27	0,24	-
20	0,24	0,26	0,41	0,26	0,25	-
21	0,24	0,26	0,29	0,26	0,35	-
22	0,44	0,25	0,27	0,27	0,51	-
23	0,30	0,26	0,26	0,26	0,34	-
24	0,26	0,25	0,28	0,27	0,30	-
25	0,27	0,25	0,44	0,25	0,28	-
26	0,25	0,24	0,41	0,27	0,28	-
27	0,24	0,24	0,30	0,41	0,27	-
28	0,25	0,24	0,28	0,31	0,28	-
29	0,48	0,23	0,28	0,28	0,27	-
30	0,38	0,23	0,27	0,28	0,26	-
31		0,23	0,26		0,35	
Max	0,48	0,56	0,44	0,41	0,51	0,80
Min	0,24	0,23	0,23	0,24	0,24	0,34

Lampiran 8 Data debit aliran harian Sub DAS Sibarasok Gadang tahun 2011

Debit Aliran (mm)						
Tgl	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop
1	-	5,59	3,87	4,70	5,59	7,54
2	-	5,29	3,87	7,88	4,70	7,20
3	-	4,99	4,42	5,90	4,70	12,02
4	-	4,70	5,29	5,29	4,70	24,69
5	-	4,70	4,14	4,70	7,20	27,94
6	-	4,70	4,14	4,42	4,99	15,87
7	-	4,70	3,87	4,42	4,42	9,31
8	-	4,70	3,87	4,99	5,59	10,83
9	4,99	4,42	4,14	4,70	4,99	-
10	7,54	4,14	4,42	4,42	4,42	-
11	5,90	9,31	4,14	4,99	4,42	-
12	5,29	15,87	4,14	4,14	4,14	-
13	4,99	6,87	4,14	4,14	4,14	-
14	4,70	5,90	7,88	6,22	4,14	-
15	4,42	5,59	5,90	6,54	5,90	-
16	4,14	5,29	4,99	5,29	4,14	-
17	4,42	5,29	4,70	4,99	4,99	-
18	4,70	4,99	5,29	5,59	4,14	-
19	4,42	4,70	5,90	4,99	4,14	-
20	4,14	4,70	9,68	4,70	4,42	-
21	4,14	4,70	5,59	4,70	7,54	-
22	10,83	4,42	4,99	4,99	13,69	-
23	5,90	4,70	4,70	4,70	7,20	-
24	4,70	4,42	5,29	4,99	5,90	-
25	4,99	4,42	10,83	4,42	5,29	-
26	4,42	4,14	9,68	4,99	5,29	-
27	4,14	4,14	5,90	9,68	4,99	-
28	4,42	4,14	5,29	6,22	5,29	-
29	12,43	3,87	5,29	5,29	4,99	-
30	8,59	3,87	4,99	5,29	4,70	-
31		3,87	4,70		7,54	
total	124,26	163,23	166,14	158,36	168,36	115,40
max	12,43	15,87	10,83	9,68	13,69	27,94
min	4,14	3,87	3,87	4,14	4,14	7,20

Lampiran 9 Data laju sedimen harian tahun 2011

Laju Sedimen (ton/hari)						
Tgl	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop
1	-	0,652	0,248	0,413	0,652	1,431
2	-	0,563	0,248	1,610	0,413	1,268
3	-	0,484	0,351	0,752	0,413	4,908
4	-	0,413	0,563	0,563	0,413	32,722
5	-	0,413	0,296	0,413	1,268	45,326
6	-	0,413	0,296	0,351	0,484	10,207
7	-	0,413	0,248	0,351	0,351	2,501
8	-	0,413	0,248	0,484	0,652	3,725
9	0,484	0,351	0,296	0,413	0,484	-
10	1,431	0,296	0,351	0,351	0,351	-
11	0,752	2,501	0,296	0,484	0,351	-
12	0,563	10,207	0,296	0,296	0,296	-
13	0,484	1,119	0,296	0,296	0,296	-
14	0,413	0,752	1,610	0,862	0,296	-
15	0,351	0,652	0,752	0,984	0,752	-
16	0,296	0,563	0,484	0,563	0,296	-
17	0,351	0,563	0,413	0,484	0,484	-
18	0,413	0,484	0,563	0,652	0,296	-
19	0,351	0,413	0,752	0,484	0,296	-
20	0,296	0,413	2,773	0,413	0,351	-
21	0,296	0,413	0,652	0,413	1,431	-
22	3,725	0,351	0,484	0,484	6,905	-
23	0,752	0,413	0,413	0,413	1,268	-
24	0,413	0,351	0,563	0,484	0,752	-
25	0,484	0,351	3,725	0,351	0,563	-
26	0,351	0,296	2,773	0,484	0,563	-
27	0,296	0,296	0,752	2,773	0,484	-
28	0,351	0,296	0,563	0,862	0,563	-
29	5,359	0,248	0,563	0,563	0,484	-
30	2,019	0,248	0,484	0,563	0,413	-
31		0,248	0,413		1,431	
total	20,229	25,589	22,762	18,609	24,051	102,089
max	5,359	10,207	3,725	2,773	6,905	45,326
min	0,296	0,248	0,248	0,296	0,296	1,268

