

UPAYA PENANGGULANGAN BANJIR DENGAN PERBAIKAN
ALUR SUNGAI KALI LAMONG DI KABUPATEN GRESIK

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



GARINDRA GUSTIANTO

NIM. 115060101111002

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016

LEMBAR PENGESAHAN
UPAYA PENANGGULANGAN BANJIR DENGAN PERBAIKAN ALUR SUNGAI
KALI LAMONG DI KABUPATEN GRESIK

SKRIPSI

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh

gelar Sarjana Teknik



GARINDRA GUSTIANTO

NIM. 115060101111002

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada 11 Agustus 2016

Dosen Pembimbing I

Ir. Agus Suharyanto, M. Eng, Ph.D

NIP. 19610813 198802 1 001

Dosen Pembimbing II

Ir.Pudyono, MT

NIP. 19521124 198111 1 001

Mengetahui Ketua Program Studi

Dr. Eng. Indradi W, ST, M.Eng (Prac)

NIP. 19810220 200604 1 002

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelurusan berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 11 Agustus 2016

Mahasiswa,

Garindra Gustianto
NIM. 115060101111002



RINGKASAN

Garindra Gustianto, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2016, *Upaya Penanggulangan Banjir dengan Perbaikan Alur Sungai Kali Lamong di Kabupaten Gresik*, Dosen pembimbing : Ir. Agus Suharyanto, M.Eng, Ph.D dan Ir. Pudyono, MT.

Kabupaten Gresik merupakan kabupaten yang terletak di provinsi Jawa Timur. Luas dari Kabupaten gresik adalah $1.191,25 \text{ km}^2$, yang terdiri dari 18 kecamatan. Secara administratif, terdapat 26 kelurahan dan 330 desa. Kabupaten Gresik merupakan wilayah dataran rendah dengan ketinggian antara 2-12 meter di atas permukaan laut. Sungai Kali Lamong adalah salah satu sungai yang mengalir melewati Kabupaten Gresik. Sungai Kali Lamong memiliki luas Daerah Aliran Sungai (DAS) $\pm 720 \text{ km}^2$ dengan panjang alur sungai $\pm 103 \text{ km}$ serta memiliki 7 anak sungai.

Pada musim penghujan, sungai Kali Lamong tidak bisa menampung semua debit yang masuk, akibatnya terjadi banjir di daerah DAS Kali Lamong. Penyebab banjir yang utama adalah curah hujan yang tinggi, namun kapasitas sungai tidak mampu menampung debit yang terjadi. Kapasitas sungai menjadi berkurang dikarenakan erosi yang terjadi di hulu dan gerusan di tebing kanan dan kiri sungai Kali Lamong. Akibat erosi yang terjadi, maka partikel tanah jatuh ke dasar sungai, dan menimbulkan sedimentasi pada dasar sungai Kali Lamong. Apabila sedimentasi terus-menerus terjadi, akibatnya akan terjadi pendangkalan pada dasar sungai. Pendangkalan dasar sungai akan mempengaruhi kapasitas aliran sungai. Berkurangnya kapasitas aliran sungai inilah merupakan salah satu penyebab banjir pada DAS Kali Lamong. Agar kapasitas sungai mampu menampung debit yang terjadi, diperlukan normalisasi sungai Kali Lamong. Dalam penelitian ini dilakukan analisis besarnya dimensi sungai Kali Lamong agar mampu menampung debit yang terjadi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit banjir kala ulang 10 tahun, yaitu $804,227 \text{ m}^3/\text{dt}$ terjadi banjir. Dari data tersebut direncanakan dimensi sungai yang mampu menunjang debit tersebut. Nilai erosi yang terjadi adalah 2,943 ton/ha/tahun dan nilai nisbah pelepasan sedimen adalah 17,991%, kali ini menjadi pertimbangan dalam pemeliharaan sungai.

Kata Kunci : banjir, Gresik, Kali Lamong, erosi, sedimentasi, normalisasi



SUMMARY

Garindra Gustianto, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, July 2016, *Flood Prevention Efforts by Ravines Improvement Kali Lamong River in Gresik District*, Academic Supervisor: Ir. Agus Suharyanto, M.Eng, Ph.D and Ir. Pudyono, MT.

Gresik is a district located in the province of East Java. Gresik District area is 1.191,25 km², consisting of 18 sub-district. Administratively, there are 26 administrative villages and 330 villages. Gresik District is a lowland with a height of 2-12 meters above sea level. Kali Lamong river is one of the rivers flowed through Gresik District. Kali Lamong river has extensive watershed approximately 720 km² with a length of river channel 103 km and has seven tributaries.

In rainy season, Kali Lamong river was unable to accommodate all the incoming discharge, resulting in flooding at the watershed area of Kali Lamong. The main cause of flooding is high rainfall, but the capacity of the river is unable to accommodate discharge occurs. The capacity of the river to be reduced due to the erosion in the upstream and scouring on both right and left cliff of the river. As a result of erosion, the soil particles fall to the bottom of the river, and cause sedimentation in the river. If the continuous sedimentation occurred, the result would be silting in the riverbed. Siltation riverbed will affect the discharge capacity of the river. Reduced discharge capacity of the river is one of the causes of flooding in the watershed area. To be able to accommodate the discharge occurs, the normalization of Kali Lamong river is required. In this study, the cross sections of the Kali Lamong river being analyzed to be able to accommodate discharge occurs.

The result showed that the discharge flood return period of 10 years is 804,227 m³/sec already flooding. From that data, new cross sections being planned to supporting the discharge occurs. Erosion value is 2,943 ton/ha/year and the value of sediment delivery ratio is 17,991%, this time into consideration in the maintenance of the river.

Keywords : flood, Gresik, Kali Lamong, erosion, sedimentation, normalization



HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI

Upaya Penanggulangan Banjir dengan Perbaikan Alur Sungai Kali Lamong di Kabupaten

Gresik

Nama Mahasiswa : Garindra Gustianto

NIM : 115060101111002

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Keairan

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Ir. Agus Suharyanto, M. Eng., Ph.D

Dosen Penguji 2 : Ir. Pudyono, MT

Tanggal Ujian : 29 Juli 2016

SK Penguji : 811/UN 10.6/SK/2016



RIWAYAT HIDUP

Garindra Gustianto lahir di Madiun, 20 September 1993. Anak pertama dari pasangan Bapak Hendro dan Ibu Agustien. Menempuh pendidikan sekolah dasar di SDK Cor Jesu Malang pada tahun 1999-2005, melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMPK Santa Maria II Malang pada tahun 2005-2008, melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMAK St. Albertus Malang pada tahun 2008-2011, dan melanjutkan pendidikan di Perguruan Tinggi Negeri Universitas Brawijaya pada tahun 2011-2016.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan YME, atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyusun Laporan Tugas Akhir yang berjudul "**Upaya Penanggulangan Banjir dengan Perbaikan Alur Sungai Kali Lamong di Kabupaten Gresik**". Penulisan Laporan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya Malang.

Tersusunnya laporan tugas akhir ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan kali ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya tempat saya menimba ilmu.
2. Bapak Dr. Ir. Pitojo Tri Juwono, MT sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti dan menyelesaikan pendidikan Program Studi S1 Teknik Sipil.
3. Bapak Ir. Sugeng P Budio, MS sebagai Kepala Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya yang selalu memberikan motivasi selama penulis menimba ilmu di Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
4. Bapak Ir. Suroso, Dipl.HE, M.Eng. sebagai Ketua Kelompok Dosen Keahlian Keairan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
5. Bapak Ir. Agus Suharyanto, M.Eng, Ph.d sebagai pembimbing yang selalu mendukung penulisan laporan tugas akhir ini hingga selesai.
6. Bapak Ir. Pudyono, MT. sebagai pembimbing yang selalu mendukung penulisan laporan tugas akhir ini hingga selesai.
7. Seluruh jajaran dosen dan staf Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
8. Bapak Dr. Ir. Sudarto, MS. Sebagai ketua laboratorium PPJP Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya yang membantu penulis untuk mengumpulkan data tanah.
9. Bapak dan Ibu sebagai orang tua beserta keluarga yang selalu memberikan kasih sayang, mendoakan, dan mendukung penulis tanpa kenal lelah.
10. Reza Anandia sebagai teman skripsi keairan yang selalu membantu penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
11. Teman-teman kontrakan Joyogrand yang selalu menyemangati dan memotivasi penulis tiada henti.

12. Teman-teman KMKT yang selalu mendukung penulis dalam penulisan laporan tugas akhir ini.
13. Danny Prasetya Hartono sebagai sahabat yang selalu mendukung dan memotivasi penulis tiada henti.
14. Teman-teman Teknik Sipil Universitas Brawijaya angkatan 2011.
15. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Universitas Brawijaya.
16. Serta semua pihak terkait yang telah membantu dalam pembuatan dan penyusunan laporan tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini.

Saya menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna dan terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya masukan, baik saran maupun kritik yang bersifat membangun dari semua pihak. Semoga laporan ini dapat bermanfaat, khususnya bagi saya sendiri dan umumnya bagi para pembaca.

Malang, Agustus 2016



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
RINGKASAN.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Maksud dan Tujuan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Analisis Hidrologi.....	4
2.1.1 Perhitungan Curah Hujan Maksimum Harian Rata-rata.....	4
2.1.2 Curah Hujan Rancangan	6
2.1.3 Uji Kesesuaian Distribusi	9
2.1.4 Intensitas Hujan	12
2.1.5 Penentuan Metode Perhitungan Intensitas Hujan.....	13
2.1.6 Waktu Konsentrasi	15
2.1.7 Koefisien Aliran Permukaan	16
2.1.8 Debit Banjir Rencana.....	17
2.2 Erosi dan Sedimentasi	19
2.2.1 Model Prediksi Erosi	19
2.2.2 Sedimentasi.....	26
2.3 Perencanaan Dimensi Saluran	27
2.3.1 Kapasitas Saluran	27
2.3.2 Pemodelan Saluran	29
BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1 Kondisi Daerah	31
3.2 Rencana Penelitian	31
3.3 Langkah-Langkah Penelitian	32
3.3.1 Pengumpulan Data.....	32
3.3.2 Pengolahan Data	32
3.3.2.1 Analisis Hidrologi	32
3.3.2.2 Analisis Erosi dan Sedimentasi.....	32
3.3.2.3 Perencanaan Dimensi Sungai.....	33
3.4 Diagram Alir	34
BAB IV PEMBAHASAN	35
4.1 Data Curah Hujan	35
4.2 Uji Konsistensi Data	36

4.3	Perbaikan Data Curah Hujan dengan Metode Lengkung Massa Ganda.....	49
4.4	Perhitungan Nilai Hujan Maksimum	62
4.5	Pemilihan Jenis Sebaran	65
4.6	Curah Hujan Rancangan Distribusi <i>Log Pearson Tipe III</i>	66
4.7	Uji Kesesuaian Distribusi <i>Smirnov – Kolmogorov</i>	68
4.8	Koefisien Pengaliran.....	71
4.9	Distribusi Jam-jaman	72
4.10	Perhitungan Debit Banjir Rencana	73
	4.10.1 Perhitungan Hidrograf Satuan Sungai Ciliwung Hilir	73
	4.10.2 Perhitungan Hidrograf Banjir Rencana.....	77
4.11	Menentukan Nilai Tiap Komponen pada Rumus USLE	91
	4.11.1 Menghitung Indeks Erosivitas	91
	4.11.2 Menghitung Indeks Erodibilitas	99
	4.11.3 Menghitung Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng	103
	4.11.4 Menghitung Faktor Penggunaan Lahan dan Pengelolaan lahan.....	105
	4.11.5 Pendugaan Laju Erosi pada DAS Kali Lamong	106
4.12	Menghitung Nilai <i>Sediment Delivery Ratio</i> (SDR)	107
4.13	Analisa Erosi DAS dan Nilai <i>Sediment Delivery Ratio</i> (SDR)	107
4.14	Perencanaan Normalisasi Sungai.....	109
BAB V	PENUTUP	119
	5.1 Kesimpulan	119
	5.2 Saran.....	119
DAFTAR	PUSTAKA.....	120
LAMPIRAN	121

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Nilai K dengan Nilai Kepencengan Negatif	8
Tabel 2.2	Nilai K dengan Nilai Kepencengan Positif.....	9
Tabel 2.3	Harga kritis untuk <i>Smirnov-Kolmogorov test</i>	11
Tabel 2.4	Harga kritis dengan metode <i>Chi Square</i>	12
Tabel 2.5	Koefisien pengaliran berdasarkan jenis permukaan / tata guna lahan.....	17
Tabel 2.6	Tipe Struktur Tanah	22
Tabel 2.7	Klasifikasi Butir-butir Primer Tanah	22
Tabel 2.8	Penilaian Permeabilitas Tanah.....	22
Tabel 2.9	Nilai Faktor C untuk Berbagai Pengelolaan Tanaman	24
Tabel 2.10	Nilai Faktor P pada Beberapa Teknik Konservasi Tanah.....	25
Tabel 2.11	Koefisien Kekasarahan Manning	28
Tabel 2.12	Kecepatan Izin Berdasarkan Material.....	29
Tabel 4.1	Curah Hujan Harian Maksimum.....	36
Tabel 4.2	Uji Konsistensi Sta. Sememi	37
Tabel 4.3	Uji Konsistensi Sta. Bunder.....	38
Tabel 4.4	Uji Konsistensi Sta. Cerme.....	39
Tabel 4.5	Uji Konsistensi Sta. Benjeng	40
Tabel 4.6	Uji Konsistensi Sta. Balongpanggang	41
Tabel 4.7	Uji Konsistensi Sta. Mantup	42
Tabel 4.8	Uji Konsistensi Sta. Menganti	43
Tabel 4.9	Uji Konsistensi Sta. Ngimbang.....	44
Tabel 4.10	Uji Konsistensi Sta. Pule Kidul	45
Tabel 4.11	Uji Konsistensi Sta. Bluluk	46
Tabel 4.12	Uji Konsistensi Sta. Terusan.....	47
Tabel 4.13	Uji Konsistensi Sta. Mangunan	48
Tabel 4.14	Nilai koreksi curah hujan Sta. Sememi	50
Tabel 4.15	Nilai koreksi curah hujan Sta. Bunder	51
Tabel 4.16	Nilai koreksi curah hujan Sta. Cerme	52
Tabel 4.17	Nilai koreksi curah hujan Sta. Benjeng	53
Tabel 4.18	Nilai koreksi curah hujan Sta. Balongpanggang.....	54
Tabel 4.19	Nilai koreksi curah hujan Sta. Mantup	55
Tabel 4.20	Nilai koreksi curah hujan Sta. Menganti	56
Tabel 4.21	Nilai koreksi curah hujan Sta. Ngimbang.....	57
Tabel 4.22	Nilai koreksi curah hujan Sta. Pule Kidul	58
Tabel 4.23	Nilai koreksi curah hujan Sta. Bluluk.....	59
Tabel 4.24	Nilai koreksi curah hujan Sta. Terusan.....	60
Tabel 4.25	Nilai koreksi curah hujan Sta. Mangunan	61
Tabel 4.26	Luas dan bobot tiap wilayah	63
Tabel 4.27	Nilai Hujan Maksimum	64
Tabel 4.28	Perhitungan Pemilihan Jenis Sebaran.....	65
Tabel 4.29	Perhitungan Pemilihan Jenis Sebaran	66
Tabel 4.30	Perhitungan Nilai Nilai Xt.....	67
Tabel 4.31	Perhitungan Nilai Δ	69
Tabel 4.32	Nilai Δ Kritis.....	70
Tabel 4.33	Tabel Jenis Tata Guna Lahan	71
Tabel 4.34	Perhitungan Distribusi Hujan Metode Mononobe	72
Tabel 4.35	Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Kali Lamong	74
Tabel 4.36	Hidrograf Banjir Rencana untuk Kala Ulang 2 Tahun	77

Tabel 4.37 Hidrograf Banjir Rencana untuk Kala Ulang 5 Tahun	80
Tabel 4.38 Hidrograf Banjir Rencana untuk Kala Ulang 10 Tahun	82
Tabel 4.39 Hidrograf Banjir Rencana untuk Kala Ulang 25 Tahun	84
Tabel 4.40 Hidrograf Banjir Rencana untuk Kala Ulang 50 Tahun	87
Tabel 4.41 Indeks Erosivitas Stasiun Sememi.....	92
Tabel 4.42 Indeks Erosivitas Stasiun Bunder.....	92
Tabel 4.43 Indeks Erosivitas Stasiun Cerme	93
Tabel 4.44 Indeks Erosivitas Stasiun Benjeng	93
Tabel 4.45 Indeks Erosivitas Stasiun Balongpanggang.....	94
Tabel 4.46 Indeks Erosivitas Stasiun Menganti	94
Tabel 4.47 Indeks Erosivitas Stasiun Mantup	95
Tabel 4.48 Indeks Erosivitas Stasiun Ngimbang.....	95
Tabel 4.49 Indeks Erosivitas Stasiun Pule Kidul	96
Tabel 4.50 Indeks Erosivitas Stasiun Bluluk.....	96
Tabel 4.51 Indeks Erosivitas Stasiun Terusan.....	97
Tabel 4.52 Indeks Erosivitas Stasiun Mangunan.....	97
Tabel 4.53 Erosivitas Rata-rata DAS Kali Lamong	99
Tabel 4.54 Jenis Tanah DAS Kali Lamong.....	100
Tabel 4.55 Nilai K pada Berbagai Jenis Tanah I	100
Tabel 4.56 Nilai K pada Berbagai Jenis Tanah II.....	101
Tabel 4.57 Erodibilitas Total DAS Kali Lamong	102
Tabel 4.58 Nilai Faktor Panjang Lereng (L)	103
Tabel 4.59 Nilai Faktor Kemiringan Lereng (S)	103
Tabel 4.60 Nilai LS Rata-rata pada DAS Kali Lamong	104
Tabel 4.61 Jenis Penggunaan Lahan DAS Kali Lamong	105
Tabel 4.62 Nilai CP Rata-rata DAS Kali Lamong	106
Tabel 4.63 Nilai SDR di Sub DAS Kali Lamong	107
Tabel 4.64 Klasifikasi Bahaya Erosi	109
Tabel 4.65 Perbandingan Luas DAS dengan Nilai SDR	108
Tabel 4.66 Daftar Cross Section yang Perlu atau Tidak Perlu Dinormalisasi.....	116

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Luas Daerah dengan Metode Ishoyet.....	5
Gambar 2.2	Luas Daerah dengan Metode Poligon Thiessen.....	6
Gambar 2.3	Grafik Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu	19
Gambar 2.4	Nomograf yang Dikembangkan Wischmeier.....	21
Gambar 2.5	Nomograf untuk Menghitung Faktor LS	23
Gambar 2.6	Nomograf untuk Menghitung Nilai SDR.....	27
Gambar 3.1	Kawasan Lindung Sempadan Muara Kali Lamong	31
Gambar 4.1	Pembagian Wilayah Stasiun dengan Metode Thiessen	62
Gambar 4.2	Tata Guna Lahan DAS Kali Lamong.....	71
Gambar 4.4	Poligon <i>Thiesssen</i>	98
Gambar 4.5	Peta Jenis Tanah DAS Kali Lamong	99
Gambar 4.6	Peta Kemiringan Lereng DAS Kali Lamong	104
Gambar 4.7	Peta Penggunaan Lahan DAS Kali Lamong	105
Gambar 4.8	Skema Pemodelan Sungai Kali Lamong.....	110
Gambar 4.9	Contoh <i>Cross Section</i> Bagian Hulu	111
Gambar 4.10	Contoh <i>Cross Section</i> Bagian Tengah	111
Gambar 4.11	Contoh <i>Cross Section</i> Bagian Hilir.....	112
Gambar 4.12	Memasukkan Nilai <i>Unsteady Flow Data</i>	113
Gambar 4.13	Memasukkan Nilai <i>Flow Hidrograph</i>	113
Gambar 4.14	Memasukkan Nilai <i>Slope</i>	114
Gambar 4.15	Profil Muka Air pada <i>Cross Section</i> Bagian Hulu	114
Gambar 4.16	Profil Muka Air pada <i>Cross Section</i> Bagian Tengah.....	114
Gambar 4.17	Profil Muka Air pada <i>Cross Section</i> Bagian Hilir	115
Gambar 4.18	Normalisasi <i>Cross Section</i> Bagian Tengah.....	115
Gambar 4.19	Normalisasi <i>Cross Section</i> Bagian Hilir	116

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	: Data curah hujan tiap stasiun dari tahun 2003 hingga 2014	121
Lampiran 2	: Jumlah hari hujan tiap stasiun dari tahun 2003 hingga 2014.....	127
Lampiran 3	: Peta <i>Long Section</i> Sungai Kali Lamong	131
Lampiran 4	: Peta <i>Cross Section</i> Sungai Kali Lamong	132



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kabupaten Gresik merupakan kabupaten yang terletak di provinsi Jawa Timur. Secara geografis, wilayah Kabupaten Gresik terletak antara 112° - 113° bujur timur dan 7° - 8° lintang selatan. Luas dari Kabupaten gresik adalah $1.191,25 \text{ km}^2$, yang terdiri dari 18 kecamatan. Di dalamnya, terdapat 26 kelurahan dan 330 desa. Kabupaten Gresik merupakan wilayah dataran rendah dengan ketinggian antara 2-12 meter di atas permukaan laut.

Sungai Kali Lamong adalah salah satu sungai yang mengalir melewati Kabupaten Gresik. Sungai Kali Lamong merupakan bagian dari Satuan Wilayah Sungai Bengawan Solo yang pengelolaannya dilakukan oleh Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo. Secara administratif DAS Kali Lamong berada di wilayah Kabupaten Gresik, Lamongan, Mojokerto dan Kota Surabaya. Bagian hulu Sungai Kali Lamong terletak di daerah Kabupaten Lamongan dan Kabupaten Mojokerto. Sungai Kali Lamong memiliki luas Daerah Aliran Sungai (DAS) $\pm 720 \text{ km}^2$ dengan panjang alur sungai $\pm 103 \text{ km}$ serta memiliki 7 anak sungai. Muara sungai Kali Lamong berada pada jarak $\pm 15 \text{ km}$ dari jembatan perbatasan antara Kabupaten Gresik dengan Kota Surabaya.

Pada musim penghujan, sungai Kali Lamong tidak bisa menampung semua debit yang masuk, akibatnya terjadi banjir di daerah DAS Kali Lamong. Salah satu DAS Kali Lamong yang sering mengalami banjir adalah Kabupaten Gresik. Wilayah pada Kabupaten Gresik yang selalu mengalami bencana banjir yaitu: Kecamatan Balong panggang, Benjeng, Morowudi, Bringkang, Cerme dan Menganti.

Penyebab banjir yang utama adalah curah hujan yang tinggi namun tidak diimbangi oleh kapasitas sungai. Kapasitas sungai menjadi berkurang dikarenakan erosi yang terjadi di hulu dan gerusan di tebing kanan dan kiri sungai Kali Lamong. Akibat erosi yang terjadi, maka partikel tanah jatuh ke dasar sungai, dan menimbulkan sedimentasi pada dasar sungai Kali Lamong. Apabila sedimentasi terus-menerus terjadi, akibatnya akan terjadi pendangkalan pada dasar sungai. Pendangkalan dasar sungai akan mempengaruhi kapasitas aliran sungai. Berkurangnya kapasitas aliran sungai inilah merupakan salah satu penyebab banjir pada DAS Kali Lamong.



Setelah mengetahui penyebab-penyebab dari luapan Kali Lamong tersebut, diperlukan adanya solusi untuk mengurangi luapan air dari sungai Kali Lamong. Hal-hal yang dilakukan untuk menyelesaikan masalah tersebut antara lain dengan melakukan analisa besar erosi yang terjadi untuk mengetahui besarnya sedimentasi yang terjadi pada sungai Kali Lamong. Selain itu, bisa juga dilakukan normalisasi sungai Kali Lamong, dengan cara menghitung dimensi sungai yang ideal. Kedua hal diatas dapat dijadikan solusi untuk mencegah banjir pada DAS Kali Lamong.

1.2 Identifikasi Masalah

Pada musim penghujan, Kabupaten Gresik sering dilanda banjir. Banjir yang terjadi berasal dari luapan air yang tidak mampu ditampung oleh sungai Kali Lamong. Penyebab sungai Kali Lamong tidak dapat menampung air antara lain, tingginya erosi dan sedimentasi, perubahan penggunaan lahan dari daerah tembus air menjadi daerah tidak tembus air, dan perubahan iklim. Tingginya erosi menyebabkan dimensi sungai menjadi mengecil dan perubahan penggunaan lahan dari daerah tembus air menjadi daerah tidak tembus air telah meningkatkan debit aliran permukaan.

1.3 Rumusan Masalah

Dalam studi ini akan dibahas permasalahan-permasalahan yang terkait dengan penanggulangan banjir pada sungai Kali Lamong, Kabupaten Gresik. Rumusan masalah dalam studi ini meliputi:

1. Berapa besarnya debit banjir rencana yang terjadi di sungai Kali Lamong dengan kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 tahun?
2. Berapa besarnya erosi dan sedimentasi yang terjadi di sungai Kali Lamong?
3. Berapa dimensi sungai Kali Lamong yang sesuai pada ruas yang melewati Kabupaten Gresik agar tidak terjadi?

1.4 Batasan Masalah

Mengingatnya studi ini sangat luas aspeknya, maka dalam perencanaan studi ini, maka perlu dibuat batasan masalah sebagai berikut:

1. Tidak memperhitungkan banjir akibat pasang surut
2. Tidak menganalisa struktur bangunan sungai



3. Analisa hidrologi hanya membahas analisa data curah hujan yang terukur dalam kurun waktu 12 tahun
4. Ruas sungai yang dibahas hanya sungai Kali Lamong yang melintasi Kabupaten Gresik

1.5 Maksud dan Tujuan

Maksud dari studi ini adalah untuk mengetahui dan mempelajari banjir di sungai Kali Lamong, Kabupaten Gresik, sehingga dapat diperoleh gambaran seberapa jauh kemungkinan-kemungkinan yang dapat diatasi dengan kondisi yang ada. Tujuan dari studi ini, yaitu:

1. Mengetahui debit banjir rencana yang terjadi pada sungai Kali Lamong pada kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 tahun
2. Mengetahui besarnya erosi dan edimentasi yang terjadi di DAS Kali Lamong
3. Dapat ditentukan besarnya dimensi sungai Kali Lamong yang ideal agar tidak terjadi banjir di Kabupaten Gresik



BAB II

DASAR TEORI

2.1 Analisis Hidrologi

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi (*hydrologic phenomenon*), seperti: besarnya curah hujan, temperatur, penguapan, lamanya penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air sungai, kecepatan aliran, konsentrasi sedimen sungai. Salah satu tujuan dalam analisis data hidrologi adalah menentukan periode ulang (*return period* atau *recurrence interval*) dari suatu kejadian hidrologi (Soewarno, 1995).

2.1.1 Perhitungan Curah Hujan Maksimum Harian Rata-rata

Ada beberapa macam cara yang dapat digunakan untuk menghitung curah hujan rata-rata wilayah DAS dari catatan hujan lokal pada stasiun-stasiun pengukur curah hujan di DAS tersebut, yaitu:

- Metode perhitungan rata-rata Aritmatik

Metode ini adalah perhitungan rata-rata aljabar curah hujan di dalam dan di luar kawasan yang diteliti. Metode ini adalah metode yang paling sederhana karena tidak memperhitungkan luas daerah di sekitar stasiun hujan. Metode ini cocok untuk daerah dengan topografi datar serta memiliki stasiun pengamatan yang banyak dan tersebar merata di seluruh daerah.

Rumus untuk metode ini adalah:

$$d = \frac{\sum (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n)}{n}$$
$$d = \frac{\sum P_i}{n} \quad \dots \dots \dots \quad (2-1)$$

dengan:

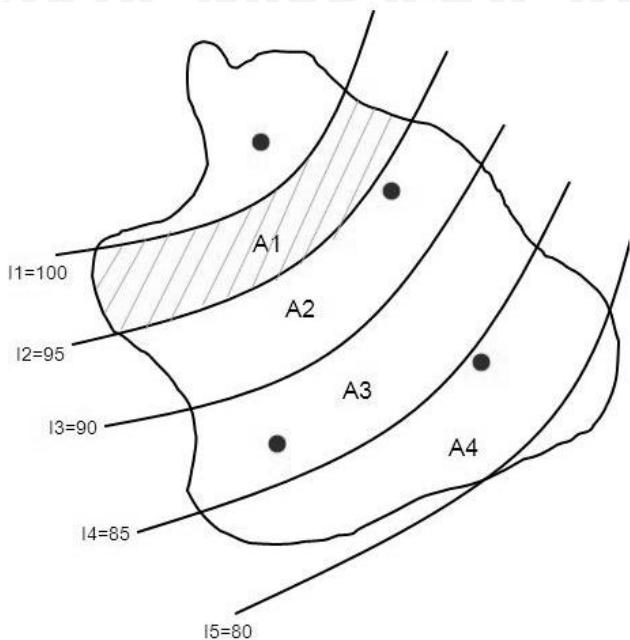
d = Curah Hujan Rerata Daerah Maksimum (mm)

P_i = Curah Hujan Stasiun ke $-i$ (mm)

n = Jumlah Stasiun Hujan

b. Metode Isohyet

Pada metode ini digunakan peta isohyet yaitu peta dengan garis – garis yang menghubungkan tempat yang memiliki curah hujan bervariasi yang sama besar. Metode ini cocok untuk daerah berbukit dan tidak teratur.



Gambar 2.1 Luas Daerah dengan Metode Isohyet

Rumus untuk metode ini adalah:

$$d = \frac{\sum (P_i \cdot A_i)}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

$$d = \frac{\sum P_i \cdot A_i}{\sum A} \quad \dots \dots \dots \quad (2-2)$$

dengan:

d = Curah Hujan Rerata Daerah Maksimum (mm)

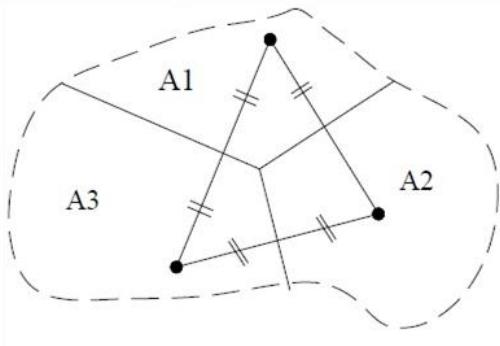
A_i = Luas Daerah Stasiun ke i (km^2)

$\sum A$ = Luas Daerah Total (km^2)



c. Cara poligon Thiessen

Perhitungan curah hujan dengan metode ini dilakukan jika pada daerah kajian memiliki titik pengamatan yang tersebar secara tidak merata sehingga perhitungan dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh tiap titik pengamatan. Hasil dari metode ini lebih akurat dari rata-rata aljabar. Cara ini cocok untuk daerah dengan luas 500 – 5000 km².



Gambar 2.2 Luas Daerah dengan Metode Poligon Thiessen

Rumus untuk metode ini adalah:

$$d = \frac{\sum (P_i \cdot A_i + P_2 \cdot A_2 + \dots + P_n \cdot A_n)}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

$$d = \frac{\sum P_i \cdot A_i}{\sum A} \quad \dots \dots \dots \quad (2-3)$$

dengan:

d = Curah Hujan Rerata Daerah Maksimum (mm)

P_i = Curah Hujan Stasiun ke i (mm)

A_i = Luas Daerah Stasiun ke i (km²)

ΣA = Luas Daerah Total (km²)

2.1.2 Curah Hujan Rancangan

Curah hujan rancangan adalah hujan terbesar tahunan untuk hujan pada periode ulang tertentu. Curah hujan rancangan diperlukan untuk mendapatkan tinggi hujan yang mungkin terjadi pada periode waktu tertentu. Periode waktu yang dibutuhkan dalam mencari curah hujan rancangan disesuaikan dengan keperluan perencanaan. Berbagai metode yang dapat dipakai dalam menganalisa curah hujan rancangan antara lain, distribusi *Gumbell*, *Log Normal*, *Log Pearson Type III* dan lain lain.

Untuk merencanakan macam analisa frekuensi, perlu dihitung parameter-parameter statistik seperti koefisien Cs, Cv, Ck. Syarat untuk distribusi:

- *Gumbell* : Ck = 5,4 dan Cs = 1,14
- *Log Normal* : Ck = 3,0 dan Cs = 0
- *Log Pearson III* : Ck dan Cs tidak ditentukan

Untuk menentukan metode yang sesuai maka terlebih dahulu harus dihitung besarnya parameter statistik yaitu Cs dan Ck. Persamaan yang digunakan adalah:

$$Cs = \frac{n \cdot \sum (Xi - X)^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot S^3} \quad \dots \dots \dots \quad (2-4)$$

$$Ck = \frac{n^2 \cdot \sum (Xi - X)^4}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot (n-3) \cdot S^4} \quad \dots \dots \dots \quad (2-5)$$

Apabila harga Cs dan Ck tidak memenuhi persyaratan distribusi Gumbell dan Normal maka digunakan metode Log Pearson III, karena ini dapat dipakai untuk semua sebaran data. Parameter-parameter statistik yang diperlukan oleh distribusi Log Pearson Type III adalah:

1. Nilai rata – rata
2. Standar deviasi
3. Koefisien kepencengangan

Berikut ini langkah-langkah penggunaan distribusi Log Pearson Tipe III:

1. Ubah data ke dalam bentuk logaritmis

$$Xi = \log Xi \quad \dots \dots \dots \quad (2-6)$$

2. Hitung harga rata – rata

$$\log X = \frac{\sum_{i=1}^n \log Xi}{n} \quad \dots \dots \dots \quad (2-7)$$

3. Hitung harga simpangan baku (standar deviasi)

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\log Xi - \log X)^2}{n-1} \right]^{0,5} \quad \dots \dots \dots \quad (2-8)$$

4. Hitung koefisien kepencengangan

$$Cs = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (\log Xi - \log X)^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot S^3} \quad \dots \dots \dots \quad (2-9)$$



5. Hitung logaritma hujan atau banjir dengan periode ulang T dengan rumus

$$\log X_t = \log X + K.s \quad \dots\dots\dots(2-10)$$

Di mana K adalah variabel standar untuk X yang besarnya tergantung koefisien kepencengan. Nilai K dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Nilai K Dengan Nilai Kepencengan Negatif

Koef Skew	Kala Ulang (Tahun)							
	1.01	2	5	10	25	50	100	200
0	-2.326	0	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576
-0.1	-2.4	0.017	0.846	1.27	1.716	2	2.252	2.482
-0.2	-2.472	0.033	0.85	1.258	1.68	1.945	2.178	2.338
-0.3	-2.544	0.05	0.853	1.245	1.643	1.89	2.104	2.294
-0.4	-2.615	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201
-0.5	-2.686	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108
-0.6	-2.755	0.099	0.857	1.2	1.528	1.72	1.88	2.016
-0.7	-2.824	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.8	-2.891	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837
-0.9	-2.957	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.66	1.749
-1	-3.022	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664
-1.1	-3.087	0.18	0.848	1.107	1.324	1.435	1.518	1.518
-1.2	-3.149	0.195	8.44	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.3	-3.211	0.21	0.838	1.064	1.24	1.324	1.383	1.424
-1.4	-3.271	0.225	0.832	1.041	1.165	1.27	1.318	1.351
-1.5	-3.33	0.24	0.825	1.018	1.157	1.217	1.256	1.282
-1.6	-3.388	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197	1.216
-1.7	-3.444	0.268	0.808	0.97	1.075	1.116	1.14	1.155
-1.8	-3.499	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097
-1.9	-3.553	0.294	0.788	0.92	0.996	1.023	1.037	1.044
-2	-3.065	0.307	0.777	0.895	0.959	0.98	0.99	0.995
-2.1	-3.656	0.319	0.765	0.869	0.923	0.939	0.946	0.949
-2.2	-3.705	0.33	0.752	0.844	0.888	0.9	0.905	0.907
-2.3	-3.753	0.341	0.739	0.819	0.855	0.864	0.867	0.869
-2.4	-3.8	0.351	0.725	0.795	0.823	0.83	0.832	0.833
-2.5	-3.845	0.36	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.8
-2.6	-3.889	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769	0.769
-2.7	-3.932	0.376	0.681	0.724	0.738	0.74	0.74	0.741
-2.8	-3.937	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714	0.714
-2.9	-4.013	0.39	0.651	0.681	0.683	0.689	0.69	0.69
-3	-4.051	0.396	0.636	0.66	0.666	0.666	0.667	0.667

Sumber : Soewarno, 1995





Tabel 2.2 Nilai K Dengan Nilai Kepencengen Positif

Koef Skew	Kala Ulang (Tahun)							
	1.01	2	5	10	25	50	100	200
3	-0.667	-0.396	0.42	1.18	2.278	3.152	4.051	4.97
2.9	-0.69	-0.39	0.44	1.195	2.227	3.134	4.013	4.904
2.8	-0.714	-0.384	0.46	1.21	2.275	3.114	3.937	4.847
2.7	-0.74	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.093	3.932	4.783
2.6	-0.769	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718
2.5	-0.799	-0.36	0.518	1.25	2.262	3.048	3.845	4.652
2.4	-0.832	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.8	4.584
2.3	-0.867	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515
2.2	-0.905	-0.33	0.574	1.284	2.24	2.97	3.705	4.444
2.1	-0.946	-0.319	0.592	1.294	2.23	2.942	3.656	4.372
2	-0.99	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.9	-1.037	-0.294	0.627	1.31	2.207	2.881	3.553	4.223
1.8	-1.087	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.7	-1.14	-0.268	0.66	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069
1.6	-1.197	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.78	3.388	3.99
1.5	-1.256	-0.24	0.69	1.333	1.146	2.743	3.33	3.91
1.4	-1.318	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.3	-1.383	-0.21	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745
1.2	-1.449	-0.195	0.732	1.34	2.087	2.626	3.149	3.661
1.1	-1.518	-0.18	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575
1	-1.588	-0.164	0.758	1.34	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-1.66	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-1.733	-0.132	0.78	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-1.806	-0.116	0.79	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223
0.6	-1.88	-0.099	0.8	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-1.955	-0.083	0.808	1.323	1.91	2.331	2.686	3.041
0.4	-2.029	-0.066	0.816	1.317	1.88	2.261	2.615	2.949
0.3	-2.104	-0.05	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-2.178	-0.033	0.83	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-2.252	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.4	2.67
0	-2.326	0	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576

Sumber : Soewarno, 1995

2.1.3 Uji Kesesuaian Distribusi

Pemeriksaan uji kesesuaian distribusi frekuensi ini adalah untuk menentukan kecocokan distribusifrekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan/ mewakili distribusi frekuensi tersebut.

Ada dua cara untuk melakukan kesesuaian distribusi frekuensi yang umum digunakan untuk menguji probabilitas yang terjadi, yaitu:

1. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara horizontal antara distribusi empiris dan distribusi teoritik. Dari data plotting data hujan pada kertas distribusi log Pearson tipe III dapat dihitung besarnya probabilitas yang terbesar (ΔP_{\max}).

$$\left| P_{(t)} - P_{(e)} \right| : \quad (2-11)$$

Dengan:

$P_{(t)}$ = Peluang teoritis

$P_{(e)}$ = Peluang empiris

ΔP_{\max} = Selisih yang dimutlakan

Untuk mengadakan pemeriksaan terlebih dahulu harus diadakan plotting data dari hasil pengamatan pada kertas probabilitas dan garis durasi yang sesuai dengan perhitungan secara teoritis. Plotting data dan garis durasi pada kertas probabilitas dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Dengan menyusun data curah hujan rata-rata harian maksimum tiap tahun dari besar kecil atau sebaliknya
- Probabilitas dapat dihitung dengan rumus Weibull (Soewarno, 1995)

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (2-12)$$

Dengan:

P = Probabilitas

m = Nomor urut data yang sudah diurutkan

n = Jumlah data

- Memplot log data curah hujan (log X_i) sesuai dengan probabilitas empiris (Pe) pada kertas probabilitas log Pearson tipe III untuk mendapatkan ΔP_{\max}
- Memplot garis durasi sesuai distribusifrekvensi
- Dari gambar yang dihasilkan untuk mengontrol perbedaan yang timbul dari cara empiris dan teoritis digunakan uji Smirnov-Kolmogorov Test. $| P_{(t)} - P_{(e)} |$ dicari yang paling



maksimum untuk dikontrol terhadap nilai kritis (ΔP_{Jr}) pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Harga kritis untuk Smirnov-Kolmogorov test

N	a			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,3	0,34	0,4
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,2	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,2	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
N > 50	1,07	1,22	1,36	1,63
	$N^{0,5}$	$N^{0,5}$	$N^{0,5}$	$N^{0,5}$

Sumber: Suripin, 2004

2. Uji Chi Kuadrat

Pengujian ini sama dengan pengujian Smirnov-Kolmogorov dimana diperlukan untuk menguji simpangan secara vertikal dan untuk menguji apakah distribusi teoritis yang dianalisa memiliki nilai yang sama dengan distribusi empiriknya.

