

**ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN TERHADAP
BESARAN BANJIR DI DAS SAGULUNG KOTA BATAM**

TESIS

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK PENGAIRAN
MINAT MANAJEMEN SUMBER DAYA AIR**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Magister Teknik**



**MARDALINA
NIM. 176060400111034**

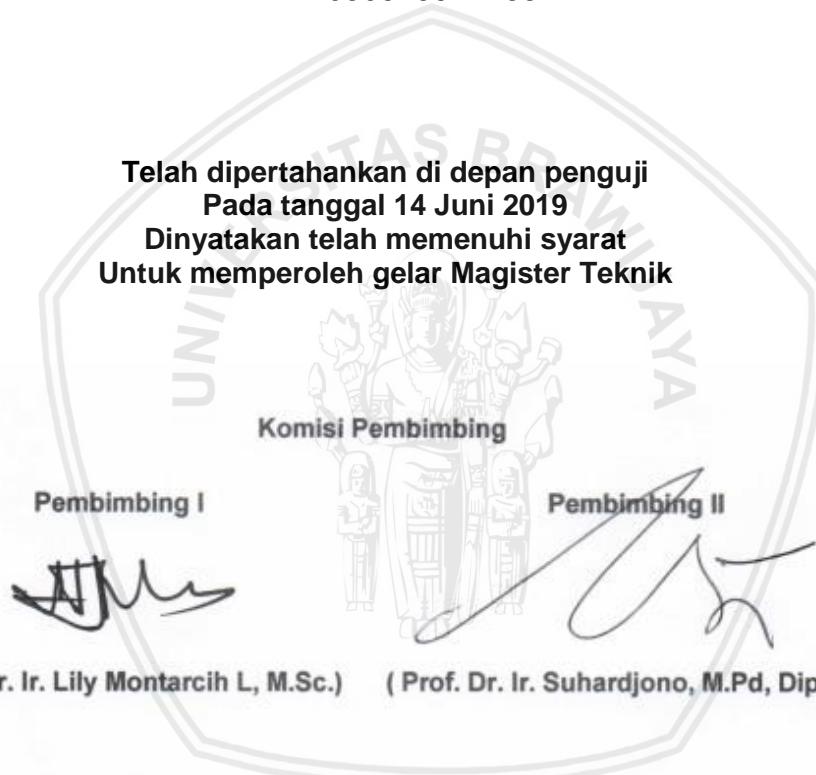
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2019**

TESIS

ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN TERHADAP BESARAN BANJIR DI DAS SAGULUNG KOTA BATAM

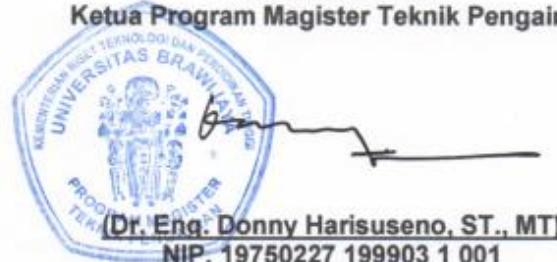
MARDALINA
NIM. 176060400111034

Telah dipertahankan di depan penguji
Pada tanggal 14 Juni 2019
Dinyatakan telah memenuhi syarat
Untuk memperoleh gelar Magister Teknik



Malang, 24 Juni 2019

Universitas Brawijaya
Fakultas Teknik
Ketua Program Magister Teknik Pengairan



JUDUL TESIS

**: ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN TATA GUNA
LAHAN TERHADAP BESARAN BANJIR DI DAS
SAGULUNG KOTA BATAM**

Nama Mahasiswa : Mardalina
NIM : 176060400111034
Program Studi : Magister Teknik Pengairan
Minat : Manajemen Sumber Daya Air

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Prof. Dr. Ir. Lily Montarcih L, M.Sc
Anggota : Prof. Dr. Ir. Suhardjono, M.Pd., Dipl.HE

TIM DOSEN PENGUJI :

Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Mohammad Bisri, MS.
Penguji 2 : Dr. Eng. Donny Harisuseno, ST., MT

Tanggal Ujian : 14 Juni 2019
SK Penguji : No. 325 Tahun 2019

TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM MAGISTER

SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 5/UN10.F07.14.21/TU/2019

Sertifikat ini diberikan kepada :

MARDALINA

Dengan Judul Tesis :

ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN TERHADAP BESARAN BANJIR

DI DAS SAGULUNG KOTA BATAM

Telah dideteksi tingkat plagiiasnya dengan kriteria toleransi $\leq 5\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 5 JULI 2019