Lampiran 10 Data evapotranspirasi harian tahun 2011

Evapotranspirasi (mm/hari)						
Tgl	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop
1	-	4,85	4,77	4,91	4,72	4,79
2	-	4,95	4,9	4,21	4,88	4,4
3	-	4,92	4,59	4,71	4,94	4,04
4	-	4,83	4,49	4,74	4,83	4,04
5	-	4,59	4,71	5,14	4,2	4,03
6	-	4,7	5,15	5	4,95	4,76
7	-	4,79	4,83	4,94	5,26	4,76
8	-	4,47	4,75	4,58	4,77	4,65
9	4,71	4,5	4,7	4,83	5,06	-
10	4,71	4,74	4,79	4,94	5,16	-
11	4,64	4,01	5,17	4,95	4,77	-
12	4,82	4,05	5,04	4,92	4,92	-
13	4,65	5,03	4,77	5,01	4,92	-
14	4,71	4,6	4,15	4,43	4,91	-
15	4,54	5	4,91	4,75	4,46	-
16	4,77	4,76	4,53	4,88	4,7	-
17	4,7	4,82	4,92	5	4,8	-
18	4,93	4,59	4,57	4,92	4,76	-
19	4,74	5,01	4,82	5	4,86	-
20	5	4,6	4,7	4,98	4,77	-
21	4,63	4,67	4,95	4,75	4,37	-
22	4,58	4,51	4,94	4,99	4,11	-
23	4,79	4,8	5,24	4,97	4,84	-
24	4,49	4,77	4,73	4,99	4,58	-
25	4,21	4,7	4,39	5	5,09	-
26	4,67	4,89	4,97	4,21	4,71	-
27	4,86	4,74	4,96	4,76	4,75	-
28	4,5	5,1	4,97	4,99	4,26	-
29	3,98	4,98	4,56	5,17	4,82	-
30	4,71	4,56	4,87	4,8	4,56	-
31		4,74	5,19		4,21	
total	102,34	146,27	149,03	145,47	146,94	35,47
max	5	5,1	5,24	5,17	5,26	4,79
min	3,98	4,01	4,15	4,21	4,11	4,03

Lampiran 11 Data tinggi muka air tertinggi untuk debit puncak (Qpeak)

Data TMA puncak (meter)						
Tgl	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop
1	-	0,31	0,23	0,26	0,36	0,75
2	-	0,28	0,23	0,82	0,27	0,52
3	-	0,28	0,31	0,37	0,26	0,84
4	-	0,27	0,43	0,28	0,26	1,01
5	-	0,27	0,26	0,28	0,68	1,01
6	-	0,27	0,24	0,26	0,29	0,63
7	-	0,27	0,24	0,26	0,26	0,43
8	-	0,27	0,24	0,32	0,44	0,51
9	0,28	0,26	0,34	0,26	0,29	-
10	0,93	0,25	0,4	0,26	0,26	-
11	0,36	0,67	0,24	0,32	0,28	-
12	0,28	0,96	0,25	0,25	0,25	-
13	0,28	0,37	0,26	0,24	0,24	-
14	0,26	0,32	1,03	0,74	0,24	-
15	0,31	0,29	0,39	0,4	0,56	-
16	0,25	0,28	0,29	0,31	0,28	-
17	0,31	0,28	0,26	0,29	0,24	-
18	0,28	0,28	0,54	0,32	0,28	-
19	0,26	0,26	0,39	0,29	0,25	-
20	0,25	0,26	0,64	0,27	0,31	-
21	0,25	0,26	0,32	0,32	1,02	-
22	0,95	0,26	0,28	0,32	1,08	-
23	0,39	0,29	0,26	0,28	0,52	-
24	0,27	0,26	0,4	0,32	0,44	-
25	0,36	0,25	0,89	0,27	0,31	-
26	0,26	0,25	0,8	0,56	0,31	-
27	0,25	0,24	0,32	0,64	0,29	-
28	0,31	0,24	0,29	0,36	0,4	-
29	0,89	0,24	0,32	0,29	0,28	-
30	0,65	0,23	0,28	0,28	0,29	-
31		0,23	0,27		0,7	
Rata-rata	0,392	0,305	0,375	0,348	0,385	0,713
max	0,95	0,96	1,03	0,82	1,08	1,01
min	0,25	0,23	0,23	0,24	0,24	0,43