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(Of - Ef)^2}{Ef} \quad \dots \dots \dots \quad (2-13)$$

Jumlah kelas distribusi dihitung dengan persamaan rumus sebagai berikut:

$$k = 1 + 3,22 \log n \quad \dots \dots \dots \quad (2-14)$$

$$Dk = k - (P + 1) \quad \dots \dots \dots \quad (2-15)$$

Dengan:

Of = Nilai yang diamati

Ef = Nilai yang diharapkan

k = Jumlah kelas distribusi

N = Banyaknya sampel data

Dk = Derajat kebebasan

P = Parameter sebaran Chi Kuadrat, (ditetapkan P = 2)



Supaya distribusifrekuensi yang dipilih dapat diterima maka harga $X^2 < X^2_{Cr}$. Harga X^2_{Cr} dapat diperoleh dengan menentukan taraf signifikan Δ dengan derajat kebebasan (*level of significant*). Nilai dari X^2_{Cr} dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Harga kritis dengan metode Chi Square

Percentage Points of the Chi-Square Distribution

Degrees of Freedom	Probability of a larger value of x^2								
	0.99	0.95	0.90	0.75	0.50	0.25	0.10	0.05	0.01
1	0.000	0.004	0.016	0.102	0.455	1.32	2.71	3.84	6.63
2	0.020	0.103	0.211	0.575	1.386	2.77	4.61	5.99	9.21
3	0.115	0.352	0.584	1.212	2.366	4.11	6.25	7.81	11.34
4	0.297	0.711	1.064	1.923	3.357	5.39	7.78	9.49	13.28
5	0.554	1.145	1.610	2.675	4.351	6.63	9.24	11.07	15.09
6	0.872	1.635	2.204	3.455	5.348	7.84	10.64	12.59	16.81
7	1.239	2.167	2.833	4.255	6.346	9.04	12.02	14.07	18.48
8	1.647	2.733	3.490	5.071	7.344	10.22	13.36	15.51	20.09
9	2.088	3.325	4.168	5.899	8.343	11.39	14.68	16.92	21.67
10	2.558	3.940	4.865	6.737	9.342	12.55	15.99	18.31	23.21
11	3.053	4.575	5.578	7.584	10.341	13.70	17.28	19.68	24.72
12	3.571	5.226	6.304	8.438	11.340	14.85	18.55	21.03	26.22
13	4.107	5.892	7.042	9.299	12.340	15.98	19.81	22.36	27.69
14	4.660	6.571	7.790	10.165	13.339	17.12	21.06	23.68	29.14
15	5.229	7.261	8.547	11.037	14.339	18.25	22.31	25.00	30.58
16	5.812	7.962	9.312	11.912	15.338	19.37	23.54	26.30	32.00
17	6.408	8.672	10.085	12.792	16.338	20.49	24.77	27.59	33.41
18	7.015	9.390	10.865	13.675	17.338	21.60	25.99	28.87	34.80
19	7.633	10.117	11.651	14.562	18.338	22.72	27.20	30.14	36.19
20	8.260	10.851	12.443	15.452	19.337	23.83	28.41	31.41	37.57
22	9.542	12.338	14.041	17.240	21.337	26.04	30.81	33.92	40.29
24	10.856	13.848	15.659	19.037	23.337	28.24	33.20	36.42	42.98
26	12.198	15.379	17.292	20.843	25.336	30.43	35.56	38.89	45.64
28	13.565	16.928	18.939	22.657	27.336	32.62	37.92	41.34	48.28
30	14.953	18.493	20.599	24.478	29.336	34.80	40.26	43.77	50.89
40	22.164	26.509	29.051	33.660	39.335	45.62	51.80	55.76	63.69
50	27.707	34.764	37.689	42.942	49.335	56.33	63.17	67.50	76.15
60	37.485	43.188	46.459	52.294	59.335	66.98	74.40	79.08	88.38

Sumber : Soewarno, 1995

2.1.4 Intensitas Hujan

Intensitas curah hujan yang dinyatakan dengan I menyatakan besarnya curah hujan dalam jangka pendek yang memberikan gambaran derasnya hujan perjam. Untuk mengubah curah hujan menjadi intensitas curah hujan dapat digunakan 2 metode sebagai berikut:

- Metode *Van Breen*

Untuk mengetahui intensitas curah hujan menggunakan metode ini maka digunakan persamaan

$$I_T = \frac{54R_T + 0,007R_T^2}{t_c + 0,31R_T} \quad \dots\dots\dots(2-16)$$

Dengan:

I_T = Intensitas curah hujan pada suatu periode ulang (T tahun)

R_T = Tinggi curah hujan pada periode ulang T tahun (mm/hari)

- Metode *Haspers* dan *Der Weduwen*

Untuk mengetahui intensitas curah hujan menggunakan metode ini maka digunakan persamaan

$$Rt = Xt \left[\frac{1218t + 54}{Xt(1-t) + 1272t} \right] \quad \dots\dots\dots(2-17)$$

$$R = \sqrt{\frac{11300t}{t+3.12}} \left[\frac{Rt}{100} \right] \quad \dots\dots\dots(2-18)$$

Untuk durasi $0 \leq t \leq 1$ jam

$$R = \sqrt{\frac{11300}{t+3.12}} \left[\frac{Rt}{100} \right] \quad \dots\dots\dots(2-19)$$

Setelah mendapatkan nilai dari persamaan di atas kemudian hitung intensitas curah hujan dengan persamaan

$$I = \frac{R}{t} \quad \dots\dots\dots(2-20)$$

Dengan:

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

R, Rt = Curah hujan menurut Hasper

t = Durasi curah hujan (jam)

Xt = Curah hujan harian maksimum yang terpilih (mm/hari)

2.1.5 Penentuan Metode Perhitungan Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah semakin tinggi dan semakin besar periode ulangnya maka



makin tinggi juga intensitasnya. Hubungan antara intensitas, lama hujan, dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas – Durasi – Frekuensi ($IDF = Intensity - Duration - Frequency Curve$). Diperlukan data hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit dan perjam untuk membentuk lengkung IDF. Selanjutnya lengkung IDF dapat dibuat dengan salah satu dari beberapa persamaan berikut (Suripin, 2004):

- Rumus *Talbot*, rumus ini banyak digunakan karena mudah diterapkan dan tetapan-tetapan a dan b ditentukan dengan harga-harga terukur.

$$I = -\frac{a}{t} \quad \dots \dots \dots \quad (2-21)$$

Dengan:

I = intensitas hujan (mm/jam)

t= lamanya hujan (jam)

$$a = \frac{\sum(I.t) \cdot \sum(I^2) - \sum(I^2.t) \cdot \sum(I)}{N \cdot \sum(I^2) - \sum(I) \cdot \sum(I)} \quad \dots \dots \dots \quad (2-22)$$

N = banyaknya data.

- Rumus *Sherman*, rumus ini mungkin cocok dengan untuk jangka waktu curah hujan yang lamanya lebih dari 2 jam.

$$I = \frac{a}{\dots} \quad (2-24)$$

Dengan:

I = intensitas hujan (mm/jam)

$$a = \left[\frac{\sum(\log I) \cdot \sum(\log t)^2 - \sum(\log t \cdot \log I) \cdot \sum(\log t)}{N \cdot \sum(\log t)^2 - \sum(\log t) \cdot \sum(\log t)} \right]^{10} \quad \dots \dots \dots \quad (2-25)$$

$$n = \frac{\sum(\log I) \cdot \sum(\log t) - \sum(\log t \cdot \log I)}{N \cdot \sum(\log t)^2 - \sum(\log t) \cdot \sum(\log t)} \quad \dots \quad (2-26)$$

t = lamanya hujan (jam)

N = banyaknya data

- Rumus *Ishiguro*

Dengan =

I = Intensitas hujan (mm/jam)

$$b = \frac{\sum(I) \cdot \sum(I \cdot \sqrt{t}) - N \cdot \sum(I^2 \cdot \sqrt{t})}{N \cdot \sum(I^2) - \sum(I) \cdot \sum(I)} \quad \dots \dots \dots \quad (2-29)$$

t = Lamanya hujan (mm)

N= banyaknya data

- Apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung dengan rumus *Mononobe*:

$$I = \frac{R24}{24} \left(\frac{24}{\pi} \right)^{\frac{2}{3}} \dots \dots \dots \quad (2-30)$$

Dimana:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

R24 = curah hujan maksimum harian (mm)

2.1.6 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi (t_c) suatu DAS adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ketempat keluaran DAS. Salah satu metode untuk memperkirakan waktu konsentrasi adalah rumus yang dikembangkan oleh Kirpich (1940), yaitu:

$$tc = \left(\frac{0.87 x L}{1000 x_s} \right)^{0.385} \quad (2-31)$$

Dimana:

t_c = waktu konsentrasi (jam)

L = panjang saluran utama (km)

S = kemiringan rata rata saluran

Waktu konsentrasi dapat juga dihitung dengan membedakannya menjadi dua komponen, yaitu (1) waktu yang diperlukan air untuk mengalir dipermukaan lahan sampai saluran terdekat t_0 dan (2) waktu perjalanan dari masuk saluran sampai titik keluaran t_d , sehingga

$$t_c = \quad (2-32)$$

dimana:

$$t_0 = \left[\frac{2}{3} x 3,28 x I_o x \frac{n}{\sqrt{i_s}} \right]^{0,167} \text{ menit} \quad (2-33)$$

$$t_d = \frac{L_s}{60V} \text{ menit} \quad (2-34)$$

dimana:

n = angka kekasaran Manning

i_s = kemiringan saluran

I_o = jarak titik terjauh ke fasilitas drainase (m)

L_s = panjang lintasan aliran di dalam saluran/sungai (m)

V = kecepatan aliran dalam saluran (m/detik)

2.1.7 Koefisien Aliran Permukaan

Koefisien pengaliran (C) di definisikan sebagai nisbah antara puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan. Faktor ini merupakan variabel yang paling menentukan hasil perhitungan debit banjir. Faktor utama yang mempengaruhi adalah laju infiltrasi, kemiringan lahan, tanaman penutup tanah dan intensitas hujan.

Koefisien pengaliran rata-rata suatu daerah yang terdiri dari beberapa jenis tata guna lahan, dapat juga ditentukan dengan mempertimbangkan bobot masing-masing bagian sesuai dengan luas daerah yang diwakilinya. Nilai dari koefisien pengaliran dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Nilai C rata – rata dapat dihitung dengan rumus:

$$C_{DAS} = \frac{\sum_{i=1}^N C_i A_i}{\sum_{i=1}^N A_i} \quad (2-35)$$



Dimana:

C_{DAS} = koefisien pengaliran rata –rata

C_i = koefisien aliran permukaan jenis penutup tanah i

A_i = luas lahan dengan jenis penutup tanah i

n = jumlah penutup lahan

2.1.8 Debit banjir rencana

Debit banjir rencana adalah debit maksimum yang mungkin terjadi pada suatu daerah dengan peluang kejadian tertentu. Perhitungan debit banjir dapat dilakukan secara empiris, statistic, ataupun hidrograf. Hidrograf satuan sintetik (HSS) merupakan hidrograf yang didasarkan atas sintetis dari parameter-parameter daerah aliran sungai. HSS adalah hidrograf limpasan langsung (tanpa aliran dasar) yang tercatat di ujung hilir DAS, yang ditimbulkan oleh hujan efektif sebesar satu satuan (1 mm) yang terjadi merata di seluruh DAS dengan intensitas tetap dalam satu satuan waktu. Salah satu hidrograf satuan sintetik yang dapat digunakan adalah hidrograf satuan sintetik Nakayasu.

Tabel 2.5 Koefisien pengaliran berdasarkan jenis permukaan / tata guna lahan

Tata guna lahan	C	Tata guna lahan	C
Perkantoran		Tanah lapang	
- Daerah pusat kota	0,70-0,95	- Berpasir, datar 2%	0,05-0,10
- Daerah sekitar kota	0,50-0,70	- Berpasir, agak rata 2-7%	0,10-0,15
Perumahan		- Berpasir, miring 7%	0,15-0,20
- Rumah tinggal	0,30-0,50	- Tanah berat, datar 2%	0,13-0,17
- Rumah susun terpisah	0,40-0,60	- Tanah berat, agak rata 2-7%	0,18-0,22
- Rumah susun bersambung	0,60-0,75	- Tanah berat, miring 7%	0,25-0,35
- Pinggiran kota	0,25-0,40	Tanah pertanian, 0-30%	
Daerah industry		Tanah kosong	
- Kurang padat industri	0,50-0,80	- Rata	0,30-0,60
- Padat industry		- Kasar	0,20-0,50
Taman, kuburan	0,10-0,25	Ladang garapan	
Tempat bermain	0,20-0,35	- Tanah berat, tanpa vegetasi	0,30-0,60
Daerah stasiun KA	0,20-0,40	- Tanah berat, dengan vegetasi	0,20-0,50
Daerah tak berkembang	0,10-0,30	- Berpasir, tanpa vegetasi	0,20-0,25
Jalan raya		- Berpasir,dengan vegetasi	0,10-0,25
		Padang rumput	

- Beraspal	0,70-0,95	- Tanah berat	0,15-0,45
- Berbeton	0,80-0,95	- Berpasir	0,05-0,25
- Berbatu bata	0,70-0,85	Hutan bervegetasi	0,05-0,25
- Trotoar	0,75-0,85	Tanah tidak produktif, >30%	
Daerah beratap	0,75-0,95	- Rata, kedap air	0,70-0,90
		- Kasar	0,50-0,70

Sumber : Asdak,2002

Perhitungan debit banjir maksimum dengan menggunakan metode hidrograf satuan Nakayasu dengan persamaan:

$$QP = \frac{1}{36} \times A \times \frac{Ro}{(0,3Tp + T_{0,3})} \quad \dots \dots \dots \quad (2-36)$$

Tenggang waktu :

$$Tp = Tg + 0,8Tr \quad \dots \dots \dots \quad (2-37)$$

$$Tr = Kt \times Tg \quad \dots \dots \dots \quad (2-38)$$

$$Kt = 0,5s \times d1 \quad \dots \dots \dots \quad (2-39)$$

$$Tg = 0,4 + 0,058L \quad l > 15 \text{ km}$$

$$T_{0,3} = \alpha Tg \quad \dots \dots \dots \quad (2-40)$$

dimana :

QP = debit banjir maksimum (m^3/dtk)

A = luas daerah aliran (km^2)

Ro = curah hujan satuan = 1 mm

Tp = tenggang waktu dari permulaan hujan hingga puncak banjir

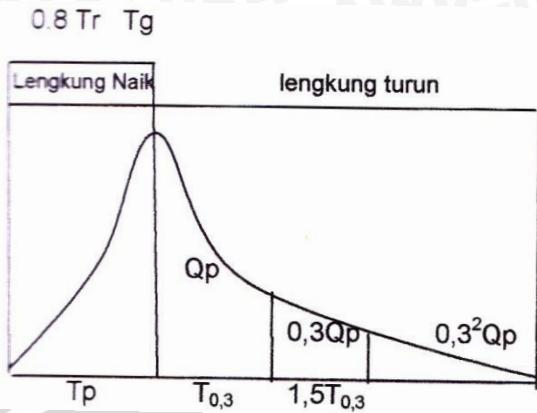
$T_{0,3}$ = waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan debit puncak hingga 30% dari debit puncak

Tg = waktu antara hujan hingga debit banjir maksimum

Tr = satuan waktu hujan = 1 mm

L = panjang alur sungai

α = parameter hidrograf



Gambar 2.3 Grafik Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Persamaan kuva naik

Untuk $0 < t < T_p$

Persamaan kurva turun

Untuk $Tp < t < (Tp + T_{0,3})$

Untuk $(Tp + T_{0,3}) < t < (Tp + 2,5T_{0,3})$

Untuk $t > (Tp + 2,5T_{0,3})$

2.2 Erosi dan Sedimentasi

2.2.1 Model prediksi erosi

Model erosi tanah dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu model empiris, model fisik dan model konseptual. Model empiris didasarkan pada variabel-variabel penting yang diperoleh dari penelitian dan pengamatan selama proses erosi terjadi. Model prediksi erosi secara umum menggunakan model empiris, terutama model-model kotak kelabu. Model-model kotak kelabu yang sangat penting adalah:

- a. Model regresi ganda (*multiple regression*)
 - b. *Universal Soil Loss Equation* (USLE), dan
 - c. Modifikasi USLE (MUSLE)

Model USLE adalah metode yang paling umum digunakan. Metoda USLE dapat dimanfaatkan untuk memprakirakan besarnya erosi untuk berbagai macam kondisi tata guna lahan dan kondisi iklim yang berbeda. USLE memungkinkan perencana memprediksi laju erosi rata-rata lahan tertentu pada suatu kemiringan dengan pola hujan tertentu untuk setiap jenis tanah dan penerapan pengelolaan lahan (tindakan konservasi lahan). USLE dirancang untuk memprediksi erosi jangka panjang dari erosi lembar (*sheet erosion*) dan erosi alur di bawah kondisi tertentu. Persamaan tersebut juga dapat memprediksi erosi pada lahan-lahan *non* pertanian, tapi tidak dapat untuk memprediksi pengendapan dan tidak memperhitungkan hasil sedimen dari erosi parit, tebing sungai dan dasar sungai (Suripin, 2004). Persamaan USLE adalah sebagai berikut:

$$Ea = R \times K \times LS \times C \times P \quad \dots \dots \dots \quad (2-45)$$

Dimana:

Ea = banyaknya tanah tererosi per satuan luas per satuan waktu (ton/ha/tahun)

R = faktor erosivitas hujan dan aliran permukaan

K = faktor erodibilitas tanah

LS = faktor panjang-kemiringan lereng

C = faktor tanaman penutup lahan dan manajemen tanaman

P = faktor tindakan konservasi praktis

a. Faktor erosivitas hujan (R)

Faktor erosivitas hujan didefinisikan sebagai jumlah satuan indeks erosi hujan dalam setahun. Nilai R yang merupakan daya rusak hujan, dapat ditentukan dengan persamaan yang dilaporkan oleh Wischmeier, 1959 (dalam Renard, et.al,1996) sebagai berikut (Suripin, 2004):

$$R = \sum_{i=1}^n EI_{30} \quad \dots \dots \dots \quad (2-46)$$

Dimana:

R = faktor erosivitas hujan (KJ/ha/tahun)

n = jumlah kejadian hujan dalam setahun

EI_{30} = interaksi energi dengan intensitas maksimum 30 menit

Dalam penelitian Bols pada tahun 1978 untuk menentukan besarnya erosivitas hujan berdasarkan penelitian di Pulau Jawa dan Madura (Suripin 2004), didapatkan persamaan sebagai berikut:



$$EI_{30} = 6,119 \times Pb^{1,211} \times N^{0,747} \times Pmax^{0,526} \quad \dots\dots\dots(2-47)$$

Dimana:

EI_{30} = indeks erosi hujan bulanan (Kj/ha)

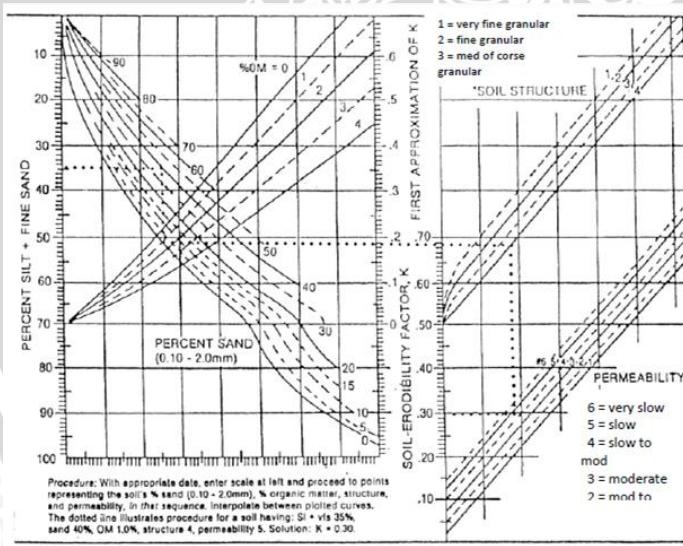
Pb = curah hujan bulanan (cm)

N = jumlah hari hujan per bulan

$Pmax$ = jumlah hujan maksimum harian (24 jam) dalam bulan yang bersangkutan EI_{30} tahunan adalah jumlah EI_{30} bulanan (persamaan 2.47)

b. Faktor erodibilitas tanah (K)

Faktor erodibilitas tanah (K) atau faktor kepekaan erosi tanah merupakan daya tahan tanah baik terhadap penglepasan maupun pengangkutan, terutama tergantung pada sifat-sifat tanah, seperti tekstur, stabilitas agregat, kekuatan geser, kapasitas infiltrasi, kandungan bahan organik dan kimiawi. Disamping itu juga tergantung pada posisi topografi, kemiringan lereng dan gangguan oleh manusia.



Gambar 2.4 Nomograf K yang dikembangkan *Wischmeier*

Sebagai keterangan untuk menghitung nilai K dengan nomograf, berikut disajikan tabel pelengkapnya yaitu tipe struktur tanah, klasifikasi butir-butir primer tanah, dan penilaian permeabilitas tanah.

Tabel 2.6 Tipe Struktur Tanah

Tipe struktur tanah (diameter)	Kode penilaian
Granular sangat halus (<1mm)	1
Granular halus (1-2mm)	2
Granular sedang dan besar (2-10mm)	3
Berbentuk gumpal, lempeng, pejal	4

Sumber: Suripin, 2004

Tabel 2.7 Klasifikasi Butir-butir Primer Tanah

Fraksi tanah	Diameter (mm)
Kerikil	2
Pasir kasar	2,0-0,2
Pasir halus	0,2-0,02
Debu	0,02-0,002
Liat	<0,002

Sumber: Roth, 1994

Tabel 2.8 Penilaian Permeabilitas Tanah

Kelas permeabilitas tanah (kecepatan)	Kode penilaian
Sangat lambat (<0,5cm/jam)	1
Lambat (0,5-2cm/jam)	2
Lambat sampai sedang (2,0-6,3cm/jam)	3
Sedang (6,3-12,7cm/jam)	4
Sedang sampai cepat (12,7-25,4cm/jam)	5
Cepat (>25,4cm/jam)	6

Sumber: Suripin, 2004

c. Faktor panjang-kemiringan lereng (*L*)

Faktor *LS*, kombinasi antara faktor panjang lereng (*L*) dan kemiringan lereng (*S*) merupakan nisbah besarnya erosi dari suatu lereng dengan panjang dan kemiringan tetentu terhadap besarnya erosi dari plot lahan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$LS = \left(\frac{L}{22}\right)^z \times (0,006541S^2 + 0,0456S + 0,065) \quad(2-48)$$

Dimana :

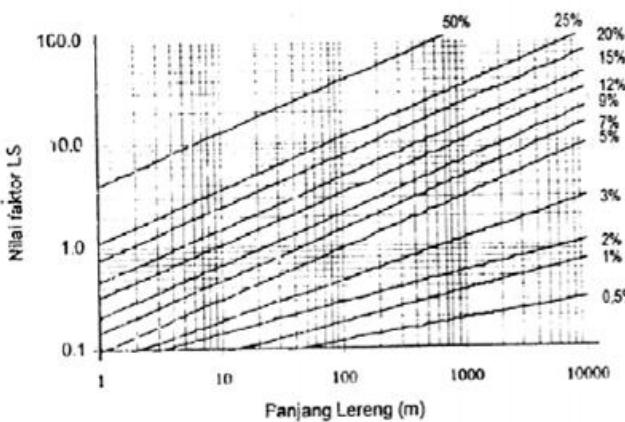
L = panjang lereng (m) yang diukur dari tempat mulai terjadinya aliran air di atas permukaan tanah sampai tempat mulai terjadinya pengendapan

S = kemiringan lereng (%)



z = konstanta yang besarnya bervariasi tergantung besarnya S

Faktor LS dapat juga diperoleh dengan nomograf pada Gambar 2.4.



Gambar 2.5 Nomograf Untuk Menghitung Faktor *LS*

d. Faktor tanaman penutup lahan dan manajemen tanaman (C)

Faktor ini menggambarkan nisbah antara besarnya erosi dari lahan yang bertanaman tertentu dan dengan manajemen (pengelolaan) tertentu terhadap besarnya erosi tanah yang tidak ditanami dan diolah bersih. Pada tanah gundul (petak baku) nilai $C = 1,0$. Faktor ini mengukur kombinasi pengaruh tanaman dan pengelolaannya. Penentuan nilai C sangat sulit, dikarenakan banyaknya ragam cara bercocok tanam untuk suatu jenis tanaman tertentu dalam lokasi tertentu. Berhubung berbagai lokasi tersebut memiliki iklim yang berbeda dengan berbagai ragam cara bercocok tanam sehingga penentuan nilai C diperlukan banyak data. Besarnya angka C tidak selalu sama dalam waktu satu tahun.(Asdak, 2002). Sehingga faktor C dapat dirumuskan :

Dimana :

C = koefisien penutupan lahan

$C_{i,j}$ = koefisien penutupan lahan dengan pengolahan i, dan umur j

$A_{i,j}$ = luas lahan dengan pengolahan i, dan umur j

$P_{i,j}$ = hujan pada luas daerah $A_{i,j}$ dengan pengolahan i, dan umur

Tabel 2.9 Nilai Faktor C untuk Berbagai Pengelolaan Tanaman

No	Jenis Pertanaman	Nilai C
1	Tanah terbuka, tanpa tanaman	1,0
2	Hutan atau semak belukar	0,001
3	Savanna dan prairie dalam kondisi baik	0,01
4	Savanna dan prairie yang rusak untuk gembalaan	0,1
5	Sawah	0,01
6	Tegalan tidak dispesifikasi	0,7
7	Ubi kayu	0,8
8	Jagung	0,7
9	Kedelai	0,4
10	Kentang	0,4
11	Kacang tanah	0,2
12	Padi gogo	0,561
13	Tebu	0,2
14	Pisang	0,6
15	Akar wangi (sereh wangi)	0,4
16	Rumput bede (tahun pertama)	0,287
17	Rumput bede (tahun kedua)	0,002
18	Kopi dengan penutup tanah buruk	0,2
19	Talas	0,85
20	Kebun campuran	
	- Kerapatan tinggi	0,1
	- Kerapatan sedang	0,2
	- Kerapatan rendah	0,5
21	Perladangan	0,4
22	Hutan alam	
	- Serasah banyak	0,001
	- Serasah sedikit	0,005
23	Hutan produksi	
	- Tebang habis	0,5
	- Tebang pilih	0,2
24	Semak belukar, padang rumput	0,3
25	Ubi kayu + kedelai	0,181
26	Ubi kayu + kacang tanah	0,195
27	Padi + sorghum	0,345
28	Padi + kedelai	0,417
29	Kacang tanah + gude	0,495
30	Kacang tanah + kacang tunggak	0,571
31	Kacang tanah + mulsa jerami 4t/ha	0,049
32	Padi + mulsa jerami 4t/ha	0,096
33	Kacang tanah + mulsa jagung 4t/ha	0,128
34	Kacang tanah + mulsa Crotaliara 3t/ha	0,136
35	Kacang tanah + mulsa kacang tunggak	0,259

36	Kacang tanah + mulsa jerami 2t/ha	0,377
37	Padi + mulsa Crotaliara 3t/ha	0,387
38	Pola tanaman gulir + mulsa jerami	0,079
39	Pola tanaman berurutan + mulsa sisa tanaman	0,357
40	Alang-alang murai subur	0,001
41	Stepa dan savanna	0,001
42	Rumput Brachiaria	0,002

Sumber: Arsyad,1989

e. Faktor konservasi praktis (*P*)

Nilai faktor tindakan manusia dalam konservasi tanah (*P*) adalah nisbah antara besarnya erosi dari lahan dengan suatu tindakan konservasi tertentu terhadap besarnya erosi pada lahan tanpa tindakan konservasi. Nilai dasar *P* = 1 yang diberikan untuk lahan tanpa tindakan konservasi. Beberapa nilai faktor *P* untuk berbagai tindakan konservasi disajikan pada Tabel 2.10

Tabel 2.10 Nilai Faktor P pada Beberapa Teknik Konservasi Tanah

No	Jenis teknik konservasi	Nilai P
1	Teras bangku	
	- Baik	0,20
	- Jelek	0,35
2	Teras bangku: jagung-ubi kayu/ kedelai	0,06
3	Teras bangku: sorghum	0,02
4	Teras tradisional	0,40
5	Teras gulud: padi, jagung	0,01
6	Teras gulud: ketela pohon	0,06
7	Teras gulud: jagung, kacang + mulsa tanaman	0,01
8	Teras gulud: kacang kedelai	0,11
9	Tanaman dalam kontur	
	- Kemiringan 0-8%	0,05
	- Kemiringan 9-20%	0,75
	- Kemiringan >20%	0,90
10	Tanaman dalam jalur-jalur	0,05
11	Mulsa limbah jerami	
	- 6 ton/ha/tahun	0,30
	- 3 ton/ha/tahun	0,50
	- 1 ton/ha/tahun	0,80
12	Tanaman perkebunan	
	- Disertai penutup tanah rapat	0,10
	- Disertai penutup tanah sedang	0,50
13	Padag rumput	

- Baik	0,04
- Jelek	0,40

Sumber: Asdak, 2002

2.2.2 Sedimentasi

Hasil sedimen (*sediment yield*) adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu. Hasil sedimen tergantung pada besarnya erosi total di DAS dan tergantung pada transport partikel-partikel tanah yang tererosi tersebut keluar dari daerah tangkapan air DAS. Produksi sedimen umumnya mengacu pada besarnya laju sedimen yang mengalir melewati satu titik pengamatan tertentu dalam suatu DAS. Besarnya hasil sedimen biasanya bervariasi mengikuti karakteristik fisik DAS. Satuan yang biasa digunakan adalah ton per ha² per tahun. Hasil sedimen biasanya diperoleh dari pengukuran sedimen terlarut dalam sungai (*suspended sediment*) atau dengan pengukuran langsung di dalam waduk. Cara lain yang dapat dilakukan untuk memprakirakan besarnya hasil sedimen dari suatu daerah tangkapan air adalah melalui perhitungan Nisbah Pelepasan Sedimen (*Sediment Delivery Ratio*) atau cukup dikenal dengan singkatan SDR.

Perhitungan besarnya SDR dianggap penting dalam menentukan prakiraan besarnya hasil sedimen total yang realistik berdasarkan perhitungan erosi total yang berlangsung di daerah tangkapan air. Tergantung dari faktor-faktor yang menpengaruhi, hubungan antara besarnya hasil sedimen dan besarnya erosi total yang berlangsung di daerah tangkapan air umumnya bervariasi. Variabilitas angka SDR dari suatu DAS akan ditentukan oleh pengaruh salah satu atau kombinasi dari faktor-faktor seperti sumber sedimen, jumlah sedimen yang tersedia untuk proses transport sedimen dan jarak antara sumber sedimen dan sungai/anak sungai, sistem transpor, tekstur partikel tanah yang tererosi, lokasi deposisi sedimen, karakteristik DAS.

Cara memprakirakan besarnya hasil sedimen dengan menghitung besarnya SDR suatu daerah tangkapan air kurang begitu akurat mengingat bahwa erosi total yang ditentukan berdasarkan rumus USLE tidak memperhitungkan besarnya erosi parit dan deposisi hasil erosi (sedimen) di cekungan-cekungan permukaan tanah antara daerah sumber erosi dan saluran air (sungai) yang dikaji besarnya hasil sedimen. Namun demikian, cara ini lazim dilakukan di daerah yang kurang



memungkinkan dilakukannya pengukuran hasil sedimen secara langsung, di lapangan. Menurut SCS *National Engineering Handbook* (DPMA,1984) besarnya prakiraan hasil sedimen dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

$$SY = Ea \times SDR \quad \dots \dots \dots \quad (2-50)$$

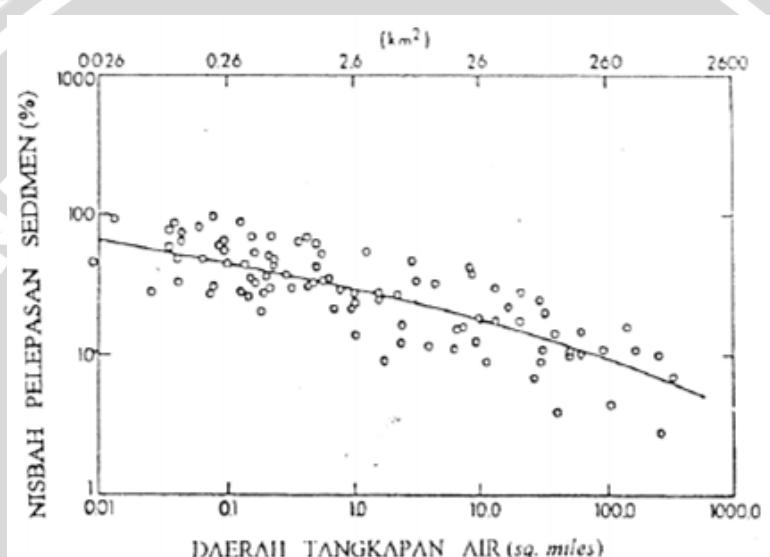
Dimana:

SY = Jumlah sedimen (ton/tahun)

SDR = sediment delivery ratio

Ea = erosi total (ton/ha/tahun)

Nilai SDR dapat dihitung dari nomografi SDR, seperti terlihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Nomografi untuk Menghitung Nilai SDR

2.3 Perencanaan dimensi saluran

2.3.1 Kapasitas Saluran

Besarnya kapasitas saluran dapat ditentukan berdasarkan dimensi saluran. Langkah perhitungan kapasitas saluran drainase adalah sebagai berikut (Chow, 1997):

$$Q = A \cdot V \quad \dots \dots \dots \quad (2-51)$$

Dimana:

Q = kapasitas saluran (m^3/detik)

A = Luas penampang saluran (m^2)

V = kecepatan aliran rerata (m/detik)

Perhitungan kecepatan aliran dapat menggunakan rumus Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \dots \quad (2-52)$$

Dimana:

V = kecepatan aliran rerata (m/detik)

R = Jari – jari hidrolis saluran (m)

S = Kemiringan saluran

n = koefisien kekasaran Manning seperti pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Koefisien Kekasaran Manning

Permukaan	n	Minimum	Maksimum
Permukaan yang dilapisi			
Permukaan dari acian semen yang rapi		0,01	0,013
Permukaan saluran yang terbuat dari kayu		0,01	0,014
Saluran yang terbuat dari papan halus		0,01	0,017
Pipa air limbah yang terbuat dari besi patri (kasar)		0,01	0,015
Saluran yang terbuat dari metal logam (halus)		0,011	0,013
Beton Precast		0,011	0,015
Permukaan dari mortar semen		0,011	0,015
Saluran terbuat dari papan tidak halus		0,011	0,015
Ubin untuk drainase		0,011	0,017
Beton monolit		0,012	0,016
Pelapis besi		0,013	0,017
Permukaan semen yang kasar		0,017	0,03
Kanal			
Hasil pengukuran tanah halus		0,025	0,033
Pada batuan yang dipotong halus		0,025	0,035
Dengan dasar dan sisi-sisinya ditumbuhi rumput liar		0,025	0,04
Pada batuan yang dipotong kasar & tidak rata		0,015	0,045
Saluran Alam			
Halus dan lurus		0,025	0,033
Dengan kondisi dipenuhi rumput dan bebatuan		0,045	0,06
Yang dalam dan dipenuhi rumput		0,075	0,15
Dataran			
Padang rumput		0,025	0,05
Semak - semak		0,035	0,16
Perpohonan			
-Padat		0,011	0,2
-Jarang		0,03	0,05
-Dengan pohon yang besar -besar		0,08	0,12

Sumber: Asdak, 2002

Tabel 2.12 Kecepatan Izin Berdasarkan Material

Jenis bahan	Kecepatan yang diizinkan (m/dt)
Lempung kokoh	0,75
Lempung padat	1,1
Kerikil kasar	1,2
Kerikil besar	1,5
Pasangan batu	1,5
Beton	1,5
Beton bertulang	1,5

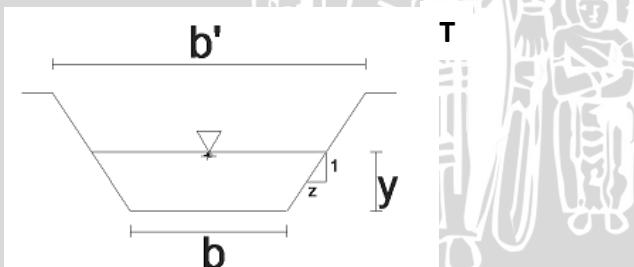
Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 2006

2.3.2 Pemodelan Saluran

Dengan menggabungkan rumus $Q = V \cdot A$ dan besaran A dan P yang mengandung lebar dasar saluran dan tinggi air, dapat diperhitungkan dimensi saluran yang akan direncanakan berdasarkan data debit, koefisien manning dan kemiringan dasar saluran. Perhitungan selengkapnya adalah sebagai berikut:

- Saluran Trapesium

Saluran trapesium adalah bentuk saluran yang paling banyak digunakan dan dijumpai dalam praktik, baik yang merupakan saluran alami atau saluran buatan. Untuk merencanakan penampang trapesium yang paling efisien digunakan rumus:



$$P = b + 2y\sqrt{1+z^2} \quad \dots \dots \dots \quad (2-54)$$

Dimana:

b = lebar saluran (m)

y = dalam saluran tergenang air (m)

z = kemiringan saluran

A = luas (m^2)

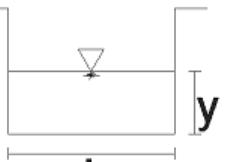
$$P = \text{keliling basah(m)}$$

R = jari-jari hidrolis (m)

- Saluran Persegip

Saluran terbuka yang berpenampang persegi pada umumnya adalah saluran buatan. Sebagai saluran buatan juga tidak banyak dijumpai dibanding saluran dengan penampang trapesium. Akan tetapi karena semakin terbatasnya lahan maka saluran berpenampang persegi semakin dipertimbangkan.

Cara perhitungan:



Dimana:

b = lebar saluran (m)

y = dalam saluran tergenang air (m)

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

P = keliling basah (m)

R = jari jari hidrolis (m)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Kondisi Daerah

Daerah studi adalah sungai Kali Lamong yang berada di Kabupaten Gresik. Sungai Kali Lamong memiliki luas Daerah Aliran Sungai (DAS) $\pm 720 \text{ km}^2$ dengan panjang alur sungai $\pm 103 \text{ km}$ serta memiliki 7 anak sungai. Muara sungai Kali Lamong berada pada jarak $\pm 15 \text{ km}$ dari jembatan perbatasan antara Kabupaten Gresik dengan Kota Surabaya.



Gambar 3.1 Kawasan Lindung Sempadan Sungai Muara Kali Lamong

3.2 Rencana Penelitian

Penulisan Tugas Akhir ini dimulai dengan survei lapangan untuk melihat kondisi di lokasi studi, kemudian dilakukan identifikasi terhadap masalah-masalah yang ada di lokasi studi. Setelah masalah-masalah tersebut dirumuskan, dilakukan studi pustaka sebagai landasan dasar untuk melakukan tindakan selanjutnya. Pengumpulan data dilakukan dengan mengunjungi dinas-dinas yang terkait dengan permasalahan yang telah dirumuskan. Data-data tersebut untuk kemudian diolah dalam analisis hidrologi dan analisis erosi dan sedimentasi. Setelah dianalisis, hasil perhitungan digunakan untuk merencanakan dimensi sungai yang ideal agar tidak terjadi banjir di Kabupaten Gresik.

3.3 Langkah - Langkah Penelitian

3.3.1 Pengumpulan Data

Berdasarkan sumbernya, data yang diperoleh pada proses pengumpulan data adalah:

a. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dari pengamatan atau peninjauan langsung di lapangan. Data primer juga diperoleh dari wawancara dengan pihak-pihak yang dianggap mampu memberikan informasi mengenai DAS. Data yang diperoleh adalah data visual dari kondisi lokasi studi berupa foto dan informasi dari petugas instansi terkait.

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari catatan-catatan yang telah ada. Data ini diperoleh dari instansi-instansi yang terkait. Data-data sekunder yang diperoleh meliputi :

1. Data curah hujan harian tahunan dari tahun 2005 s/d 2014
2. Peta topografi
3. Data peta tata guna lahan
4. Data penampang Kali Lamong

3.3.2 Pengolahan Data

3.3.2.1 Analisis Hidrologi

Langkah-langkah dalam analisis hidrologi terdiri dari:

- a. Perhitungan curah hujan maksimum rata-rata
- b. Perhitungan curah hujan rancangan
- c. Uji kesesuaian distribusi
- d. Perhitungan intensitas hujan
- e. Perhitungan waktu konsentrasi
- f. Perhitungan koefisiean aliran permukaan
- g. Perhitungan debit banjir rencana

3.3.2.2 Analisis Erosi dan Sedimentasi

Analisis erosi dan sedimentasi bertujuan untuk menghitung besarnya erosi lahan yang terjadi pada DAS Kali Lamong dan besarnya sedimentasi yang terbawa aliran sungai Kali

Lamong. Data-data yang diperoleh, selanjutnya dianalisis dengan metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) untuk mengetahui besarnya erosi lahan. Setelah diketahui besarnya erosi lahan yang terjadi, lalu dikonversi dengan *Sediment Delivery Ratio* (SDR) untuk mengetahui besarnya sedimentasi yang terbawa aliran sungai.

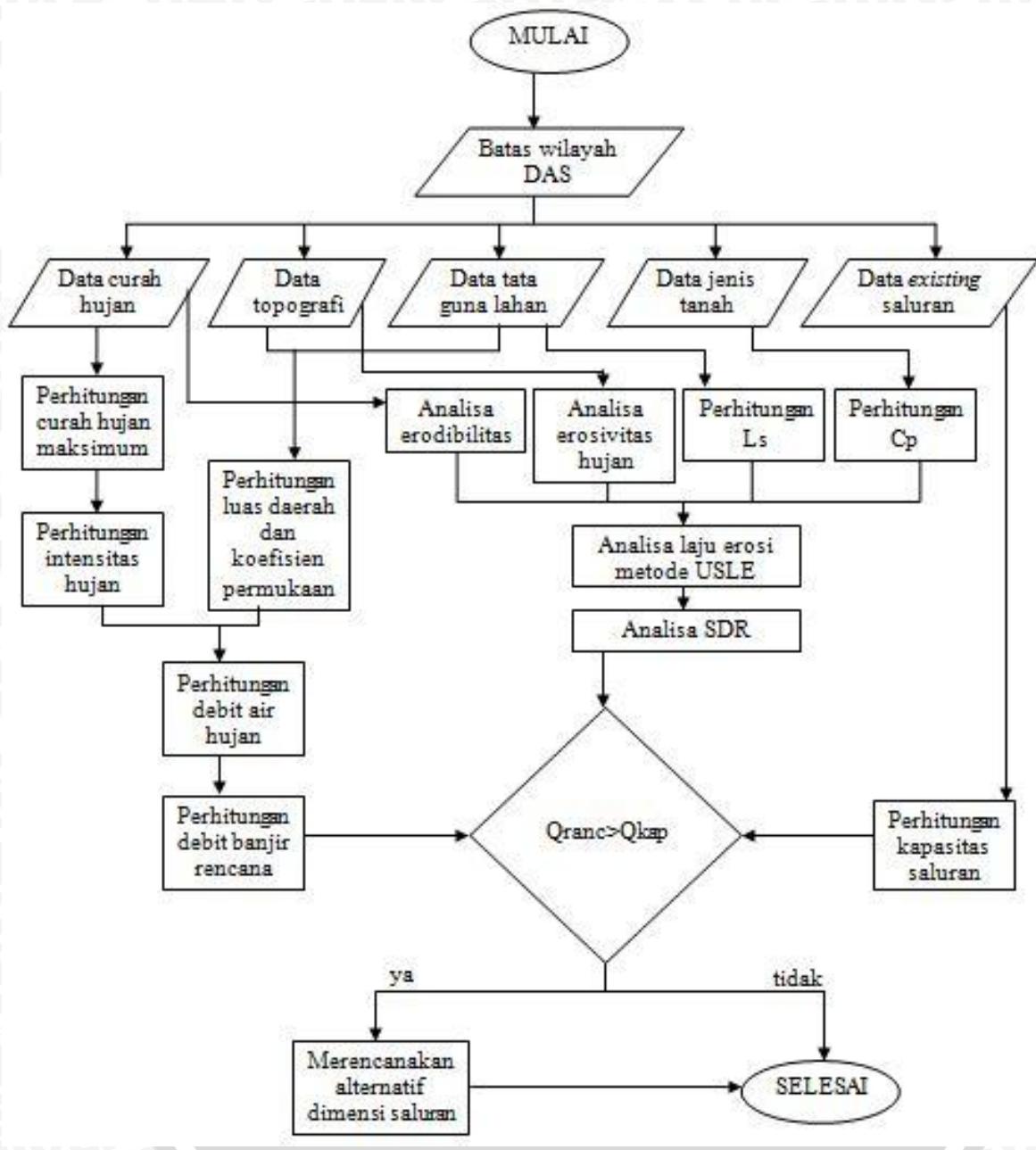
Metoda USLE digunakan karena dapat memprakirakan besarnya erosi untuk berbagai macam kondisi tata guna lahan dan kondisi iklim yang berbeda. Metode tersebut juga memungkinkan perencanaa memprediksi laju erosi rata-rata lahan tertentu pada suatu kemiringan dengan pola hujan tertentu untuk setiap macam jenis tanah dan penerapan pengelolaan lahan (tindakan konservasi lahan).