Ketua Jurusan Teknik Pengairan

Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS
NIP. 19610131 198609 2 001

Dr. Eng. Donny Harisuseno, ST., MT
NIP. 19750227 199903 1 001



RIWAYAT HIDUP



MARDALINA, lahir di kota Jakarta pada tanggal 16 September 1979, putri ke dua dari ayah M. Silitonga dan Ibu Noortje Lumban Tobing. Melalui masa pendidikan dari jenjang SD sampai SMA di Kota Jakarta, lulus SMA Negeri 53 Jakarta pada tahun 1997, dan lulus program Sarjana Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya tahun 2002. Bekerja sebagai Aparatur Sipil Negara sejak tahun 2003 pada Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Papua di Jayapura, dan sampai sekarang aktif bekerja di Balai Wilayah Sungai Sumatera IV Batam Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Mendapatkan kesempatan berharga sebagai karyasiswa yang didanai oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat pada tahun 2017 untuk melanjutkan studi pada Program Studi Magister Teknik Pengairan Minat Manajemen Sumber Daya Air Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, dan karena anugerah dari Tuhan dapat menyelesaikan studi dan lulus sebagai Magister Teknik Tahun 2019.

Alamat email: lynasilitonga@gmail.com.

Malang, 24 Juni 2019

Penulis

1 Korintus 2:9

“Apa yang tidak pernah dilihat oleh mata,
dan tidak pernah didengar oleh telinga,
dan yang tidak pernah timbul di dalam hati manusia,
semua disediakan Tuhan Allah untuk mereka yang mengasihi Dia.”



Segala Pujian Hormat dan Kemuliaan Hanya Bagi Tuhan. Haleluya.

Atas Kemurahan Tuhan, Penulis memanjatkan

Syukur Puji Tuhan atas anugerah kesempatan berharga
dapat melewati masa studi sejak Agustus 2017 hingga Juni 2019.

Suamiku tercinta Elroy Koyari, ST., MT yang selalu setia mendukung dalam segalanya, juga
ke empat buah hati tersayang yang setia menemani. Terima kasih **my beloved man, juga Elsa,**
Eldrid, Elana, Elgio untuk sukacita dan semangat yang diberikan.

Terima kasih untuk orangtua dan keluarga besar Koyari-Silitonga, dan para sahabat tercinta
yang selalu menopang dalam doa.

Terima kasih untuk setiap orang yang sudah membantu bahkan yang sudah membaca tesis ini
kiranya karya ini dapat bermanfaat.

Tuhan Yesus Memberkati.

ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN TERHADAP BESARAN BANJIR DI DAS SAGULUNG BATAM

RINGKASAN

Mardalina, Program Magister Teknik Pengairan, Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Juni 2019. *Analisis Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan terhadap Besaran Banjir di DAS Sagulung Kota Batam*. Komisi Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Lily Montarcih L, M.Sc. dan Prof. Dr. Ir. Suhardjono, M.Pd., Dipl. HE.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis perubahan tata guna lahan dan besaran debit banjir yang terjadi. Lebih lanjut diketahui pula pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap debit banjir rencana serta lokasi dan genangan yang terjadi di DAS Sagulung. Metodologi terdiri dari analisis perubahan tata guna lahan dan pengaruhnya terhadap debit banjir rancangan yang terjadi, lokasi dan genangan yang terjadi pada tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017 di DAS Sagulung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan tata guna lahan DAS Sagulung tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017 dengan debit Q25th dan Q50th berdampak signifikan terhadap besar luasan genangan yang terjadi.

Keywords: perubahan tata guna lahan, debit banjir rancangan, lokasi genangan, genangan

The Effect of Land Use Change to the Flood Magnitude in the Sagulung Watershed-Batam-Indonesia

¹Mardalina Silitonga, ²Lily Montarcih Limantara, and ²Suhardjono

¹Master Program on the Department of Water Resources, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, Malang, Indonesia

²Department of Water Resources, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, Malang, Indonesia

Email: lynasilitonga@gmail.com, lilymont2001@gmail.com, suhardjonosisno@yahoo.co.id

ABSTRACT

This research intends to analyze the land use change and the flood magnitude that occurs. In further, this study also investigates the effect of land cover change to the design flood, the location and the inundation that occurs in the Sagulung watershed. The methodology consists of analyzing the land use change and the effect to the design flood that occurs, the location and inundation that occurs on 1990, 2000, 2008, and 2017 due to the design flood with the return periods of 25 and 50 years (Q_{25} and Q_{50}) in the Sagulung watershed. Result shows that the land use change in the Sagulung watershed on 1990, 2000, 2008, and 2017 due to the Q_{25} and Q_{50} give the significant impact to the inundation area that occurs.