Lampiran 12 Analisis hubungan laju sedimen MUSLE dan laju sedimen regresi Regression Analysis: Qs MUSLE versus Qs Observasi

The regression equation is

$$Qs \text{ MUSLE} = 0.00549 + 4.29 Qs \text{ Observasi}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.005485	0.001471	3.73	0.000
Qs Observasi	4.2875	0.1807	23.72	0.000

S = 0.0175724 R-Sq = 78.8% R-Sq(adj) = 78.7%

Analysis of Variance

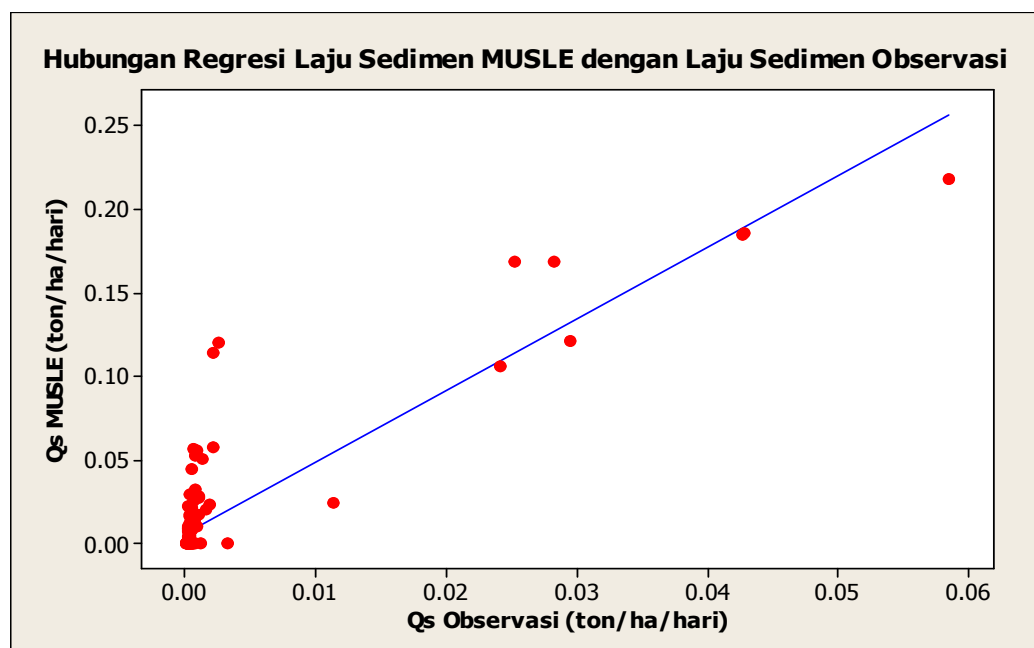
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.17375	0.17375	562.68	0.000
Residual Error	151	0.04663	0.00031		
Total	152	0.22038			

Unusual Observations

Obs	Qs Observasi	Qs MUSLE	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
21	0.0022	0.11418	0.01502	0.00142	0.09916	5.66R
33	0.0241	0.10636	0.10893	0.00422	-0.00257	-0.15 X
34	0.0295	0.12114	0.13207	0.00515	-0.01093	-0.65 X
67	0.0426	0.18466	0.18828	0.00746	-0.00362	-0.23 X
78	0.0007	0.05683	0.00847	0.00144	0.04836	2.76R
86	0.0026	0.11954	0.01681	0.00142	0.10273	5.87R
98	0.0005	0.04427	0.00756	0.00145	0.03670	2.10R
110	0.0010	0.05567	0.00973	0.00144	0.04594	2.62R
119	0.0008	0.05211	0.00886	0.00144	0.04324	2.47R
135	0.0022	0.05791	0.01501	0.00142	0.04290	2.45R
136	0.0584	0.21784	0.25599	0.01028	-0.03815	-2.68RX
145	0.0014	0.05005	0.01150	0.00143	0.03855	2.20R
148	0.0282	0.16873	0.12640	0.00492	0.04233	2.51RX
149	0.0253	0.16819	0.11377	0.00442	0.05442	3.20RX
150	0.0428	0.18581	0.18915	0.00750	-0.00334	-0.21 X

R denotes an observation with a large standardized residual.