3.3.2.3 Perencanaan dimensi sungai

Hasil dari analisis data hidrologi dan analisis erosi dan sedimentasi, digunakan dalam perhitungan dimensi sungai yang baru.



3.4 Diagram Alir



BAB IV

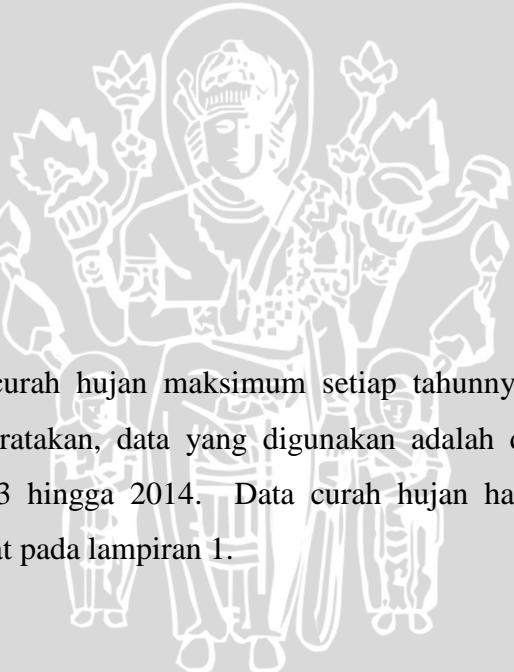
PEMBAHASAN

4.1 Data Curah Hujan

Untuk menganalisa debit curah hujan lokasi studi data hujan yang dipakai berasal dari 12 stasiun pengamat terdekat disekitar lokasi, yaitu :

1. Sta. Sememi
2. Sta. Bunder
3. Sta. Cerme
4. Sta. Benjeng
5. Sta. Balongpanggang
6. Sta. Mantup
7. Sta. Menganti
8. Sta. Ngimbang
9. Sta. Pule Kidul
10. Sta. Bluluk
11. Sta. Terusan
12. Sta. Mangunan

Kemudian mengambil data curah hujan maksimum setiap tahunnya di masing-masing stasiun pengamat dan dirata-ratakan, data yang digunakan adalah data curah hujan 12 tahun, mulai dari tahun 2003 hingga 2014. Data curah hujan harian dari 12 stasiun pengamat tersebut dapat dilihat pada lampiran 1.



Dari data curah hujan tersebut dipilih nilai curah hujan maksimum tiap tahunnya. Data nilai curah hujan maksimum dari masing-masing stasiun per tahun dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Curah Hujan Harian Maksimum

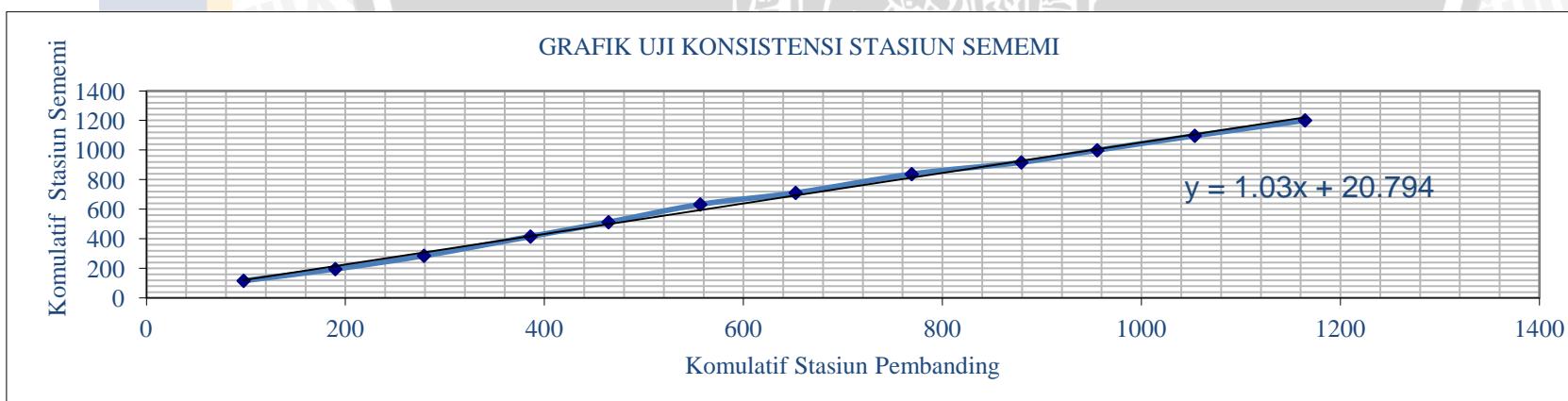
No	Tahun	Tinggi Curah Hujan Harian Maksimum (mm)											
		Sememi	Bunder	Cerme	Benjeng	Balong panggang	Mantup	Menganti	Ngimbang	Pule Kidul	Bluluk	Terusan	Mangunan
1	2003	117	69	54	116	79	100	60	143	140	133	98	85
2	2004	79	77	65	90	89	113	85	82	116	64	130	103
3	2005	90	84	43	67	101	175	67	61	94	97	88	103
4	2006	130	150	120	115	115	156	75	103	106	77	81	79
5	2007	97	70	58	79	63	98	67	84	100	52	89	103
6	2008	120	76	74	76	78	139	52	82	110	116	108	103
7	2009	78	85	88	84	87	110	97	94	110	61	136	103
8	2010	127	103	111	90	114	105	76	156	164	105	99	160
9	2011	79	103	108	89	153	100	73	119	149	92	101	125
10	2012	82	72	75	60	70	63	22	64	105	92	90	125
11	2013	98	93	110	98	109	55	128	83	130	96	75	102
12	2014	104	112	150	127	85	79	130	81	125	137	90	103

4.2 Uji Konsistensi Data

Setelah mengetahui nilai curah hujan maksimum pada masing-masing stasiun pengamat per tahunnya, dilakukan uji konsistensi pada masing-masing stasiun pengamat. Uji konsistensi dilakukan untuk mengetahui apakah data yang telah diperoleh benar-benar menunjukkan fenomena hidrologi seperti keadaan sebenarnya di lapangan. Nilai dan grafik uji konsistensi tiap stasiun pengamat dapat dilihat pada tabel 4.2 hingga 4.13.

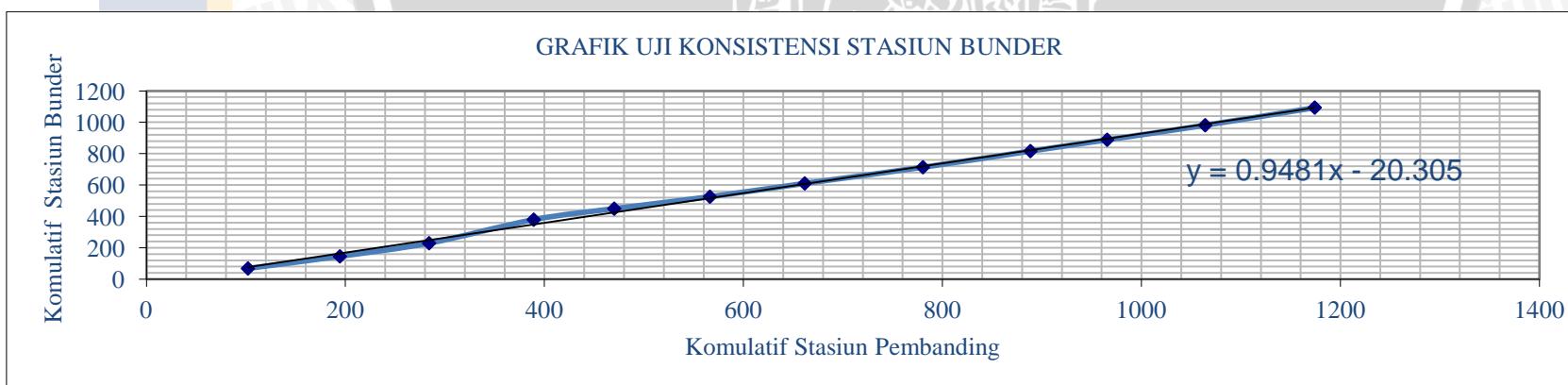
Tabel 4.2 Uji Konsistensi Sta. Sememi

Tahun	Stasiun Uji					Stasiun Pembanding						Komulatif Sememi	Rata-rata Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding	
	Sememi	Bunder	Cerme	Benjeng	Balong panggang	Mantup	Menganti	Ngimbang	Pule Kidul	Bluluk	Terusan	Mangunan			
2003	117	69	54	116	79	100	60	143	140	133	98	85	117	97,909	97,909
2004	79	77	65	90	89	113	85	82	116	64	130	103	196	92,182	190,091
2005	90	84	43	67	101	175	67	61	94	97	88	103	286	89,091	279,182
2006	130	150	120	115	115	156	75	103	106	77	81	79	416	107,000	386,182
2007	97	70	58	79	63	98	67	84	100	52	89	103	513	78,455	464,636
2008	120	76	74	76	78	139	52	82	110	116	108	103	633	92,182	556,818
2009	78	85	88	84	87	110	97	94	110	61	136	103	711	95,909	652,727
2010	127	103	111	90	114	105	76	156	164	105	99	160	838	116,636	769,364
2011	79	103	108	89	153	100	73	119	149	92	101	125	917	110,182	879,545
2012	82	72	75	60	70	63	22	64	105	92	90	125	999	76,182	955,727
2013	98	93	110	98	109	55	128	83	130	96	75	102	1097	98,091	1053,818
2014	104	112	150	127	85	79	130	81	125	137	90	103	1201	110,818	1164,636



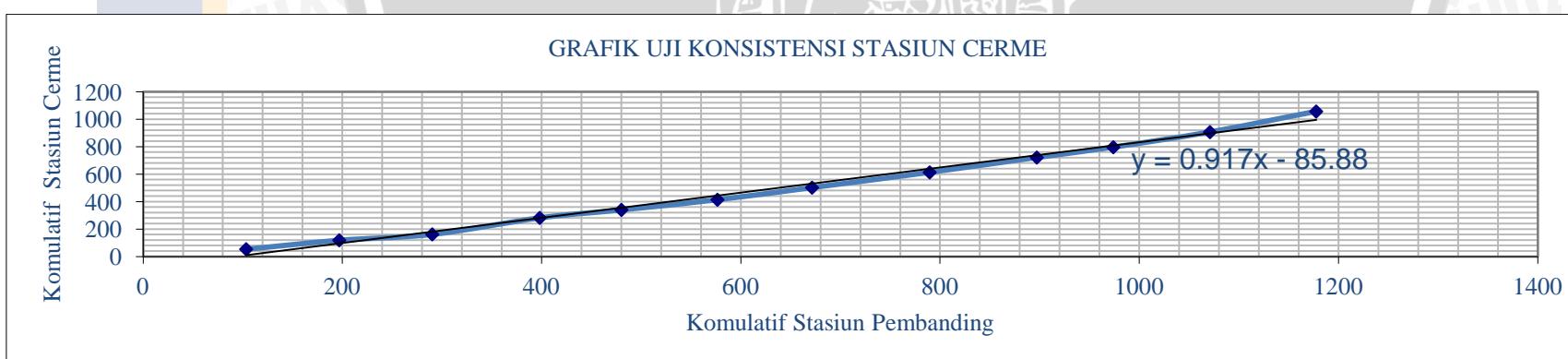
Tabel 4.3 Uji Konsistensi Sta. Bunder

Tahun	Stasiun Uji				Stasiun Pembanding						Komulatif Bunder	Rata-rata Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding		
	Bunder	Sememi	Cerme	Benjeng	Balong panggang	Mantup	Menganti	Ngimbang	Pule Kidul	Bluluk	Terusan	Mangunan			
2003	69	117	54	116	79	100	60	143	140	133	98	85	69	102,273	102,273
2004	77	79	65	90	89	113	85	82	116	64	130	103	146	92,364	194,636
2005	84	90	43	67	101	175	67	61	94	97	88	103	230	89,636	284,273
2006	150	130	120	115	115	156	75	103	106	77	81	79	380	105,182	389,455
2007	70	97	58	79	63	98	67	84	100	52	89	103	450	80,909	470,364
2008	76	120	74	76	78	139	52	82	110	116	108	103	526	96,182	566,545
2009	85	78	88	84	87	110	97	94	110	61	136	103	611	95,273	661,818
2010	103	127	111	90	114	105	76	156	164	105	99	160	714	118,818	780,636
2011	103	79	108	89	153	100	73	119	149	92	101	125	817	108,000	888,636
2012	72	82	75	60	70	63	22	64	105	92	90	125	889	77,091	965,727
2013	93	98	110	98	109	55	128	83	130	96	75	102	982	98,545	1064,273
2014	112	104	150	127	85	79	130	81	125	137	90	103	1094	110,091	1174,364



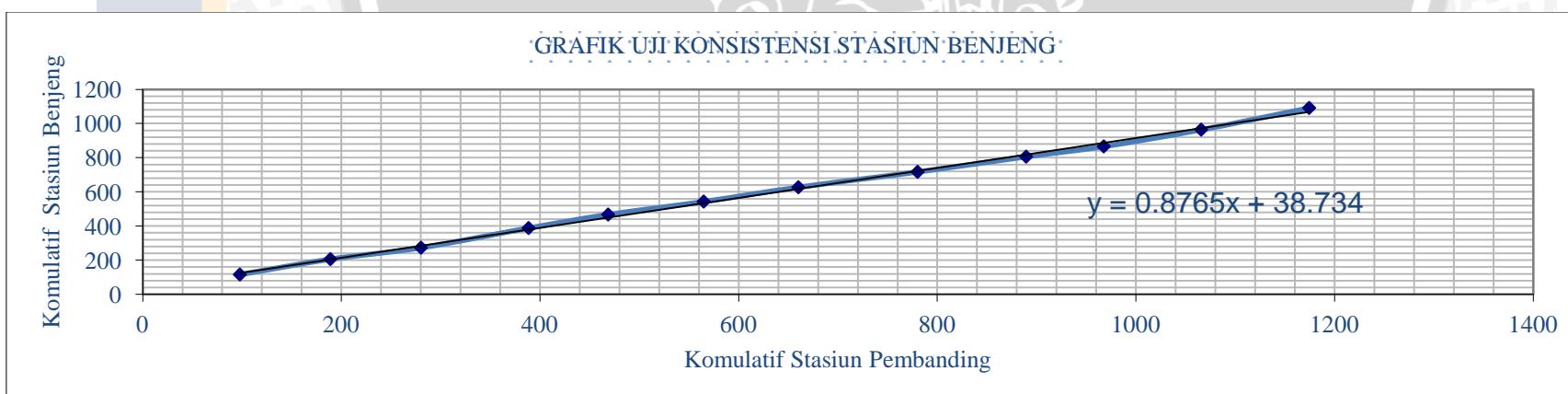
Tabel 4.4 Uji Konsistensi Sta. Cerme

Tahun	Stasiun Uji				Stasiun Pembanding						Komulatif		Rata-rata	Komulatif	
	Cerme	Bunder	Sememi	Benjeng	Balong panggang	Mantup	Menganti	Ngimbang	Pule Kidul	Bluluk	Terusan	Mangunan	Cerme	Stasiun Pembanding	Stasiun Pembanding
2003	54	69	117	116	79	100	60	143	140	133	98	85	54	103,636	103,636
2004	65	77	79	90	89	113	85	82	116	64	130	103	119	93,455	197,091
2005	43	84	90	67	101	175	67	61	94	97	88	103	162	93,364	290,455
2006	120	150	130	115	115	156	75	103	106	77	81	79	282	107,909	398,364
2007	58	70	97	79	63	98	67	84	100	52	89	103	340	82,000	480,364
2008	74	76	120	76	78	139	52	82	110	116	108	103	414	96,364	576,727
2009	88	85	78	84	87	110	97	94	110	61	136	103	502	95,000	671,727
2010	111	103	127	90	114	105	76	156	164	105	99	160	613	118,091	789,818
2011	108	103	79	89	153	100	73	119	149	92	101	125	721	107,545	897,364
2012	75	72	82	60	70	63	22	64	105	92	90	125	796	76,818	974,182
2013	110	93	98	98	109	55	128	83	130	96	75	102	906	97,000	1071,182
2014	150	112	104	127	85	79	130	81	125	137	90	103	1056	106,636	1177,818



Tabel 4.5 Uji Konsistensi Sta. Benjeng

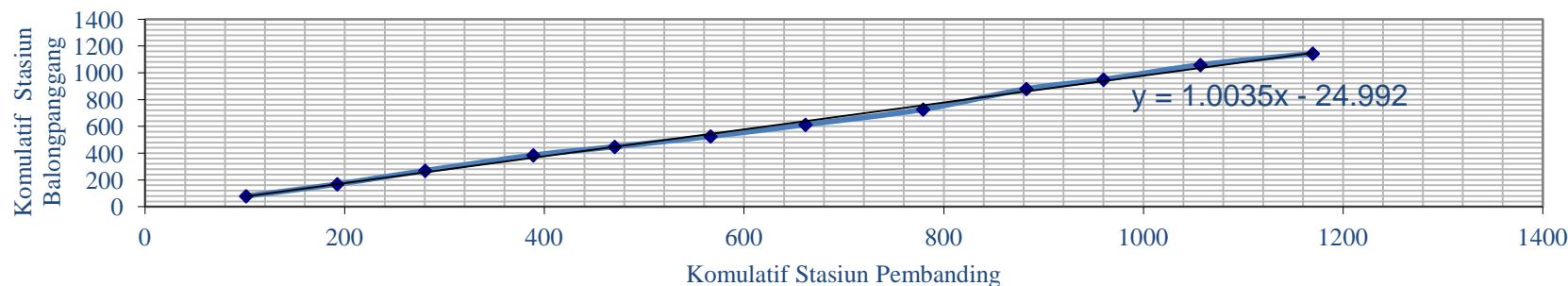
Tahun	Stasiun Uji		Stasiun Pembanding										Komulatif	Rata-rata	Komulatif
	Benjeng	Bunder	Cerme	Sememi	Balong panggang	Mantup	Menganti	Ngimbang	Pule Kidul	Bluluk	Terusan	Mangunan	Benjeng	Stasiun Pembanding	Stasiun Pembanding
2003	116	69	54	117	79	100	60	143	140	133	98	85	116	98,000	98,000
2004	90	77	65	79	89	113	85	82	116	64	130	103	206	91,182	189,182
2005	67	84	43	90	101	175	67	61	94	97	88	103	273	91,182	280,364
2006	115	150	120	130	115	156	75	103	106	77	81	79	388	108,364	388,727
2007	79	70	58	97	63	98	67	84	100	52	89	103	467	80,091	468,818
2008	76	76	74	120	78	139	52	82	110	116	108	103	543	96,182	565,000
2009	84	85	88	78	87	110	97	94	110	61	136	103	627	95,364	660,364
2010	90	103	111	127	114	105	76	156	164	105	99	160	717	120,000	780,364
2011	89	103	108	79	153	100	73	119	149	92	101	125	806	109,273	889,636
2012	60	72	75	82	70	63	22	64	105	92	90	125	866	78,182	967,818
2013	98	93	110	98	109	55	128	83	130	96	75	102	964	98,091	1065,909
2014	127	112	150	104	85	79	130	81	125	137	90	103	1091	108,727	1174,636



Tabel 4.6 Uji Konsistensi Sta. Balongpanggang

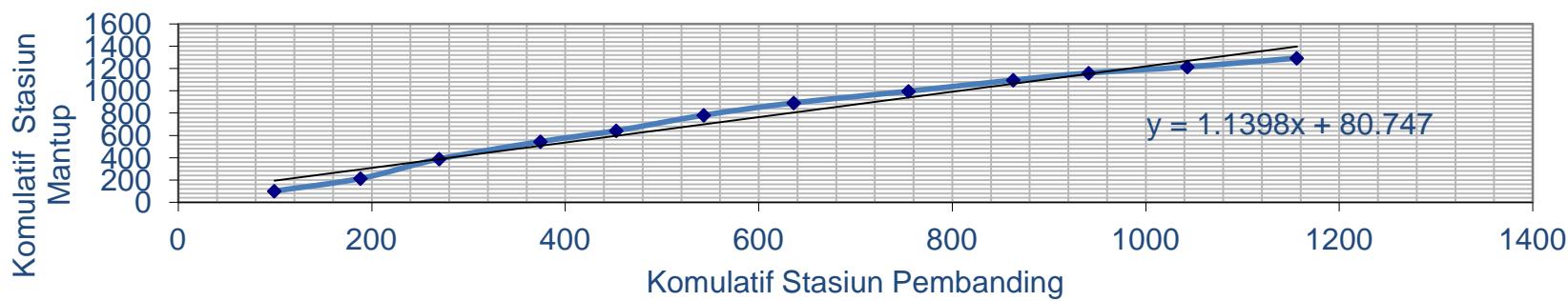
Tahun	Stasiun Uji Balong panggang	Stasiun Pembanding										Komulatif Balong panggang	Rata-rata Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding	
		Bunder	Cerme	Benjeng	Sememi	Mantup	Menganti	Ngimbang	Pule Kidul	Bluluk	Terusan				
2003	79	69	54	116	117	100	60	143	140	133	98	85	79	101,364	101,364
2004	89	77	65	90	79	113	85	82	116	64	130	103	168	91,273	192,636
2005	101	84	43	67	90	175	67	61	94	97	88	103	269	88,091	280,727
2006	115	150	120	115	130	156	75	103	106	77	81	79	384	108,364	389,091
2007	63	70	58	79	97	98	67	84	100	52	89	103	447	81,545	470,636
2008	78	76	74	76	120	139	52	82	110	116	108	103	525	96,000	566,636
2009	87	85	88	84	78	110	97	94	110	61	136	103	612	95,091	661,727
2010	114	103	111	90	127	105	76	156	164	105	99	160	726	117,818	779,545
2011	153	103	108	89	79	100	73	119	149	92	101	125	879	103,455	883,000
2012	70	72	75	60	82	63	22	64	105	92	90	125	949	77,273	960,273
2013	109	93	110	98	98	55	128	83	130	96	75	102	1058	97,091	1057,364
2014	85	112	150	127	104	79	130	81	125	137	90	103	1143	112,545	1169,909

GRAFIK UJI KONSISTENSI STASIUN BALONGPANGGANG



Tabel 4.7 Uji Konsistensi Sta. Mantup

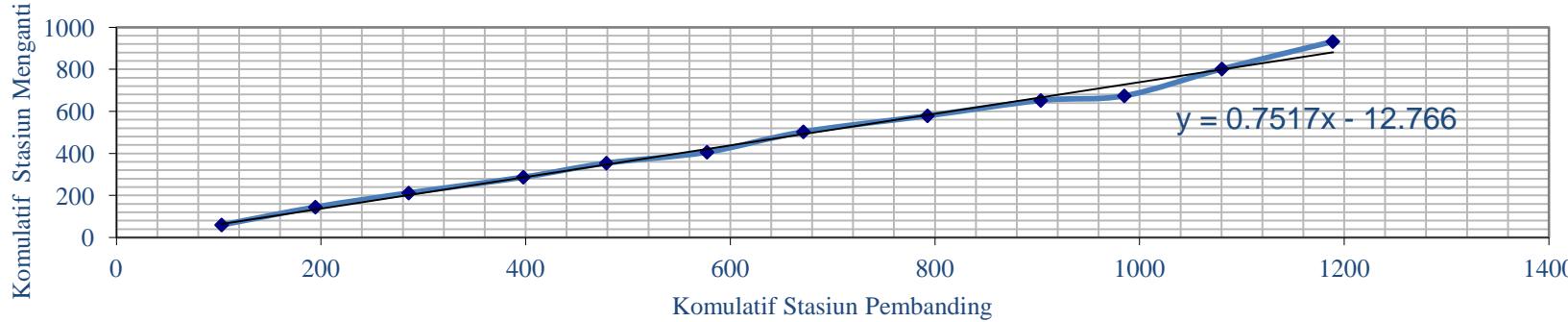
Tahun	Stasiun Uji		Stasiun Pembanding										Komulatif	Rata-rata Stasiun	Komulatif Stasiun
	Mantup	Bunder	Cerme	Benjeng	Balong panggang	Sememi	Menganti	Ngimbang	Pule Kidul	Bluluk	Terusan	Mangunan			
2003	100	69	54	116	79	117	60	143	140	133	98	85	100	99,455	99,455
2004	113	77	65	90	89	79	85	82	116	64	130	103	213	89,091	188,545
2005	175	84	43	67	101	90	67	61	94	97	88	103	388	81,364	269,909
2006	156	150	120	115	115	130	75	103	106	77	81	79	544	104,636	374,545
2007	98	70	58	79	63	97	67	84	100	52	89	103	642	78,364	452,909
2008	139	76	74	76	78	120	52	82	110	116	108	103	781	90,455	543,364
2009	110	85	88	84	87	78	97	94	110	61	136	103	891	93,000	636,364
2010	105	103	111	90	114	127	76	156	164	105	99	160	996	118,636	755,000
2011	100	103	108	89	153	79	73	119	149	92	101	125	1096	108,273	863,273
2012	63	72	75	60	70	82	22	64	105	92	90	125	1159	77,909	941,182
2013	55	93	110	98	109	98	128	83	130	96	75	102	1214	102,000	1043,182
2014	79	112	150	127	85	104	130	81	125	137	90	103	1293	113,091	1156,273

GRAFIK UJI KONSISTENSI STASIUN MANTUP

Tabel 4.8 Uji Konsistensi Sta. Menganti

Tahun	Stasiun Uji		Stasiun Pembanding									Komulatif Menganti	Rata-rata Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding	
	Menganti	Bunder	Cerme	Benjeng	Balong panggang	Mantup	Sememi	Ngimbang	Pule Kidul	Bluluk	Terusan	Mangunyan			
2003	60	69	54	116	79	100	117	143	140	133	98	85	60	103,091	103,091
2004	85	77	65	90	89	113	79	82	116	64	130	103	145	91,636	194,727
2005	67	84	43	67	101	175	90	61	94	97	88	103	212	91,182	285,909
2006	75	150	120	115	115	156	130	103	106	77	81	79	287	112,000	397,909
2007	67	70	58	79	63	98	97	84	100	52	89	103	354	81,182	479,091
2008	52	76	74	76	78	139	120	82	110	116	108	103	406	98,364	577,455
2009	97	85	88	84	87	110	78	94	110	61	136	103	503	94,182	671,636
2010	76	103	111	90	114	105	127	156	164	105	99	160	579	121,273	792,909
2011	73	103	108	89	153	100	79	119	149	92	101	125	652	110,727	903,636
2012	22	72	75	60	70	63	82	64	105	92	90	125	674	81,636	985,273
2013	128	93	110	98	109	55	98	83	130	96	75	102	802	95,364	1080,636
2014	130	112	150	127	85	79	104	81	125	137	90	103	932	108,455	1189,091

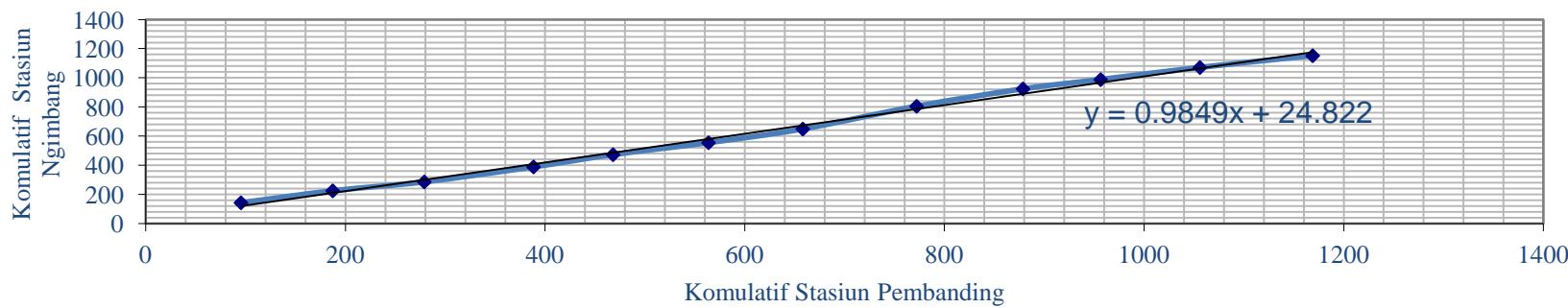
GRAFIK UJI KONSISTENSI STASIUN MENGANTI



Tabel 4.9 Uji Konsistensi Sta. Ngimbang

Tahun	Stasiun Uji					Stasiun Pembanding						Komulatif Ngimbang	Rata-rata Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding	
	Ngimbang	Bunder	Cerme	Benjeng	Balong panggang	Mantup	Menganti	Sememi	Pule Kidul	Bluluk	Terusan	Mangunan			
2003	143	69	54	116	79	100	60	117	140	133	98	85	143	95,545	95,545
2004	82	77	65	90	89	113	85	79	116	64	130	103	225	91,909	187,455
2005	61	84	43	67	101	175	67	90	94	97	88	103	286	91,727	279,182
2006	103	150	120	115	115	156	75	130	106	77	81	79	389	109,455	388,636
2007	84	70	58	79	63	98	67	97	100	52	89	103	473	79,636	468,273
2008	82	76	74	76	78	139	52	120	110	116	108	103	555	95,636	563,909
2009	94	85	88	84	87	110	97	78	110	61	136	103	649	94,455	658,364
2010	156	103	111	90	114	105	76	127	164	105	99	160	805	114,000	772,364
2011	119	103	108	89	153	100	73	79	149	92	101	125	924	106,545	878,909
2012	64	72	75	60	70	63	22	82	105	92	90	125	988	77,818	956,727
2013	83	93	110	98	109	55	128	98	130	96	75	102	1071	99,455	1056,182
2014	81	112	150	127	85	79	130	104	125	137	90	103	1152	112,909	1169,091

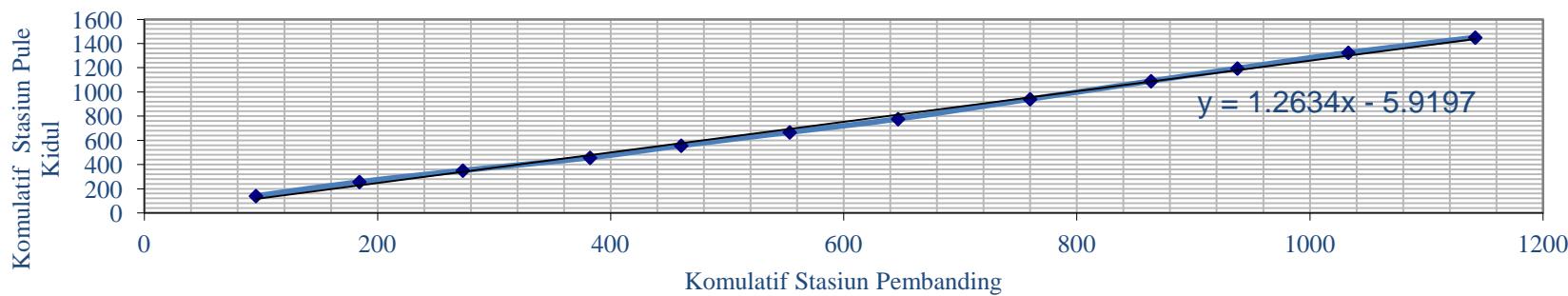
GRAFIK UJI KONSISTENSI STASIUN NGIMBANG



Tabel 4.10 Uji Konsistensi Sta. Pule Kidul

Tahun	Stasiun Uji Pule Kidul	Stasiun Pembanding										Komulatif Pule Kidul	Rata-rata Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding	
		Bunder	Cerme	Benjeng	Balong panggang	Mantup	Menganti	Ngimbang	Sememi	Bluluk	Terusan				
2003	140	69	54	116	79	100	60	143	117	133	98	85	140	95,818	95,818
2004	116	77	65	90	89	113	85	82	79	64	130	103	256	88,818	184,636
2005	94	84	43	67	101	175	67	61	90	97	88	103	350	88,727	273,364
2006	106	150	120	115	115	156	75	103	130	77	81	79	456	109,182	382,545
2007	100	70	58	79	63	98	67	84	97	52	89	103	556	78,182	460,727
2008	110	76	74	76	78	139	52	82	120	116	108	103	666	93,091	553,818
2009	110	85	88	84	87	110	97	94	78	61	136	103	776	93,000	646,818
2010	164	103	111	90	114	105	76	156	127	105	99	160	940	113,273	760,091
2011	149	103	108	89	153	100	73	119	79	92	101	125	1089	103,818	863,909
2012	105	72	75	60	70	63	22	64	82	92	90	125	1194	74,091	938,000
2013	130	93	110	98	109	55	128	83	98	96	75	102	1324	95,182	1033,182
2014	125	112	150	127	85	79	130	81	104	137	90	103	1449	108,909	1142,091

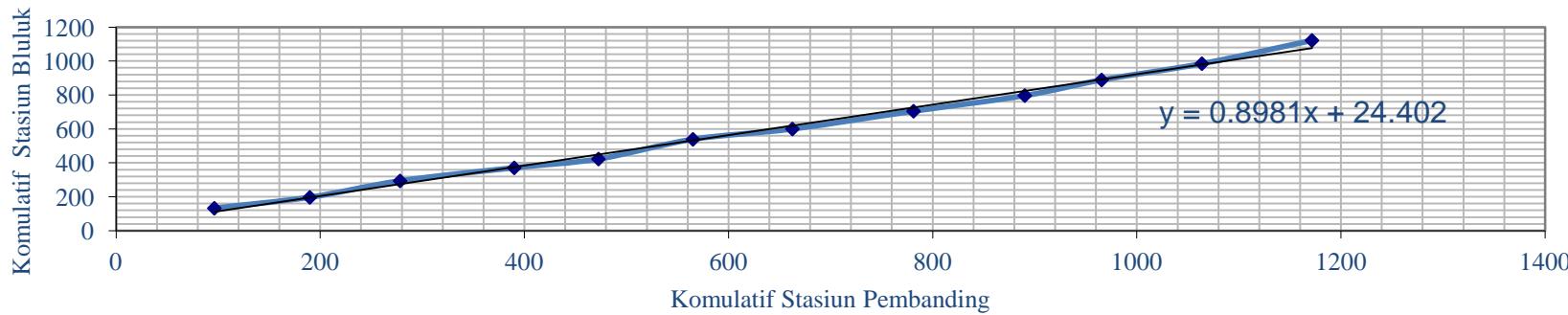
GRAFIK UJI KONSISTENSI STASIUN PULE KIDUL



Tabel 4.11 Uji Konsistensi Sta. Bluluk

Tahun	Stasiun Uji		Stasiun Pembanding										Komulatif Bluluk	Rata-rata Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding
	Bluluk	Bunder	Cerme	Benjeng	Balong panggang	Mantup	Menganti	Ngimbang	Pule Kidul	Sememi	Terusan	Mangunan			
2003	133	69	54	116	79	100	60	143	140	117	98	85	133	96,455	96,455
2004	64	77	65	90	89	113	85	82	116	79	130	103	197	93,545	190,000
2005	97	84	43	67	101	175	67	61	94	90	88	103	294	88,455	278,455
2006	77	150	120	115	115	156	75	103	106	130	81	79	371	111,818	390,273
2007	52	70	58	79	63	98	67	84	100	97	89	103	423	82,545	472,818
2008	116	76	74	76	78	139	52	82	110	120	108	103	539	92,545	565,364
2009	61	85	88	84	87	110	97	94	110	78	136	103	600	97,455	662,818
2010	105	103	111	90	114	105	76	156	164	127	99	160	705	118,636	781,455
2011	92	103	108	89	153	100	73	119	149	79	101	125	797	109,000	890,455
2012	92	72	75	60	70	63	22	64	105	82	90	125	889	75,273	965,727
2013	96	93	110	98	109	55	128	83	130	98	75	102	985	98,273	1064,000
2014	137	112	150	127	85	79	130	81	125	104	90	103	1122	107,818	1171,818

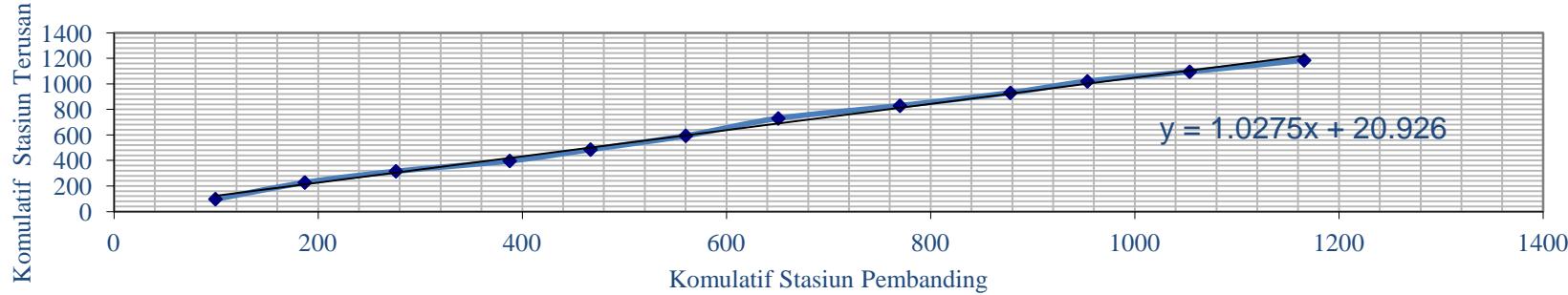
GRAFIK UJI KONSISTENSI STASIUN BLULUK



Tabel 4.12 Uji Konsistensi Sta. Terusan

Tahun	Stasiun Uji		Stasiun Pembanding										Komulatif	Rata-rata	Komulatif
	Terusan	Bunder	Cerme	Benjeng	Balong panggang	Mantup	Menganti	Ngimbang	Pule Kidul	Bluluk	Sememi	Mangunan	Terusan	Stasiun Pembanding	Stasiun Pembanding
2003	98	69	54	116	79	100	60	143	140	133	117	85	98	99,636	99,636
2004	130	77	65	90	89	113	85	82	116	64	79	103	228	87,545	187,182
2005	88	84	43	67	101	175	67	61	94	97	90	103	316	89,273	276,455
2006	81	150	120	115	115	156	75	103	106	77	130	79	397	111,455	387,909
2007	89	70	58	79	63	98	67	84	100	52	97	103	486	79,182	467,091
2008	108	76	74	76	78	139	52	82	110	116	120	103	594	93,273	560,364
2009	136	85	88	84	87	110	97	94	110	61	78	103	730	90,636	651,000
2010	99	103	111	90	114	105	76	156	164	105	127	160	829	119,182	770,182
2011	101	103	108	89	153	100	73	119	149	92	79	125	930	108,182	878,364
2012	90	72	75	60	70	63	22	64	105	92	82	125	1020	75,455	953,818
2013	75	93	110	98	109	55	128	83	130	96	98	102	1095	100,182	1054,000
2014	90	112	150	127	85	79	130	81	125	137	104	103	1185	112,091	1166,091

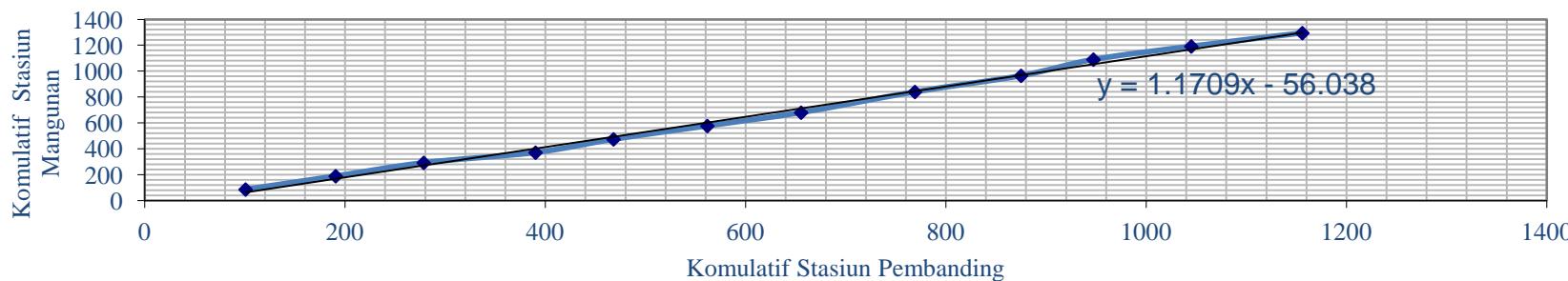
GRAFIK UJI KONSISTENSI STASIUN TERUSAN



Tabel 4.13 Uji Konsistensi Sta. Mangunan

Tahun	Stasiun Uji		Stasiun Pembanding									Komulatif		Rata-rata	Komulatif
	Mangunan	Bunder	Cerme	Benjeng	Balong panggang	Mantup	Menganti	Ngimbang	Pule Kidul	Bluluk	Terusan	Sememi	Mangunan	Stasiun Pembanding	Stasiun
2003	85	69	54	116	79	100	60	143	140	133	98	117	85	100,818	100,818
2004	103	77	65	90	89	113	85	82	116	64	130	79	188	90,000	190,818
2005	103	84	43	67	101	175	67	61	94	97	88	90	291	87,909	278,727
2006	79	150	120	115	115	156	75	103	106	77	81	130	370	111,636	390,364
2007	103	70	58	79	63	98	67	84	100	52	89	97	473	77,909	468,273
2008	103	76	74	76	78	139	52	82	110	116	108	120	576	93,727	562,000
2009	103	85	88	84	87	110	97	94	110	61	136	78	679	93,636	655,636
2010	160	103	111	90	114	105	76	156	164	105	99	127	839	113,636	769,273
2011	125	103	108	89	153	100	73	119	149	92	101	79	964	106,000	875,273
2012	125	72	75	60	70	63	22	64	105	92	90	82	1089	72,273	947,545
2013	102	93	110	98	109	55	128	83	130	96	75	98	1191	97,727	1045,273
2014	103	112	150	127	85	79	130	81	125	137	90	104	1294	110,909	1156,182

GRAFIK UJI KONSISTENSI STASIUN MANGUNAN



4.3 Perbaikan Data Curah Hujan dengan Metode Lengkung Massa Ganda

Dari grafik yang telah ditunjukkan, terlihat ada kemiringan yang terjadi antara grafik aktual dengan garis linear. Karena ada perbedaan tersebut, maka perlu dilakukan koreksi dengan menggunakan metode lengkung massa ganda. Langkah-langkah untuk mengoreksi data curah hujan menggunakan metode lengkung massa ganda:

1. Menghitung nilai $\tan \alpha$:

$$\tan \alpha = \frac{\text{nilai komulatif sta.uji tahun (n)} - \text{nilai komulatif sta.uji tahun (n-1)}}{\text{nilai komulatif sta.pembanding tahun (n)} - \text{nilai komulatif sta.pembanding tahun (n-1)}}$$

2. Menghitung nilai $\tan \beta$:

$$\tan \beta = \frac{\text{nilai komulatif sta.uji tahun (n-1)} - \text{nilai komulatif sta.uji tahun (n=1)}}{\text{nilai komulatif sta.pembanding tahun (n-1)} - \text{nilai komulatif sta.pembanding tahun (n=1)}}$$

3. Menghitung nilai C:

$$C = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha}$$

4. Menghitung nilai curah hujan yang terkoreksi:

$$\text{nilai terkoreksi} = C \times \text{nilai curah hujan awal}$$

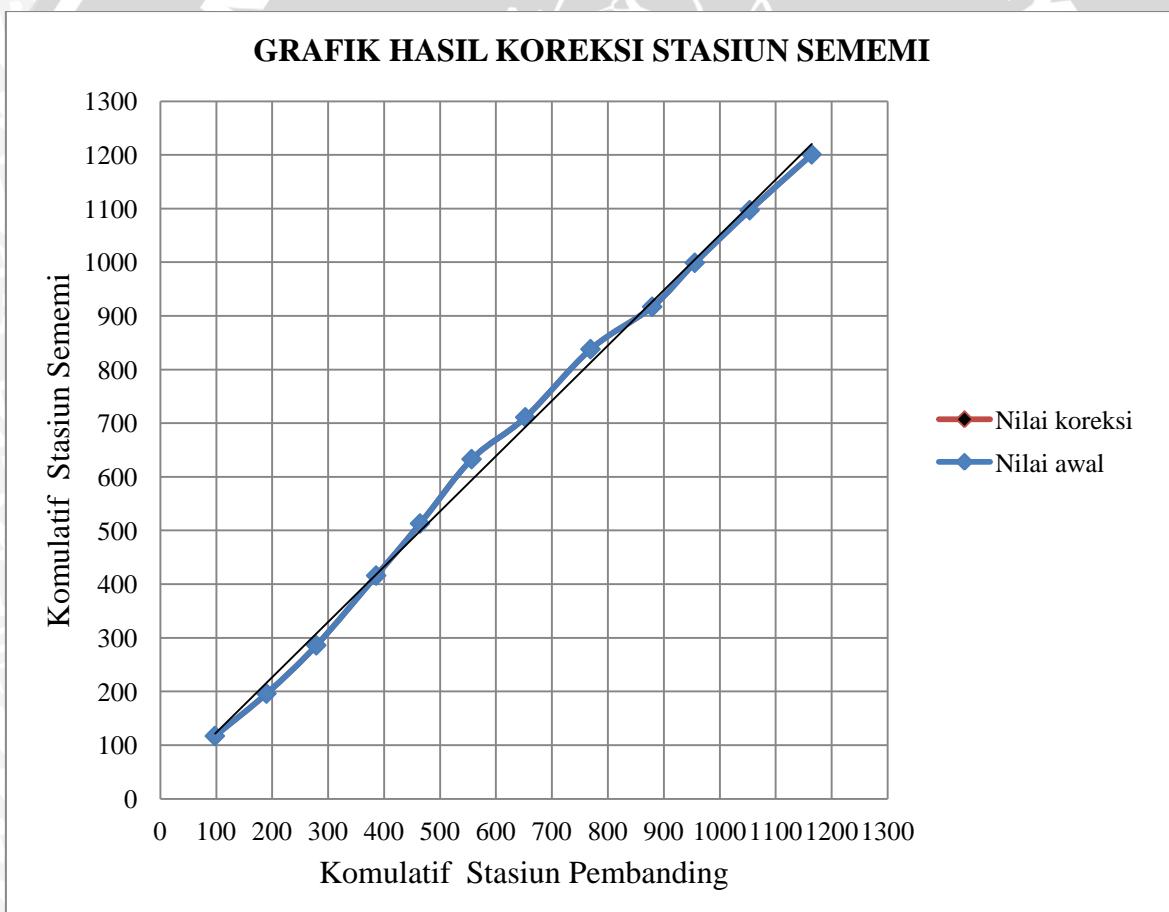
5. Menghitung nilai curah hujan komulatif dari nilai curah hujan yang sudah terkoreksi

Nilai curah hujan yang telah dikoreksi menggunakan metode lengkung massa ganda dapat dilihat pada tabel 4.14 hingga 4.25.