Keywords: land use change, design flood, inundation location, inundation

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, sehingga dapat diselesaikannya tesis yang berjudul **“Analisis Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Besaran Banjir di DAS Sagulung Kota Batam”**. Tesis ini diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Program Studi Magister Teknik Pengairan Universitas Brawijaya minat Manajemen Sumber Daya Air.

Dalam penyelesaian tesis ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Bersama ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih setulusnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lily Montarcih Limantara, M.Sc. dan Prof. Dr. Ir. Suhardjono, MPd., Dipl. HE. sebagai dosen pembimbing yang telah rela hati memberikan waktu dan tenaganya untuk membimbing dan memberikan arahan sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
2. Semua pihak yang telah memberikan dukungan kepada penulis sehingga pada akhirnya tesis ini dapat terselesaikan.

Akhirnya penulis menyadari masih banyak kekurangan dan kekhilafan. Maka dengan ini dibutuhkan saran dan kritik positif yang diharapkan dapat menyempurnakan tesis ini sehingga menjadi lebih baik dan dapat bermanfaat.

Malang, Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah	2
1.3. Rumusan Masalah	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Tujuan Dan Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Daerah Aliran Sungai (DAS).....	5
2.1.1 Definisi Daerah Aliran Sungai (DAS).....	5
2.1.2 Pengelolaan DAS.....	5
2.2. Analisis Banjir Rencana	6
2.2.1 Menghitung Curah Hujan Rata-Rata Daerah	6
2.2.2 Analisis Curah Hujan Rencana.....	8
2.3. Uji Konsistensi Data Curah Hujan	10
2.3.1. Metode <i>Rescaled Adjusted Partial Sums</i> (RAPS).....	11
2.4. Uji Kualitas Data Curah Hujan.....	12
2.4.1. Uji Stationer.....	13
2.4.2. Uji Kestabilan Varian.....	13
2.4.3. Uji Kestabilan Nilai Rata-rata	14
2.5. Distribusi Hujan Jam-jaman	18
2.6. Limpasan (<i>Runoff Curve Number Method</i>)	19
2.6.1. Metode <i>Soil Conservation Service</i> (SCS).....	19
2.6.2. Metode Rasional	22
2.7. Model hidrologi HMS	22
2.8. Profil Aliran dengan Program HEC-RAS	22
2.8.1. Aliran Tetap (<i>Steady Flow</i>)	23

2.8.2. Persamaan Dasar Aliran Tetap (<i>Steady Flow</i>).....	23
2.8.3. Kehilangan Tinggi Energi.....	24
2.8.4. Penentuan Kedalaman Kritis	25
2.8.5. Koefisien Kekasaran	26
2.8.6. Kondisi Batas	26
2.9. Sistem Informasi Geografis	28
2.9.1. Subsistem SIG	29
2.9.2. Model Data SIG	30
2.9.3. Komponen SIG	31
2.9.4. Pengolahan Data dengan SIG	32
2.9.5. Keluaran Data	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	35
3.1 Lokasi Penelitian	35
3.2 Teknik Pengumpulan data	38
3.3 Metode Analisa Data	39
3.3.1 Analisis Statistik	39
3.3.2 Analisis Hidrologis	39
3.3.3 Analisis Tekstur Tanah	39
3.3.4 Analisis Tata Guna Lahan	39
3.3.5 <i>Curve Number</i> Komposit.....	40
3.3.6 Tata Guna Lahan dan Limpasan	40
3.3.7 Analisa Data dengan <i>Arc View</i> dan <i>HEC HMS</i>	40
3.3.7.1. Analisa Data / Peta dengan <i>Arc View</i>	40
3.3.7.2. Pengolahan Data dengan <i>HEC-HMS 3.5</i>	41
3.3.7.3. Tahapan Kalibrasi dan Validasi Model	42
3.3.7.4. <i>Running Model HEC HMS</i>	42
3.3.7.5. Analisis Hidrologi Dengan <i>HEC-RAS</i>	43
3.4 Studi Literatur	43
3.5 Tahapan Penelitian.....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 Pengumpulan Data	45
4.2 Analisis Hidrologi.....	45
4.2.1 Data Curah Hujan	45
4.2.2 Analisa Ketiadaan Trend	47