X denotes an observation whose X value gives it large influence.



Lampiran 13 Tabel hasil verifikasi dan optimasi Tank Model tanggal 9 Juni – 8 Nopember 2011 di Sub DAS Sibarasok Gadang

Tanggal	Debit Kalkulasi (mm)	Debit Observasi (mm)	Curah Hujan (mm)	ET (mm)	Surface flow (mm)	intermediate flow (mm)	subbase flow (mm)	base flow (mm)	Level Tank A (mm)	Level Tank B (mm)	Level Tank C (mm)	Level Tank D (mm)
6/9/2011	6,17	5,00	0,8	4,71	0	1,575	0	4,596	-0,101	28,575	17,799	1171,952
6/10/2011	5,35	7,54	1	4,71	0	0,727	0	4,626	-0,830	19,250	12,280	1179,505
6/11/2011	4,99	5,90	5,8	4,64	0	0,346	0	4,641	0,551	15,057	8,743	1183,535
6/12/2011	4,65	5,29	0	4,82	0	0	0	4,646	-0,990	9,556	5,989	1184,828
6/13/2011	4,65	5,00	4,4	4,65	0	0	0	4,645	0,039	7,235	4,217	1184,366
6/14/2011	4,64	4,71	0,6	4,71	0	0	0	4,637	-0,920	3,814	2,756	1182,462
6/15/2011	4,63	4,42	0	4,54	0	0	0	4,625	-1,364	0,470	1,462	1179,288
6/16/2011	4,61	4,14	0	4,77	0	0	0	4,608	-1,552	-2,368	0,338	1175,015
6/17/2011	4,59	4,42	1	4,7	0	0	0	4,588	-1,262	-3,989	-0,498	1169,933
6/18/2011	4,57	4,71	0	4,93	0	0	0	4,565	-1,560	-5,726	-1,208	1164,170
6/19/2011	4,54	4,42	0	4,74	0	0	0	4,541	-1,604	-7,106	-1,796	1157,848
6/20/2011	4,51	4,14	0	5	0	0	0	4,514	-1,679	-8,273	-2,286	1151,067
6/21/2011	4,49	4,14	0	4,63	0	0	0	4,486	-1,613	-9,032	-2,659	1143,943
6/22/2011	4,46	10,83	9	4,58	0	0	0	4,461	1,385	-4,346	-2,062	1137,437
6/23/2011	4,44	5,90	0	4,79	0	0	0	4,436	-0,733	-4,545	-1,796	1131,219
6/24/2011	4,41	4,71	0	4,49	0	0	0	4,412	-1,296	-5,680	-1,852	1124,971
6/25/2011	5,36	5,00	35,4	4,21	0,752	0,208	0	4,400	9,519	13,536	1,370	1121,930
6/26/2011	4,74	4,42	3,2	4,67	0,032	0,316	0	4,395	2,755	14,722	3,205	1120,713
6/27/2011	4,39	4,14	0	4,86	0	0	0	4,391	-0,339	10,447	3,357	1119,652
6/28/2011	4,80	4,42	15,2	4,5	0,133	0,275	0	4,390	3,697	14,273	4,120	1119,349
6/29/2011	10,84	12,43	63,8	3,98	3,374	3,049	0	4,411	17,809	44,788	10,074	1124,929