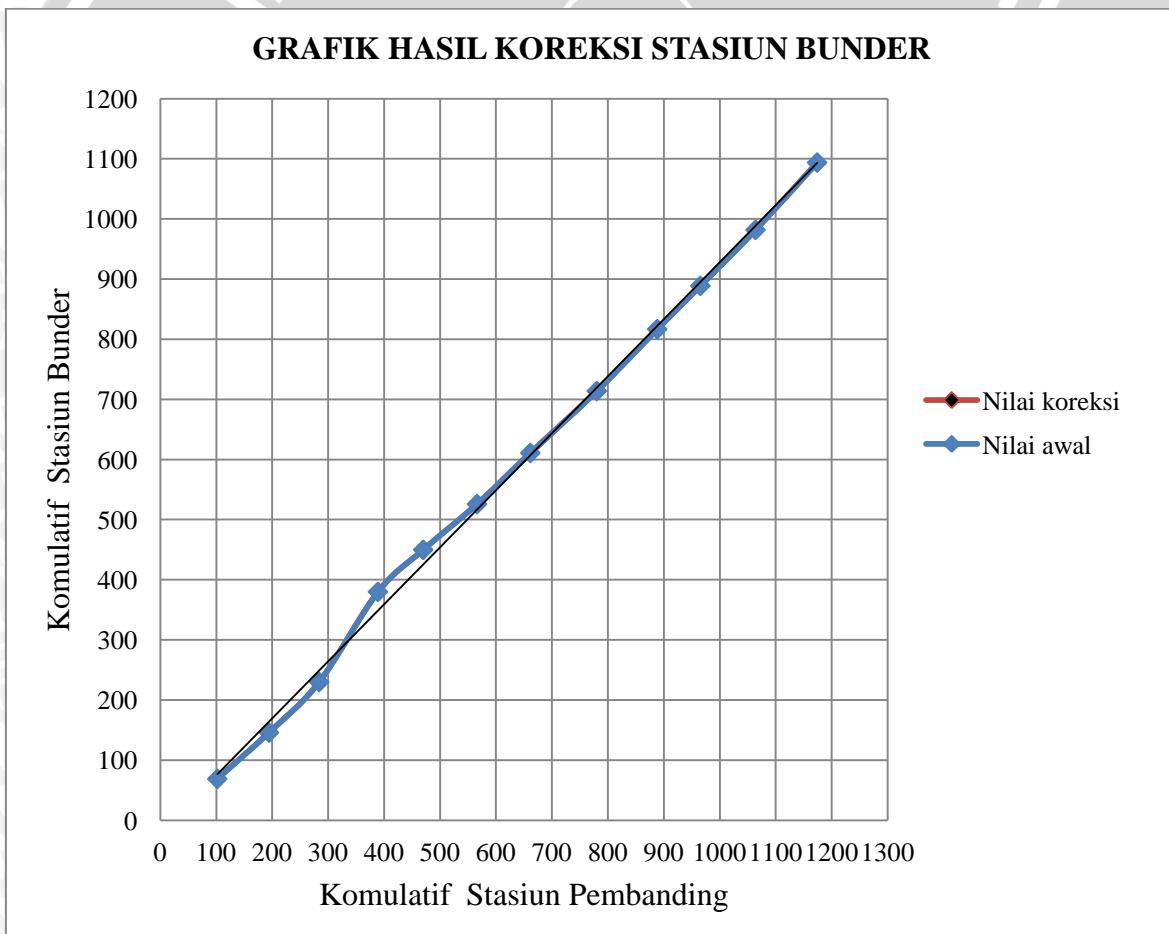
Tabel 4.14 Nilai koreksi curah hujan Sta. Sememi

Komulatif Sememi	Rata2 Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding	tan α	tan β	C	Stasiun Sememi Terkoreksi	Komulatif Sememi Terkoreksi
117	97,909	97,909			1	117	117
196	92,182	190,091			1	79	196
286	89,091	279,182			1	90	286
416	107,000	386,182			1	130	416
513	78,455	464,636			1	97	513
633	92,182	556,818			1	120	633
711	95,909	652,727			1	78	711
838	116,636	769,364			1	127	838
917	110,182	879,545			1	79	917
999	76,182	955,727			1	82	999
1097	98,091	1053,818			1	98	1097
1201	110,818	1164,636			1	104	1201



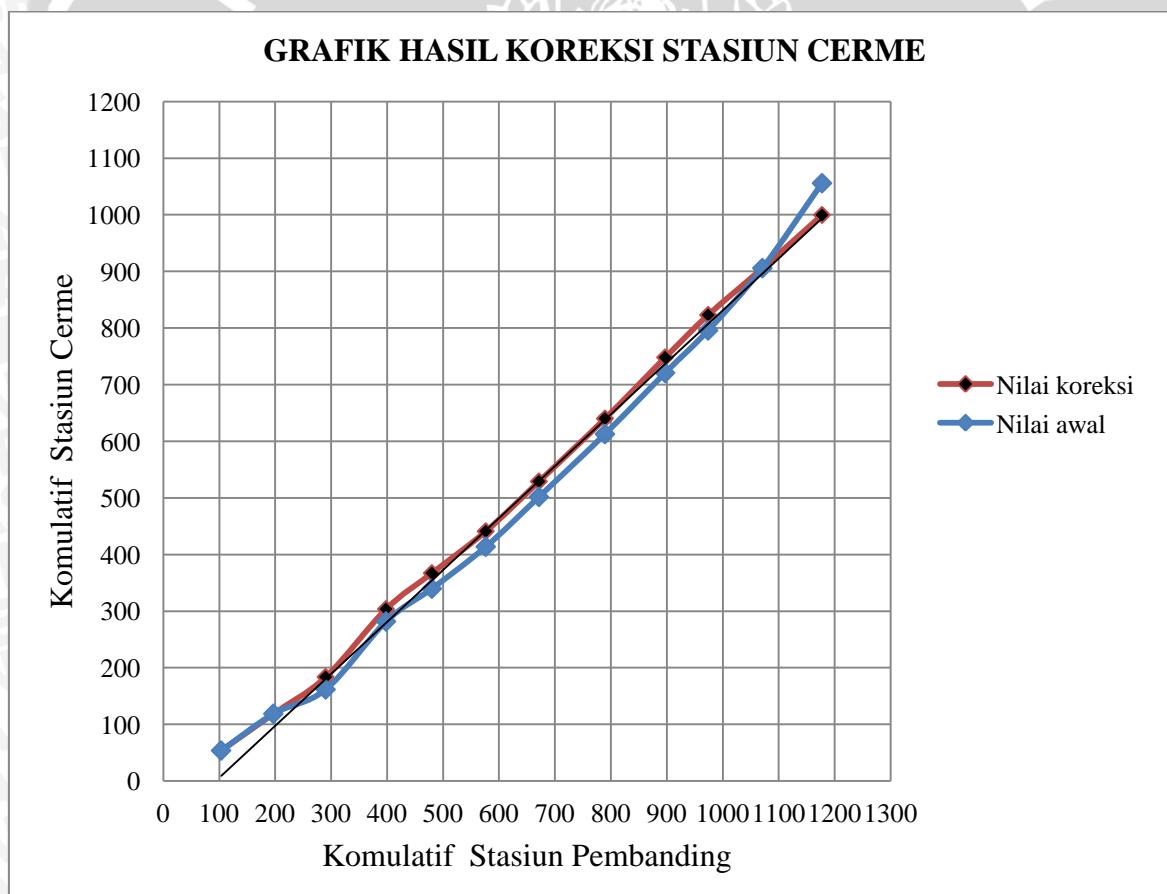
Tabel 4.15 Nilai koreksi curah hujan Sta. Bunder

Komulatif Bunder	Rata2 Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding	tan α	tan β	C	Stasiun Bunder Terkoreksi	Komulatif Bunder Terkoreksi
69	102,273	102,273			1	69	69
146	92,364	194,636			1	77	146
230	89,636	284,273			1	84	230
380	105,182	389,455			1	150	380
450	80,909	470,364			1	70	450
526	96,182	566,545			1	76	526
611	95,273	661,818			1	85	611
714	118,818	780,636			1	103	714
817	108,000	888,636			1	103	817
889	77,091	965,727			1	72	889
982	98,545	1064,273			1	93	982
1094	110,091	1174,364			1	112	1094



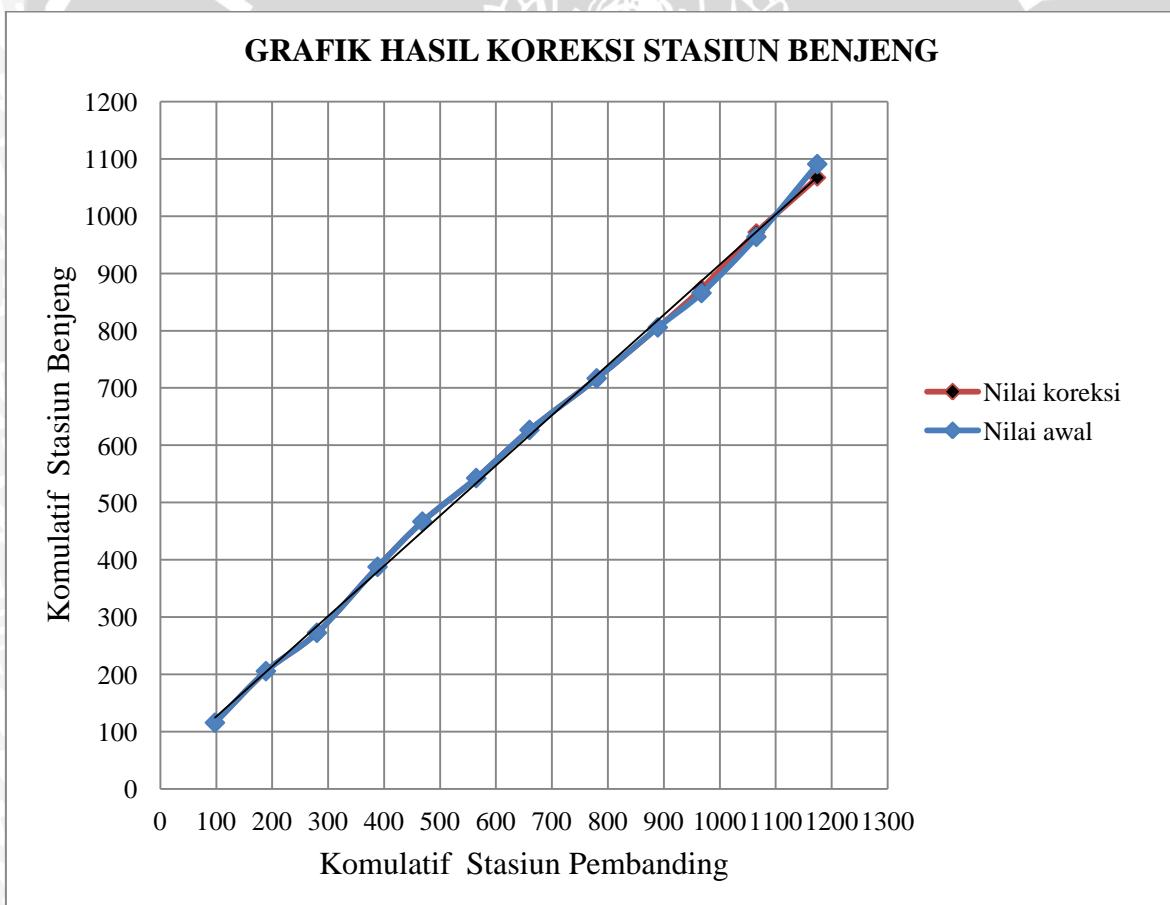
**Tabel 4.16 Nilai koreksi curah hujan Sta. Cerme**

Komulatif Cerme	Rata2 Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding	tan α tan β C			Stasiun Cerme Terkoreksi	Komulatif Cerme Terkoreksi
54	103,636	103,636				1	54
119	93,455	197,091				1	65
162	93,364	290,455	0,461	0,696	1,510	64,937	183,937
282	107,909	398,364				1	120
340	82,000	480,364	0,707	0,774	1,094	63,435	367,372
414	96,364	576,727				1	74
502	95,000	671,727				1	88
613	118,091	789,818				1	111
721	107,545	897,364				1	108
796	76,818	974,182				1	75
906	97,000	1071,182	1,134	0,852	0,752	82,677	906,049
1056	106,636	1177,818	1,407	0,881	0,626	93,902	999,950



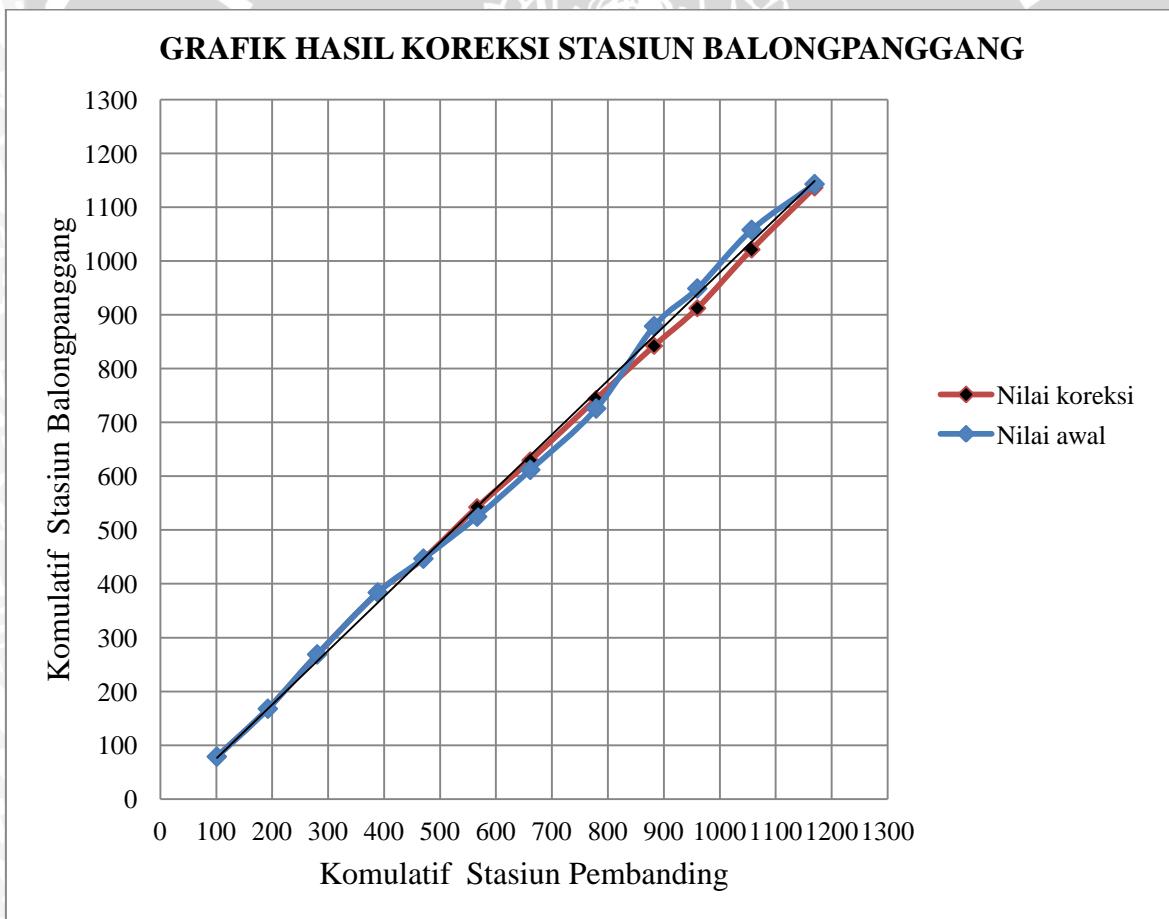
Tabel 4.17 Nilai koreksi curah hujan Sta. Benjeng

Komulatif Benjeng	Rata2 Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding	tan α	tan β	C	Stasiun Benjeng Terkoreksi	Komulatif Benjeng Terkoreksi
116	98,000	98,000			1	116	116
206	91,182	189,182			1	90	206
273	91,182	280,364			1	67	273
388	108,364	388,727			1	115	388
467	80,091	468,818			1	79	467
543	96,182	565,000			1	76	543
627	95,364	660,364			1	84	627
717	120,000	780,364			1	90	717
806	109,273	889,636			1	89	806
866	78,182	967,818	0,767	0,872	1,136	68,144	874,144
964	98,091	1065,909			1	98	972,144
1091	108,727	1174,636	1,168	0,876	0,750	95,258	1067,402



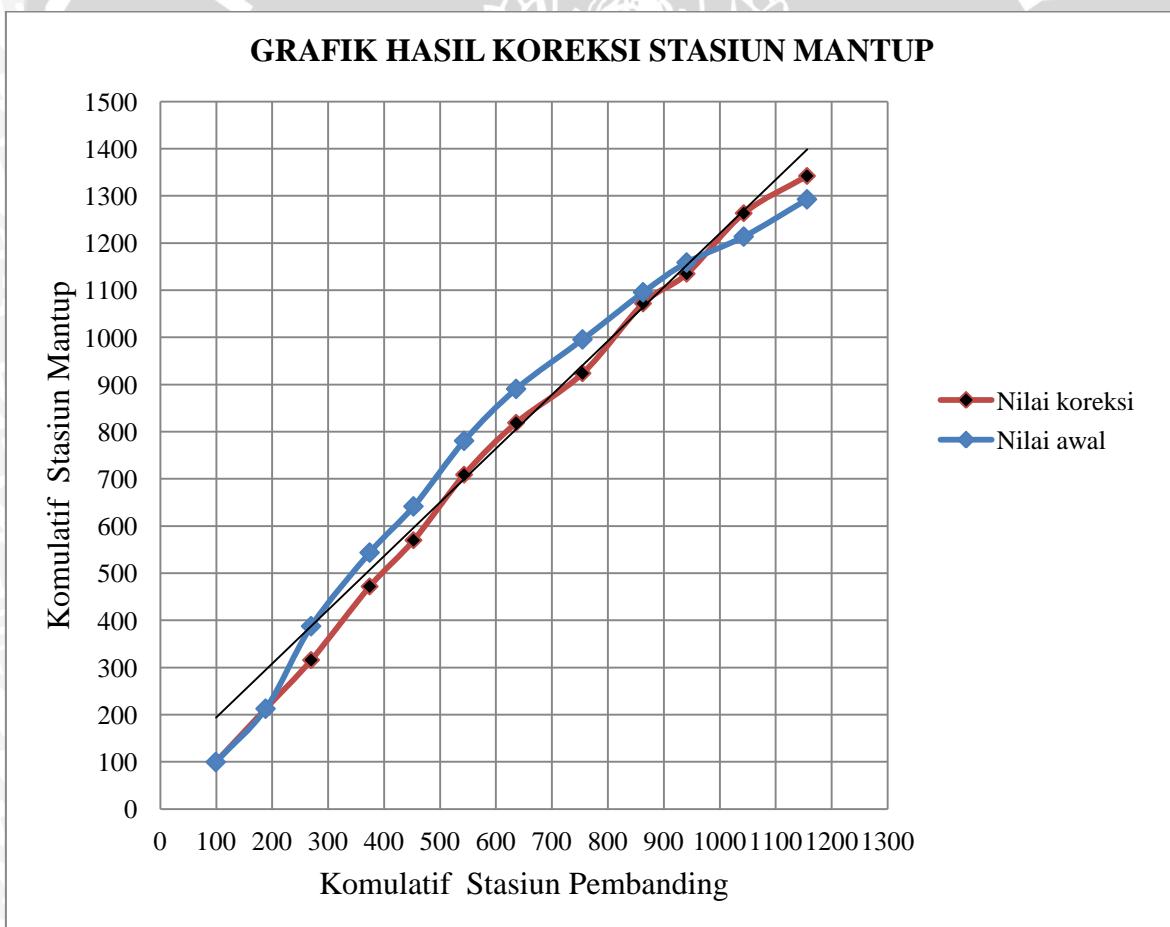
Tabel 4.18 Nilai koreksi curah hujan Sta. Balongpanggang

Komulatif Balongpanggang	Rata2 Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding	tan α	tan β	C	Stasiun Balongpanggang Terkoreksi	Komulatif Balongpanggang Terkoreksi
79	101,364	101,364			1	79	79
168	91,273	192,636			1	89	168
269	88,091	280,727			1	101	269
384	108,364	389,091			1	115	384
447	81,545	470,636			1	63	447
525	96,000	566,636	0,813	0,997	1,227	95,669	542,669
612	95,091	661,727			1	87	629,669
726	117,818	779,545			1	114	743,669
879	103,455	883,000	1,479	0,954	0,645	98,698	842,367
949	77,273	960,273			1	70	912,367
1058	97,091	1057,364			1	109	1021,367
1143	112,545	1169,909	0,755	1,024	1,356	115,253	1136,620



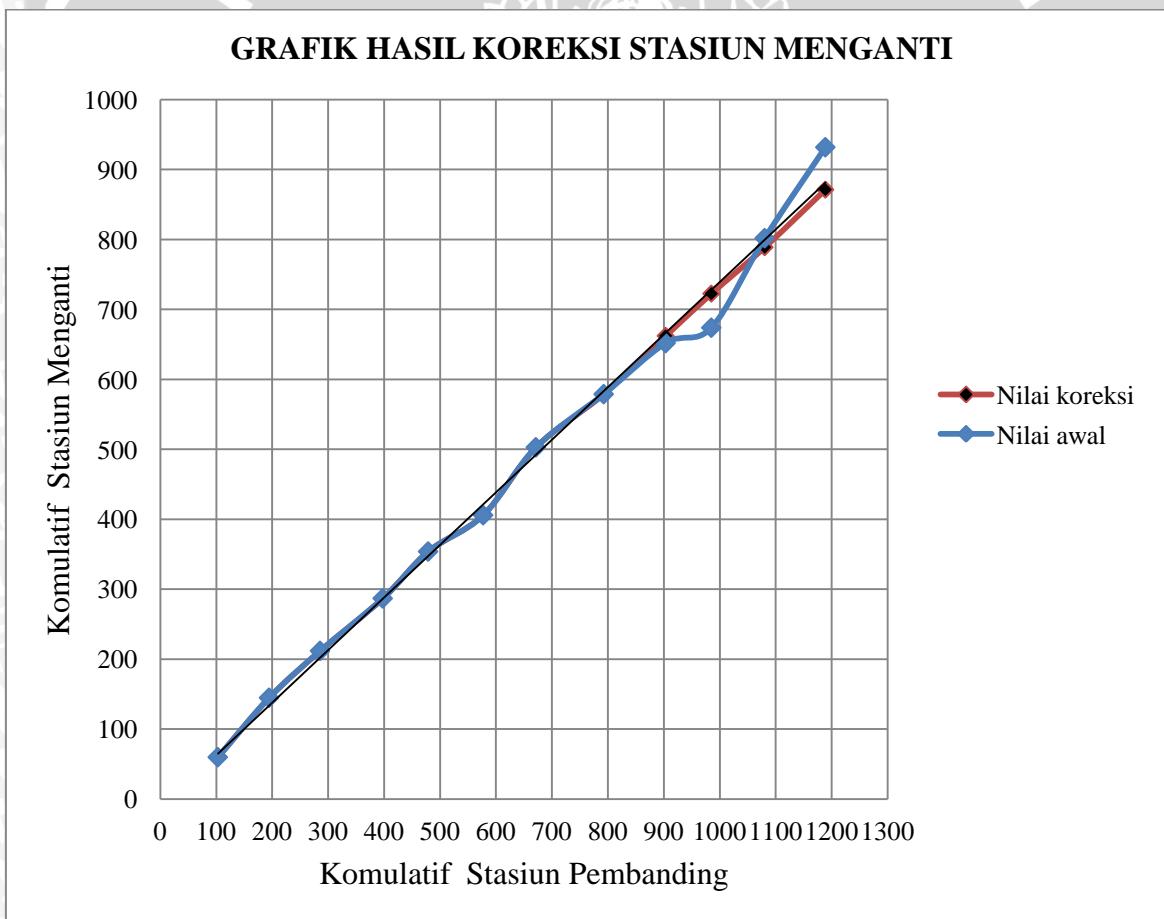
Tabel 4.19 Nilai koreksi curah hujan Sta. Mantup

Komulatif Mantup	Rata2 Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding	tan α	tan β	C	Stasiun Mantup Terkoreksi	Komulatif Mantup Terkoreksi
100	99,455	99,455			1	100	100
213	89,091	188,545			1	113	213
388	81,364	269,909	2,151	1,268	0,590	103,199	316,199
544	104,636	374,545			1	156	472,199
642	78,364	452,909			1	98	570,199
781	90,455	543,364			1	139	709,199
891	93,000	636,364			1	110	819,199
996	118,636	755,000			1	105	924,199
1096	108,273	863,273	0,924	1,367	1,480	147,987	1072,186
1159	77,909	941,182			1	63	1135,186
1214	102,000	1043,182	0,539	1,258	2,333	128,329	1263,515
1293	113,091	1156,273			1	79,000	1342,515



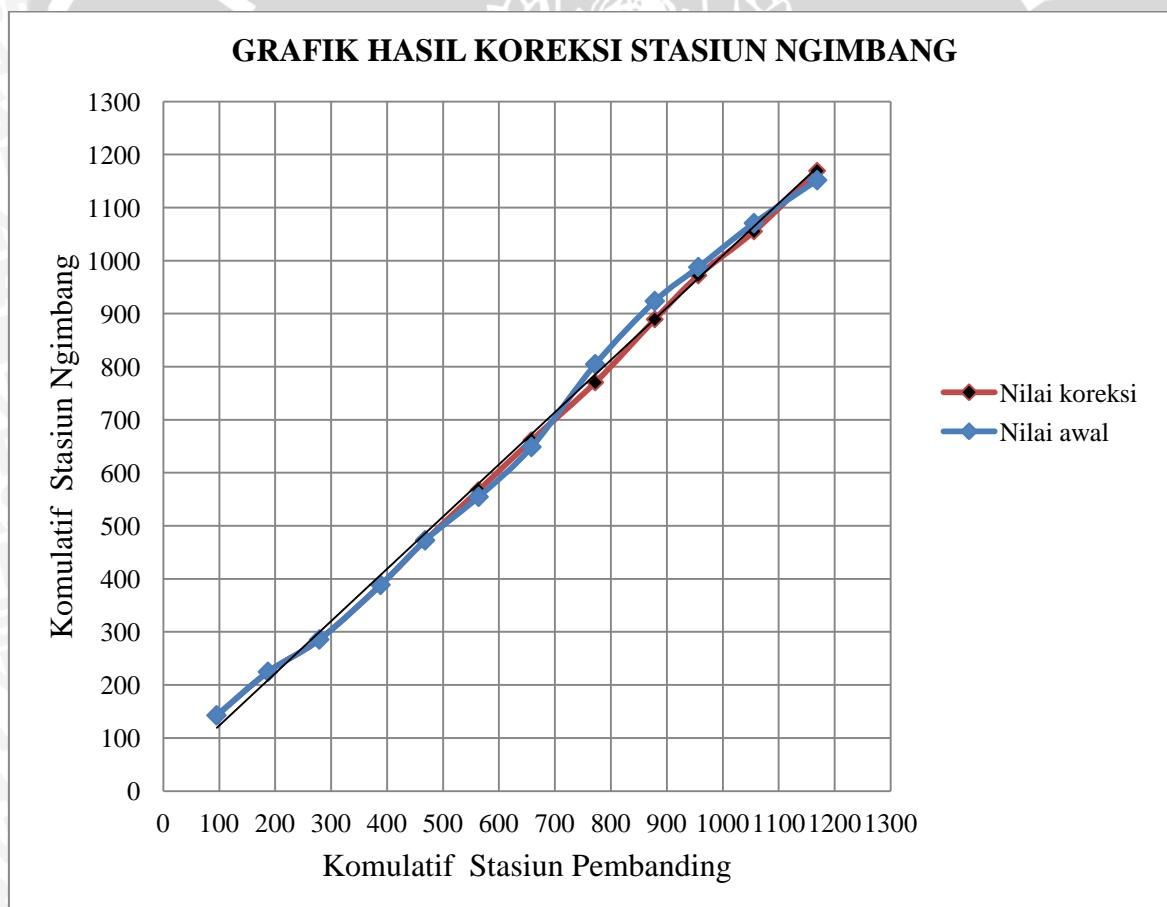
Tabel 4.20 Nilai koreksi curah hujan Sta. Menganti

Komulatif Menganti	Rata2 Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding	tan α	tan β	C	Stasiun Menganti Terkoreksi	Komulatif Menganti Terkoreksi
60	103,091	103,091			1	60	60
145	91,636	194,727			1	85	145
212	91,182	285,909			1	67	212
287	112,000	397,909			1	75	287
354	81,182	479,091			1	67	354
406	98,364	577,455			1	52	406
503	94,182	671,636			1	97	503
579	121,273	792,909			1	76	579
652	110,727	903,636	0,659	0,752	1,141	83,308	662,308
674	81,636	985,273	0,269	0,739	2,744	60,370	722,678
802	95,364	1080,636	1,342	0,696	0,519	66,373	789,051
932	108,455	1189,091	1,199	0,759	0,633	82,322	871,373



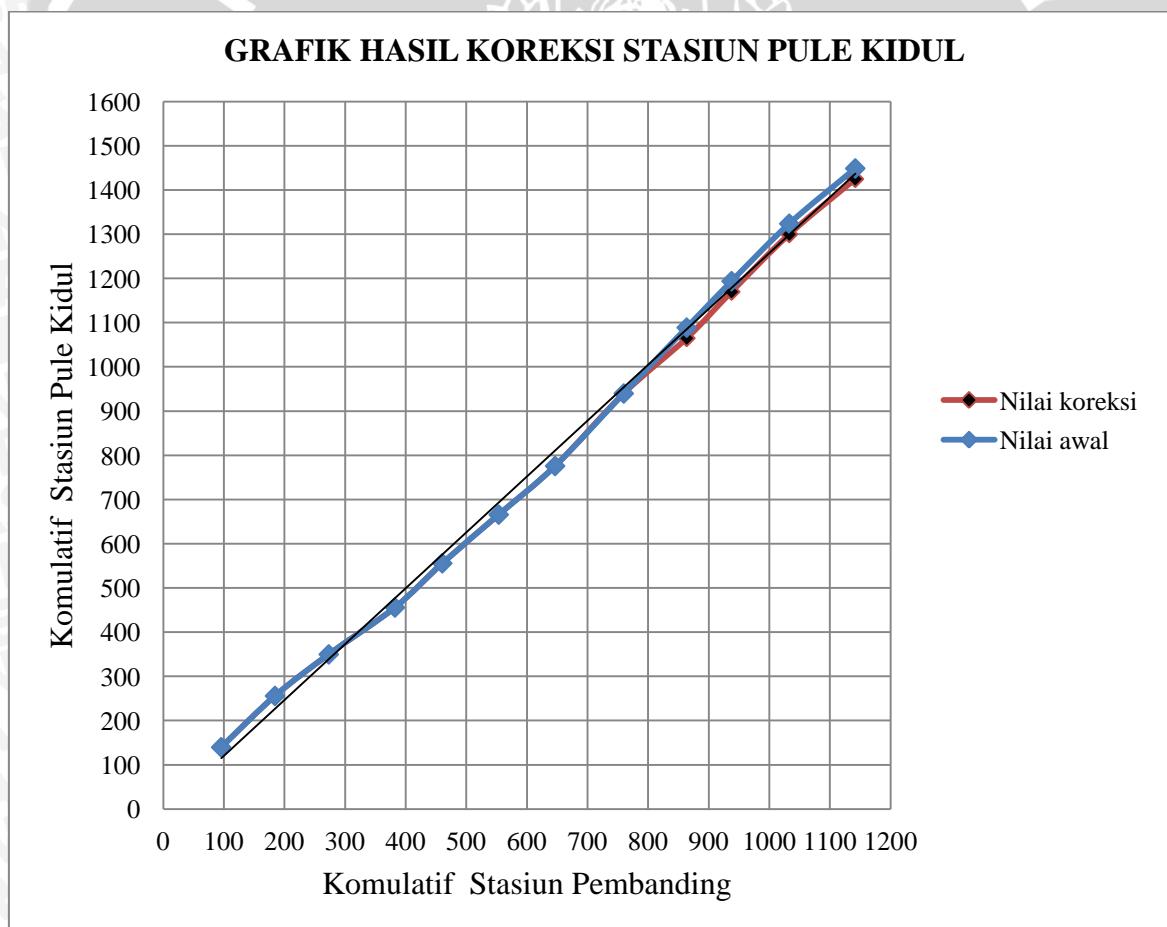
**Tabel 4.21 Nilai koreksi curah hujan Sta. Ngimbang**

Komulatif Ngimbang	Rata2 Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding	tan α	tan β	C	Stasiun Terkoreksi Ngimbang	Komulatif Ngimbang Terkoreksi
143	95,545	95,545			1	143	143
225	91,909	187,455			1	82	225
286	91,727	279,182			1	61	286
389	109,455	388,636			1	103	389
473	79,636	468,273			1	84	473
555	95,636	563,909	0,857	0,989	1,153	94,579	567,579
649	94,455	658,364			1	94	661,579
805	114,000	772,364	1,368	0,957	0,700	109,135	770,714
924	106,545	878,909			1	119	889,714
988	77,818	956,727	0,822	1,064	1,294	82,784	972,498
1071	99,455	1056,182			1	83	1055,498
1152	112,909	1169,091	0,717	1,010	1,408	114,072	1169,570



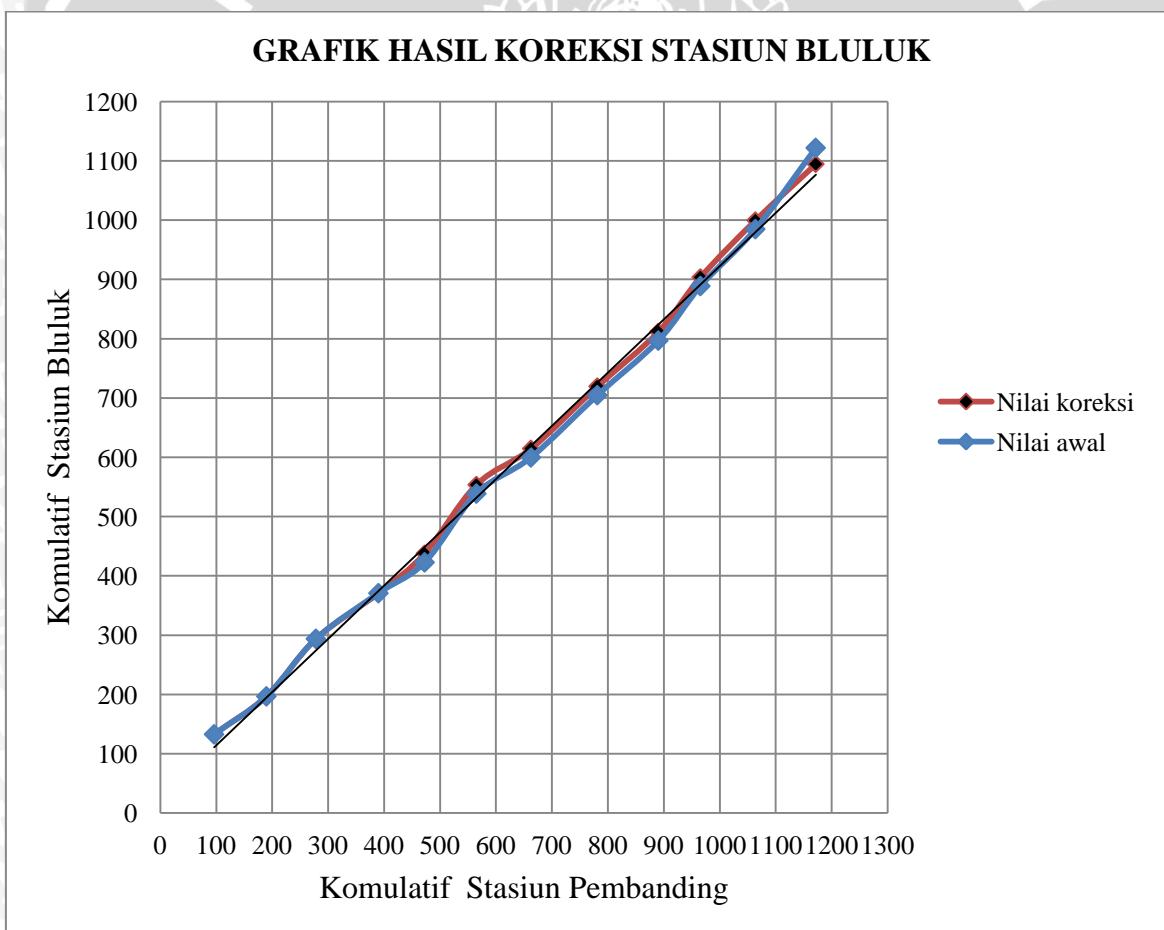
Tabel 4.22 Nilai koreksi curah hujan Sta. Pule Kidul

Komulatif Pule Kidul	Rata2 Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding	tan α	tan β	C	Stasiun Pule Kidul Terkoreksi	Komulatif Pule Kidul Terkoreksi
140	95,818	95,818			1	140	140
256	88,818	184,636			1	116	256
350	88,727	273,364			1	94	350
456	109,182	382,545			1	106	456
556	78,182	460,727			1	100	556
666	93,091	553,818			1	110	666
776	93,000	646,818			1	110	776
940	113,273	760,091			1	164	940
1089	103,818	863,909	1,435	1,204	0,839	125,031	1065,031
1194	74,091	938,000			1	105	1170,031
1324	95,182	1033,182			1	130	1300,031
1449	108,909	1142,091			1	125	1425,031