4.2.3 Uji Stasioner / Homogenitas Data	48
4.2.4 Uji RAPS (<i>Rescaled Adjusted Partial Sums</i>)	50
4.2.5 Distribusi Frekuensi Data Hujan	52
4.2.5.1 Distribusi Hujan Gumbel.....	52
4.2.5.2 Distribusi Hujan Log Pearson Tipe III	53
4.2.6 Uji Keselarasan Distribusi	54
4.2.6.1 Uji Chi-Square.....	54
4.2.6.2.Uji Smirnov Kolmogorov	56
4.2.6.3 Rekapitulasi Hasil Uji.....	57
4.3 Analisis Peta Das	58
4.3.1 Model HEC-HMS.....	58
4.3.2 Komponen HEC-HMS	59
4.3.3 Simulasi Hujan Aliran Model HEC-HMS	60
4.3.4 Menjalankan <i>Software</i> HEC-HMS	61
4.3.5 Properti DAS	75
4.3.6 Analisis Perubahan Tutupan Lahan	76
4.4 Analisis Perubahan Debit Banjir Rencana Dengan HEC-HMS	87
4.5 Kalibrasi Model	94
4.6 Analisis Hidrolika Sungai Sagulung	98
4.6.1. Data Geometri	98
4.6.2. Data Masukan pada Aliran Tetap	102
4.6.3. Hasil <i>Running</i> HEC-RAS	102
4.7 Analisa Sebaran Genangan Banjir	117
4.8 Hasil Analisis Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Besaran Banjir.	121
4.9 Strategi Penanganan Masalah.....	124
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	127
5.1. Kesimpulan.....	127
5.2. Saran	128

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Syarat Pemilihan Metode Frekuensi	8
Tabel 2.2	Nilai Q Kritis dan R Kritis untuk Metode RAPS	12
Tabel 2. 3	Nilai Fc untuk Uji F.....	14
Tabel 2. 4	Nilai Fc untuk Uji F Lanjutan.....	15
Tabel 2.5	Nilai tc untuk Uji t	16
Tabel 2.6.	Nilai CN Berdasarkan SCS.....	21
Tabel 2.7.	Klasifikasi <i>Hydrologic Soil Grup</i>	21
Tabel 2.8.	Koefisien Kontraksi dan Ekspansi untuk Aliran Subkritis	25
Tabel 3. 1	Jumlah Penduduk dirinci Menurut Kecamatan di Kota Batam Tahun 2012 .	36
Tabel 3. 2	Komponen Data Penelitian	39
Tabel 4. 1	Stasiun Penakar Hujan BMKG Hang Nadim Kota Batam	46
Tabel 4. 2	Curah Hujan Tahunan Stasiun Penakar Hujan BMKG Hang Nadim Kota Batam.....	46
Tabel 4. 3	Hasil Perhitungan Uji T pada Stasiun Hujan BMKG Hang Nadim	48
Tabel 4. 4.	Hasil Perhitungan Uji F pada Stasiun Hujan BMKG Hang Nadim.....	49
Tabel 4. 5	Hasil Perhitungan Uji RAPS pada Stasiun Hujan BMKG Hang Nadim.....	50
Tabel 4. 6	Nilai Syarat Uji RAPS	51
Tabel 4. 7	Perhitungan Distribusi Hujan Gumbel.....	52
Tabel 4. 8	Rekapitulasi Perhitungan Distribusi Hujan Gumbel.....	53
Tabel 4. 9	Perhitungan Distribusi Hujan Log Pearson Tipe III	54
Tabel 4. 10	Rekapitulasi Perhitungan Distribusi Hujan Log Pearson Tipe III.....	54
Tabel 4. 11	Perhitungan Nilai χ -hitung Metode Gumbel.....	55
Tabel 4. 12	Perhitungan Nilai χ -hitung Metode Log Pearson Tipe III	55
Tabel 4. 13	Perhitungan Nilai Δ Maksimum Metode Gumbel	56
Tabel 4. 14	Perhitungan Nilai Δ Maksimum Metode Log Pearson Tipe III	56
Tabel 4. 15	Rekapitulasi Hasil Perhitungan Hujan Rencana.....	57
Tabel 4. 16	Metode Simulasi dalam Program HEC-HMS	60
Tabel 4. 17	Properti Sub-DAS Sagulung	76
Tabel 4. 18	Persentase Tutupan Lahan DAS Sagulung Tahun 1990.....	77
Tabel 4. 19	Persentase Tutupan Lahan DAS Sagulung Tahun 2000.....	78
Tabel 4. 20	Persentase Tutupan Lahan DAS Sagulung Tahun 2008.....	79