Tanggal	Debit Kalkulasi (mm)	Debit Observasi (mm)	Curah Hujan (mm)	ET (mm)	Surface flow (mm)	intermediate flow (mm)	subbase flow (mm)	base flow (mm)	Level Tank A (mm)	Level Tank B (mm)	Level Tank C (mm)	Level Tank D (mm)
6/30/2011	7,10	8,59	0,2	4,71	0,175	2,486	0	4,440	4,098	38,596	11,933	1132,324
7/1/2011	5,95	5,59	0	4,85	0	1,484	0	4,465	0,065	27,577	10,855	1138,624
7/2/2011	5,10	5,29	0	4,95	0	0,616	0	4,481	-1,167	18,022	8,569	1142,642
7/3/2011	4,49	5,00	0	4,92	0	0	0	4,487	-1,529	10,836	6,115	1144,220
7/4/2011	4,49	4,71	0	4,83	0	0	0	4,485	-1,616	5,294	3,956	1143,658
7/5/2011	4,48	4,71	0	4,59	0	0	0	4,476	-1,585	1,193	2,186	1141,351
7/6/2011	4,46	4,71	0	4,7	0	0	0	4,461	-1,602	-1,913	0,777	1137,660
7/7/2011	4,44	4,71	0	4,79	0	0	0	4,443	-1,628	-4,288	-0,327	1132,893
7/8/2011	4,42	4,71	0	4,47	0	0	0	4,421	-1,559	-5,950	-1,160	1127,321
7/9/2011	4,40	4,42	0	4,5	0	0	0	4,397	-1,546	-7,172	-1,783	1121,156
7/10/2011	4,37	4,14	0,2	4,74	0	0	0	4,371	-1,534	-8,068	-2,245	1114,559
7/11/2011	11,18	9,31	79,2	4,01	4,638	2,164	0	4,374	20,047	35,055	5,102	1115,245
7/12/2011	12,07	15,87	48,6	4,05	3,328	4,329	0	4,407	17,727	58,871	13,138	1123,868
7/13/2011	7,95	6,87	0	5,03	0,159	3,342	0	4,449	3,947	48,009	15,190	1134,484
7/14/2011	6,56	5,90	0	4,6	0	2,075	0	4,485	0,080	34,072	13,675	1143,563
7/15/2011	5,53	5,59	0	5	0	1,020	0	4,509	-1,175	22,475	10,798	1149,763
7/16/2011	4,79	5,29	0,4	4,76	0	0,268	0	4,522	-1,361	14,202	7,843	1153,020
7/17/2011	4,52	5,29	0	4,82	0	0	0	4,524	-1,563	7,911	5,261	1153,714
7/18/2011	4,52	5,00	0	4,59	0	0	0	4,519	-1,569	3,183	3,174	1152,343
7/19/2011	4,51	4,71	0	5,01	0	0	0	4,507	-1,671	-0,542	1,503	1149,327
7/20/2011	4,49	4,71	0	4,6	0	0	0	4,490	-1,603	-3,217	0,216	1145,051
7/21/2011	4,47	4,71	0	4,67	0	0	0	4,470	-1,600	-5,217	-0,765	1139,822
7/22/2011	4,45	4,42	0	4,51	0	0	0	4,447	-1,561	-6,649	-1,497	1133,892
7/23/2011	4,42	4,71	0,2	4,8	0	0	0	4,421	-1,552	-7,708	-2,041	1127,446

Tanggal	Debit Kalkulasi (mm)	Debit Observasi (mm)	Curah Hujan (mm)	ET (mm)	Surface flow (mm)	intermediate flow (mm)	subbase flow (mm)	base flow (mm)	Level Tank A (mm)	Level Tank B (mm)	Level Tank C (mm)	Level Tank D (mm)
7/24/2011	4,40	4,42	0	4,77	0	0	0	4,395	-1,609	-8,601	-2,464	1120,607
7/25/2011	4,37	4,42	0	4,7	0	0	0	4,367	-1,609	-9,270	-2,789	1113,475
7/26/2011	4,34	4,14	0	4,89	0	0	0	4,338	-1,654	-9,853	-3,049	1106,113
7/27/2011	4,31	4,14	0	4,74	0	0	0	4,308	-1,632	-10,250	-3,246	1098,586
7/28/2011	4,28	4,14	0	5,1	0	0	0	4,278	-1,712	-10,688	-3,418	1090,917
7/29/2011	4,25	3,87	0	4,98	0	0	0	4,248	-1,707	-11,008	-3,558	1083,140
7/30/2011	4,22	3,87	0	4,56	0	0	0	4,217	-1,605	-11,068	-3,639	1075,315
7/31/2011	4,19	3,87	0	4,74	0	0	0	4,186	-1,617	-11,136	-3,690	1067,468
8/1/2011	4,16	3,87	0	4,77	0	0	0	4,155	-1,628	-11,206	-3,728	1059,615
8/2/2011	4,13	3,87	0	4,9	0	0	0	4,125	-1,662	-11,318	-3,766	1051,756
8/3/2011	4,28	4,42	18	4,59	0,181	0	0	4,101	4,153	-0,891	-2,040	1045,632
8/4/2011	4,93	5,29	25,4	4,49	0,586	0,254	0	4,090	7,955	14,048	1,370	1042,901
8/5/2011	4,21	4,14	0	4,71	0	0,124	0	4,085	1,255	12,612	2,819	1041,612
8/6/2011	4,08	4,14	0	5,15	0	0	0	4,079	-0,859	7,954	2,746	1040,256
8/7/2011	4,07	3,87	0	4,83	0	0	0	4,071	-1,415	3,485	1,962	1038,131
8/8/2011	4,06	3,87	0	4,75	0	0	0	4,059	-1,563	-0,126	0,964	1035,028
8/9/2011	4,08	4,14	13,2	4,7	0,029	0	0	4,048	2,727	4,737	1,277	1032,246
8/10/2011	4,04	4,42	7	4,79	0	0	0	4,039	1,976	7,016	1,815	1030,007
8/11/2011	4,03	4,14	0	5,17	0	0	0	4,030	-0,647	4,128	1,602	1027,566
8/12/2011	4,02	4,14	0	5,04	0	0	0	4,017	-1,402	0,638	0,911	1024,452
8/13/2011	4,01	4,14	9,6	4,77	0	0	0	4,006	1,601	3,284	1,007	1021,446
8/14/2011	13,87	7,88	90,4	4,15	6,297	3,545	0	4,027	22,986	50,247	9,508	1026,849
8/15/2011	7,46	5,90	0,6	4,91	0,333	3,066	0	4,061	5,576	44,976	12,813	1035,496
8/16/2011	8,01	5,00	26,6	4,53	0,664	3,240	0	4,102	8,689	46,887	14,822	1046,094