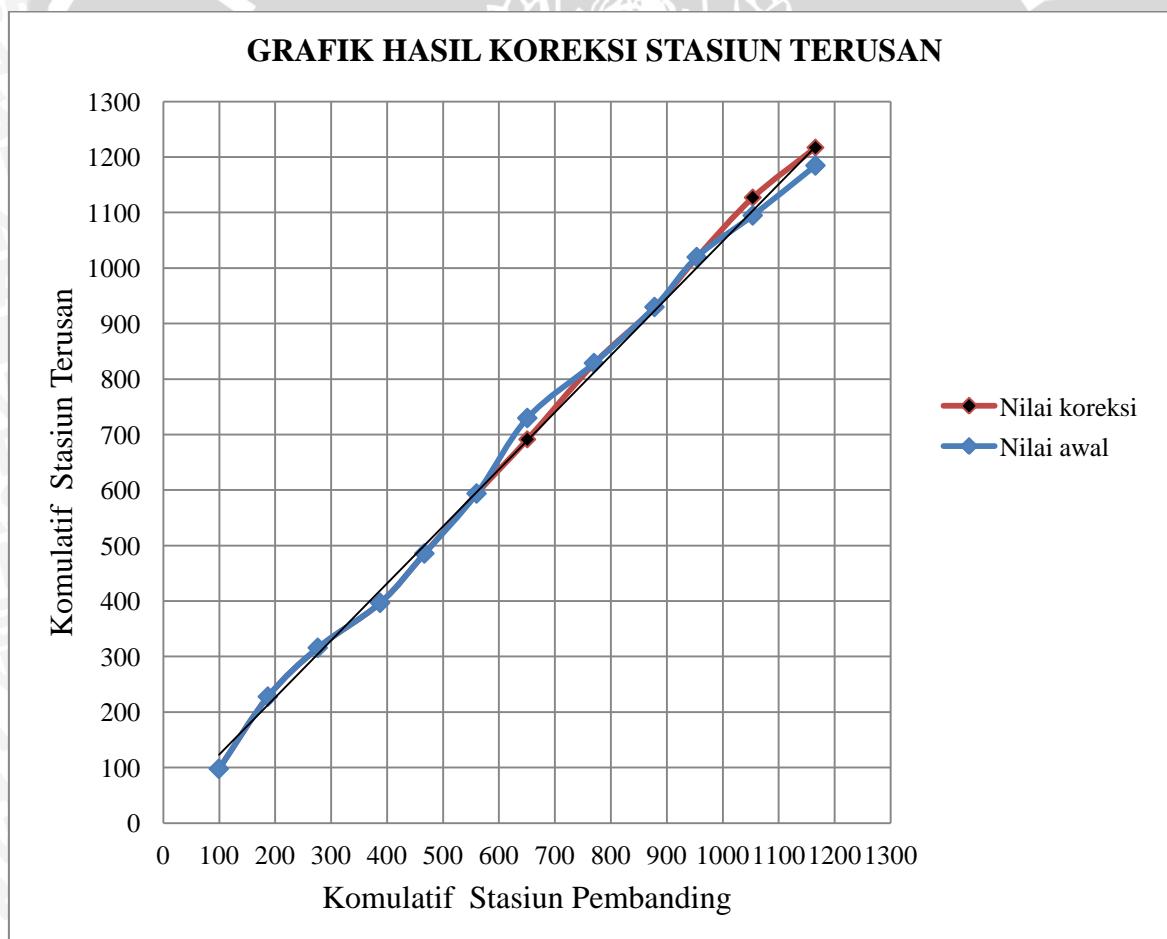
Tabel 4.23 Nilai koreksi curah hujan Sta. Bluluk

Komulatif Bluluk	Rata2 Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding	tan α	tan β	C	Stasiun Bluluk Terkoreksi	Komulatif Bluluk Terkoreksi
133	96,455	96,455			1	133	133
197	93,545	190,000			1	64	197
294	88,455	278,455			1	97	294
371	111,818	390,273			1	77	371
423	82,545	472,818	0,630	0,810	1,286	66,864	437,864
539	92,545	565,364			1	116	553,864
600	97,455	662,818			1	61	614,864
705	118,636	781,455			1	105	719,864
797	109,000	890,455			1	92	811,864
889	75,273	965,727			1	92	903,864
985	98,273	1064,000			1	96	999,864
1122	107,818	1171,818	1,271	0,881	0,693	94,942	1094,806



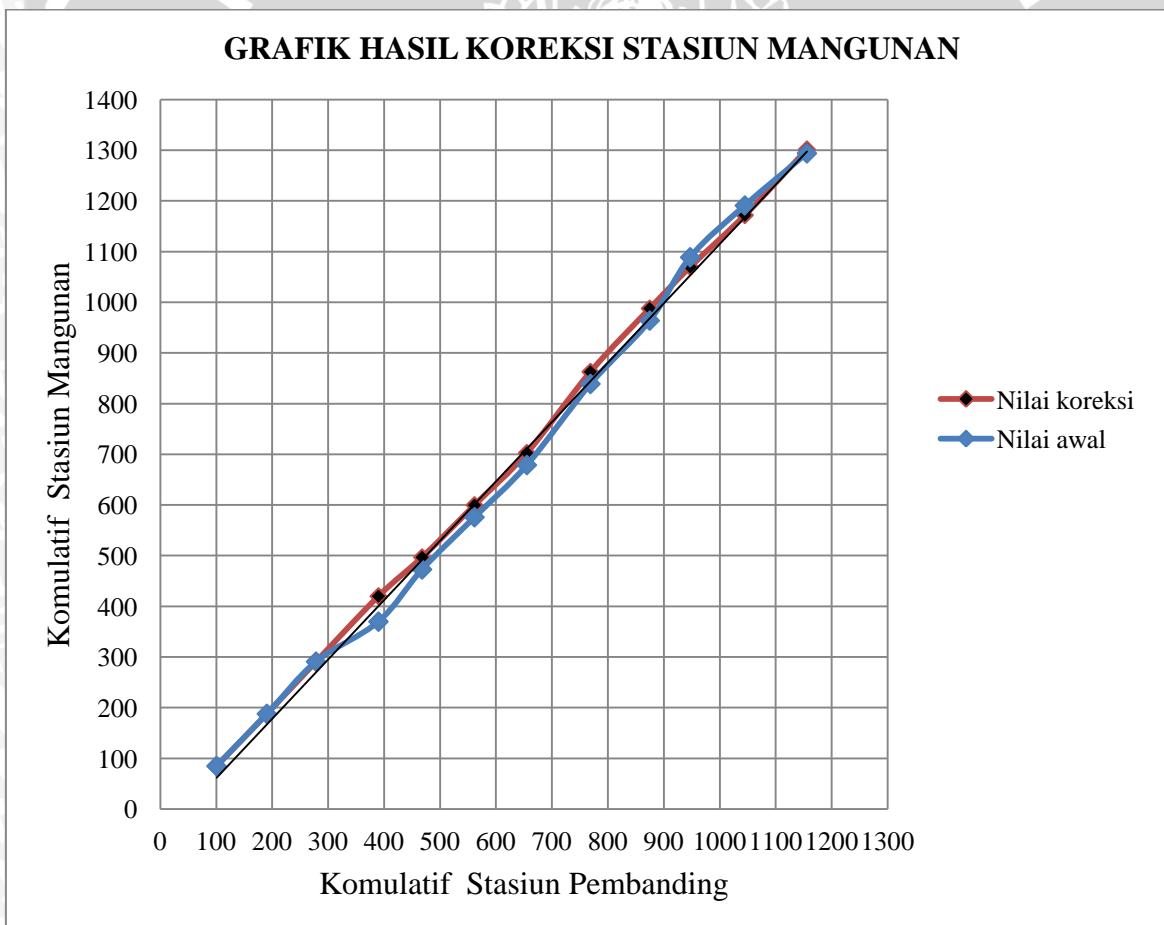
Tabel 4.24 Nilai koreksi curah hujan Sta. Terusan

Komulatif Terusan	Rata2 Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding	tan α	tan β	C	Stasiun Terusan Terkoreksi	Komulatif Terusan Terkoreksi
98	99,636	99,636			1	98	98
228	87,545	187,182			1	130	228
316	89,273	276,455			1	88	316
397	111,455	387,909			1	81	397
486	79,182	467,091			1	89	486
594	93,273	560,364			1	108	594
730	90,636	651,000	1,501	1,077	0,717	97,575	691,575
829	119,182	770,182	0,831	1,146	1,380	136,612	828,187
930	108,182	878,364			1	101	929,187
1020	75,455	953,818			1	90	1019,187
1095	100,182	1054,000	0,749	1,079	1,442	108,136	1127,323
1185	112,091	1166,091			1	90	1217,323



Tabel 4.25 Nilai koreksi curah hujan Sta. Mangunan

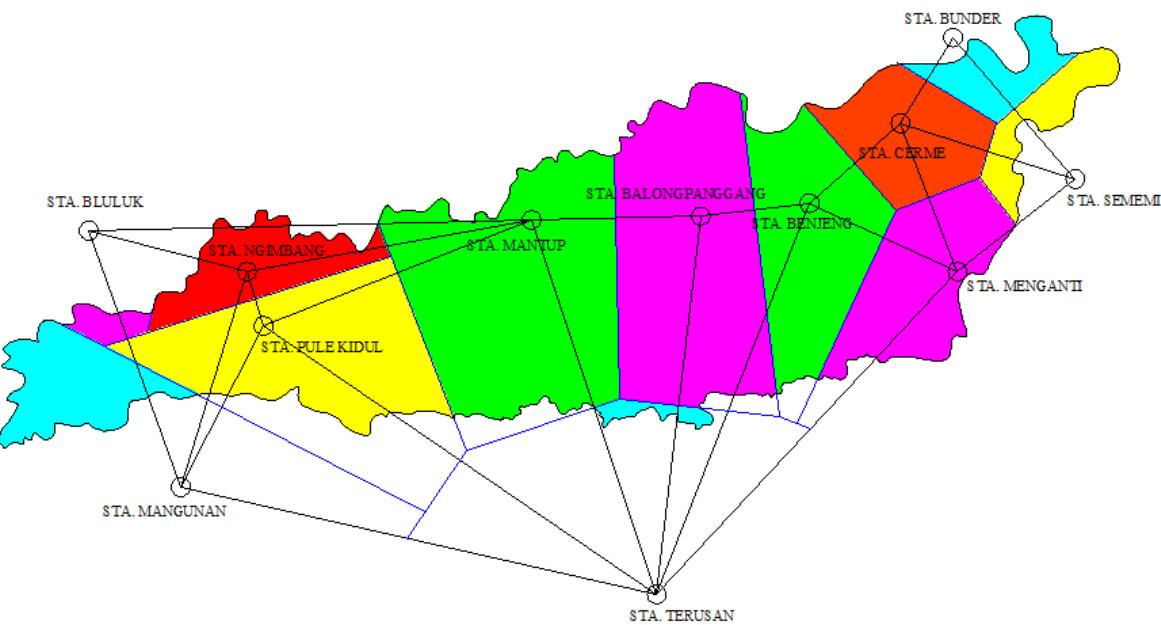
Komulatif Mangunan	Rata2 Stasiun Pembanding	Komulatif Stasiun Pembanding	tan α tan β C			Stasiun Mangunan Terkoreksi	Komulatif Mangunan Terkoreksi
85	100,818	100,818				1	85
188	90,000	190,818				1	103
291	87,909	278,727				1	103
370	111,636	390,364	0,708	1,158	1,636	129,263	420,263
473	77,909	468,273	1,322	0,984	0,745	76,686	496,949
576	93,727	562,000				1	103
679	93,636	655,636				1	103
839	113,636	769,273				1	160
964	106,000	875,273				1	125
1089	72,273	947,545	1,730	1,135	0,656	82,029	1069,978
1191	97,727	1045,273				1	102
1294	110,909	1156,182	0,929	1,171	1,261	129,880	1301,858



4.4 Perhitungan Nilai Hujan Maksimum

Nilai curah hujan yang sudah dikoreksi dengan metode lengkung massa ganda akan digunakan untuk menghitung nilai hujan maksimum per tahunnya. Untuk menghitung nilai hujan maksimum diperlukan nilai bobot daerah yang bisa didapatkan melalui metode thiessen. Pembagian wilayah DAS per stasiun dapat dilihat dari gambar 4.1.

Gambar 4.1 Pembagian wilayah stasiun dengan metode thiessen



Kemudian dari gambar diatas, dicari luas masing-masing wilayah. Dari luas yang telah ditemukan, dihitung nilai koefisien per wilayah stasiun. Tabel yang menunjukkan wilayah masing-masing stasiun dapat dilihat pada tabel 4.26

Tabel 4.26 Luas dan bobot tiap wilayah

STASIUN	LUAS (unit)	LUAS (km ²)	KOEFISIEN
Sememi	3,379	21,62394	0,03058
Bunder	3,921	25,09247	0,03548
Cerme	7,6678	49,07015	0,06939
Benjeng	12,5952	80,60309	0,11399
Balongpanggang	20,7361	132,70085	0,18766
Mantup	22,5829	144,51946	0,20437
Menganti	9,6259	61,60103	0,08711
Ngimbang	6,1519	39,36914	0,05567
Pule Kidul	15,374	98,38604	0,13913
Bluluk	1,3721	8,78077	0,01242
Terusan	0,9259	5,92530	0,00838
Mangunan	6,1662	39,46065	0,05580
Σ	110,49800	707,13289	1,000000

Dari bobot wilayah yang telah didapatkan, maka bisa dihitung nilai hujan maksimum. Nilai hujan maksimum tiap tahun dapat dilihat pada tabel 4.27.

Tabel 4.27 Nilai Hujan Maksimum

TAHUN	STASIUN												HUJAN MAKSIMUM (mm)
	Sememi	Bunder	Cerme	Benjeng	Balong panggang	Mantup	Menganti	Ngimbang	Pule Kidul	Bluluk	Terusan	Mangunan	
BOBOT →	0,03058	0,03548	0,06939	0,11399	0,18766	0,20437	0,08711	0,05567	0,13913	0,01242	0,00838	0,01242	(mm)
2003	117,000	69,000	54,000	116,000	79,000	100,000	60,000	143,000	140,000	133,000	98,000	85,000	94,454
2004	79,000	77,000	65,000	90,000	89,000	113,000	85,000	82,000	116,000	64,000	130,000	103,000	90,986
2005	90,000	84,000	64,937	67,000	101,000	103,199	67,000	61,000	94,000	97,000	88,000	103,000	83,453
2006	130,000	150,000	120,000	115,000	115,000	156,000	75,000	103,000	106,000	77,000	81,000	129,263	114,453
2007	97,000	70,000	63,435	79,000	63,000	98,000	67,000	84,000	100,000	66,864	89,000	76,686	77,663
2008	120,000	76,000	74,000	76,000	95,669	139,000	52,000	94,579	110,000	116,000	108,000	103,000	95,250
2009	78,000	85,000	88,000	84,000	87,000	110,000	97,000	94,000	110,000	61,000	97,575	103,000	91,733
2010	127,000	103,000	111,000	90,000	114,000	105,000	76,000	109,135	164,000	105,000	136,612	160,000	108,302
2011	79,000	103,000	108,000	89,000	98,698	147,987	83,308	119,000	125,031	92,000	101,000	125,000	107,296
2012	82,000	72,000	75,000	68,144	70,000	63,000	60,370	82,784	105,000	92,000	90,000	82,029	71,438
2013	98,000	93,000	82,677	98,000	109,000	128,329	66,373	83,000	130,000	96,000	108,136	102,000	101,742
2014	104,000	112,000	93,902	95,258	115,253	79,000	82,322	114,072	125,000	94,942	90,000	129,880	96,763

4.5 Pemilihan Jenis Sebaran

Dari nilai hujan maksimum yang telah diperoleh, kemudian dipilih metode untuk jenis sebaran. Dalam hidrologi, ada beberapa pilihan jenis sebaran data yang dapat digunakan, yaitu:

1. Distribusi Normal
2. Distribusi Log Normal
3. Distribusi Log Pearson III
4. Distribusi Gumbel

Dari sekian banyak jenis sebaran perlu dihitung dan dipilih salah satu jenis sebaran, dan perhitungan pemilihan jenis sebaran dapat dilihat pada tabel 4.28.

Tabel 4.28 Perhitungan Pemilihan Jenis Sebaran

Tahun	Hujan Max. (X_i)	$X_i - X$	$(X_i - X)^2$	$(X_i - X)^3$	$(X_i - X)^4$
2003	94,454	-0,007	0,000	0,000	0,000
2004	90,986	-3,475	12,077	-41,968	145,843
2005	83,453	-11,008	121,173	-1333,863	14683,001
2006	114,453	19,992	399,679	7990,378	159743,454
2007	77,663	-16,798	282,170	-4739,857	79619,659
2008	95,250	0,789	0,623	0,492	0,388
2009	91,733	-2,728	7,444	-20,312	55,419
2010	108,302	13,841	191,582	2651,754	36703,803
2011	107,296	12,835	164,729	2114,249	27135,726
2012	71,438	-23,023	530,045	-12203,071	280947,735
2013	101,742	7,281	53,011	385,965	2810,158
2014	96,763	2,301	5,297	12,190	28,055
Jumlah	1133,533	0,000	1767,830	-5184,043	601873,242

Dari data perhitungan jenis sebaran di atas dapat menghitung persamaan-persamaan yang digunakan untuk mencari koefisien distribusi.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{133,533}{12} = 94.461$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{1767,830}{12 - 1}} = 12.677$$

$$Cv = \frac{S}{x} = \frac{12,677}{94,461} = 0.314$$

$$Cs = \frac{n \cdot \sum(x - \bar{x})^3}{(n - 1)(n - 2)S^3} = \frac{12 \cdot -5184,043}{11 \cdot 10 \cdot 12.677^3} = -0,2766$$

$$Ck = \frac{n^2 \cdot \sum(x - \bar{x})^4}{(n - 1)(n - 2)(n - 3)S^4} = \frac{12^2 \cdot 601873,242}{11 \cdot 10 \cdot 9 \cdot 12.677^4} = 3,390$$

Dari hasil pengamatan yang didapat, maka disimpulkan bahwa distribusi yang digunakan adalah Distribusi Log Pearson Tipe III

4.6 Curah Hujan Rancangan Distribusi *Log Pearson Tipe III*

Berikut ini langkah – langkah penggunaan distribusi Log – Pearson Tipe III:

6. Ubah data ke dalam bentuk logaritmis, $X_i = \log X_i$

Tabel 4.29 Perhitungan Pemilihan Jenis Sebaran

Tahun	Hujan Max. (X_i)	$\log X_i$	$\log X_i - \bar{\log X}$	$(\log X_i - \bar{\log X})^2$	$(\log X_i - \bar{\log X})^3$
2003	94,454	1,975218	0,003699	0,000014	0,000000
2004	90,986	1,958974	-0,012545	0,000157	-0,000002
2005	83,453	1,921443	-0,050076	0,002508	-0,000126
2006	114,453	2,058627	0,087108	0,007588	0,000661
2007	77,663	1,890215	-0,081304	0,006610	-0,000537
2008	95,250	1,978866	0,007348	0,000054	0,000000
2009	91,733	1,962524	-0,008995	0,000081	-0,000001
2010	108,302	2,034638	0,063119	0,003984	0,000251
2011	107,296	2,030583	0,059064	0,003489	0,000206
2012	71,438	1,853931	-0,117587	0,013827	-0,001626
2013	101,742	2,007500	0,035981	0,001295	0,000047
2014	96,763	1,985707	0,014188	0,000201	0,000003
	1133,533	23,658227	0,000000	0,039807	-0,001123

7. Hitung harga rata –rata: $\log X = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n}$

$$\text{Log } X = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} = \frac{23.732021}{12} = 1.977668$$

8. Hitung harga simpangan baku (standar deviasi) = $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log X)^2}{n-1}}$

$$S_{\text{std}} = \sqrt{\frac{\sum (\log X_i - \log X)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0.00341}{11}} = 0.0584$$

9. Hitung koefisien kepencengangan = $C_s = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log X)^3}{(n-1)(n-2)S^3}$

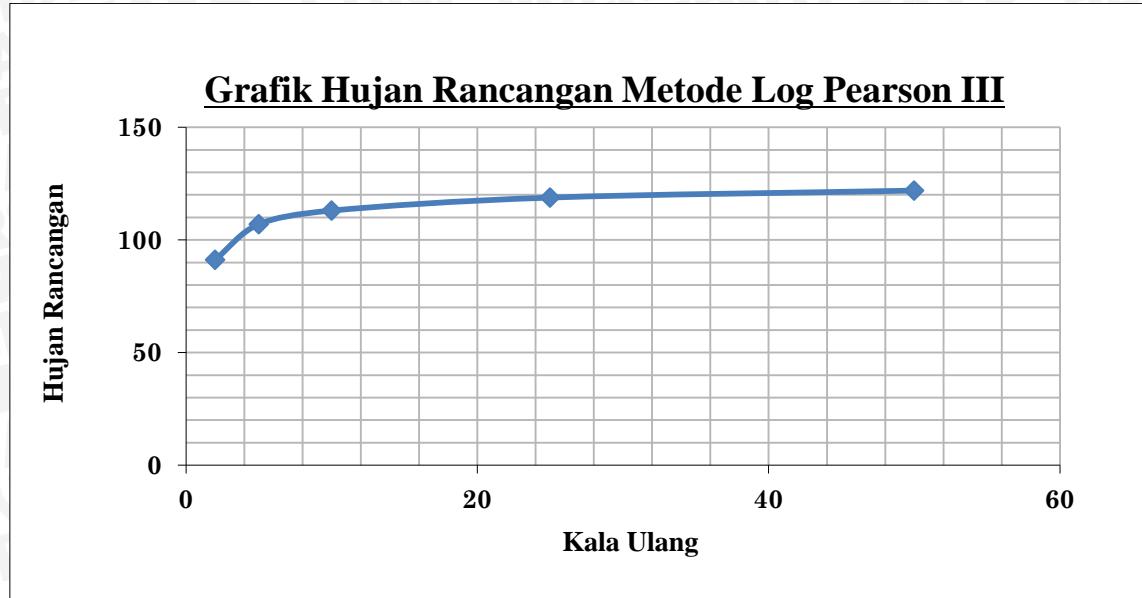
$$C_s = \frac{n \cdot \sum (\log X_i - \log X)^3}{(n-1)(n-2)S^3} = \frac{12 * -(0.001689)}{11 * 10 * (0.0584)^3} = -0.9259$$

10. Hitung logaritma hujan atau banjir dengan periode ulang T pdengan rumus =

$$\log X_t = \log X + K.s$$

Tabel 4.30 Perhitungan Nilai Nilai Xt

No	Tr	Peluang	G	Log Xt	Xt
1	2	50	-0,193	1,960	91,184
2	5	20	0,961	2,029	106,989
3	10	10	1,358	2,053	113,029
4	25	4	1,717	2,075	118,794
5	50	2	1,903	2,086	121,902



4.7 Uji Kesesuaian Distribusi Smirnov - Kolmogorov

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara horizontal antara distribusi empiris dengan teoritis. Langkah-langkah pengujian distribusi adalah sebagai berikut :

- Menyusun data curah hujan maksimum dari yang terbesar hingga terkecil atau sebaliknya
- Menghitung peluang empiris : $P_E = \frac{m}{n+1}$
- Menghitung nilai G dengan interpolasi sesuai dengan peluangnya, untuk $C_s = -0.9259$.
Untuk lengkapnya dapat dilihat pada perhitungan log pearson.
- Menghitung nilai P_T dengan menginterpolasi nilai G.
- Menghitung selisih absolute antara P_T dan P_E , $\Delta = | P_E - P_T |$
- Bandingkan Δ Maks dengan Δ kritis, jika Δ maks < Δ kritis, maka distribusi yang kita lakukan sudah sesuai, jika tidak maka harus digunakan distribusi data lainnya.

Tabel 4.31 Perhitungan Nilai Δ

No.urut	Curah Hujan Harian Max	Log Xi	Log Xi-Log X	(Log Xi-Log X) ²	(Log Xi-Log X) ³	Peluang Empiris $P_E(3X) = m/(n+1)$	Koefisien Frekuensi G	Peluang Teoritis P_T	$\Delta = P_E - P_T $
m	(Xi)								
1	112,363	2,051	0,073	0,00532	0,00039	7,692	1,250	11,803	4,111
2	109,415	2,039	0,061	0,00377	0,00023	15,385	1,052	17,712	2,328
3	108,889	2,037	0,059	0,00352	0,00021	23,077	1,016	18,574	4,503
4	102,813	2,012	0,034	0,00118	0,00004	30,769	0,589	29,677	1,092
5	98,241	1,992	0,015	0,00021	0,00000	38,462	0,250	38,475	0,014
6	98,011	1,991	0,014	0,00019	0,00000	46,154	0,233	38,928	7,226
7	94,454	1,975	-0,002	0,00001	0,00000	53,846	-0,042	44,460	9,386
8	92,369	1,966	-0,012	0,00015	0,00000	61,538	-0,208	50,554	10,984
9	91,670	1,962	-0,015	0,00024	0,00000	69,231	-0,265	52,631	16,600
10	90,986	1,959	-0,019	0,00035	-0,00001	76,923	-0,320	54,675	22,248
11	78,781	1,896	-0,081	0,00660	-0,00054	84,615	-1,392	94,015	9,399
12	71,016	1,851	-0,126	0,01595	-0,00202	92,308	-2,164	122,353	30,045
Jumlah	1149,007	23,732	0,000	0,037	-0,002	600,000	0,000	573,857	117,935

Tabel 4.32 Nilai Δ Kritis

Jumlah data	α derajat kepercayaan			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,3	0,34	0,4
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,2	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,2	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
$n > 50$	$1,07/n$	$1,22/n$	$1,36/n$	$1,63/n$

Dengan $n = 12$, tingkat kesalahan $\alpha = 0,05$

$$\text{Max } \Delta = |P_E - P_T| = 30,04501\% = 0,3$$

$$N = 12, \alpha = \dots$$

$$N = 10, \alpha = 0,41$$

$$N = 15, \alpha = 0,34$$

$$\frac{(12 - 10)}{(15 - 10)} = \frac{(x - 0,41)}{(0,34 - 0,41)}$$

Dari hasil persamaan diatas didapatkan nilai Δ kritis = 0,409

Hasil perhitungan Smirnov-Kolmogorov dapat dilihat pada Tabel 4.41 didapat

$$\Delta \text{ maks} = 30 \% = 0,3$$

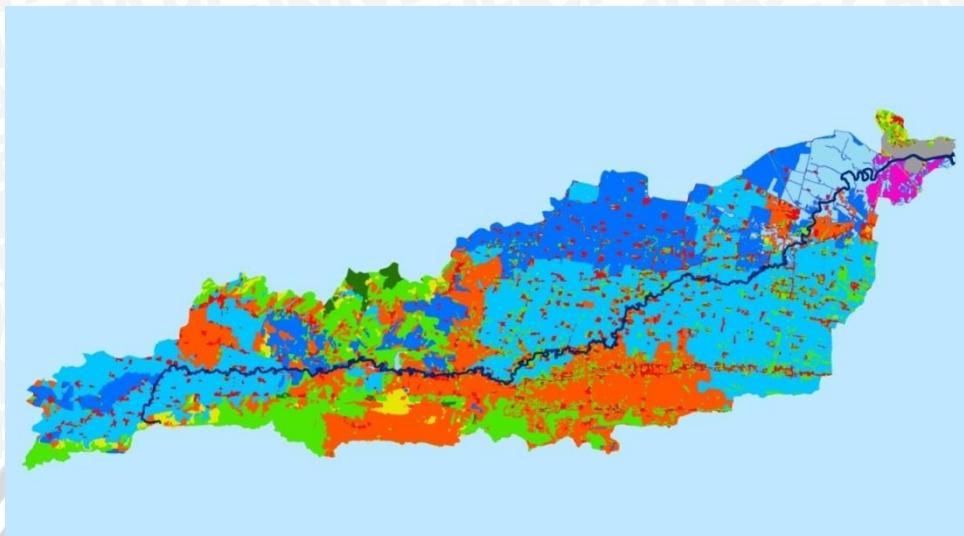
$$\Delta \text{ maks} < \Delta \text{ kritis} = 0,3 < 0,409$$

Sehingga sebaran data dapat diterima dengan Distribusi Log Pearson Tipe III



4.8 Koefisien Pengaliran

Menghitung nilai koefisien pengaliran (C) dengan cara menghitung rata-rata dari koefisien berdasarkan luas daerah tata guna lahan pada lokasi studi.



Gambar 4.2 Tata Guna Lahan DAS Kali Lamong

Dari gambar diatas, dapat diketahui berbagai ,macam tata guna lahan yang terdapat di DAS Kali Lamong. Nilai masing-masing koefisien terhadap tata guna lahan dapat dilihat pada tabel 4.33.

Tabel 4.33 Tabel Jenis Tata Guna Lahan

Jenis Tata Gunakan	Luas (km2)	Koefisien Run Off	C
Area Pemukiman	46,159	0,6	27,695
Area terisi air	2,752	0,6	1,651
Gedung	0,225	0,6	0,135
Hutan	5,576	0,6	3,346
Hutan Rawa	0,601	0,6	0,361
Industri	6,105	0,6	3,663
Penggaraman	6,723	0,6	4,034
Perkebunan/kebun	115,357	0,5	57,679
Rawa	0,271	0,5	0,135
Rumput/tanah kosong	4,481	0,1	0,448
sawah irigasi	111,546	0,75	83,659
Sawah Tadah hujan	229,614	0,75	172,210
Semak Belukar	12,987	0,5	6,494
Tambak/empang	30,443	0,6	18,266
Tanah berbatu	0,956	0,1	0,096
Tegalan/ladang	141,628	0,5	70,814
Total	715,424		450,685

Kemudian menghitung nilai C total dengan persamaan:

$$C = \frac{(Aa \times Ca) + (Ab \times Cb) + \dots + (Ac \times Cc)}{A \text{ total}}$$

$$C = \frac{450,685}{715,424} = 0,63$$

Dari persamaan diatas, didapatkan nilai C rata-rata adalah 0,63

4.9 Distribusi Hujan Jam-Jaman

Untuk analisis debit banjir rencana dengan metode hidrograf diperlukan hujan jam-jaman. Metode yang digunakan untuk menentukan distribusi curah hujan pada studi ini, adalah metode Mononobe. Perhitungan dengan metode mononobe dapat dilihat di bawah:

$$\text{Contoh jam pertama : } I = \frac{R24}{24} \cdot \left[\frac{24}{t} \right]^{\frac{2}{3}}$$

$$= \frac{108,767}{24} \cdot \left[\frac{24}{1} \right]^{\frac{2}{3}}$$

$$= 37,193 \text{ mm/jam}$$

Hasil perhitungan keseluruhan metode mononobe dapat dilihat pada tabel 4.29.

Tabel 4.34 Perhitungan Distribusi Hujan Metode Mononobe

Jam	Kala Ulang (T)				
	2	5	10	25	50
1	31,612	37,193	39,185	41,184	42,261
2	19,914	23,430	24,685	25,944	26,623
3	15,197	17,881	18,838	19,799	20,317
4	12,545	14,760	15,551	16,344	16,771
5	10,811	12,720	13,401	14,085	14,453
6	9,574	11,264	11,867	12,473	12,799



4.10 Perhitungan Debit Banjir Rencana

Untuk perhitungan debit banjir rencana menggunakan metode hidrograf. Hidrograf yang digunakan adalah hidrograf *Nakayasu*.

4.10.1 Perhitungan Hidrograf Satuan Sungai Kali Lamong

1. Luas DAS (A)	=	715,42 km ²
2. Panjang Sungai Utama (L)	=	101,025 km
3. Koefisien Pengaliran (C)	=	0,630
4. Parameter Alfa (a)	=	2

Menghitung parameter Hidrograf

Menghitung nilai T_p (tenggang waktu dari permukaan hujan sampai puncak banjir)

$$T_p = tg + 0,8 tr$$

Dimana: $L < 15 \text{ km}$, $tg = 0,21L$

$$L > 15 \text{ km}, tg = 0,4 + 0,058L$$

Karena $L = 101,025 \text{ km}$, maka nilai tg yang dipakai adalah

$$tg = 0,4 + 0,058L$$

$$tg = 0,4 + 0,058 \times 101,025$$

$$tg = 6,259 \text{ jam}$$

Nilai tr berkisar antara $0,5 < tr < tg$, diambil $Tr = 0,75$ $tg = 0,75 \times 6,259 = 4,659$

Jadi, nilai $T_p = tg + 0,8 tr = 6,259 + 0,8 \times 4,659 = 10,015$

Menghitung nilai $T_{0,3}$ (waktu yang diperlukan oleh penurunan debit puncak sampai 30% dari debit puncak)

$$T_{0,3} = \alpha \times tg = 2 \times 6,259 = 12,519$$

Menghitung nilai Q_p (debit puncak banjir)

$$Q_p = \frac{C \cdot A \cdot R}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})}$$

$$Q_p = \frac{0,630 \times 715,42 \times 1}{3,6(0,3 \times 10,015 + 12,519)}$$

$$Q_p = 8,065$$



Bagian lengkung naik

Q_a (limpasan sebelum mencapai debit puncak)

Q_a terjadi pada saat $0 < t < T_p$ atau $0 < t < 2$, dengan persamaan:

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

Bagian lengkung turun

Q_{d1} terjadi pada saat $T_p < t < (T_p + T_{0.3})$ atau $2 < t < 4$, dengan persamaan:

$$Q_{d1} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p)}{T_{0.3}}}$$

Q_{d2} terjadi pada saat $(T_p + T_{0.3}) < t < (T_p + 2.5t)$ atau $4 < t < 7$, dengan persamaan:

$$Q_{d2} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+0.5T_{0.3})}{1.5T_{0.3}}}$$

Q_{d3} terjadi pada saat $t > (T_p + 2.5t)$ atau $t > 7$, dengan persamaan:

$$Q_{d3} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+1.5T_{0.3})}{2T_{0.3}}}$$

Hasil perhitungan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Kali Lamong dapat dilihat pada tabel 4.35.

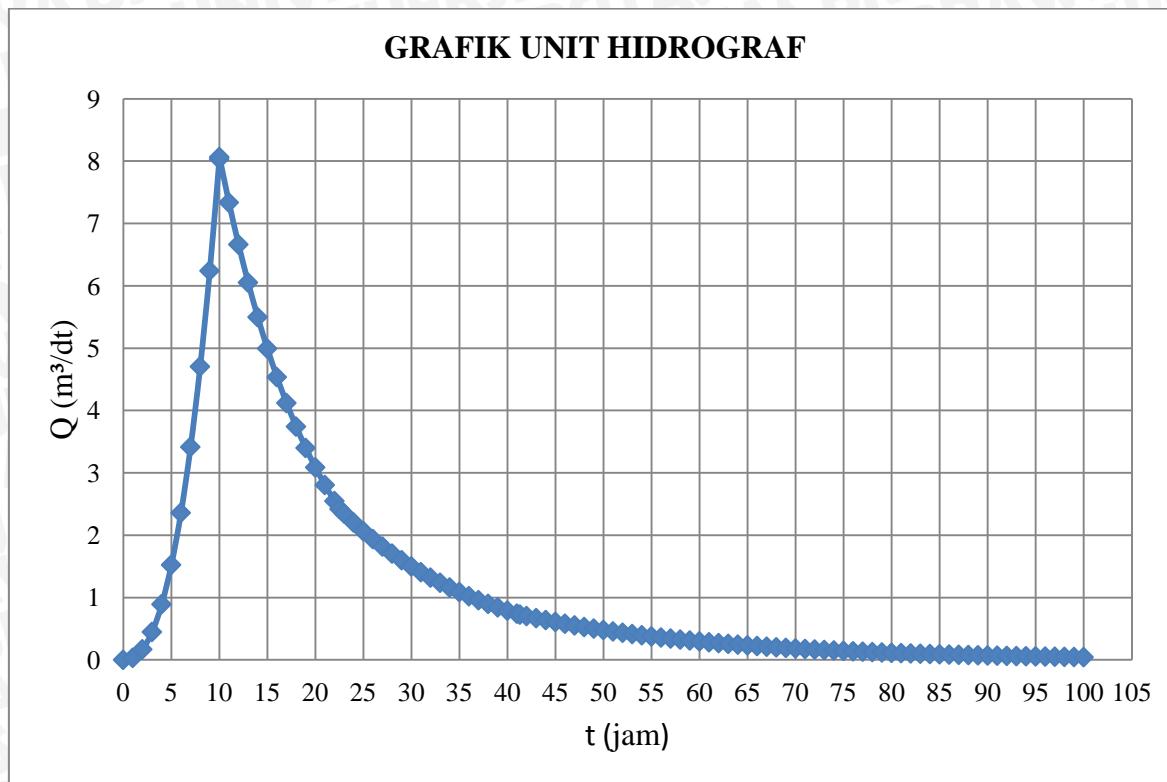
Tabel 4.35 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Kali Lamong

t (jam)	Q_a	Q_{d1}	Q_{d2}	Q_{d3}
0	0,000			
1	0,032			
2	0,169			
3	0,447			
4	0,891			
5	1,522			
6	2,358			
7	3,414			
8	4,704			
9	6,240			
10	8,036			
10,015	8,065	8,065		
11		7,336		
12		6,663		
13		6,052		
14		5,497		

15	4,993
16	4,535
17	4,119
18	3,742
19	3,399
20	3,087
21	2,804
22	2,547
22,534	2,419
23	2,348
24	2,202
25	2,066
26	1,937
27	1,817
28	1,704
29	1,598
30	1,499
31	1,406
32	1,319
33	1,237
34	1,160
35	1,088
36	1,020
37	0,957
38	0,898
39	0,842
40	0,790
41	0,740
41,312	0,726
42	0,702
43	0,669
44	0,638
45	0,608
46	0,579
47	0,552
48	0,526
49	0,502
50	0,478
51	0,456
52	0,434
53	0,414
54	0,394
55	0,376
56	0,358

57	0,341
58	0,325
59	0,310
60	0,296
61	0,282
62	0,268
63	0,256
64	0,244
65	0,232
66	0,221
67	0,211
68	0,201
69	0,192
70	0,183
71	0,174
72	0,166
73	0,158
74	0,151
75	0,144
76	0,137
77	0,130
78	0,124
79	0,119
80	0,113
81	0,108
82	0,103
83	0,098
84	0,093
85	0,089
86	0,085
87	0,081
88	0,077
89	0,073
90	0,070
91	0,067
92	0,063
93	0,060
94	0,058
95	0,055
96	0,052
97	0,050
98	0,048
99	0,045
100	0,043





4.10.2 Perhitungan Hidrograf Banjir Rencana

Setelah mendapatkan hidrograf satuannya langkah selanjutnya membuat hidrograf banjir rencana untuk masing-masing kala ulang, dapat dilihat pada tabel 4.36 hingga 4.40.