Tabel 4. 21 Persentase Tutupan Lahan DAS Sagulung Tahun 2017	80
Tabel 4. 22 Rekapitulasi Perubahan Tata Guna Lahan DAS Sagulung	81
Tabel 4. 23 Rekapitulasi Debit Banjir Q25 dan Q50	93
Tabel 4. 24 Hasil Analisa Perhitungan Debit di Lokasi Pengukuran 1	96
Tabel 4. 25 Hasil Analisa Perhitungan Debit di Lokasi Pengukuran 2	96
Tabel 4. 26 Hasil Analisa Perhitungan Debit di Lokasi Pengukuran 3	96
Tabel 4. 27 Hasil Simulasi HEC-RAS pada STA 0+150 Tiap Tahun dengan Q25th.....	103
Tabel 4. 28 Hasil Simulasi HEC-RAS pada STA 0+150 Tiap Tahun dengan Q50th.....	103
Tabel 4. 29 Luas Area Genangan Banjir Q25th dan Q50th	117



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik CN-SCS	20
Gambar 2.2 Garis Energi Pada Aliran Tetap	24
Gambar 3.1 DAS Sagulung	35
Gambar 3.2 Analisis <i>Digital Elevation Model (DEM)</i> DAS Sagulung	38
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	44
Gambar 4.1 Lokasi Stasiun Penakar Hujan BMKG Hang Nadim Kota Batam	46
Gambar 4.2 Bagan Alir HEC-HMS	59
Gambar 4.3 Tampilan Utama HEC-HMS	61
Gambar 4.4 Tampilan Awal HEC-HMS	61
Gambar 4.5 Ikon-Ikon <i>Toolbar</i> HEC-HMS	62
Gambar 4.6 Tampilan Lembar Kerja Baru HEC-HMS	62
Gambar 4.7 Tampilan Lembar Kerja HEC-HMS	63
Gambar 4.8 Pengisian Komponen-Komponen Model Pada <i>Program Setting</i>	63
Gambar 4.9 Tampilan Pembuatan Basin Model HEC-HMS	64
Gambar 4.10 Tampilan <i>Create A New Basin Model</i> HEC-HMS	64
Gambar 4.11 <i>Basin Model Manager</i> HEC-HMS	65
Gambar 4.12 Tampilan <i>Meteorologic Model Manager</i> HEC-HMS	65
Gambar 4.13 Tampilan <i>Control Specifications Manager</i> HEC-HMS	66
Gambar 4.14 Tampilan <i>Control Specifications Manager</i> HEC-HMS	66
Gambar 4.15 Tampilan <i>Control Specifications Manager</i> HEC-HMS	67
Gambar 4.16 Tampilan <i>Time-Series Data Manager</i> HEC-HMS	67
Gambar 4.17 Tampilan <i>Time-Series Data Manager</i> HEC-HMS	68
Gambar 4.18 Tampilan <i>Time-Series Data Manager</i> HEC-HMS	68
Gambar 4.19 Tampilan <i>Basin Model Manager</i> HEC-HMS	69
Gambar 4.20 Tampilan <i>Basin Model Manager</i> HEC-HMS	69
Gambar 4.21 Tampilan <i>Basin Model Manager</i> HEC-HMS	70
Gambar 4.22 Tampilan <i>Basin Model Manager</i> HEC-HMS	70
Gambar 4.23 Tampilan <i>Basin Model Manager</i> HEC-HMS	71
Gambar 4.24 Tampilan Grafik Data Hujan Jam Jaman DAS Sagulung	73
Gambar 4.25 Tampilan Hasil Simulasi HEC-HMS	75
Gambar 4.26 Pembagian Sub DAS Sagulung	75