Tanggal	Debit Kalkulasi (mm)	Debit Observasi (mm)	Curah Hujan (mm)	ET (mm)	Surface flow (mm)	intermediate flow (mm)	subbase flow (mm)	base flow (mm)	Level Tank A (mm)	Level Tank B (mm)	Level Tank C (mm)	Level Tank D (mm)
8/17/2011	6,38	4,71	0,8	4,92	0	2,239	0	4,140	1,688	35,884	13,821	1055,663
8/18/2011	7,05	5,29	24,4	4,57	0,481	2,394	0	4,176	6,972	37,583	13,629	1065,004
8/19/2011	6,27	5,90	8,2	4,82	0,114	1,943	0	4,209	3,522	32,619	12,627	1073,318
8/20/2011	6,41	9,68	16,6	4,7	0,284	1,890	0	4,239	5,117	32,041	12,018	1080,998
8/21/2011	5,39	5,59	0,2	4,95	0	1,125	0	4,262	0,413	23,628	10,176	1086,829
8/22/2011	4,70	5,00	0,8	4,94	0	0,423	0	4,276	-0,797	15,902	7,841	1090,330
8/23/2011	4,28	4,71	0	5,24	0	0	0	4,280	-1,495	9,306	5,494	1091,498
8/24/2011	4,54	5,29	15,4	4,73	0,100	0,155	0	4,283	3,394	12,950	4,951	1092,126
8/25/2011	6,97	10,83	38,2	4,39	0,972	1,706	0	4,296	11,584	30,016	7,795	1095,561
8/26/2011	5,59	9,68	0,2	4,97	0	1,281	0	4,312	2,346	25,342	8,369	1099,549
8/27/2011	4,90	5,90	0	4,96	0	0,575	0	4,323	-0,486	17,579	7,240	1102,406
8/28/2011	4,33	5,29	0,6	4,97	0	0	0	4,328	-1,139	11,187	5,507	1103,541
8/29/2011	5,73	5,29	27,8	4,56	0,508	0,891	0	4,336	7,221	21,048	6,436	1105,589
8/30/2011	4,87	5,00	0	4,87	0	0,524	0	4,343	0,996	17,009	6,165	1107,361
8/31/2011	4,35	4,71	0	5,19	0	0	0	4,345	-0,946	11,099	4,953	1107,928
9/1/2011	4,34	4,71	5,6	4,91	0	0	0	4,343	0,385	9,000	3,993	1107,545
9/2/2011	11,57	7,88	73,6	4,21	4,162	3,038	0	4,365	19,204	44,670	9,989	1113,087
9/3/2011	7,13	5,90	0	4,71	0,209	2,530	0	4,394	4,416	39,081	11,979	1120,573
9/4/2011	5,95	5,29	0	4,74	0	1,532	0	4,420	0,187	28,106	10,974	1127,037
9/5/2011	5,08	4,71	0	5,14	0	0,647	0	4,436	-1,176	18,371	8,692	1131,222
9/6/2011	4,46	4,42	0,6	5	0	0,013	0	4,443	-1,353	11,393	6,273	1133,000
9/7/2011	4,44	4,42	4,6	4,94	0	0	0	4,443	-0,073	8,416	4,558	1133,077
9/8/2011	5,80	5,00	28,4	4,58	0,557	0,792	0	4,448	7,684	19,965	5,762	1134,344
9/9/2011	4,93	4,71	0	4,83	0	0,478	0	4,453	1,145	16,503	5,735	1135,578