Tabel 4.36 Hidrograf Banjir Rencana untuk Kala Ulang 2 tahun

t (jam)	Q (m³/dt)	Akibat hujan (mm/jam)						Jumlah (m³/dt)
		31,612	19,914	15,197	12,545	10,811	9,574	
0	0,000	0	0	0	0	0	0	0
1	0,032	1,011	0	0	0	0	0	1,011
2	0,169	5,337	0,637	0	0	0	0	5,974
3	0,447	14,124	3,362	0,486	0	0	0	17,972
4	0,891	28,171	8,897	2,566	0,401	0	0	40,036
5	1,522	48,127	17,747	6,790	2,118	0,346	0	75,128
6	2,358	74,546	30,318	13,543	5,605	1,825	0,306	126,144
7	3,414	107,918	46,961	23,137	11,180	4,830	1,616	195,643
8	4,704	148,688	67,984	35,838	19,099	9,634	4,277	285,521
9	6,240	197,261	93,668	51,882	29,584	16,459	8,532	397,385
10	8,036	254,015	124,267	71,482	42,827	25,494	14,575	532,661
11	7,336	231,896	160,020	94,833	59,007	36,908	22,576	605,240
12	6,663	210,633	146,085	122,118	78,283	50,851	32,683	640,653

13	6,052	191,319	132,690	111,484	100,806	67,462	45,031	648,793
14	5,497	173,777	120,524	101,262	92,028	86,872	59,741	634,203
15	4,993	157,843	109,472	91,977	83,590	79,307	76,929	599,118
16	4,535	143,370	99,435	83,543	75,925	72,035	70,231	544,538
17	4,119	130,224	90,317	75,883	68,963	65,430	63,791	494,608
18	3,742	118,283	82,036	68,925	62,640	59,431	57,942	449,256
19	3,399	107,437	74,514	62,605	56,896	53,981	52,629	408,062
20	3,087	97,586	67,681	56,865	51,679	49,032	47,803	370,646
21	2,804	88,638	61,475	51,650	46,941	44,536	43,420	336,660
22	2,547	80,511	55,839	46,914	42,637	40,452	39,439	305,791
23	2,348	74,229	50,719	42,613	38,727	36,743	35,822	278,853
24	2,202	69,619	46,761	38,705	35,176	33,374	32,538	256,174
25	2,066	65,296	43,857	35,686	31,951	30,314	29,554	236,658
26	1,937	61,241	41,134	33,469	29,458	27,534	26,844	219,680
27	1,817	57,437	38,579	31,391	27,628	25,386	24,383	204,805
28	1,704	53,870	36,183	29,441	25,913	23,809	22,481	191,698
29	1,598	50,525	33,936	27,613	24,303	22,331	21,084	179,793
30	1,499	47,387	31,829	25,898	22,794	20,944	19,775	168,627
31	1,406	44,444	29,852	24,290	21,378	19,643	18,547	158,155
32	1,319	41,684	27,998	22,781	20,051	18,423	17,395	148,333
33	1,237	39,095	26,259	21,367	18,806	17,279	16,315	139,121
34	1,160	36,667	24,629	20,040	17,638	16,206	15,302	130,481
35	1,088	34,390	23,099	18,795	16,542	15,200	14,351	122,378
36	1,020	32,255	21,665	17,628	15,515	14,256	13,460	114,778
37	0,957	30,251	20,319	16,533	14,551	13,370	12,624	107,650
38	0,898	28,373	19,057	15,506	13,648	12,540	11,840	100,964
39	0,842	26,611	17,874	14,543	12,800	11,761	11,105	94,694
40	0,790	24,958	16,764	13,640	12,005	11,031	10,415	88,813
41	0,740	23,408	15,723	12,793	11,260	10,346	9,768	83,298
42	0,702	22,198	14,746	11,999	10,560	9,703	9,162	78,368
43	0,669	21,156	13,984	11,253	9,905	9,101	8,593	73,991
44	0,638	20,162	13,327	10,672	9,290	8,536	8,059	70,045
45	0,608	19,216	12,702	10,171	8,809	8,005	7,559	66,461
46	0,579	18,314	12,105	9,693	8,396	7,592	7,089	63,188
47	0,552	17,454	11,537	9,238	8,001	7,235	6,723	60,188
48	0,526	16,634	10,995	8,804	7,626	6,895	6,407	57,362
49	0,502	15,853	10,479	8,391	7,268	6,572	6,106	54,669
50	0,478	15,109	9,987	7,997	6,927	6,263	5,820	52,103
51	0,456	14,400	9,518	7,622	6,601	5,969	5,546	49,656
52	0,434	13,724	9,071	7,264	6,291	5,689	5,286	47,325
53	0,414	13,079	8,645	6,923	5,996	5,422	5,038	45,103
54	0,394	12,465	8,240	6,598	5,715	5,167	4,801	42,986
55	0,376	11,880	7,853	6,288	5,446	4,925	4,576	40,968
56	0,358	11,322	7,484	5,993	5,191	4,693	4,361	39,044
57	0,341	10,791	7,133	5,711	4,947	4,473	4,156	37,211
58	0,325	10,284	6,798	5,443	4,715	4,263	3,961	35,464

59	0,310	9,801	6,479	5,188	4,493	4,063	3,775	33,799
60	0,296	9,341	6,174	4,944	4,282	3,872	3,598	32,212
61	0,282	8,903	5,885	4,712	4,081	3,690	3,429	30,700
62	0,268	8,485	5,608	4,491	3,890	3,517	3,268	29,259
63	0,256	8,086	5,345	4,280	3,707	3,352	3,115	27,885
64	0,244	7,707	5,094	4,079	3,533	3,195	2,968	26,576
65	0,232	7,345	4,855	3,888	3,367	3,045	2,829	25,328
66	0,221	7,000	4,627	3,705	3,209	2,902	2,696	24,139
67	0,211	6,671	4,410	3,531	3,058	2,765	2,570	23,006
68	0,201	6,358	4,203	3,365	2,915	2,636	2,449	21,926
69	0,192	6,060	4,005	3,207	2,778	2,512	2,334	20,896
70	0,183	5,775	3,817	3,057	2,648	2,394	2,224	19,915
71	0,174	5,504	3,638	2,913	2,523	2,282	2,120	18,980
72	0,166	5,246	3,467	2,776	2,405	2,174	2,020	18,089
73	0,158	4,999	3,305	2,646	2,292	2,072	1,926	17,240
74	0,151	4,765	3,149	2,522	2,184	1,975	1,835	16,431
75	0,144	4,541	3,002	2,403	2,082	1,882	1,749	15,659
76	0,137	4,328	2,861	2,291	1,984	1,794	1,667	14,924
77	0,130	4,125	2,726	2,183	1,891	1,710	1,589	14,223
78	0,124	3,931	2,598	2,081	1,802	1,629	1,514	13,556
79	0,119	3,746	2,476	1,983	1,717	1,553	1,443	12,919
80	0,113	3,571	2,360	1,890	1,637	1,480	1,375	12,313
81	0,108	3,403	2,249	1,801	1,560	1,411	1,311	11,735
82	0,103	3,243	2,144	1,717	1,487	1,344	1,249	11,184
83	0,098	3,091	2,043	1,636	1,417	1,281	1,191	10,659
84	0,093	2,946	1,947	1,559	1,350	1,221	1,135	10,158
85	0,089	2,807	1,856	1,486	1,287	1,164	1,081	9,681
86	0,085	2,676	1,769	1,416	1,227	1,109	1,031	9,227
87	0,081	2,550	1,686	1,350	1,169	1,057	0,982	8,794
88	0,077	2,430	1,606	1,286	1,114	1,007	0,936	8,381
89	0,073	2,316	1,531	1,226	1,062	0,960	0,892	7,987
90	0,070	2,207	1,459	1,168	1,012	0,915	0,850	7,612
91	0,067	2,104	1,391	1,114	0,964	0,872	0,810	7,255
92	0,063	2,005	1,325	1,061	0,919	0,831	0,772	6,914
93	0,060	1,911	1,263	1,011	0,876	0,792	0,736	6,590
94	0,058	1,821	1,204	0,964	0,835	0,755	0,701	6,280
95	0,055	1,736	1,147	0,919	0,796	0,720	0,669	5,985
96	0,052	1,654	1,093	0,876	0,758	0,686	0,637	5,704
97	0,050	1,577	1,042	0,834	0,723	0,654	0,607	5,437
98	0,048	1,503	0,993	0,795	0,689	0,623	0,579	5,181
99	0,045	1,432	0,947	0,758	0,656	0,594	0,552	4,938
100	0,043	1,365	0,902	0,722	0,626	0,566	0,526	4,706

Tabel 4.37 Hidrograf Banjir Rencana untuk Kala Ulang 5 tahun

t (jam)	Q (m ³ /dt)	Akibat hujan (mm/jam)						Jumlah (m ³ /dt)
		37,193	23,430	17,881	14,760	12,720	11,264	
0	0,000	0	0	0	0	0	0	0
1	0,032	1,190	0	0	0	0	0	1,190
2	0,169	6,280	0,750	0	0	0	0	7,029
3	0,447	16,618	3,956	0,572	0	0	0	21,146
4	0,891	33,145	10,469	3,019	0,472	0	0	47,105
5	1,522	56,625	20,880	7,989	2,492	0,407	0	88,393
6	2,358	87,709	35,672	15,935	6,595	2,148	0,360	148,418
7	3,414	126,974	55,253	27,222	13,154	5,683	1,902	230,189
8	4,704	174,943	79,989	42,166	22,472	11,336	5,033	335,938
9	6,240	232,093	110,207	61,043	34,807	19,365	10,038	467,554
10	8,036	298,869	146,210	84,104	50,390	29,996	17,149	626,717
11	7,336	272,844	188,275	111,579	69,426	43,425	26,563	712,111
12	6,663	247,826	171,881	143,681	92,106	59,830	38,455	753,778
13	6,052	225,102	156,120	131,170	118,606	79,375	52,982	763,355
14	5,497	204,462	141,805	119,142	108,278	102,212	70,290	746,189
15	4,993	185,714	128,803	108,218	98,350	93,311	90,513	704,909
16	4,535	168,685	116,992	98,295	89,332	84,755	82,632	640,691
17	4,119	153,218	106,265	89,282	81,141	76,984	75,055	581,945
18	3,742	139,169	96,521	81,095	73,701	69,925	68,173	528,584
19	3,399	126,408	87,671	73,660	66,943	63,513	61,922	480,117
20	3,087	114,818	79,632	66,906	60,805	57,690	56,244	436,094
21	2,804	104,290	72,331	60,771	55,229	52,400	51,087	396,107
22	2,547	94,727	65,698	55,199	50,165	47,595	46,403	359,787
23	2,348	87,336	59,674	50,137	45,565	43,231	42,148	328,092
24	2,202	81,912	55,018	45,540	41,387	39,267	38,283	301,408
25	2,066	76,825	51,602	41,987	37,592	35,667	34,773	278,446
26	1,937	72,054	48,397	39,379	34,659	32,396	31,584	258,471
27	1,817	67,580	45,391	36,934	32,507	29,869	28,688	240,969
28	1,704	63,383	42,572	34,640	30,488	28,014	26,450	225,547
29	1,598	59,446	39,929	32,489	28,595	26,274	24,807	211,540
30	1,499	55,755	37,449	30,471	26,819	24,642	23,267	198,403
31	1,406	52,292	35,123	28,579	25,153	23,112	21,822	186,081
32	1,319	49,045	32,942	26,804	23,591	21,677	20,467	174,525
33	1,237	45,999	30,896	25,139	22,126	20,330	19,196	163,687
34	1,160	43,142	28,977	23,578	20,752	19,068	18,004	153,521
35	1,088	40,463	27,178	22,114	19,463	17,884	16,885	143,987
36	1,020	37,950	25,490	20,741	18,255	16,773	15,837	135,045
37	0,957	35,593	23,907	19,453	17,121	15,731	14,853	126,658
38	0,898	33,383	22,422	18,244	16,058	14,754	13,931	118,792
39	0,842	31,310	21,030	17,111	15,060	13,838	13,066	111,415
40	0,790	29,365	19,724	16,049	14,125	12,979	12,254	104,496
41	0,740	27,541	18,499	15,052	13,248	12,173	11,493	98,006
42	0,702	26,117	17,350	14,117	12,425	11,417	10,780	92,206

43	0,669	24,891	16,453	13,241	11,654	10,708	10,110	87,056
44	0,638	23,723	15,681	12,556	10,930	10,043	9,482	82,414
45	0,608	22,609	14,944	11,966	10,365	9,419	8,893	78,197
46	0,579	21,547	14,243	11,405	9,878	8,932	8,341	74,346
47	0,552	20,536	13,574	10,869	9,414	8,513	7,910	70,816
48	0,526	19,572	12,937	10,359	8,972	8,113	7,538	67,491
49	0,502	18,653	12,329	9,873	8,551	7,732	7,184	64,323
50	0,478	17,777	11,751	9,409	8,150	7,369	6,847	61,303
51	0,456	16,942	11,199	8,967	7,767	7,023	6,526	58,425
52	0,434	16,147	10,673	8,546	7,402	6,693	6,219	55,682
53	0,414	15,389	10,172	8,145	7,055	6,379	5,927	53,067
54	0,394	14,666	9,694	7,763	6,724	6,080	5,649	50,576
55	0,376	13,978	9,239	7,398	6,408	5,794	5,384	48,202
56	0,358	13,322	8,806	7,051	6,107	5,522	5,131	45,939
57	0,341	12,696	8,392	6,720	5,820	5,263	4,890	43,782
58	0,325	12,100	7,998	6,404	5,547	5,016	4,661	41,726
59	0,310	11,532	7,623	6,104	5,287	4,780	4,442	39,767
60	0,296	10,991	7,265	5,817	5,039	4,556	4,233	37,900
61	0,282	10,475	6,924	5,544	4,802	4,342	4,035	36,121
62	0,268	9,983	6,599	5,284	4,577	4,138	3,845	34,425
63	0,256	9,514	6,289	5,036	4,362	3,944	3,665	32,809
64	0,244	9,068	5,994	4,799	4,157	3,759	3,493	31,269
65	0,232	8,642	5,712	4,574	3,962	3,582	3,329	29,801
66	0,221	8,236	5,444	4,359	3,776	3,414	3,172	28,401
67	0,211	7,849	5,188	4,155	3,598	3,254	3,023	27,068
68	0,201	7,481	4,945	3,960	3,430	3,101	2,881	25,797
69	0,192	7,130	4,713	3,774	3,269	2,955	2,746	24,586
70	0,183	6,795	4,491	3,596	3,115	2,817	2,617	23,432
71	0,174	6,476	4,281	3,428	2,969	2,684	2,494	22,332
72	0,166	6,172	4,080	3,267	2,829	2,558	2,377	21,283
73	0,158	5,882	3,888	3,113	2,697	2,438	2,266	20,284
74	0,151	5,606	3,706	2,967	2,570	2,324	2,159	19,332
75	0,144	5,343	3,532	2,828	2,449	2,215	2,058	18,424
76	0,137	5,092	3,366	2,695	2,334	2,111	1,961	17,559
77	0,130	4,853	3,208	2,569	2,225	2,012	1,869	16,735
78	0,124	4,625	3,057	2,448	2,120	1,917	1,781	15,949
79	0,119	4,408	2,914	2,333	2,021	1,827	1,698	15,200
80	0,113	4,201	2,777	2,224	1,926	1,741	1,618	14,487
81	0,108	4,004	2,646	2,119	1,835	1,660	1,542	13,807
82	0,103	3,816	2,522	2,020	1,749	1,582	1,470	13,158
83	0,098	3,637	2,404	1,925	1,667	1,507	1,401	12,541
84	0,093	3,466	2,291	1,834	1,589	1,437	1,335	11,952
85	0,089	3,303	2,183	1,748	1,514	1,369	1,272	11,391
86	0,085	3,148	2,081	1,666	1,443	1,305	1,213	10,856
87	0,081	3,000	1,983	1,588	1,375	1,244	1,156	10,346
88	0,077	2,859	1,890	1,513	1,311	1,185	1,101	9,861

89	0,073	2,725	1,801	1,442	1,249	1,130	1,050	9,398
90	0,070	2,597	1,717	1,375	1,191	1,077	1,000	8,956
91	0,067	2,475	1,636	1,310	1,135	1,026	0,953	8,536
92	0,063	2,359	1,559	1,249	1,081	0,978	0,909	8,135
93	0,060	2,248	1,486	1,190	1,031	0,932	0,866	7,753
94	0,058	2,143	1,416	1,134	0,982	0,888	0,825	7,389
95	0,055	2,042	1,350	1,081	0,936	0,847	0,787	7,042
96	0,052	1,946	1,287	1,030	0,892	0,807	0,750	6,712
97	0,050	1,855	1,226	0,982	0,850	0,769	0,714	6,397
98	0,048	1,768	1,169	0,936	0,810	0,733	0,681	6,096
99	0,045	1,685	1,114	0,892	0,772	0,698	0,649	5,810
100	0,043	1,606	1,061	0,850	0,736	0,666	0,618	5,537

Tabel 4.38 Hidrograf Banjir Rencana untuk Kala Ulang 10 tahun

t (jam)	Q (m ³ /dt)	Akibat hujan (mm/jam)						Jumlah (m ³ /dt)
		39,185	24,685	18,838	15,551	13,401	11,867	
0	0,000	0	0	0	0	0	0	0
1	0,032	1,254	0	0	0	0	0	1,254
2	0,169	6,616	0,790	0	0	0	0	7,406
3	0,447	17,507	4,168	0,603	0	0	0	22,278
4	0,891	34,920	11,029	3,181	0,497	0	0	49,627
5	1,522	59,657	21,998	8,417	2,626	0,429	0	93,126
6	2,358	92,405	37,581	16,788	6,948	2,263	0,380	156,365
7	3,414	133,773	58,212	28,680	13,858	5,987	2,004	242,514
8	4,704	184,310	84,272	44,424	23,675	11,943	5,302	353,925
9	6,240	244,520	116,108	64,311	36,671	20,402	10,576	492,588
10	8,036	314,871	154,038	88,607	53,088	31,602	18,067	660,273
11	7,336	287,453	198,356	117,553	73,143	45,750	27,985	750,240
12	6,663	261,095	181,084	151,374	97,038	63,033	40,514	794,138
13	6,052	237,155	164,480	138,193	124,957	83,625	55,819	804,227
14	5,497	215,409	149,398	125,522	114,076	107,684	74,054	786,143
15	4,993	195,658	135,699	114,012	103,616	98,307	95,360	742,652
16	4,535	177,717	123,257	103,558	94,115	89,293	87,056	674,996
17	4,119	161,422	111,955	94,062	85,485	81,106	79,074	613,104
18	3,742	146,621	101,689	85,438	77,647	73,669	71,823	556,887
19	3,399	133,177	92,365	77,604	70,527	66,914	65,237	505,824
20	3,087	120,965	83,896	70,488	64,060	60,778	59,256	459,444
21	2,804	109,874	76,203	64,025	58,186	55,206	53,822	417,316
22	2,547	99,799	69,216	58,154	52,851	50,144	48,887	379,051
23	2,348	92,013	62,869	52,822	48,005	45,546	44,405	345,659
24	2,202	86,298	57,964	47,978	43,603	41,370	40,333	317,547
25	2,066	80,939	54,365	44,235	39,605	37,576	36,635	293,355
26	1,937	75,912	50,988	41,488	36,515	34,131	33,276	272,310
27	1,817	71,198	47,822	38,911	34,248	31,468	30,224	253,871
28	1,704	66,776	44,852	36,495	32,121	29,514	27,866	237,624

29	1,598	62,629	42,067	34,228	30,126	27,681	26,136	222,867
30	1,499	58,740	39,454	32,103	28,255	25,962	24,513	209,026
31	1,406	55,092	37,004	30,109	26,500	24,349	22,990	196,045
32	1,319	51,671	34,706	28,239	24,854	22,837	21,563	183,870
33	1,237	48,462	32,550	26,485	23,311	21,419	20,223	172,451
34	1,160	45,452	30,529	24,841	21,863	20,089	18,968	161,741
35	1,088	42,629	28,633	23,298	20,505	18,841	17,790	151,697
36	1,020	39,982	26,855	21,851	19,232	17,671	16,685	142,276
37	0,957	37,499	25,187	20,494	18,038	16,574	15,649	133,440
38	0,898	35,170	23,623	19,221	16,917	15,544	14,677	125,153
39	0,842	32,986	22,156	18,028	15,867	14,579	13,765	117,381
40	0,790	30,937	20,780	16,908	14,881	13,674	12,910	110,091
41	0,740	29,016	19,489	15,858	13,957	12,824	12,109	103,254
42	0,702	27,516	18,279	14,873	13,090	12,028	11,357	97,143
43	0,669	26,224	17,334	13,950	12,278	11,281	10,651	91,717
44	0,638	24,993	16,520	13,228	11,515	10,580	9,990	86,827
45	0,608	23,819	15,744	12,607	10,920	9,923	9,370	82,384
46	0,579	22,701	15,005	12,015	10,407	9,410	8,788	78,327
47	0,552	21,635	14,301	11,451	9,918	8,968	8,333	74,608
48	0,526	20,620	13,629	10,914	9,453	8,547	7,942	71,105
49	0,502	19,652	12,990	10,401	9,009	8,146	7,569	67,767
50	0,478	18,729	12,380	9,913	8,586	7,764	7,214	64,585
51	0,456	17,850	11,799	9,447	8,183	7,399	6,875	61,553
52	0,434	17,012	11,245	9,004	7,799	7,052	6,552	58,663
53	0,414	16,213	10,717	8,581	7,433	6,721	6,245	55,909
54	0,394	15,452	10,214	8,178	7,084	6,405	5,952	53,284
55	0,376	14,726	9,734	7,794	6,751	6,104	5,672	50,782
56	0,358	14,035	9,277	7,428	6,434	5,818	5,406	48,398
57	0,341	13,376	8,841	7,080	6,132	5,545	5,152	46,126
58	0,325	12,748	8,426	6,747	5,844	5,284	4,910	43,961
59	0,310	12,150	8,031	6,431	5,570	5,036	4,680	41,897
60	0,296	11,579	7,654	6,129	5,308	4,800	4,460	39,930
61	0,282	11,036	7,294	5,841	5,059	4,575	4,251	38,055
62	0,268	10,517	6,952	5,567	4,822	4,360	4,051	36,268
63	0,256	10,024	6,626	5,305	4,595	4,155	3,861	34,566
64	0,244	9,553	6,315	5,056	4,379	3,960	3,680	32,943
65	0,232	9,105	6,018	4,819	4,174	3,774	3,507	31,396
66	0,221	8,677	5,736	4,593	3,978	3,597	3,342	29,922
67	0,211	8,270	5,466	4,377	3,791	3,428	3,185	28,517
68	0,201	7,881	5,210	4,172	3,613	3,267	3,036	27,179
69	0,192	7,511	4,965	3,976	3,444	3,114	2,893	25,903
70	0,183	7,159	4,732	3,789	3,282	2,968	2,757	24,686
71	0,174	6,823	4,510	3,611	3,128	2,828	2,628	23,527
72	0,166	6,502	4,298	3,442	2,981	2,695	2,505	22,423
73	0,158	6,197	4,096	3,280	2,841	2,569	2,387	21,370
74	0,151	5,906	3,904	3,126	2,708	2,448	2,275	20,367

75	0,144	5,629	3,721	2,979	2,580	2,333	2,168	19,411
76	0,137	5,365	3,546	2,839	2,459	2,224	2,066	18,499
77	0,130	5,113	3,379	2,706	2,344	2,119	1,969	17,631
78	0,124	4,873	3,221	2,579	2,234	2,020	1,877	16,803
79	0,119	4,644	3,070	2,458	2,129	1,925	1,789	16,014
80	0,113	4,426	2,926	2,343	2,029	1,835	1,705	15,262
81	0,108	4,218	2,788	2,233	1,934	1,749	1,625	14,546
82	0,103	4,020	2,657	2,128	1,843	1,666	1,548	13,863
83	0,098	3,831	2,533	2,028	1,756	1,588	1,476	13,212
84	0,093	3,651	2,414	1,933	1,674	1,514	1,406	12,592
85	0,089	3,480	2,300	1,842	1,595	1,443	1,340	12,001
86	0,085	3,317	2,192	1,755	1,520	1,375	1,277	11,437
87	0,081	3,161	2,089	1,673	1,449	1,310	1,218	10,900
88	0,077	3,013	1,991	1,594	1,381	1,249	1,160	10,389
89	0,073	2,871	1,898	1,520	1,316	1,190	1,106	9,901
90	0,070	2,736	1,809	1,448	1,254	1,134	1,054	9,436
91	0,067	2,608	1,724	1,380	1,196	1,081	1,004	8,993
92	0,063	2,485	1,643	1,315	1,139	1,030	0,957	8,571
93	0,060	2,369	1,566	1,254	1,086	0,982	0,912	8,168
94	0,058	2,258	1,492	1,195	1,035	0,936	0,870	7,785
95	0,055	2,152	1,422	1,139	0,986	0,892	0,829	7,419
96	0,052	2,051	1,355	1,085	0,940	0,850	0,790	7,071
97	0,050	1,954	1,292	1,034	0,896	0,810	0,753	6,739
98	0,048	1,863	1,231	0,986	0,854	0,772	0,717	6,423
99	0,045	1,775	1,173	0,940	0,814	0,736	0,684	6,121
100	0,043	1,692	1,118	0,895	0,776	0,701	0,652	5,834

Tabel 4.39 Hidrograf Banjir Rencana untuk Kala Ulang 25 tahun

t (jam)	Q (m ³ /dt)	Akibat hujan (mm/jam)						Jumlah (m ³ /dt)
		41,184	25,944	19,799	16,344	14,085	12,473	
0	0,000	0	0	0	0	0	0	0
1	0,032	1,317	0	0	0	0	0	1,317
2	0,169	6,954	0,830	0	0	0	0	7,784
3	0,447	18,401	4,381	0,633	0	0	0	23,414
4	0,891	36,701	11,592	3,343	0,523	0	0	52,159
5	1,522	62,700	23,120	8,846	2,760	0,451	0	97,877
6	2,358	97,119	39,498	17,644	7,302	2,378	0,399	164,341
7	3,414	140,597	61,181	30,143	14,565	6,293	2,106	254,884
8	4,704	193,711	88,570	46,690	24,882	12,552	5,573	371,978
9	6,240	256,993	122,031	67,592	38,542	21,443	11,115	517,715
10	8,036	330,932	161,895	93,127	55,796	33,214	18,989	693,953
11	7,336	302,115	208,474	123,549	76,874	48,083	29,413	788,509
12	6,663	274,414	190,321	159,096	101,988	66,248	42,580	834,646
13	6,052	249,252	172,870	145,242	131,331	87,890	58,666	845,250
14	5,497	226,397	157,019	131,924	119,895	113,177	77,831	826,243

15	4,993	205,638	142,621	119,828	108,901	103,322	100,224	780,534
16	4,535	186,783	129,544	108,840	98,916	93,848	91,497	709,427
17	4,119	169,656	117,666	98,860	89,846	85,243	83,107	644,378
18	3,742	154,100	106,877	89,796	81,608	77,427	75,487	585,293
19	3,399	139,970	97,077	81,562	74,125	70,327	68,565	531,626
20	3,087	127,136	88,175	74,083	67,328	63,879	62,278	482,879
21	2,804	115,478	80,090	67,290	61,154	58,022	56,568	438,603
22	2,547	104,890	72,747	61,120	55,547	52,701	51,381	398,386
23	2,348	96,706	66,076	55,516	50,454	47,869	46,670	363,291
24	2,202	90,700	60,921	50,426	45,828	43,480	42,390	333,745
25	2,066	85,068	57,138	46,491	41,625	39,493	38,503	308,319
26	1,937	79,785	53,589	43,604	38,378	35,872	34,973	286,201
27	1,817	74,830	50,261	40,896	35,994	33,073	31,766	266,821
28	1,704	70,183	47,140	38,356	33,759	31,019	29,288	249,745
29	1,598	65,824	44,212	35,974	31,663	29,093	27,469	234,235
30	1,499	61,736	41,467	33,740	29,696	27,286	25,763	219,688
31	1,406	57,902	38,891	31,645	27,852	25,591	24,163	206,045
32	1,319	54,306	36,476	29,680	26,122	24,002	22,662	193,249
33	1,237	50,934	34,211	27,836	24,500	22,512	21,255	181,248
34	1,160	47,771	32,086	26,108	22,978	21,113	19,935	169,992
35	1,088	44,804	30,094	24,486	21,551	19,802	18,697	159,435
36	1,020	42,021	28,225	22,966	20,213	18,572	17,536	149,533
37	0,957	39,412	26,472	21,539	18,958	17,419	16,447	140,247
38	0,898	36,964	24,828	20,202	17,780	16,337	15,425	131,537
39	0,842	34,669	23,286	18,947	16,676	15,323	14,467	123,368
40	0,790	32,516	21,840	17,771	15,641	14,371	13,569	115,707
41	0,740	30,496	20,484	16,667	14,669	13,479	12,726	108,521
42	0,702	28,919	19,211	15,632	13,758	12,642	11,936	102,098
43	0,669	27,562	18,218	14,661	12,904	11,856	11,195	96,396
44	0,638	26,268	17,363	13,903	12,102	11,120	10,499	91,256
45	0,608	25,034	16,548	13,250	11,477	10,430	9,847	86,586
46	0,579	23,859	15,771	12,628	10,938	9,890	9,236	82,322
47	0,552	22,739	15,030	12,035	10,424	9,426	8,758	78,413
48	0,526	21,671	14,325	11,470	9,935	8,983	8,347	74,732
49	0,502	20,654	13,652	10,932	9,469	8,562	7,955	71,223
50	0,478	19,684	13,011	10,419	9,024	8,160	7,582	67,879
51	0,456	18,760	12,400	9,929	8,600	7,777	7,226	64,693
52	0,434	17,879	11,818	9,463	8,197	7,412	6,887	61,655
53	0,414	17,040	11,263	9,019	7,812	7,064	6,563	58,761
54	0,394	16,240	10,735	8,596	7,445	6,732	6,255	56,002
55	0,376	15,478	10,231	8,192	7,095	6,416	5,961	53,373
56	0,358	14,751	9,750	7,807	6,762	6,115	5,682	50,867
57	0,341	14,058	9,292	7,441	6,445	5,828	5,415	48,479
58	0,325	13,398	8,856	7,091	6,142	5,554	5,161	46,203
59	0,310	12,769	8,440	6,759	5,854	5,293	4,918	44,034
60	0,296	12,170	8,044	6,441	5,579	5,045	4,687	41,966



61	0,282	11,598	7,666	6,139	5,317	4,808	4,467	39,996
62	0,268	11,054	7,307	5,851	5,068	4,582	4,258	38,118
63	0,256	10,535	6,964	5,576	4,830	4,367	4,058	36,329
64	0,244	10,040	6,637	5,314	4,603	4,162	3,867	34,623
65	0,232	9,569	6,325	5,065	4,387	3,967	3,686	32,998
66	0,221	9,120	6,028	4,827	4,181	3,780	3,513	31,449
67	0,211	8,692	5,745	4,600	3,985	3,603	3,348	29,972
68	0,201	8,284	5,475	4,384	3,797	3,434	3,191	28,565
69	0,192	7,895	5,218	4,178	3,619	3,273	3,041	27,224
70	0,183	7,524	4,973	3,982	3,449	3,119	2,898	25,946
71	0,174	7,171	4,740	3,795	3,287	2,972	2,762	24,728
72	0,166	6,834	4,517	3,617	3,133	2,833	2,632	23,567
73	0,158	6,513	4,305	3,447	2,986	2,700	2,509	22,460
74	0,151	6,207	4,103	3,285	2,846	2,573	2,391	21,406
75	0,144	5,916	3,910	3,131	2,712	2,452	2,279	20,401
76	0,137	5,638	3,727	2,984	2,585	2,337	2,172	19,443
77	0,130	5,374	3,552	2,844	2,463	2,227	2,070	18,530
78	0,124	5,121	3,385	2,711	2,348	2,123	1,973	17,660
79	0,119	4,881	3,226	2,583	2,238	2,023	1,880	16,831
80	0,113	4,652	3,075	2,462	2,132	1,928	1,792	16,041
81	0,108	4,433	2,930	2,346	2,032	1,838	1,708	15,288
82	0,103	4,225	2,793	2,236	1,937	1,751	1,627	14,570
83	0,098	4,027	2,662	2,131	1,846	1,669	1,551	13,886
84	0,093	3,838	2,537	2,031	1,759	1,591	1,478	13,234
85	0,089	3,658	2,418	1,936	1,677	1,516	1,409	12,613
86	0,085	3,486	2,304	1,845	1,598	1,445	1,343	12,021
87	0,081	3,322	2,196	1,758	1,523	1,377	1,280	11,456
88	0,077	3,166	2,093	1,676	1,452	1,312	1,220	10,918
89	0,073	3,018	1,995	1,597	1,383	1,251	1,162	10,406
90	0,070	2,876	1,901	1,522	1,318	1,192	1,108	9,917
91	0,067	2,741	1,812	1,451	1,257	1,136	1,056	9,452
92	0,063	2,612	1,727	1,383	1,198	1,083	1,006	9,008
93	0,060	2,490	1,646	1,318	1,141	1,032	0,959	8,585
94	0,058	2,373	1,568	1,256	1,088	0,984	0,914	8,182
95	0,055	2,261	1,495	1,197	1,037	0,937	0,871	7,798
96	0,052	2,155	1,425	1,141	0,988	0,893	0,830	7,432
97	0,050	2,054	1,358	1,087	0,942	0,851	0,791	7,083
98	0,048	1,958	1,294	1,036	0,897	0,811	0,754	6,750
99	0,045	1,866	1,233	0,987	0,855	0,773	0,719	6,433
100	0,043	1,778	1,175	0,941	0,815	0,737	0,685	6,131

Tabel 4.40 Hidrograf Banjir Rencana untuk Kala Ulang 50 tahun

t (jam)	Q (m ³ /dt)	Akibat hujan (mm/jam)						Jumlah (m ³ /dt)
		42,261	26,623	20,317	16,771	14,453	12,799	
0	0,000	0	0	0	0	0	0	0
1	0,032	1,352	0	0	0	0	0	1,352
2	0,169	7,136	0,852	0	0	0	0	7,987
3	0,447	18,882	4,495	0,650	0	0	0	24,027
4	0,891	37,662	11,895	3,430	0,537	0	0	53,523
5	1,522	64,340	23,725	9,077	2,832	0,462	0	100,437
6	2,358	99,659	40,532	18,106	7,493	2,440	0,409	168,640
7	3,414	144,274	62,781	30,932	14,946	6,458	2,161	261,552
8	4,704	198,779	90,887	47,911	25,533	12,880	5,718	381,709
9	6,240	263,716	125,223	69,360	39,550	22,004	11,406	531,258
10	8,036	339,589	166,131	95,563	57,255	34,083	19,486	712,107
11	7,336	310,019	213,928	126,781	78,885	49,341	30,182	809,136
12	6,663	281,592	195,299	163,258	104,656	67,981	43,694	856,480
13	6,052	255,772	177,392	149,041	134,766	90,190	60,201	867,362
14	5,497	232,320	161,126	135,375	123,031	116,138	79,867	847,857
15	4,993	211,018	146,352	122,962	111,750	106,025	102,846	800,953
16	4,535	191,669	132,933	111,688	101,503	96,303	93,890	727,986
17	4,119	174,094	120,744	101,447	92,196	87,473	85,281	661,234
18	3,742	158,131	109,672	92,145	83,742	79,452	77,461	600,604
19	3,399	143,631	99,616	83,696	76,064	72,167	70,359	545,533
20	3,087	130,461	90,482	76,021	69,089	65,550	63,907	495,511
21	2,804	118,499	82,186	69,051	62,754	59,539	58,048	450,076
22	2,547	107,633	74,650	62,719	57,000	54,080	52,725	408,808
23	2,348	99,236	67,805	56,968	51,774	49,121	47,890	372,794
24	2,202	93,073	62,515	51,745	47,026	44,617	43,499	342,475
25	2,066	87,293	58,632	47,708	42,714	40,526	39,511	316,384
26	1,937	81,872	54,991	44,745	39,382	36,810	35,888	293,687
27	1,817	76,787	51,576	41,966	36,936	33,938	32,597	273,801
28	1,704	72,019	48,373	39,360	34,642	31,831	30,054	256,278
29	1,598	67,546	45,369	36,915	32,491	29,854	28,187	240,362
30	1,499	63,351	42,551	34,623	30,473	28,000	26,437	225,435
31	1,406	59,417	39,909	32,473	28,581	26,261	24,795	211,435
32	1,319	55,727	37,430	30,456	26,806	24,630	23,255	198,304
33	1,237	52,266	35,106	28,565	25,141	23,100	21,811	185,989
34	1,160	49,020	32,926	26,791	23,580	21,666	20,457	174,438
35	1,088	45,976	30,881	25,127	22,115	20,320	19,186	163,605
36	1,020	43,121	28,963	23,566	20,742	19,058	17,995	153,445
37	0,957	40,443	27,164	22,103	19,454	17,875	16,877	143,916
38	0,898	37,931	25,477	20,730	18,246	16,765	15,829	134,978
39	0,842	35,575	23,895	19,443	17,112	15,724	14,846	126,595
40	0,790	33,366	22,411	18,235	16,050	14,747	13,924	118,733
41	0,740	31,294	21,019	17,103	15,053	13,831	13,059	111,360
42	0,702	29,676	19,714	16,041	14,118	12,972	12,248	104,769

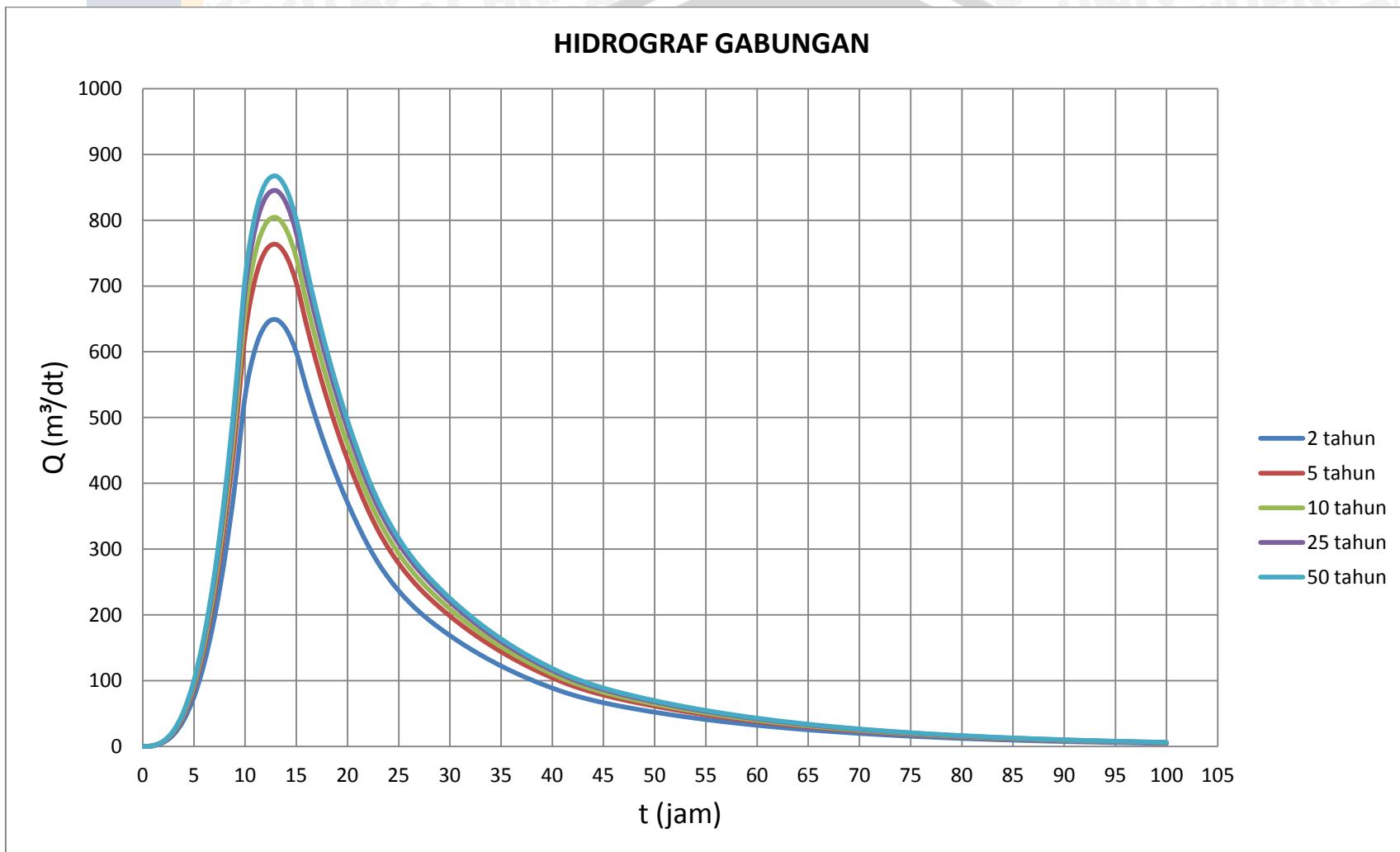
43	0,669	28,283	18,695	15,045	13,241	12,167	11,488	98,918
44	0,638	26,955	17,817	14,267	12,419	11,411	10,774	93,643
45	0,608	25,689	16,980	13,597	11,777	10,702	10,105	88,851
46	0,579	24,483	16,183	12,959	11,224	10,149	9,477	84,476
47	0,552	23,334	15,423	12,350	10,697	9,673	8,987	80,464
48	0,526	22,238	14,699	11,770	10,195	9,218	8,566	76,687
49	0,502	21,194	14,009	11,218	9,716	8,786	8,163	73,086
50	0,478	20,199	13,352	10,691	9,260	8,373	7,780	69,655
51	0,456	19,251	12,725	10,189	8,825	7,980	7,415	66,385
52	0,434	18,347	12,127	9,711	8,411	7,605	7,067	63,268
53	0,414	17,486	11,558	9,255	8,016	7,248	6,735	60,298
54	0,394	16,665	11,015	8,820	7,640	6,908	6,419	57,467
55	0,376	15,882	10,498	8,406	7,281	6,584	6,117	54,769
56	0,358	15,137	10,005	8,012	6,939	6,275	5,830	52,198
57	0,341	14,426	9,536	7,635	6,613	5,980	5,556	49,747
58	0,325	13,749	9,088	7,277	6,303	5,699	5,296	47,412
59	0,310	13,103	8,661	6,935	6,007	5,432	5,047	45,186
60	0,296	12,488	8,255	6,610	5,725	5,177	4,810	43,064
61	0,282	11,902	7,867	6,299	5,456	4,934	4,584	41,042
62	0,268	11,343	7,498	6,004	5,200	4,702	4,369	39,116
63	0,256	10,811	7,146	5,722	4,956	4,481	4,164	37,279
64	0,244	10,303	6,810	5,453	4,723	4,271	3,968	35,529
65	0,232	9,819	6,490	5,197	4,502	4,070	3,782	33,861
66	0,221	9,358	6,186	4,953	4,290	3,879	3,605	32,271
67	0,211	8,919	5,895	4,721	4,089	3,697	3,435	30,756
68	0,201	8,500	5,619	4,499	3,897	3,524	3,274	29,312
69	0,192	8,101	5,355	4,288	3,714	3,358	3,120	27,936
70	0,183	7,721	5,103	4,086	3,539	3,200	2,974	26,624
71	0,174	7,358	4,864	3,895	3,373	3,050	2,834	25,374
72	0,166	7,013	4,635	3,712	3,215	2,907	2,701	24,183
73	0,158	6,684	4,418	3,538	3,064	2,771	2,574	23,048
74	0,151	6,370	4,210	3,371	2,920	2,640	2,453	21,966
75	0,144	6,071	4,013	3,213	2,783	2,517	2,338	20,934
76	0,137	5,786	3,824	3,062	2,652	2,398	2,228	19,952
77	0,130	5,514	3,645	2,919	2,528	2,286	2,124	19,015
78	0,124	5,255	3,474	2,782	2,409	2,178	2,024	18,122
79	0,119	5,009	3,311	2,651	2,296	2,076	1,929	17,271
80	0,113	4,773	3,155	2,526	2,188	1,979	1,839	16,461
81	0,108	4,549	3,007	2,408	2,086	1,886	1,752	15,688
82	0,103	4,336	2,866	2,295	1,988	1,797	1,670	14,951
83	0,098	4,132	2,731	2,187	1,894	1,713	1,592	14,249
84	0,093	3,938	2,603	2,084	1,805	1,632	1,517	13,580
85	0,089	3,753	2,481	1,987	1,721	1,556	1,446	12,943
86	0,085	3,577	2,364	1,893	1,640	1,483	1,378	12,335
87	0,081	3,409	2,253	1,804	1,563	1,413	1,313	11,756
88	0,077	3,249	2,148	1,720	1,489	1,347	1,251	11,204

89	0,073	3,097	2,047	1,639	1,420	1,284	1,193	10,678
90	0,070	2,951	1,951	1,562	1,353	1,223	1,137	10,177
91	0,067	2,813	1,859	1,489	1,289	1,166	1,083	9,699
92	0,063	2,681	1,772	1,419	1,229	1,111	1,032	9,244
93	0,060	2,555	1,689	1,352	1,171	1,059	0,984	8,810
94	0,058	2,435	1,609	1,289	1,116	1,009	0,938	8,396
95	0,055	2,320	1,534	1,228	1,064	0,962	0,894	8,002
96	0,052	2,212	1,462	1,171	1,014	0,917	0,852	7,626
97	0,050	2,108	1,393	1,116	0,966	0,874	0,812	7,268
98	0,048	2,009	1,328	1,063	0,921	0,833	0,774	6,927
99	0,045	1,914	1,265	1,013	0,878	0,794	0,737	6,602
100	0,043	1,825	1,206	0,966	0,836	0,756	0,703	6,292

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Berikut grafik Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Kali Lamong



4.11 Menentukan Nilai Tiap Komponen pada Rumus USLE

4.11.1 Menghitung Indeks Erosivitas

Indeks erosivitas hujan (R) didefinisikan sebagai jumlah satuan erosi hujan dalam setahun. Nilai R dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$R = 6,199 \times Pb^{1.211} \times N^{-0.474} \times (P_{max})^{0.526}$$

Dimana:

R = Indeks erosi hujan tahunan (KJ/tahun)

Pb = Curah hujan rata-rata tahunan (cm)

N = Jumlah hari hujan rata-rata per tahun (hari)

P_{max} = Hujan maksimum harian (24 jam) dalam bulan yang bersangkutan (cm)

Untuk menghitung indeks erosivitas, digunakan data curah hujan hasil perbaikan. Berikut ini adalah contoh perhitungan nilai erosivitas untuk stasiun Sememi:

1. Menentukan curah hujan rata-rata dalam satu tahun, Pb = 448 mm = 44,8 cm
2. Menentukan jumlah hari hujan, N = 92 hari
3. Menentukan hujan maksimum harian, P_{max} = 117 mm = 11,7 cm
4. Menghitung indeks erosivitas,

$$R = 6,199 \times 44,8^{1.211} \times 92^{-0.474} \times 11,7^{0.526} = 261,462 \text{ KJ/tahun}$$