Gambar 4.27 Skematik DAS Sagulung Pada Permodelan HEC-HMS	76
Gambar 4.28 Tutupan Lahan DAS Sagulung Tahun 1990	77
Gambar 4.29 Tutupan Lahan DAS Sagulung Tahun 2000	78
Gambar 4.30 Tutupan Lahan DAS Sagulung Tahun 2008	79
Gambar 4.31 Tutupan Lahan DAS Sagulung Tahun 2017	80
Gambar 4.32 Nilai CN pada DAS Sagulung Tahun 1990.....	82
Gambar 4.33 Nilai CN pada DAS Sagulung Tahun 2000.....	83
Gambar 4.34 Nilai CN pada DAS Sagulung Tahun 2008.....	84
Gambar 4.35 Nilai CN pada DAS Sagulung Tahun 2017.....	85
Gambar 4.36 Nilai Total CN pada DAS Sagulung di Tahun 1990, 2000, 2008, 2012, 2017	86
Gambar 4.37 Hidrograf Banjir Q25 Tahun di DAS Sagulung pada Tahun 1990	87
Gambar 4.38 Hidrograf Banjir Q50 Tahun di DAS Sagulung pada Tahun 1990	88
Gambar 4.39 Hidrograf Banjir Q25 Tahun di DAS Sagulung pada Tahun 2000	88
Gambar 4.40 Hidrograf Banjir Q50 Tahun di DAS Sagulung pada Tahun 2000	89
Gambar 4.41 Hidrograf Banjir Q25 Tahun di DAS Sagulung pada Tahun 2008	89
Gambar 4.42 Hidrograf Banjir Q50 Tahun di DAS Sagulung pada Tahun 2008	90
Gambar 4.43 Hidrograf Banjir Q25 Tahun di DAS Sagulung pada Tahun 2017	90
Gambar 4.44 Hidrograf Banjir Q50 Tahun di DAS Sagulung pada Tahun 2017	91
Gambar 4.45 Hidrograf banjir Q25 dan Q50 Tahun 1990 di DAS Sagulung	91
Gambar 4.46 Hidrograf Banjir Q25 Dan Q50 Tahun 2000 di DAS Sagulung	92
Gambar 4.47 Hidrograf Banjir Q25 Dan Q50 Tahun 2008 di DAS Sagulung	92
Gambar 4.48 Hidrograf Banjir Q25 Dan Q50 Tahun 2017 di DAS Sagulung	93
Gambar 4.49 Rekapitulasi <i>Inflow</i> Banjir Q25 dan Q50	94
Gambar 4.50 Lokasi Pengukuran Berdasarkan Lokasi Survei di DAS Sagulung	94
Gambar 4.51 Sketsa Penampang Sungai Lokasi Pengukuran Kesatu.....	95
Gambar 4.52 Sketsa Penampang Sungai Lokasi Pengukuran Kedua	95
Gambar 4.53 Sketsa Penampang Sungai Lokasi Pengukuran Ketiga	96
Gambar 4.54 Permodelan HEC HMS DAS Sagulung	97
Gambar 4.55 Hidrograf banjir “Reach 1”	97
Gambar 4. 56 Skema alur Sungai Sagulung.....	100
Gambar 4.57 Penampang sungai STA 1+150 (<i>river station 79</i>).....	101
Gambar 4.58 Data Masukan pada <i>Steady Flow Boundary Conditions</i>	102

Gambar 4.59 Profil muka air STA 0+150 (<i>River Station 79</i>) dengan Q25th Tahun 1990	104
Gambar 4.60 Profil muka air STA 0+150 (<i>River Station 79</i>) dengan Q25th Tahun 2000	104
Gambar 4.61 Profil muka air STA 0+150 (<i>River Station 79</i>) dengan Q25th Tahun 2008	105
Gambar 4.62 Profil muka air STA 0+150 (<i>River Station 79</i>) dengan Q25th Tahun 2017	105
Gambar 4.63 Profil muka air STA 0+150 (<i>River Station 79</i>) dengan Q50th Tahun 1990	106
Gambar 4.64 Profil muka air STA 0+150 (<i>River Station 79</i>) dengan Q50th Tahun 2000	106
Gambar 4.65 Profil muka air STA 0+150 (<i>River Station 79</i>) dengan Q50th Tahun 2008	107
Gambar 4.66 Profil muka air STA 0+150 (<i>River Station 79</i>) dengan Q50th Tahun 2017	107
Gambar 4.67 Profil muka air <i>long section</i> Sungai Sagulung dengan Q25th pada Tahun 1990	108
Gambar 4.68 Profil muka air <i>Long Section</i> Sungai Sagulung dengan Q25th pada Tahun 2000	109
Gambar 4.69 Profil muka air <i>long section</i> Sungai Sagulung dengan Q25th pada Tahun 2008	110
Gambar 4.70 Profil muka air <i>Long Section</i> Sungai Sagulung dengan Q25th pada Tahun 2017	111
Gambar 4.71 Profil muka air <i>long section</i> Sungai Sagulung dengan Q50th pada Tahun 1990	112
Gambar 4.72 Profil muka air <i>long section</i> Sungai Sagulung dengan Q50th pada Tahun 2000	113
Gambar 4.73 Profil muka air <i>long section</i> Sungai Sagulung dengan Q50th pada Tahun 2008	114
Gambar 4.74 Profil muka air <i>long section</i> Sungai Sagulung dengan Q50th pada Tahun 2017	115
Gambar 4.75 Grafik rekapitulasi debit banjir Q25 dan Q50 pada tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017	116