Tanggal	Debit Kalkulasi (mm)	Debit Observasi (mm)	Curah Hujan (mm)	ET (mm)	Surface flow (mm)	intermediate flow (mm)	subbase flow (mm)	base flow (mm)	Level Tank A (mm)	Level Tank B (mm)	Level Tank C (mm)	Level Tank D (mm)
9/10/2011	4,64	4,42	4,4	4,94	0	0,183	0	4,456	0,609	13,262	5,129	1136,210
9/11/2011	4,46	5,00	4,2	4,95	0	0	0	4,455	0,380	10,613	4,351	1136,070
9/12/2011	4,45	4,14	0	4,92	0	0	0	4,450	-1,065	6,092	3,204	1134,798
9/13/2011	4,44	4,14	0,2	5,01	0	0	0	4,440	-1,454	2,020	1,947	1132,288
9/14/2011	6,08	6,22	38,2	4,43	0,831	0,809	0	4,440	10,262	20,152	4,485	1132,296
9/15/2011	6,38	6,54	17,2	4,75	0,496	1,433	0	4,450	7,110	27,013	7,012	1134,801
9/16/2011	5,92	5,29	8,8	4,88	0,136	1,315	0	4,464	3,726	25,713	8,044	1138,315
9/17/2011	5,18	5,00	1	5	0	0,706	0	4,475	0,247	19,013	7,338	1141,118
9/18/2011	4,85	5,59	5,8	4,92	0	0,369	0	4,482	0,806	15,305	6,307	1142,892
9/19/2011	4,48	5,00	0,6	5	0	0	0	4,483	-0,759	10,148	4,865	1143,234
9/20/2011	4,48	4,71	2,2	4,98	0	0	0	4,479	-0,696	6,391	3,512	1142,237
9/21/2011	4,75	4,71	17,2	4,75	0,180	0,093	0	4,477	4,142	12,276	3,833	1141,563
9/22/2011	4,47	5,00	1,2	4,99	0	0	0	4,473	0,441	9,979	3,595	1140,654
9/23/2011	4,47	4,71	2	4,97	0	0	0	4,467	-0,400	6,783	2,940	1139,103
9/24/2011	4,46	5,00	1	4,99	0	0	0	4,458	-0,987	3,358	2,038	1136,667
9/25/2011	4,44	4,42	0,2	5	0	0	0	4,444	-1,428	0,015	1,026	1133,240
9/26/2011	7,97	5,00	56,6	4,21	1,944	1,579	0	4,448	15,275	28,616	5,568	1134,314
9/27/2011	7,18	9,68	15,8	4,76	0,596	2,114	0	4,465	8,048	34,500	8,923	1138,698
9/28/2011	5,90	6,22	0,4	4,99	0	1,416	0	4,484	1,347	26,821	9,205	1143,345
9/29/2011	5,11	5,29	0	5,17	0	0,617	0	4,496	-0,836	18,035	7,743	1146,528
9/30/2011	4,50	5,29	0	4,8	0	0	0	4,501	-1,401	11,070	5,740	1147,720
10/1/2011	5,04	5,59	17,4	4,72	0,167	0,366	0	4,505	4,017	15,271	5,499	1148,669
10/2/2011	4,53	4,71	0	4,88	0	0,022	0	4,505	0,034	11,491	4,687	1148,813
10/3/2011	4,50	4,71	2,4	4,94	0	0	0	4,502	-0,383	7,947	3,683	1147,964