Perhitungan lengkap per stasiun dapat dilihat pada tabel 4.41 hingga tabel 4.52

Tabel 4.41 Indeks Erosivitas Stasiun Sememi

Tahun	Curah Hujan		Jumlah Hari Hujan	Hujan max		Erosivitas (KJ/ tahun)
	mm	cm		mm	cm	
2003	448	44,8	92	117	11,7	261,462
2004	474	47,4	72	79	7,9	255,755
2005	620	62	63	90	9	403,934
2006	407	40,7	85	130	13	255,440
2007	396	39,6	84	97	9,7	213,021
2008	428	42,8	74	120	12	277,966
2009	433	43,3	46	78	7,8	281,554
2010	610	61	68	127	12,7	457,832
2011	362	36,2	65	79	7,9	193,690
2012	195	19,5	104	82	8,2	74,732
2013	420	42	88	98	9,8	224,976
2014	499	49,9	90	104	10,4	282,962
Rata-rata						265,277

Tabel 4.42 Indeks Erosivitas Stasiun Bunder

Tahun	Curah Hujan		Jumlah Hari Hujan	Hujan max		Erosivitas (KJ/ tahun)
	mm	cm		mm	cm	
2003	410	41	70	69	6,9	202,498
2004	439	43,9	96	77	7,7	200,633
2005	464	46,4	76	84	8,4	250,899
2006	462	46,2	88	150	15	315,865
2007	361	36,1	64	70	7,0	182,479
2008	329	32,9	80	76	7,6	153,196
2009	363	36,3	106	85	8,5	160,179
2010	502	50,2	89	103	10,3	285,085
2011	386	38,6	74	103	10,3	226,347
2012	316	31,6	100	72	7,2	127,573
2013	518	51,8	96	93	9,3	270,744
2014	521	52,1	92	112	11,2	306,778
Rata-rata						223,523

Tabel 4.43 Indeks Erosivitas Stasiun Cerme

Tahun	Curah Hujan		Jumlah Hari Hujan	Hujan max		Erosivitas (KJ/ tahun)
	mm	cm		mm	cm	
2003	275	27,5	78	54	5,4	104,255
2004	254	25,4	82	65	6,5	101,948
2005	311	31,1	86	64,937	6,494	127,301
2006	373	37,3	90	120	12	214,466
2007	273	27,3	95	63,435	6,343	102,437
2008	314	31,4	58	74	7,4	166,270
2009	307	30,7	105	88	8,8	133,770
2010	672	67,2	106	111	11,1	388,570
2011	434	43,4	71	108	10,8	272,750
2012	334	33,4	69	75	7,5	166,190
2013	604	60,4	88	82,677	8,268	319,430
2014	406	40,6	90	93,902	9,390	208,892
Rata-rata						192,190

Tabel 4.44 Indeks Erosivitas Stasiun Benjeng

Tahun	Curah Hujan		Jumlah Hari Hujan	Hujan max		Erosivitas (KJ/ tahun)
	mm	cm		mm	cm	
2003	442	44,2	80	116	11,6	273,607
2004	394	39,4	74	90	9	216,143
2005	473	47,3	70	67	6,7	237,070
2006	543	54,3	82	115	11,5	345,384
2007	326	32,6	88	79	7,9	147,793
2008	304	30,4	68	76	7,6	150,362
2009	354	35,4	78	84	8,4	178,584
2010	542	54,2	89	90	9	291,390
2011	431	43,1	92	89	8,9	216,061
2012	342	34,2	59	68,144	6,814	175,140
2013	540	54	60	98	9,8	365,722
2014	431	43,1	84	95,258	9,526	233,790
Rata-rata						235,920

Tabel 4.45 Indeks Erosivitas Stasiun Balongpanggang

Tahun	Curah Hujan		Jumlah Hari Hujan	Hujan max		Erosivitas (KJ/ tahun)
	mm	cm		mm	cm	
2003	313	31,3	96	79	7,9	135,002
2004	290	29	77	89	8,9	145,488
2005	474	47,4	68	101	10,1	299,028
2006	568	56,8	71	115	11,5	390,505
2007	247	24,7	84	63	6,3	95,848
2008	457	45,7	88	95,669	9,567	246,060
2009	435	43,5	95	87	8,7	212,636
2010	635	63,5	66	114	11,4	460,583
2011	526	52,6	68	98,698	9,870	335,113
2012	318	31,8	71	70	7	148,986
2013	587	58,7	80	109	10,9	373,356
2014	383	38,3	99	115,253	11,525	207,220
Rata-rata						254,152

Tabel 4.46 Indeks Erosivitas Stasiun Menganti

Tahun	Curah Hujan		Jumlah Hari Hujan	Hujan max		Erosivitas (KJ/ tahun)
	mm	cm		mm	cm	
2003	390	39	89	60	6	158,036
2004	406	40,6	70	85	8,5	223,308
2005	400	40	75	67	6,7	187,289
2006	353	35,3	94	75	7,5	153,481
2007	314	31,4	76	67	6,7	138,826
2008	161	16,1	83	52	5,2	51,895
2009	340	34	91	97	9,7	170,513
2010	496	49,6	69	76	7,6	270,148
2011	276	27,6	97	83,308	8,331	118,624
2012	55	5,5	85	60,370	6,037	15,116
2013	673	67,3	86	66,373	6,637	327,961
2014	532	53,2	97	82,322	8,232	260,970

Rata-rata	173,014
-----------	---------

Tabel 4.47 Indeks Erosivitas Stasiun Mantup

Tahun	Curah Hujan		Jumlah Hari Hujan	Hujan max		Erosivitas (KJ/ tahun)
	mm	cm		mm	cm	
2003	370	37	70	100	10	217,368
2004	498	49,8	61	113	11,3	354,567
2005	380	38	64	103,199	10,320	238,156
2006	609	60,9	82	156	15,6	465,895
2007	458	45,8	76	98	9,8	267,835
2008	554	55,4	75	139	13,9	407,866
2009	463	46,3	91	110	11	264,780
2010	584	58,4	104	105	10,5	321,276
2011	394	39,4	115	147,987	14,799	227,821
2012	310	31	97	63	6,3	117,881
2013	312	31,2	98	128,329	12,833	171,886
2014	278	27,8	72	79	7,9	134,028
		Rata-rata		265,780		

Tabel 4.48 Indeks Erosivitas Stasiun Ngimbang

Tahun	Curah Hujan		Jumlah Hari Hujan	Hujan max		Erosivitas (KJ/ tahun)
	mm	cm		mm	cm	
2003	394	39,4	78	143	14,3	268,955
2004	415	41,5	83	82	8,2	207,568
2005	391	39,1	91	61	6,1	158,236
2006	475	47,5	68	103	10,3	302,900
2007	456	45,6	64	84	8,4	266,519
2008	503	50,3	56	94,579	9,458	340,334
2009	497	49,7	50	94	9,4	352,794
2010	702	70,2	68	109,135	10,913	501,135

2011	488	48,8	70	119	11,9	333,057
2012	358	35,8	88	82,784	8,278	169,664
2013	515	51,5	80	83	8,3	276,089
2014	536	53,6	93	114,072	11,407	318,943
Rata-rata						291,350

Tabel 4.49 Indeks Erosivitas Stasiun Pule Kidul

Tahun	Curah Hujan		Jumlah Hari Hujan	Hujan max		Erosivitas (KJ/ tahun)
	mm	cm		mm	cm	
2003	606	60,6	105	140	14	389,112
2004	617	61,7	87	116	11,6	393,812
2005	576	57,6	86	94	9,4	326,186
2006	478	47,8	74	106	10,6	297,689
2007	473	47,3	63	100	10	307,645
2008	405	40,5	69	110	11	256,724
2009	546	54,6	68	110	11	371,180
2010	898	89,8	94	164	16,4	717,535
2011	591	59,1	85	125,031	12,503	393,151
2012	462	46,2	106	105	10,5	239,725
2013	596	59,6	80	130	13	417,228
2014	626	62,6	75	125	12,5	447,227
Rata-rata						379,768

Tabel 4.50 Indeks Erosivitas Stasiun Bluluk

Tahun	Curah Hujan		Jumlah Hari Hujan	Hujan max		Erosivitas (KJ/ tahun)
	mm	cm		mm	cm	
2003	642	64,2	98	133	13,3	419,672
2004	350	35	72	64	6,4	158,570
2005	215	21,5	64	97	9,7	115,658
2006	294	29,4	80	77	7,7	134,610

2007	268	26,8	84	66,864	6,686	109,168
2008	486	48,6	74	116	11,6	318,483
2009	355	35,5	50	61	6,1	186,973
2010	796	79,6	73	105	10,500	552,862
2011	598	59,8	78	92	9,2	353,480
2012	500	50	92	92	9,2	263,178
2013	588	58,8	60	96	9,600	401,077
2014	511	51,1	65	94,942	9,494	323,893
Rata-rata						278,135

Tabel 4.51 Indeks Erosivitas Stasiun Terusan

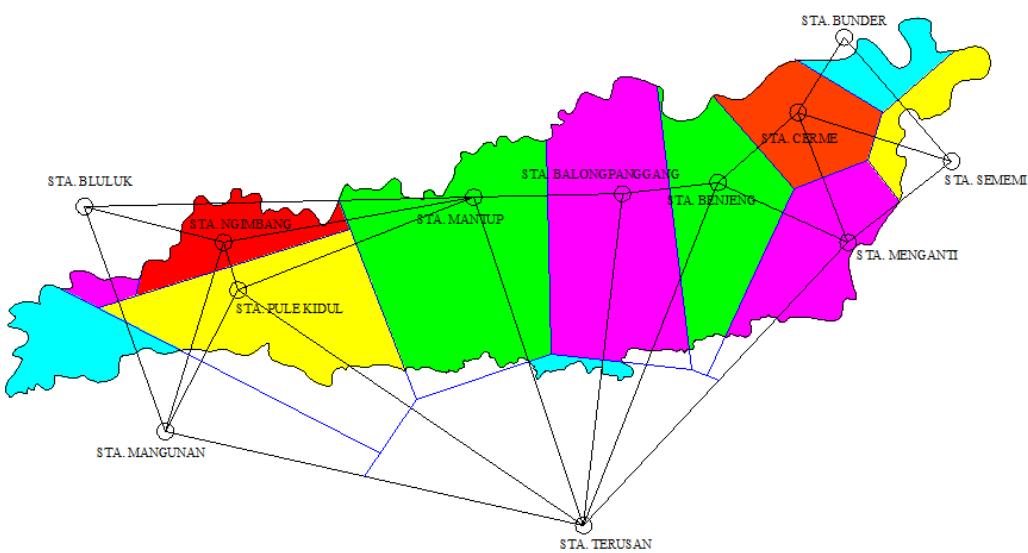
Tahun	Curah Hujan		Jumlah Hari Hujan	Hujan max		Erosivitas (KJ/ tahun)
	mm	cm		mm	cm	
2003	426	42,6	95	98	9,8	220,719
2004	493	49,3	86	130	13	320,406
2005	413	41,3	71	88	8,8	230,620
2006	388	38,8	66	81	8,1	211,912
2007	413	41,3	63	89	8,9	245,520
2008	367	36,7	75	108	10,8	216,917
2009	649	64,9	80	97,575	9,758	397,775
2010	569	56,9	64	136,612	13,661	450,048
2011	558	55,8	65	101	10,1	372,226
2012	331	33,1	105	90	9	148,279
2013	357	35,7	56	108,136	10,814	241,095
2014	238	23,8	76	90	9	115,915
Rata-rata						264,286

Tabel 4.52 Indeks Erosivitas Stasiun Mangungan

Tahun	Curah Hujan		Jumlah Hari Hujan	Hujan max		Erosivitas (KJ/ tahun)
	mm	cm		mm	cm	

2003	161	16,1	87	85	8,5	65,719
2004	599	59,9	76	103	10,3	380,532
2005	599	59,9	65	103	10,3	409,804
2006	654	65,4	98	129,263	12,926	422,805
2007	599	59,9	83	76,686	7,669	312,509
2008	599	59,9	76	103	10,3	380,532
2009	599	59,9	69	103	10,3	398,366
2010	710	71	67	160	16	625,694
2011	541	54,1	97	125	12,5	331,762
2012	541	54,1	56	82,029	8,203	344,896
2013	535	53,5	88	102	10,2	308,004
2014	420	42	68	129,880	12,988	294,814
Rata-rata						356,286

Selain dari nilai erosivitas, dihitung juga luasan poligon *thiessen* pada wilayah DAS Kali Lamong berdasarkan pada lokasi stasiun. Poligon *thiessen* pada DAS Kali Lamong dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Poligon Thiessen

Dari polygon thiessen, maka dapat dihitung koefisiennya dengan membagi luas polygon stasiun hujan dengan luas total DAS. Hasilnya akan dikalikan dengan erosivitas tahunan untuk memperoleh erosivitas rata-rata per tahun. Contoh perhitungan erosivitas rata-rata pada stasiun Sememi:

- Menentukan erosivitas rata-rata tahunan = 265,277 KJ/tahun
- Menentukan koefisien thiessen = 0,031

3. Menhitung erosivitas rata-rata

= Erosivitas rata-rata tahunan x koefisien thiessen

= 265,277 KJ/tahun x 0,031

= 8,112 KJ/ha/tahun

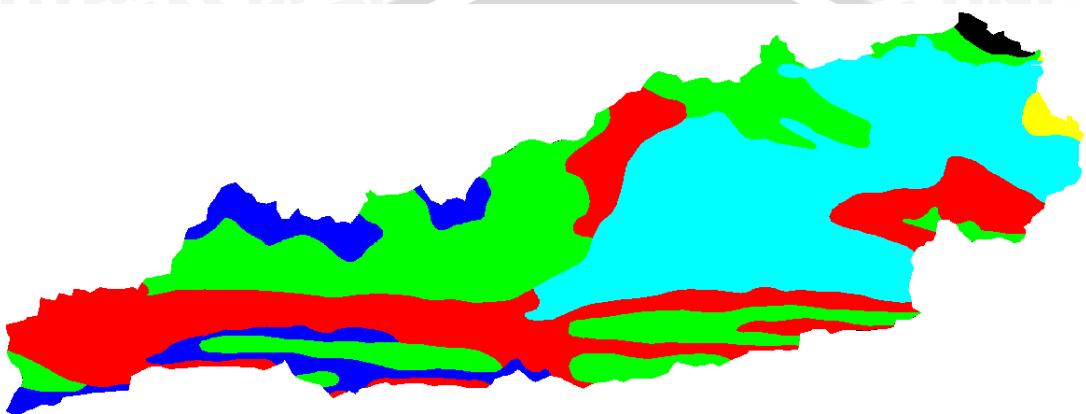
Perhitungan lengkap untuk erosivitas tiap stasiun hujan dapat dilihat pada tabel 4.53.

Tabel 4.53 Erosivitas Rata-rata DAS Kali Lamong

No	Stasiun	Erosivitas Rata-rata Tahunan (KJ/ tahun)	Koefisien Thiessen	Erosivitas Rata-rata (KJ/ tahun)
1	Sememi	265,277	0,031	8,112
2	Bunder	223,523	0,035	7,932
3	Cerme	192,190	0,069	13,337
4	Benjeng	235,920	0,114	26,892
5	Balongpanggang	254,152	0,188	47,694
6	Menganti	173,014	0,204	35,360
7	Mantup	265,780	0,087	23,153
8	Ngimbang	291,350	0,056	16,221
9	Pule Kidul	379,768	0,139	52,838
10	Bluluk	278,135	0,012	3,454
11	Terusan	264,286	0,008	2,215
12	Mangunan	356,286	0,056	19,882
Rata-rata				21,424

4.11.2 Menghitung indeks erodibilitas

Beberapa jenis tanah memiliki indeks erodibilitas tanah yang berbeda-beda. Apabila suatu jenis tanah memiliki nilai erodibilitas yang tinggi, maka semakin tinggi pula kemungkinan untuk terjadi erosi. Pada DAS Kali Lamong terdapat beberapa jenis tanah yang terlampir pada gambar 4.5 Sedangkan luas area jenis tanah dapat dilihat pada tabel 4.54.



Gambar 4.5 Peta Jenis Tanah DAS Kali Lamong

Dengan:

- [Yellow square] = endapan lumpur (Tanah hidromorphic alluvial)
- [Red square] = andesit dan basal
- [Blue square] = endapan liat (Tanah alluvial coklat keabu-abuan)
- [Green square] = batuliat dan batupasir (Tropudults)
- [Dark Blue square] = batuliat berkapur dan batupasir (Troporthens)
- [Black square] = batu gamping

Tabel 4.54 Jenis Tanah DAS Kali Lamong

Jenis tanah	Luas Wilayah (Ha)
Endapan liat	27763,997
Endapan lumpur	1720,224
Batu gamping	3046,454



Batu liat dan batu pasir	29403,142
Batu liat berkapur dan batu pasir	5527,906
Andesit dan basal	4080,694

Berdasarkan data di atas, maka dapat dihitung nilai K pada DAS Kali Lamong dengan mengambil nilai faktor jenis tanah pada tabel 4.55 dan 4.56 Kemudian dihitung dengan memperhatikan luas jenis area dari jenis tanah tersebut.

Tabel 4.55 Nilai K pada Berbagai Jenis Tanah I

No	Jenis Tanah	Bahan Induk	Nilai K (ton/KJ)
1	Latosol Dermaga	Haplortknox	0,03
2	Latosol Citayan	Haplortknox	0,09
3	Regosol Tanjungharjo	Troporthens	Batu liat berkapur
4	Grumosol Jegu	Caromunderts	Napal
5	Podsolik Jenggol	Tropodults	Batu liat
6	Mediteran Citaman	Troponumults	Tuff Vulkan
7	Mediteran Putat	Trapudalis	Breksi berkapur
8	Mediteran Punung	Tropoqualis	Breksi berkapur
9	Latosol merah	Humox	Breksi berkapur
10	Regosol	Oxidystropept	
11	Latosol merah kuning		0,12
12	Latosol Coklat	Typic Naplortnox	0,26
13	Lithosol pada lereng tajam	Lytic Tropotlent	0,23
14	Regosol diatas Kolovium	Oxy Distropept	0,27
15	Regosol Puncak Bukit	Typic Entropept	0,16
16	Gley Humic	Typic tropoguep	0,29
17	Litosol	Lytnic Eutripept	0,13 (clay)
18	Grumosol	Carmomunderts	0,26 (silty clay)
19	Regosol	Typic Dytropept	0,16
20	Latosol Coklat	Epyguic Tropodults	0,31
21	Gley numic di atas teras	Tropaguept	0,31
22	Hidromorf Abu-abu	Tropolluent	0,2
23	Andosol batu		0,2
			0,08-0,10

Tabel 4.56 Nilai K pada Berbagai Jenis Tanah II

No	Tipe Tanah	K
----	------------	---

1	Tanah eutropik organik	0,301
T	Tanah hidromorphic alluvial	0,156
3	Tanah abu-abu alluvial	0,259
4	Tanah alluvial coklat keabu-abuan	0,315
5	Alluvial abu-abu dan alluvial coklat keabu-abuan	0,193
6	Kompleks tanah alluvial abu-abu dan tanah humic abu-abu	0,205
7	Kompleks tanah alluvial abu-abu dan tanah humic rendah abu-abu	0,202
8	Komplek tanah hydromorfic abu-abu dan planosol coklat keabuabuan	0,301
9	Planosol coklat keabu-abuan	0,251
10	Komplek tanah litosol dan tanah mediteran merah	0,215
11	Regosol abu-abu	0,304
12	Komplek regosol abu-abu dan litosol	0,172
13	Regosol coklat	0,346
14	Regosol coklat kekuning-kuningan	0,331
15	Regosol abu-abu kekuning-kuningan	0,301
16	Komplek regosol dan litosol	0,302
17	Andosol coklat	0,278
18	Andosol coklat kekuning-kunigan	0,223
19	Komplek andosol coklat dan regosol coklat	0,271
20	Komplek rensinas, litosol dan tanah hutan coklat	0,157
21	Grumosol abu-abu	0,176
22	Grumosol abu-abu hitam	0,187
23	Komplek grumosol, regosol dan tanah mediteran	0,201
24	Komplek tanah mediteran coklat dan litosol	0,323
25	Komplek tanah menditeran dan grumosol	0,275
26	Komplek tanah menditeran coklat kemerahan dan litosol	0,188
27	Latosol coklat	0,175
28	Latosol coklat kemerahan	0,121
29	Latosol coklat hitam kemerahan	0,058
30	Latosol coklat kekuningan	0,082
31	Latosol merah	0,075
32	Latosol merah kekuningan	0,054
33	Kompleks latosol coklat dan regosol abu-abu	0,186
34	Kompleks latosol coklat dan kekuningan	0,091
35	Kompleks latosol coklat kemerahan dan latosol coklat	0,067
36	Kompleks latosol merah, latosol coklat kemerahan dan litosol	0,062
37	Kompleks latosol merah dan latosol coklat kemerahan	0,061
38	Kompleks latosol merah kekuningan, latosol coklat kemerahan dan latosol	0,064
39	Kompleks latosol coklat kemerahan dan litosol	0,075
40	Kompleks latosol merah kekuningan, latosol coklat podsolik merah kekuningan dan litosol	0,116
41	Tanah podsolik kuning	0,167

42	Tanah podsilik merah kekuningan	0,166
43	Tanah podsilik merah	0,158
44	Komplek podsilik kuning dan tanah hydromorphic abu-abu	0,249
45	Komplek tanah podsilik kuning dan regosol	0,158
46	Komplek tanah podsilik kuning, podsilik merah kekuningan dan regosol	0,175
47	Komplek lateritik merah kekuningan dan tanah podsilik merah kekuningan	0,175

Untuk nilai erodibilitas total, dapat dilihat pada tabel 4.57.

Tabel 4.57 Erodibilitas Total DAS Kali Lamong

Jenis tanah	Luas Wilayah (Ha)	K	Total
Endapan liat	27763,997	0,315	8745,659
Endapan lumpur	1720,224	0,156	268,355
Batu gamping	3046,454	1	3046,454
Batu liat dan batu pasir	29403,142	0,16	4704,503
Batu liat berkapur dan batu pasir	5527,906	0,14	773,907
Andesit dan basal	4080,694	1	4080,694
Jumlah	71542,417		21619,572

Untuk mendapatkan nilai faktor K, maka total nilai yang diperoleh dibagi dengan luas wilayah

$$\text{Nilai faktor } K = \frac{21619,572}{71542,417} = 0,302$$

4.11.3 Menghitung Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng

Kemiringan mempengaruhi kecepatan dan volume limpasan permukaan. Pada dasarnya, semakin curam suatu lereng, makin cepat laju permukaan. Begitu juga dengan semakin meningkatnya waktu untuk infiltrasi, volume limpasan permukaan juga semakin besar. Jadi, dengan meningkatnya persentase kemiringan, maka tingkat erosi juga akan semakin besar. Dalam pendugaan erosi faktor panjang dan kemiringan lereng dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$LS = \left[\left(\frac{L}{136} \right) x (100 + (0,965 x S) + (0,138 x S^2)) \right]^{0,5}$$

Dengan:

LS = Faktor panjang dan kemiringan lereng

L = Panjang lereng (m)

S = Kemiringan lereng (%)

Perhitungan nilai faktor panjang dan kemiringan lereng juga dapat dihitung dengan menggunakan metode *Eyles*. Jika panjang dan kemiringan lereng diketahui, maka nilai faktor panjang dan nilai faktor kemiringan lereng dapat diestimasi dengan menggunakan tabel 4.58 dan 4.59.

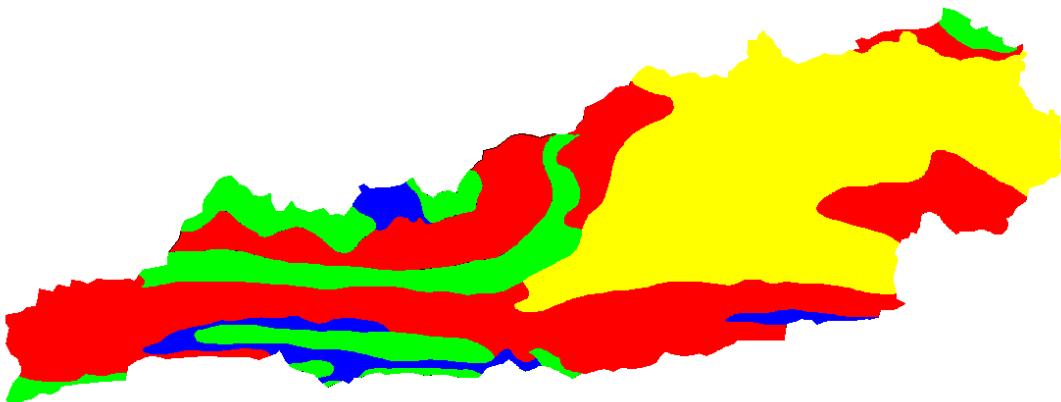
Tabel 4.58 Nilai Faktor Panjang Lereng (L)

Rata-rata Panjang Lereng (m)	Nilai L
50	1,5
75	1,8
150	2,7
300	3,7

Tabel 4.59 Nilai Faktor Kemiringan Lereng (S)

Kelas Lereng	Kemiringan (%)	Rata-rata Nilai
I	0-3	0,1
II	3-8	0,5
III	8-15	1,4
IV	15-25	3,1
V	25-40	4,1
VI	40-65	11,9

Wilayah DAS Kali Lamong memiliki kemiringan lereng yang berbeda-beda, mulai kemiringan 0-3% hingga 15-25%. Gambar kemiringan lereng pada DAS Kali Lamong dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Peta Kemiringan Lereng DAS Kali Lamong

Dengan:

- [Yellow box] = kemiringan 0-3%
- [Red box] = kemiringan 3-8%
- [Blue box] = kemiringan 8-15%
- [Green box] = kemiringan 15-25%

Contoh perhitungan nilai LS untuk kemiringan 0-3% :

1. Menentukan rata-rata panjang lereng, untuk kemiringan 0-3%, maka $L = 1,5$
2. Menentukan kemiringan lereng, maka $S = 0,1$
3. Menghitung koefisien luas $= \frac{3039,941}{7154,242} = 0,432$
4. Menghitung nilai LS rata-rata $= LS \times \text{koef. luas} = 0,15 \times 0,432 = 0,0649$

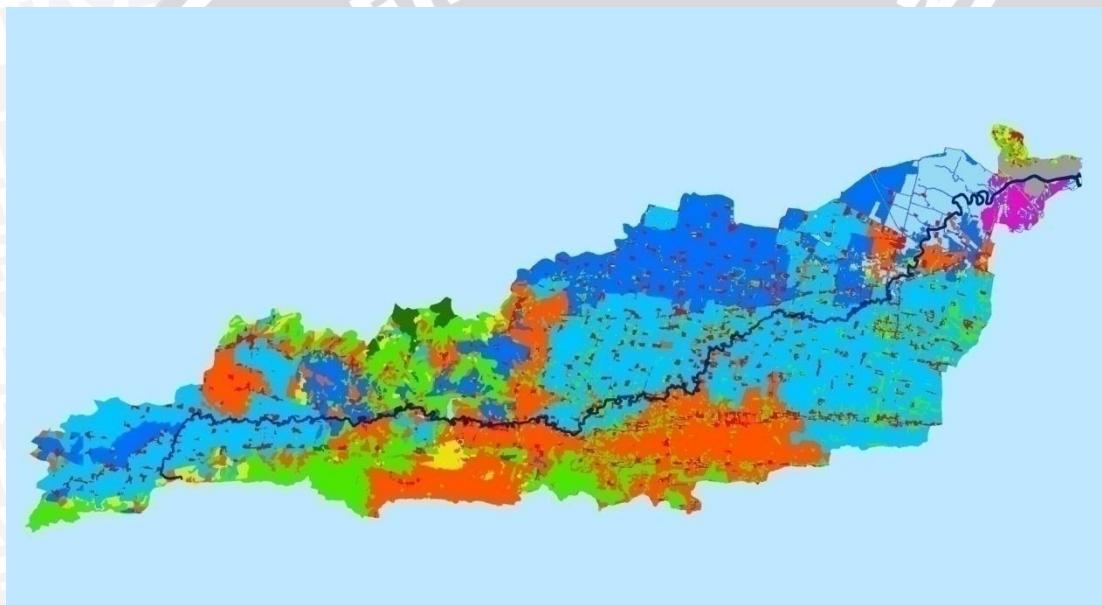
Perhitungan lengkap dapat dilihat pada tabel 4.60

Tabel 4.60 Nilai LS Rata-rata pada DAS Kali Lamong

Kelas Kelereng (%)	LS	Luas Wilayah (Ha)	Koef. Luas	LS Rata-rata
0-3	0,15	30939,413	0,432	0,0649
3-8	0,75	16561,318	0,231	0,1736
8-15	2,1	14620,325	0,204	0,4292
15-25	4,65	9421,361	0,132	0,6124
Jumlah		71542,417		1,280

4.11.4 Menghitung Faktor Penggunaan Lahan dan Pengelolaan lahan

Faktor penggunaan lahan (C) adalah perbandingan antara besarnya erosi dari lahan yang ditanami suatu jenis tanaman terhadap besarnya erosi tanah yang tidak ditanami. Faktor pengelolaan lahan (P) adalah perbandingan antara erosi dari lahan dengan suatu tindakan konservasi. Penggunaan lahan di DAS Kali Lamong dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Peta Penggunaan Lahan DAS Kali Lamong

Berdasarkan gambar 4.7, jenis penggunaan lahan pada DAS Kali Lamong dapat dirangkum pada tabel 4.61.

Tabel 4.61 Jenis Penggunaan Lahan DAS Kali Lamong

Jenis Tata Guna lahan	Luas (Ha)	Koef. Luas
Area terisi air	275,167	0,004
Hutan	557,636	0,008
Hutan Rawa	60,112	0,001
Perkebunan/kebun	11535,749	0,176
Rawa	27,08	0,000
Tanah kosong	448,089	0,007
Sawah irigasi	11154,565	0,170
Sawah Tadah hujan	22961,356	0,350



Semak Belukar	1298,741	0,020
Tambak.empang	3044,324	0,046
Tanah berbatu	95,643	0,001
Tegalan/ladang	14162,766	0,216
Jumlah	65.621	1

Setelah diketahui jenis penggunaan lahan, dapat dihitung nilai CP. Untuk nilai P diasumsikan bernilai 1 karena dianggap lahan yang tersedia tidak mengalami konservasi.

Contoh perhitungan nilai CP:

1. Jenis penggunaan lahan yaitu hutan, maka ditentukan nilai C = 0,01
2. Menentukan nilai P, yaitu 1
3. Menghitung nilai CP = koef. luas x C x P = 0,004 x 0,005 x 1 = 0,002

Ringakasan hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.62.

Tabel 4.62 Nilai CP Rata-rata DAS Kali Lamong

Jenis Tata Guna lahan	Luas (Ha)	Koef. Luas	CP	CP Rata-rata
Area terisi air	275,167	0,004	0,5	0,002097
Hutan	557,636	0,008	0,01	0,000085
Hutan Rawa	60,112	0,001	0,005	0,000005
Perkebunan/kebun	11535,749	0,176	0,3	0,052738
Rawa	27,08	0,000	0,005	0,000002
Tanah kosong	448,089	0,007	1	0,006828
Sawah irigasi	11154,565	0,170	0,01	0,001700
Sawah Tadah hujan	22961,356	0,350	0,284	0,099374
Semak Belukar	1298,741	0,020	0,3	0,005937
Tambak/empang	3044,324	0,046	0,5	0,023196
Tanah berbatu	95,643	0,001	0,7	0,001020
Tegalan/ladang	14162,766	0,216	0,7	0,151078
Jumlah	65.621	1		0,344060

4.11.5 Pendugaan Laju Erosi pada DAS Kali Lamong

Setelah dilakukan perhitungan pada masing-masing faktor, maka nilai erosi pada DAS Kali Lamong dapat dihitung. Besarnya nilai masing-masing faktor erosi yaitu;

1. Faktor erosivitas hujan (R) = 21,424 KJ/ha/tahun
2. Faktor erodibilitas tanah (K) = 0,302
3. Faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) = 1,280

4. Faktor penggunaan dan pengelolaan lahan (CP) = 0,344

Besarnya erosi yang terdapat di DAS Kali Lamong berdasarkan rumus USLE adalah:

$$\begin{aligned} A &= R \times K \times LS \times CP \\ &= 21,424 \times 0,302 \times 1,28 \times 0,344 = 2,943 \text{ ton/ha/tahun} \end{aligned}$$

4.12 Menghitung Nilai *Sediment Delivery Ratio* (SDR)

Dari proses sedimentasi, hanya sebagian aliran di sungai yang diangkut keluar dari DAS, sedangkan yang lain akan mengendap di lokasi tertentu di sungai. Persamaan umum untuk menghitung sedimentasi digunakan dengan cara pendekatan berdasarkan luas wilayah. Rasio sedimen terangkut dari keseluruhan material erosi tanah disebut Nisbah Pelepasan Sedimen.

Untuk perhitungan sedimen, peneliti tidak melakukan praktikum di laboratorium, namun menggunakan data yang telah ada. Hasil pendugaan nisbah pelepasan sedimen pada masing-masing sub DAS disajikan dalam tabel 4.63.

Tabel 4.63 Nilai SDR di Sub DAS Kali Lamong

No	Sub DAS	SDR (%)
1	Sub DAS Banter	22,09
2	Sub DAS Tegal	21,83
3	Sub DAS Gaun	13,53
4	Sub DAS Kedungpucang	17,72
5	Sub DAS Pucang	13,59
6	Sub DAS Mewek	14,89
7	Sub DAS Glunggung	22,29
Rata-rata		17,991

4.13 Analisa Erosi DAS dan Nilai *Sediment Delivery Ratio* (SDR)

Besarnya erosi yang terjadi pada DAS Kali Lamong berdasarkan perhitungan diperoleh sebesar 2,943 ton/ha/tahun. Berdasarkan tabel 4.64, maka dapat disimpulkan bahwa erosi yang terjadi pada DAS Kali Lamong dalam kategori ringan.

Tabel 4.64 Klasifikasi Bahaya Erosi

Kelas	Bahaya Erosi	
	ton/ha/tahun	mm/tahun
Sangat ringan	<1,75	<0,1
Ringan	1,75-17,5	0,1-1
Sedang	17,5-46,25	1-2,5
Berat	46,25-92,5	2,5-5
Sangat berat	>92,5	>5

Walaupun kategori erosi yang terjadi pada kategori ringan, perlu segera dilakukan penanganan pengendalian laju erosi. Erosi disebabkan oleh limpasan air yang tidak terserap ke dalam tanah sehingga menggerus permukaan tanah, terutama lereng sungai. Gerusan tanah erosi ini akan masuk ke dalam sungai yang akhirnya akan mengendap di dasar sungai. Penanganan ini dapat berupa perluasan areal hutan penghijauan, pegaturan ulang tata guna lahan, dan menanam lahan dengan tanaman keras. Selain dari tata guna lahan, bisa penanganan laju erosi dapat dilakukan dengan cara member perkuatan struktur di lereng sungai. Namun sekiranya dalam penanganan ini melibatkan masyarakat sekitar, sehingga masyarakat sekitar dapat ikut menjaga kondisi lahan namun tetap mendapat secara ekonomi dari perbaikan lahan.

Pengendapan pada sungai terjadi akibat besarnya energi limpasan aliran yang tidak mencukupi untuk membawa berat tanah yang tererosi. Tabel 4.65 menunjukkan hubungan antara luas DAS dengan rasio SDR.

Tabel 4.65 Nilai SDR di Sub DAS Kali Lamong

No	Luas DAS (Ha)	Rasio SDR
1	10	0,52
2	50	0,39
3	100	0,35
4	500	0,25
5	1000	0,22
6	5000	0,153
7	10.000	0,127
8	50.000	0,079

Dari data yang telah diperoleh, diketahui bahwa nilai SDR adalah sebesar 17,991% dan luas DAS Kali Lamong adalah 71.542 Ha. Dari perbandingan nilai SDR dan luas DAS

Kali Lamong dapat disimpulkan bahwa sedimentasi aktual yang terjadi sangat besar. Hal ini menunjukkan bahwa volume tanah yang tererosi yang terbawa ke sungai cukup signifikan. Kondisi penggunaan lahan yang didominasi oleh sawah dan perkebunan dengan tanaman lunak menyebabkan tidak adanya resapan air yang cukup di wilayah DAS, yang menyebabkan limpasan permukaan yang terjadi cukup besar., sehingga banyak menggerus permukaan tanah ketika terjadi hujan.

4.13 Perencanaan Normalisasi Sungai

Analisis hidrologi terbuka diperlukan untuk mengetahui kapasitas eksisting sungai Kali Lamong. Hasil dari analisis tersebut akan dibandingkan dengan debit banjir rencana. Bila debit banjir rencana lebih besar dari kapasitas debit eksisting, maka diperlukan normalisasi. Bila sebaliknya, maka tidak perlu normalisasi. Normalisasi sungai dilakukan dengan cara memperbesar dimensi penampang melintang sungai Kali Lamong pada bagian yang terjadi limpasan. Perbesaran yang dilakukan dibuat sedemikian rupa sehingga tidak terjadi limpasan.

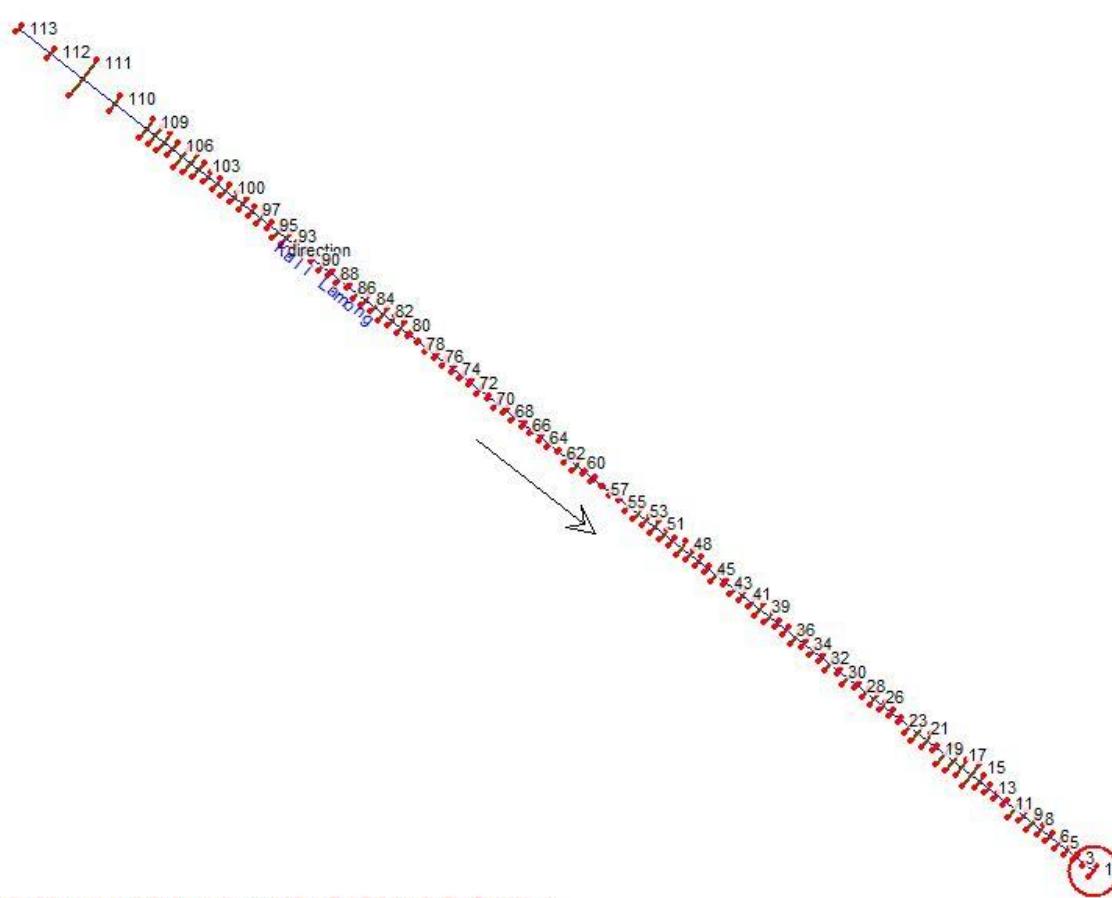
Erosi dan sedimentasi juga berpengaruh pada normalisasi. Ketika aliran air menggerus tanah di sekitar sungai, maka partikel tanah yang tererosi masuk ke dalam aliran air dan ikut mengalir. Ketika aliran air berkurang kecepatannya, maka energy dari aliran air tersebut tidak bisa lagi membawa partikel tanah yang terkandung di dalamnya. Akibatnya partikel tanah akan jatuh ke dasar sungai. Dengan demikian maka partikel tanah yang jatuh akan mengendap di dasar sungai dan akan terjadi pendakalan sungai. Namun, pada penelitian ini, peneliti tidak akan membahas tentang normalisasi akibat erosi dan sedimentasi, tapi hanya akan membahas normalisasi berdasarkan debit banjir.

Normalisasi pada Sungai Kali Lamong hanya diterapkan pada daerah Kabupaten Gresik yang mengalami banjir dengan menggunakan debit banjir rencana dengan kala ulang 10 tahun, yaitu $804,227 \text{ m}^3/\text{dt}$. Normalisasi yang dilakukan pada Sungai Kali Lamong agar dapat mengalirkan debit tersebut adalah dengan melakukan penggerukan dan peninggian tanggul. Selain itu penampang sungai yang tidak beraturan dibuat bentuk trapesium atau segi empat.