Gambar 4.76 Sebaran genangan banjir Tahun 1990 dengan debit banjir Q25th	117
Gambar 4.77 Sebaran genangan banjir Tahun 1990 dengan debit banjir Q50th	118
Gambar 4.78 Sebaran genangan banjir Tahun 2000 dengan debit banjir Q25th	118
Gambar 4.79 Sebaran genangan banjir Tahun 2000 dengan debit banjir Q50th	119
Gambar 4.80 Sebaran genangan banjir Tahun 2008 dengan debit banjir Q25th	119
Gambar 4.81 Sebaran genangan banjir Tahun 2008 dengan debit banjir Q50th	120
Gambar 4.82 Sebaran genangan banjir tahun 2017 dengan debit banjir Q25th.....	120
Gambar 4.83 Sebaran genangan banjir Tahun 2017 dengan debit banjir Q50th	121
Gambar 4.84 Kondisi banjir DAS Sagulung pada Tahun 2016	124
Gambar 4.85 Kondisi banjir DAS Sagulung pada Tahun 2016	124



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan perkotaan sangat penting karena memberikan kemudahan infrastruktur, barang dan jasa yang dibutuhkan oleh masyarakat, pemerintah, ekonomi, industri, dan perdagangan. Di sisi lain, modifikasi permukaan tanah yang terjadi selama proses urbanisasi mengurangi vegetasi, terjadi pemadatan tanah, dan perubahan permukaan kedap air. Kondisi sumber daya alam terganggu karena infiltrasi menjadi kecil, volume debit limpasan permukaan semakin besar yang dapat mengakibatkan banjir.

Kota Batam secara geografis mempunyai letak yang sangat strategis, berdasarkan Perda Nomor 2 tahun 2004 tentang Rencana Tata Ruang wilayah Kota Batam tahun 2004 – 2014, terletak antara $0^{\circ}25'29''$ - $1^{\circ}15'00''$ Lintang Utara dan $103^{\circ}34'35''$ - $104^{\circ}26'04''$ Bujur Timur dengan total wilayah darat dan wilayah laut seluas $3.990,00\text{ km}^2$ dan berbatasan dengan :

- Sebelah Utara : Selat Singapura dan Singapura
- Sebelah Selatan : Kabupaten Lingga
- Sebelah Barat : Kabupaten Karimun
- Sebelah Timur : Pulau Bintan dan Tanjung Pinang

Kota Batam juga merupakan kota industri, perdagangan dan jasa, dikelilingi oleh kota lain yang mempunyai sumber daya alam yang sangat potensial sehingga membuka peluang bagi investor dalam maupun luar negeri untuk menanamkan modalnya.

Hal ini menyebabkan meningkatnya pembangunan yang terjadi baik di sektor permukiman maupun industri, sehingga mengakibatkan kurangnya daerah resapan air dan menimbulkan banjir yang dapat menghambat aktivitas masyarakat, juga menimbulkan kerugian materiil.

Sungai Sagulung merupakan salah satu sungai yang berada di Kota Batam yang terletak di kawasan industri yang padat penduduk. Secara geografis berada antara $1^{\circ}02'53''$ Lintang Utara dan $103^{\circ}56'33''$ Bujur Timur. Daerah Aliran Sungai (DAS) Sagulung merupakan bagian dari Wilayah Sungai Kepulauan Riau. Luas DAS Sagulung sebesar $\pm 24,24\text{ km}^2$.

Penambahan jumlah penduduk dan meningkatnya pemenuhan kebutuhan akan tempat tinggal dan kawasan perdagangan, menyebabkan berkurangnya daerah resapan air di DAS Sagulung, sehingga jika curah hujan tinggi dapat menyebabkan banjir di daerah tersebut. Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan upaya agar banjir di DAS Sagulung dapat ditangani permasalahannya.

1.2. Identifikasi Masalah

Peningkatan jumlah penduduk menyebabkan peningkatan kebutuhan akan permukiman dan sarana penunjang. Pembangunan lahan menyebabkan terjadinya perubahan fungsi lahan yang semula berupa lahan terbuka hijau, tanah kosong, sawah atau peruntukan lain menjadi lahan kedap air.

Berkembangnya suatu kawasan perkotaan selalu diiringi dengan peningkatan jumlah penduduk, aktifitas dan kebutuhan lahan, baik itu untuk kegiatan ekonomi maupun permukiman untuk memenuhi kebutuhan manusia. Kondisi keterbatasan lahan mengakibatkan terjadinya perubahan lahan yang seharusnya berfungsi sebagai daerah konservasi dan ruang terbuka hijau menjadi area permukiman. Akibatnya, daerah resapan air semakin berkurang sehingga meningkatnya aliran permukaan.