Tanggal	Debit Kalkulasi (mm)	Debit Observasi (mm)	Curah Hujan (mm)	ET (mm)	Surface flow (mm)	intermediate flow (mm)	subbase flow (mm)	base flow (mm)	Level Tank A (mm)	Level Tank B (mm)	Level Tank C (mm)	Level Tank D (mm)
10/4/2011	4,49	4,71	0	4,83	0	0	0	4,494	-1,273	3,729	2,473	1145,923
10/5/2011	7,31	7,20	50,8	4,2	1,272	1,539	0	4,500	14,085	28,176	6,215	1147,587
10/6/2011	5,84	5,00	0	4,95	0,056	1,267	0	4,512	2,978	25,184	7,547	1150,560
10/7/2011	5,10	4,42	0	5,26	0	0,583	0	4,521	-0,369	17,659	6,842	1152,824
10/8/2011	5,15	5,59	12,4	4,77	0,037	0,580	0	4,528	2,797	17,631	6,482	1154,725
10/9/2011	4,64	5,00	0	5,06	0	0,110	0	4,531	-0,375	12,456	5,357	1155,507
10/10/2011	4,53	4,42	0	5,16	0	0	0	4,529	-1,349	6,977	3,857	1154,805
10/11/2011	4,52	4,42	11,6	4,77	0	0	0	4,524	2,276	9,222	3,480	1153,731
10/12/2011	4,52	4,14	0	4,92	0	0	0	4,517	-0,497	6,044	2,759	1151,950
10/13/2011	4,51	4,14	0,8	4,92	0	0	0	4,507	-1,065	2,667	1,831	1149,259
10/14/2011	4,49	4,14	0,8	4,91	0	0	0	4,493	-1,232	-0,160	0,893	1145,652
10/15/2011	5,45	5,90	31,2	4,46	0,615	0,345	0	4,487	8,230	15,041	3,023	1144,163
10/16/2011	5,75	4,14	14,6	4,7	0,356	0,901	0	4,490	5,796	21,163	5,210	1144,841
10/17/2011	4,96	5,00	0	4,8	0	0,471	0	4,493	0,586	16,429	5,444	1145,747
10/18/2011	4,89	4,14	9,2	4,76	0	0,391	0	4,497	2,067	15,554	5,402	1146,608
10/19/2011	4,56	4,14	2,2	4,86	0	0,061	0	4,497	0,180	11,919	4,717	1146,789
10/20/2011	4,52	4,42	7,8	4,77	0	0,024	0	4,496	1,481	11,512	4,299	1146,556
10/21/2011	6,68	7,54	34,8	4,37	0,810	1,369	0	4,505	10,057	26,313	6,791	1148,786
10/22/2011	17,96	13,69	95,4	4,11	7,809	5,597	0	4,551	25,665	72,815	16,532	1160,631
10/23/2011	10,27	7,20	1,6	4,84	0,443	4,644	0,578	4,609	6,615	62,338	18,932	1175,372
10/24/2011	9,69	5,90	19,4	4,58	0,464	4,022	0,533	4,667	6,814	55,490	18,932	1190,010
10/25/2011	7,36	5,29	0	5,09	0	2,651	0	4,713	0,822	40,408	16,711	1201,871
10/26/2011	6,65	5,29	9,2	4,71	0	1,902	0	4,749	2,150	32,172	14,092	1211,098
10/27/2011	6,10	5,00	6,6	4,75	0	1,319	0	4,776	1,681	25,757	11,606	1217,833

Tanggal	Debit Kalkulasi (mm)	Debit Observasi (mm)	Curah Hujan (mm)	ET (mm)	Surface flow (mm)	intermediate flow (mm)	subbase flow (mm)	base flow (mm)	Level Tank A (mm)	Level Tank B (mm)	Level Tank C (mm)	Level Tank D (mm)
10/28/2011	8,23	5,29	39	4,26	0,951	2,474	0	4,806	11,387	38,469	12,679	1225,602
10/29/2011	6,65	5,00	0,4	4,82	0	1,816	0	4,834	2,388	31,223	11,895	1232,565
10/30/2011	6,95	4,71	17,6	4,56	0,286	1,806	0	4,859	5,138	31,118	11,482	1239,094
10/31/2011	9,10	7,54	41,4	4,21	1,128	3,078	0	4,894	13,049	45,111	13,829	1247,916
11/1/2011	7,32	7,54	1	4,79	0,062	2,333	0	4,927	3,030	36,918	13,512	1256,390
11/2/2011	8,25	7,20	27,4	4,4	0,619	2,668	0	4,962	8,266	40,595	14,024	1265,337
11/3/2011	21,29	12,03	93	4,04	7,336	6,298	2,631	5,026	24,827	80,526	18,940	1281,705
11/4/2011	27,23	24,69	62,4	4,04	5,487	8,045	8,583	5,113	21,552	99,746	18,965	1303,914
11/5/2011	33,27	27,94	74,2	4,03	6,538	9,672	11,848	5,213	23,412	117,637	18,978	1329,275
11/6/2011	20,10	15,87	0,8	4,76	0,355	7,311	7,135	5,294	5,783	91,676	18,959	1349,862
11/7/2011	12,52	9,31	0,2	4,76	0	4,888	2,279	5,355	0,658	65,022	18,939	1365,551
11/8/2011	8,74	10,83	7,2	4,65	0	3,339	0	5,404	1,456	47,979	18,097	1378,095

Lampiran 14. Dokumentasi penelitian