Rumus yang digunakan untuk menghitung debit eksisting sungai Kali Lamong adalah dengan persamaan 2-42 dan 2-43. Namun dalam kenyataannya, faktor-faktor untuk perhitungan kapasitas debit penampang sangatlah kompleks. Maka dari itu peneliti menggunakan bantuan program HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center's – River Analysis System*). Berikut langkah-langkah pemodelan:

1. Membuat jaringan saluran yang akan dimodelkan berdasarkan pengukuran lapangan.
2. Memasukkan data geometri saluran.
3. Mendefinisikan kondisi-kondisi batas yang akan digunakan dalam pemodelan.
4. Menjalankan program.
5. Hasil analisa

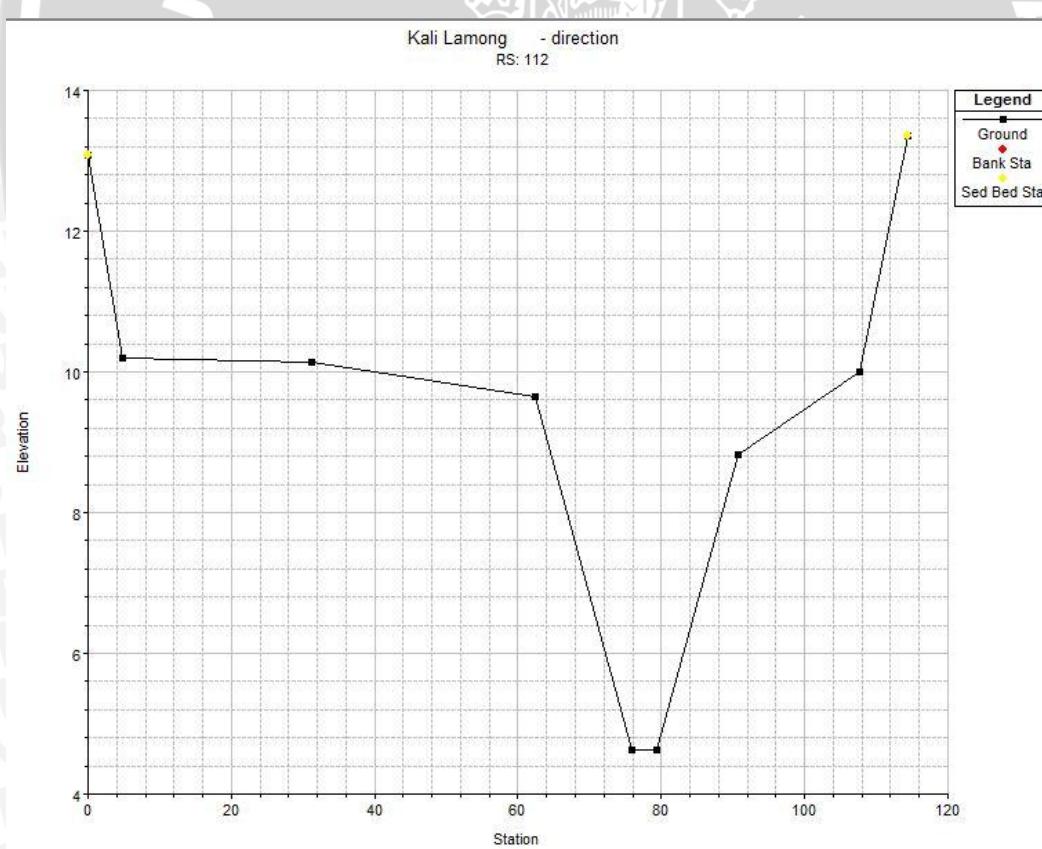
Langkah pertama dalam melakukan pemodelan profil muka air adalah membuat skematik sungai yang akan dimodelkan, skematik sungai yang dibuat sesuai dengan kondisi aslinya. Pemodelan dapat dilihat pada gambar 4.8.



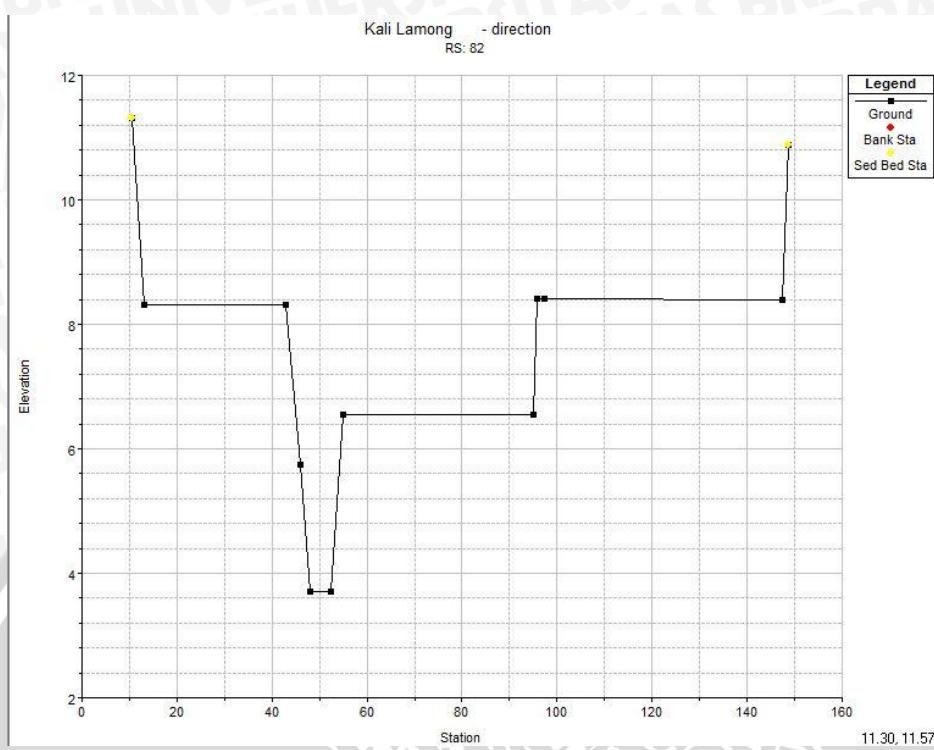
natic data outside default extents (see View/Set Schematic Plot Extents...)

Gambar 4.8 Skema Pemodelan Sungai Kali Lamong

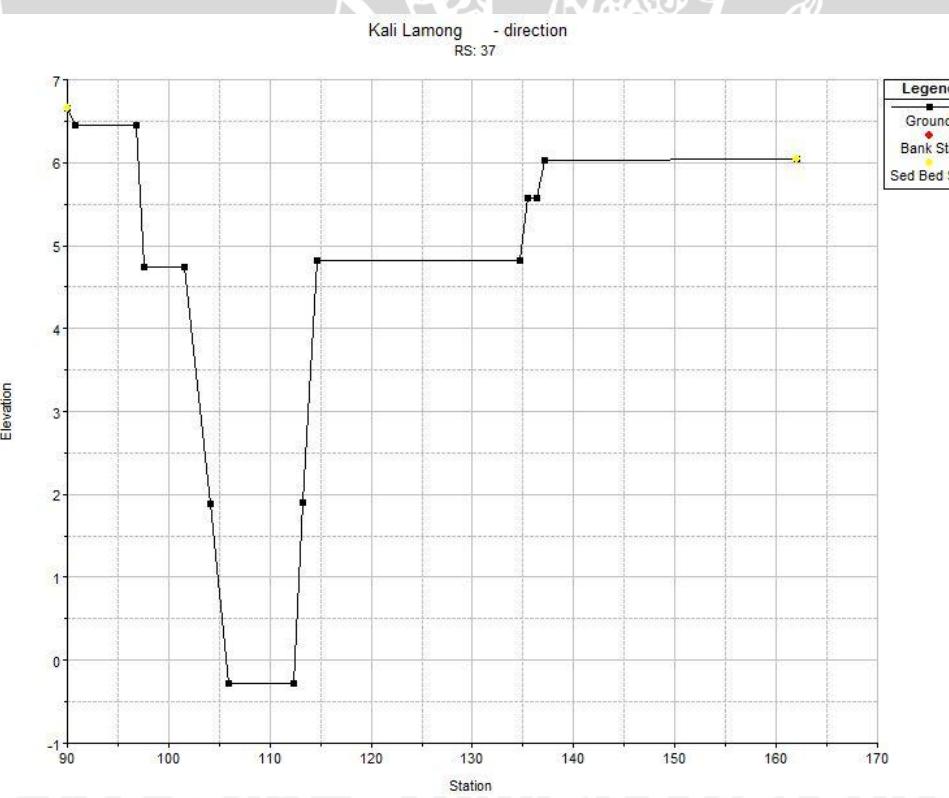
Langkah berikutnya adalah memasukkan titik koordinat *cross section* sungai yang akan dinormalisasi. Karena banyaknya *cross section* yang akan dibahas, dalam bab ini penulis hanya akan memberikan tiga contoh *cross section* yang bisa dilihat pada gambar 4.9 hingga 4.11.



Gambar 4.9 Contoh *Cross Section* Bagian Hulu

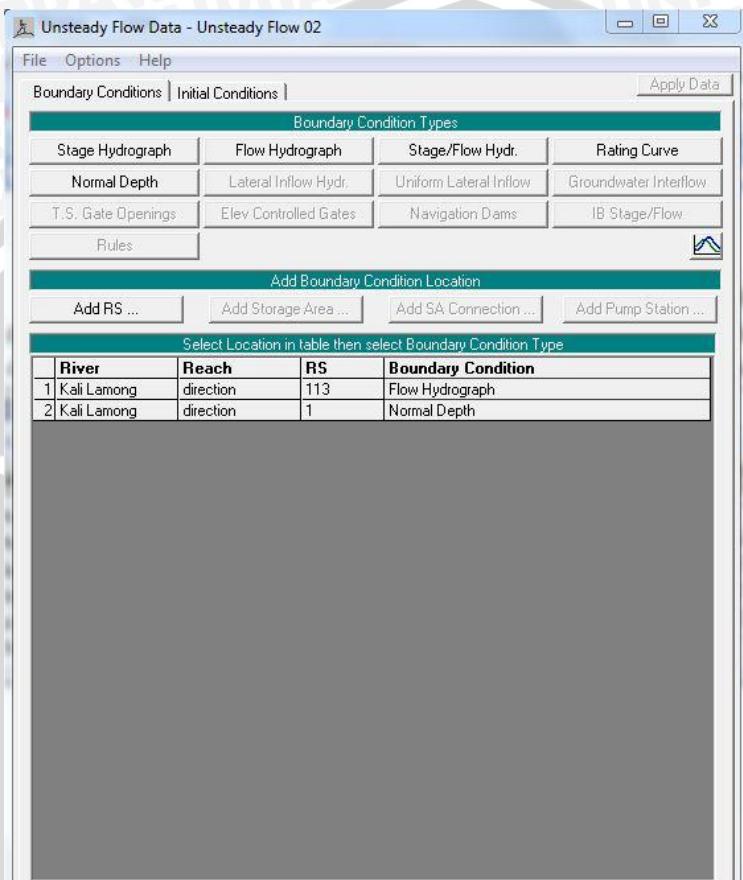


Gambar 4.10 Contoh Cross Section Bagian Tengah

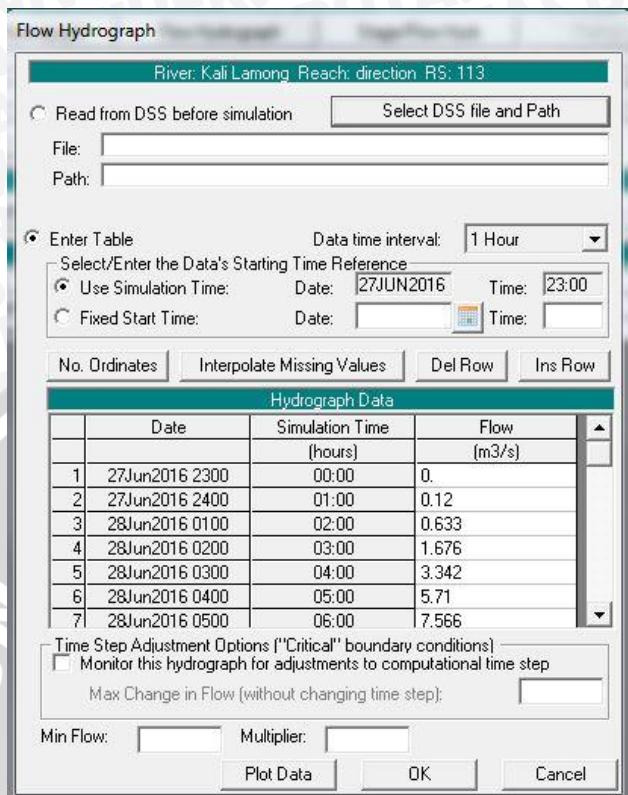


Gambar 4.11 Contoh Cross Section Bagian Hilir

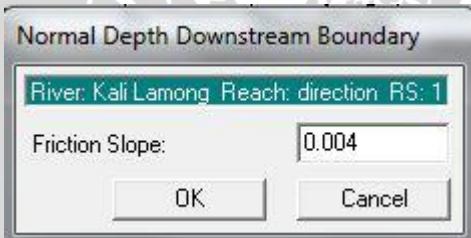
Setelah memasukkan semua koordinat *cross section*, langkah selanjutnya adalah dengan memasukkan nilai debit banjir dan kondisi batas. Pada langkah ini dipilih dengan menggunakan metode *Unsteady flow* karena dalam penelitian ini menggunakan metode hidrograf. Gambar 4.12 hingga 4.14 akan ditampilkan langkah-langkahnya.



Gambar 4.12 Memasukkan Nilai *Unsteady Flow Data*

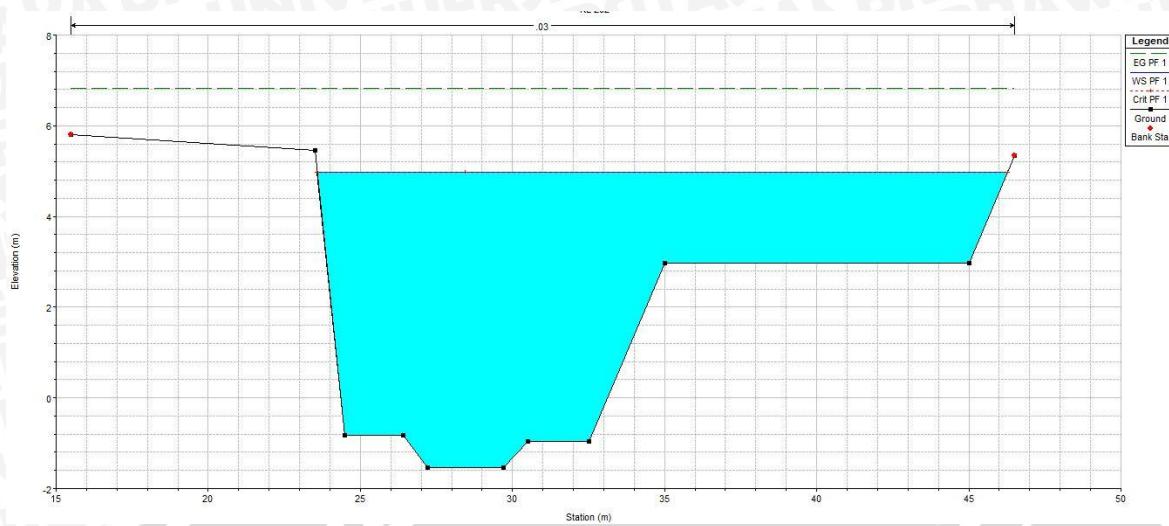


Gambar 4.13 Memasukkan Nilai *Flow Hidrograph*

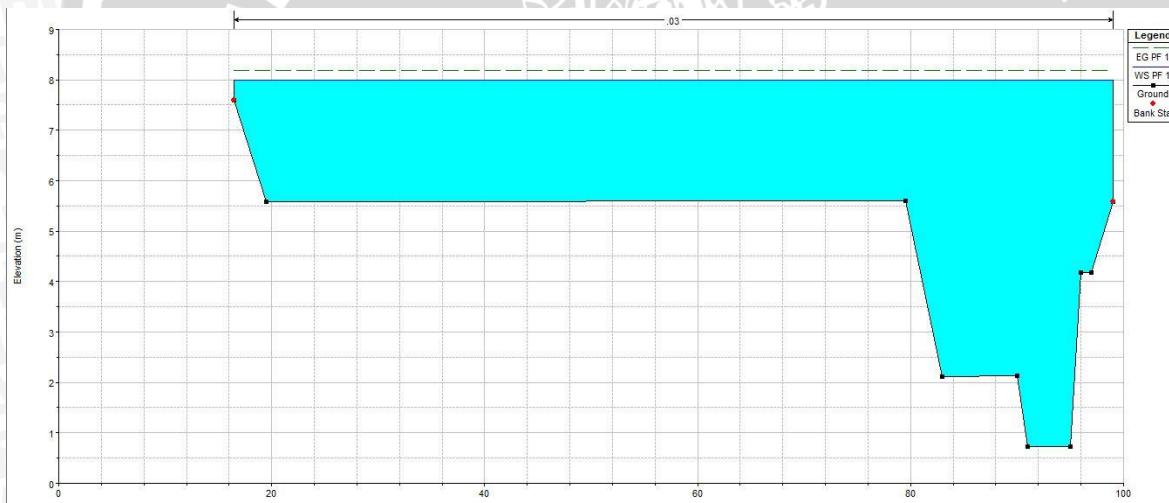


Gambar 4.14 Memasukkan Nilai *Slope*

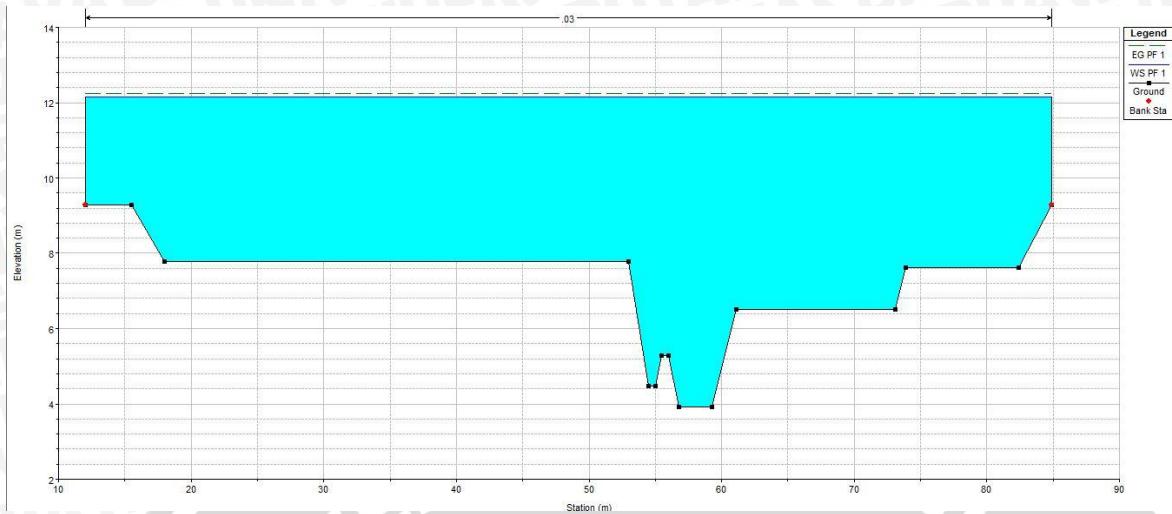
Setelah membuat data alur sungai, data *cross section*, dan data debit yang masuk, dilanjutkan dengan melakukan *running* pada program. Hasil dari *running* program ini adalah profil muka air yang terjadi di *cross section*. Pada gambar 4.15 hingga 4.17 ditampilkan profil muka air yang terjadi pada tiga contoh *cross section*.



Gambar 4.15 Profil Muka Air pada *Cross Section* Bagian Hulu

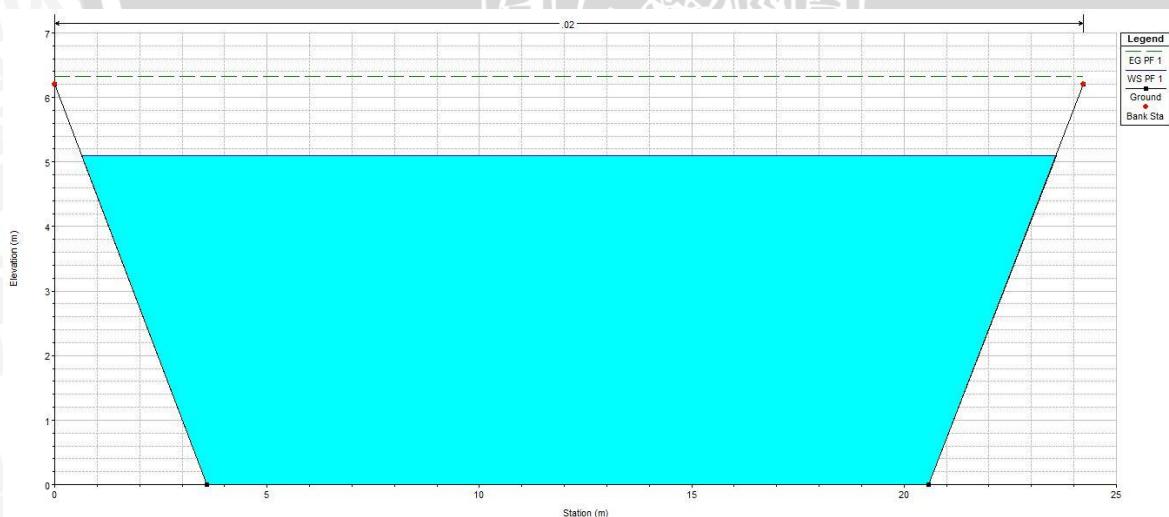


Gambar 4.16 Profil Muka Air pada *Cross Section* Bagian Tengah

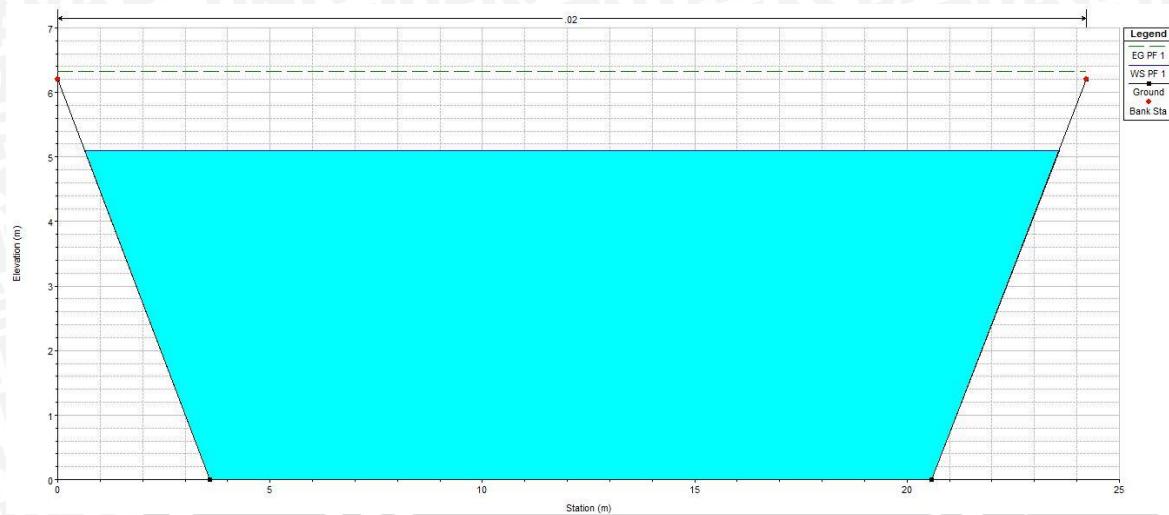


Gambar 4.17 Profil Muka Air pada Cross Section Bagian Hilir

Dari ketiga gambar diatas, dapat diketahui bahwa air telah meluap pada *cross section* bagian tengah dan hilir. Oleh karena itu *cross section* yang harus dinormalisasi adalah pada bagian tengah dan hilir, sedangkan pada bagian hulu tidak perlu normalisasi karena profil muka air masih berada di bawah tinggi maksimum *cross section*. Pada gambar 4.18 dan 4.19 akan ditampilkan normalisasi pada *cross section* bagian tengah dan hilir beserta profil muka airnya.



Gambar 4.18 Normalisasi Cross Section Bagian Tengah



Gambar 4.19 Normalisasi *Cross Section* Bagian Hilir

Jadi, untuk menentukan *cross section* mana saja yang perlu dinormalisasi perlu dilihat profil muka air apakah melebihi tinggi maksimum *cross section* atau tidak. Apabila melebihi tinggi maksimum *cross section* maka perlu dilakukan normalisasi, namun apabila tidak melebihi maka tidak perlu dilakukan normalisasi. Dalam tabel 4.66 ditampilkan *cross section* mana saja yang perlu dinormalisasi dan untuk gambar *cross section* setelah normalisasi bisa dilihat dalam lampiran 7.

Tabel 4.66 Daftar Cross Section yang Perlu atau Tidak Perlu Dinormalisasi

No	Kode Cross Section	Keterangan
1	BM 35	Perlu Normalisasi
2	BM 34	Tidak Perlu Normalisasi
3	BM 33	Tidak Perlu Normalisasi
4	BM 32	Perlu Normalisasi
5	BM 31	Tidak Perlu Normalisasi
6	KL 309	Perlu Normalisasi
7	KL 308	Tidak Perlu Normalisasi
8	KL 307	Perlu Normalisasi
9	KL 306	Tidak Perlu Normalisasi
10	KL 305	Perlu Normalisasi
11	KL 304	Perlu Normalisasi
12	KL 303	Perlu Normalisasi
13	KL 302	Perlu Normalisasi

14	KL	301	Perlu Normalisasi
15	BM	30	Perlu Normalisasi
16	KL	299	Perlu Normalisasi
17	KL	298	Perlu Normalisasi
18	KL	297	Perlu Normalisasi
19	KL	296	Perlu Normalisasi
20	KL	295	Perlu Normalisasi
21	KL	294	Perlu Normalisasi
22	KL	293	Perlu Normalisasi
23	KL	292	Perlu Normalisasi
24	KL	291	Perlu Normalisasi
25	BM	29	Perlu Normalisasi
26	KL	289	Perlu Normalisasi
27	KL	288	Perlu Normalisasi
28	KL	287	Perlu Normalisasi
29	KL	286	Perlu Normalisasi
30	KL	285	Perlu Normalisasi
31	KL	284	Perlu Normalisasi
32	KL	283	Perlu Normalisasi
33	KL	282	Perlu Normalisasi
34	KL	281	Perlu Normalisasi
35	BM	28	Perlu Normalisasi
36	KL	279	Perlu Normalisasi
37	KL	278	Perlu Normalisasi
38	KL	277	Perlu Normalisasi
39	KL	276	Perlu Normalisasi
40	KL	275	Perlu Normalisasi
41	KL	274	Perlu Normalisasi
42	KL	273	Perlu Normalisasi
43	KL	272	Perlu Normalisasi
44	KL	271	Perlu Normalisasi
45	BM	27	Perlu Normalisasi
46	KL	269	Perlu Normalisasi
47	KL	268	Perlu Normalisasi
48	KL	267	Perlu Normalisasi
49	KL	265	Perlu Normalisasi
50	KL	264	Perlu Normalisasi
51	KL	263	Perlu Normalisasi
52	KL	262	Perlu Normalisasi
53	KL	261	Perlu Normalisasi
54	BM	26	Perlu Normalisasi

55	KL	259	Perlu Normalisasi
56	KL	258	Perlu Normalisasi
57	KL	257	Perlu Normalisasi
58	KL	256	Perlu Normalisasi
59	KL	255	Perlu Normalisasi
60	KL	254	Perlu Normalisasi
61	KL	253	Perlu Normalisasi
62	KL	252	Perlu Normalisasi
63	KL	251	Perlu Normalisasi
64	BM	25	Tidak Perlu Normalisasi
65	KL	249	Perlu Normalisasi
66	KL	248	Perlu Normalisasi
67	KL	247	Perlu Normalisasi
68	KL	246	Perlu Normalisasi
69	KL	245	Perlu Normalisasi
70	KL	244	Perlu Normalisasi
71	KL	243	Tidak Perlu Normalisasi
72	KL	242	Perlu Normalisasi
73	KL	241	Perlu Normalisasi
74	BM	24	Perlu Normalisasi
75	KL	239	Perlu Normalisasi
76	KL	238	Perlu Normalisasi
77	KL	237	Perlu Normalisasi
78	KL	236	Perlu Normalisasi
79	KL	235	Perlu Normalisasi
80	KL	234	Perlu Normalisasi
81	KL	233	Perlu Normalisasi
82	KL	232	Perlu Normalisasi
83	KL	231	Perlu Normalisasi
84	BM	23	Perlu Normalisasi

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian, metodologi penelitian yang digunakan dan analisis hasil, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Debit banjir rancangan dengan kala ulang tertentu adalah
 - a. Kala ulang 2 tahun : $648,793 \text{ m}^3/\text{dt}$
 - b. Kala ulang 5 tahun : $763,335 \text{ m}^3/\text{dt}$
 - c. Kala ulang 10 tahun : $804,227 \text{ m}^3/\text{dt}$
 - d. Kala ulang 25 tahun : $845,250 \text{ m}^3/\text{dt}$
 - e. Kala ulang 50 tahun : $867,632 \text{ m}^3/\text{dt}$
2. Nilai erosi yang terjadi pada DAS Kali Lamong adalah 2,943 ton/ha/tahun dan nilai nisabah pelepasan sedimen (SDR) adalah yang terjadi adalah 17,991%
3. Normalisasi pada alur sungai Kali Lamong yang melewati Kabupaten Gresik hanya menggunakan debit banjir rencana dengan kala ulang 10 tahun, yaitu sebesar $804,227 \text{ m}^3/\text{dt}$. Untuk gambar cross section pada tiap penampang bisa dilihat pada lampiran 7.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Dalam penelitian ini tidak dibahas tentang total galian timbunan yang diperlukan untuk normalisasi dan perkuatan struktur dan serta dalam perencanaan normalisasi.

Agar dalam penelitian berikutnya mendapatkan hasil yang lebih baik, maka diharapkan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Perhitungan galian timbunan

2. Perhitungan struktur untuk normalisasi
3. Perhitungan rancangan anggaran biaya

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, Sinatala. 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Asdak, Chay. 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan DAS*. Yogyakarta: UGM Press.
- Chow, Ven Te. 1997. *Open Channel Hydraulics*. Jakarta : Erlangga.
- Chow Ven Te, Maidment, David R, Mays. Larry W. 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Company.
- Sistem Perencanaan Drainase Jalan. Departemen Pekerjaan Umum. 2006.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*. Bandung : Penerbit Nova.
- C. D. Soemarto. 1999. *Hidrologi Teknik*. Penerbit Erlangga; Jakarta.
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: ANDI.
- USDA. 1964. *National Engineering Hanbook*. SCS.
- Wischmeier,W.H., & D.D.,Smith. 1959. *A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil Loss Equation*. Soil Sci. Amer. Proc
- Wischmeier,W.H., Johnson,C.B., dan Cross,B.V. 1971. *A Soil Erodibility Monograph for Farmland and Construction Sites*. J. Soil and Water Conserv.



LAMPIRAN

Lampiran 1 : Data curah hujan tiap stasiun dari tahun 2003 hingga 2014

1. Stasiun Sememi

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nop	Des
2003	65	117	53	37	32	27	0	0	0	6	99	12
2004	56	60	73	27	56	26	12	0	0	10	75	79
2005	68	90	69	40	42	39	59	39	9	40	47	78
2006	130	86	51	47	32	7	0	0	0	0	5	49
2007	39	76	97	29	37	9	0	0	0	0	27	82
2008	63	39	47	36	19	0	0	4	0	48	52	120
2009	76	68	78	69	27	17	0	4	0	0	16	78
2010	62	47	83	43	37	16	24	17	26	89	39	127
2011	32	49	72	42	39	0	0	0	0	0	79	49
2012	82	39	38	36	0	0	0	0	0	0	0	0
2013	65	90	53	37	32	27	0	0	0	6	98	12
2014	56	60	73	27	56	26	12	0	0	10	75	104

2. Stasiun Bunder

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nop	Des
2003	47	69	54	49	51	5	0	0	0	43	55	37
2004	56	69	63	20	77	18	0	0	0	0	67	69
2005	60	30	84	63	7	75	21	0	0	47	38	39
2006	41	66	35	101	33	21	0	0	0	0	15	150
2007	50	45	70	55	9	53	0	0	0	0	17	62
2008	30	32	76	0	54	4	0	13	0	40	28	52
2009	80	85	74	35	27	13	0	0	0	0	14	35
2010	56	51	103	26	30	13	27	11	16	30	75	64
2011	43	57	103	30	47	0	0	0	0	16	57	33
2012	66	41	22	25	72	7	0	0	0	20	28	35
2013	80	37	68	42	93	8	49	0	0	21	43	77
2014	62	73	80	100	6	27	14	0	0	0	47	112



3. Stasiun Cerme

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nop	Des
2003	34	54	48	15	26	0	0	0	0	0	51	47
2004	28	24	65	25	17	16	5	0	0	0	39	35
2005	29	30	31	33	18	27	20	0	0	42	38	43
2006	32	49	35	61	44	27	0	0	0	0	5	120
2007	49	51	40	33	16	26	0	0	0	0	0	58
2008	24	55	74	23	26	7	0	0	0	0	34	71
2009	75	88	71	44	14	7	0	0	0	0	4	4
2010	79	67	111	71	20	20	59	30	45	39	63	68
2011	59	60	61	38	32	2	0	0	0	0	108	74
2012	73	40	40	25	11	0	0	0	0	0	70	75
2013	50	69	79	65	43	94	16	0	0	0	110	78
2014	40	51	55	42	17	7	13	4	0	0	27	150

4. Stasiun Benjeng

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nop	Des
2003	43	63	48	29	25	21	0	0	0	37	116	60
2004	49	52	62	24	60	0	0	0	0	0	90	57
2005	31	63	54	66	37	48	0	0	0	56	67	51
2006	94	76	34	59	115	48	0	0	0	0	35	82
2007	51	54	79	34	12	14	0	0	0	7	21	54
2008	25	19	40	15	10	49	0	3	0	27	40	76
2009	43	59	41	84	33	14	0	0	0	0	31	49
2010	63	73	61	26	37	43	35	16	18	16	90	64
2011	81	55	89	40	40	0	0	0	0	34	61	31
2012	53	29	30	27	29	10	0	0	0	50	60	54
2013	40	98	88	66	38	43	27	0	0	0	50	90
2014	49	52	47	50	26	31	15	0	0	0	34	127

5. Stasiun Balongpanggang

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nop	Des
2003	38	79	41	27	32	0	0	0	0	19	48	29
2004	56	48	60	0	0	0	0	0	0	0	37	89
2005	29	28	68	70	0	101	12	0	0	62	42	62
2006	101	115	46	90	28	101	0	0	0	0	20	67
2007	27	53	58	20	14	12	0	0	0	0	0	63
2008	27	26	75	52	44	0	0	20	25	32	78	78
2009	60	72	46	87	50	33	0	0	0	0	57	30
2010	82	54	114	61	34	34	35	67	24	20	55	55
2011	153	56	72	91	34	0	0	0	0	0	86	34
2012	50	28	68	0	32	5	0	0	0	0	70	65
2013	60	96	38	47	58	57	27	0	0	0	95	109
2014	50	31	85	55	40	21	0	0	0	0	18	83

6. Stasiun Mantup

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nop	Des
2003	48	100	0	0	32	0	0	0	0	45	85	60
2004	113	47	95	20	41	35	0	0	0	6	58	83
2005	31	45	0	0	0	175	0	0	0	45	50	34
2006	119	131	156	75	53	0	0	0	0	0	12	63
2007	43	55	70	40	20	50	0	20	0	10	52	98
2008	112	26	139	12	35	30	0	0	0	52	56	92
2009	60	53	110	35	75	23	0	0	11	11	55	30
2010	55	58	105	35	40	40	16	41	50	90	40	14
2011	0	85	100	30	41	1	0	0	0	0	85	52
2012	42	24	21	63	61	17	0	0	0	22	18	42
2013	49	43	42	42	16	13	8	0	0	3	55	41
2014	44	35	28	28	4	0	0	0	0	0	79	60

7. Stasiun Menganti

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nop	Des
2003	60	59	43	49	42	11	0	0	0	22	57	47
2004	85	48	71	22	30	4	7	0	0	0	72	67
2005	38	61	34	41	12	54	12	0	0	49	67	32
2006	61	64	53	22	59	12	0	0	0	0	7	75
2007	43	59	67	40	31	6	0	0	0	0	7	61
2008	41	38	52	30	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	24	97	71	69	36	16	0	0	0	0	16	11
2010	56	69	60	72	30	20	15	0	17	56	25	76
2011	26	73	60	41	0	0	0	0	0	20	34	22
2012	22	0	0	0	21	12	0	0	0	0	0	0
2013	57	36	40	63	80	128	42	0	0	57	60	110
2014	120	45	80	130	29	41	30	0	0	0	17	40

8. Stasiun Ngimbang

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nop	Des
2003	59	73	56	60	143	3	0	0	0	0	0	0
2004	82	67	58	26	49	61	10	0	0	0	34	28
2005	56	61	52	39	0	0	22	37	4	35	36	49
2006	83	103	59	38	50	0	0	0	0	0	58	84
2007	58	63	55	64	30	31	18	12	0	0	41	84
2008	61	50	60	22	29	82	0	22	26	59	42	50
2009	82	68	65	94	61	19	0	0	0	0	71	37
2010	42	56	118	48	156	21	16	52	33	64	45	51
2011	54	61	119	44	35	27	15	0	27	14	42	50
2012	58	40	30	41	32	28	0	0	0	26	39	64
2013	45	69	71	80	24	28	37	0	0	7	71	83
2014	71	49	71	66	29	45	24	0	0	21	79	81

9. Stasiun Pule Kidul

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nop	Des
2003	75	85	45	64	140	12	0	0	30	50	55	50
2004	80	97	114	116	31	42	0	0	0	12	69	56
2005	40	69	66	50	46	94	31	8	4	40	71	57
2006	96	94	66	66	50	0	0	0	0	0	0	106
2007	20	100	66	54	15	30	0	15	0	40	85	48
2008	40	42	110	43	16	15	0	15	0	18	38	68
2009	40	85	50	58	110	20	0	0	20	12	97	54
2010	54	54	130	72	164	36	20	42	84	50	97	95
2011	65	90	149	65	57	10	0	0	0	25	44	86
2012	51	67	80	54	45	0	0	0	0	30	30	105
2013	75	85	45	64	130	12	0	0	30	50	55	50
2014	80	97	114	125	31	42	0	0	0	12	69	56

10. Stasiun Bluluk

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nop	Des
2003	94	133	42	84	85	0	0	0	20	79	67	38
2004	63	36	64	30	49	0	2	0	0	0	49	57
2005	28	97	36	44	0	0	0	0	3	7	0	0
2006	0	77	42	36	48	14	0	0	0	0	31	46
2007	16	43	45	39	16	11	0	12	0	0	34	52
2008	48	46	39	41	13	47	0	22	7	116	43	64
2009	49	48	48	18	39	27	19	0	0	0	46	61
2010	44	54	47	52	99	87	27	96	46	105	77	62
2011	64	67	83	41	48	47	16	0	67	0	73	92
2012	44	92	38	92	42	39	0	0	0	46	60	47
2013	59	86	87	56	46	48	0	0	0	54	56	96
2014	48	66	137	53	0	0	0	0	0	48	32	127

11. Stasiun Terusan

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nop	Des
2003	64	95	42	0	98	0	0	0	0	0	88	39
2004	68	64	114	130	35	0	0	0	0	0	35	47
2005	88	49	53	55	0	0	0	0	0	0	84	84
2006	43	70	81	76	42	25	0	0	0	0	0	51
2007	53	47	52	89	15	20	0	0	0	0	50	87
2008	42	60	108	47	0	0	0	0	0	0	30	80
2009	67	86	136	64	73	23	0	0	0	0	83	117
2010	81	99	39	58	30	16	70	44	25	27	50	30
2011	80	40	60	101	98	64	0	0	0	0	50	65
2012	67	37	20	30	27	0	0	0	0	0	60	90
2013	75	27	40	57	20	30	21	0	0	0	30	57
2014	90	35	48	21	4	10	0	0	0	0	0	30

12. Stasiun Mangungan

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nop	Des
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76	85
2004	73	57	103	67	84	0	0	0	0	97	41	77
2005	73	57	103	67	84	0	0	0	0	97	41	77
2006	49	71	62	75	37	37	0	27	78	76	63	79
2007	73	57	103	67	84	0	0	0	0	97	41	77
2008	73	57	103	67	84	0	0	0	0	97	41	77
2009	73	57	103	67	84	0	0	0	0	97	41	77
2010	60	105	160	60	60	41	23	8	0	0	125	68
2011	65	64	57	125	60	0	0	0	0	0	93	77
2012	65	64	57	125	60	0	0	0	0	0	93	77
2013	102	15	91	94	35	48	50	0	0	0	49	51
2014	103	51	53	73	13	9	0	0	0	0	45	73

Lampiran 2 : Jumlah hari hujan tiap stasiun dari tahun 2003 hingga 2014

1. Stasiun Sememi

Tahun	Jumlah hari hujan
2003	92
2004	72
2005	63
2006	85
2007	84
2008	74
2009	46
2010	68
2011	65
2012	104
2013	88
2014	90

2. Stasiun Bunder

Tahun	Jumlah hari hujan
2003	70
2004	96
2005	76
2006	88
2007	64
2008	80
2009	106
2010	89
2011	74
2012	100
2013	96
2014	92

3. Stasiun Cerme

Tahun	Jumlah hari hujan
2003	78
2004	82
2005	86
2006	90
2007	95
2008	58
2009	105
2010	106
2011	71
2012	69
2013	88
2014	90

4. Stasiun Benjeng

Tahun	Jumlah hari hujan
2003	80
2004	74
2005	70
2006	82
2007	88
2008	68
2009	78
2010	89
2011	92
2012	59
2013	60
2014	84

5. Stasiun Balongpanggang

Tahun	Jumlah hari hujan
2003	96
2004	77
2005	68
2006	71
2007	84
2008	88
2009	95
2010	66
2011	68
2012	71
2013	80
2014	99

7. Stasiun Mantup

Tahun	Jumlah hari hujan
2003	70
2004	61
2005	64
2006	82
2007	76
2008	75
2009	91
2010	104
2011	115
2012	97
2013	98
2014	72

6. Stasiun Menganti

Tahun	Jumlah hari hujan
2003	89
2004	70
2005	75
2006	94
2007	76
2008	83
2009	91
2010	69
2011	97
2012	85
2013	86
2014	97

8. Stasiun Ngimbang

Tahun	Jumlah hari hujan
2003	78
2004	83
2005	91
2006	68
2007	64
2008	56
2009	50
2010	68
2011	70
2012	88
2013	80
2014	93

9. Stasiun Pule Kidul

Tahun	Jumlah hari hujan
2003	105
2004	87
2005	86
2006	74
2007	63
2008	69
2009	68
2010	94
2011	85
2012	106
2013	80
2014	75

11. Stasiun Terusan

Tahun	Jumlah hari hujan
2003	95
2004	86
2005	71
2006	66
2007	63
2008	75
2009	80
2010	64
2011	65
2012	105
2013	56
2014	76

10. Stasiun Bluluk

Tahun	Jumlah hari hujan
2003	98
2004	72
2005	64
2006	80
2007	84
2008	74
2009	50
2010	73
2011	78
2012	92
2013	60
2014	65

12. Stasiun Mangunan

Tahun	Jumlah hari hujan
2003	87
2004	76
2005	65
2006	98
2007	83
2008	76
2009	69
2010	67
2011	97
2012	56
2013	88
2014	68