Meningkatnya luasan lahan kedap air berdampak secara hidrologis setidaknya pada bertambah cepatnya waktu konsentrasi, meningkatkan volume limpasan, menjadikan debit puncak yang lebih tinggi, atau gabungan dari ketiganya.

Lingkungan Sempadan sungai dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 35 Bab 1, Pasal 1, Ayat 5, Tahun 1991 dijelaskan bahwa sempadan sungai adalah lahan yang berada pada kedua sisi di sepanjang palung sungai dihitung dari tepi sampai dengan kaki tanggul sebelah dalam. Lingkungan sempadan sungai dapat didefinisikan sebagai pemukiman yang berada di atas sempadan sungai itu sendiri, baik itu hunian berupa rumah maupun bangunan lainnya. Kenyataannya kawasan di DAS Sagulung ini sebagian besar dihuni oleh rumah tidak layak huni dan ekonomi lemah.

1.3. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dikaji adalah:

1. Bagaimanakah perubahan tata guna lahan yang terjadi pada tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017 di DAS Sagulung?
2. Bagaimanakah perubahan debit banjir rencana yang terjadi akibat perubahan tata guna lahan di DAS Sagulung?

3. Bagaimanakah pengaruh antara perubahan tutupan lahan dengan debit banjir rencana di DAS Sagulung?
4. Bagaimana lokasi dan genangan yang terjadi di DAS Sagulung pada tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017 ?

1.4. Batasan Masalah

Lingkup batasan masalah pada kajian ini adalah:

1. Analisis perubahan tata guna lahan dilakukan berdasarkan rekam data (data sekunder) tata guna lahan 1990, 2000, 2008, dan 2017.
2. Sistem banjir yang ditinjau hanya sistem banjir makro (sungai) bukan mikro (drainase).
3. Di dalam tesis ini tidak akan membahas secara teknis masalah ekonomi, sosial, sedimen, erosi lahan dan upaya konservasi DAS.

1.5. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis mengenai perubahan tata guna lahan dan besaran debit banjir yang terjadi, sehingga diketahui pengaruh antara perubahan tutupan lahan dengan debit banjir rencana juga lokasi dan genangan yang terjadi di DAS Sagulung.

Diharapkan penelitian ini dapat bermanfaat sebagai informasi untuk dapat melakukan identifikasi pengaruh perubahan tata guna lahan di DAS Sagulung, sehingga dapat menjadi masukan dalam penyusunan kebijakan pengelolaan sungai dan pengendalian banjir di DAS Sagulung.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Daerah Aliran Sungai (DAS)

2.1.1 Definisi Daerah Aliran Sungai (DAS)

DAS merupakan wilayah daratan yang secara topografi dibatasi oleh punggung-punggung gunung yang menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian mengalir ke laut melalui sungai utama. Wilayah daratan tersebut dinamakan daerah tangkapan air yang merupakan ekosistem dengan unsur utamanya terdiri atas sumber daya alam (tanah, dan vegetasi) dan sumber daya manusia sebagai pemanfaat sumber daya alam (Asdak 2002).

2.1.2 Pengelolaan DAS

Daerah Aliran Sungai dapat dianggap sebagai suatu ekosistem, karena terdiri atas komponen biotis dan abiotis yang saling berinteraksi membentuk suatu kesatuan yang teratur. Aktivitas suatu komponen ekosistem selalu memberi pengaruh pada komponen ekosistem yang lain. Manusia adalah salah satu komponen penting. Sebagai komponen yang dinamis, manusia dalam menjalankan aktivitasnya seringkali mengakibatkan dampak pada salah satu komponen lingkungan, dan dengan demikian akan mempengaruhi ekosistem secara keseluruhan. Adanya hubungan timbal balik antar komponen ekosistem DAS, maka apabila terjadi perubahan pada salah satu komponen lingkungan, ia akan mempengaruhi komponen-komponen yang lain. Perubahan komponen-komponen tersebut akan mempengaruhi keutuhan sistem ekologi di daerah tersebut (Asdak, 2002).

Dalam hubungannya dengan sistem hidrologi, DAS mempunyai karakteristik yang spesifik serta berkaitan erat dengan unsur utamanya seperti jenis tanah, tataguna lahan, topografi, kemiringan dan panjang lereng. Karakteristik biofisik DAS tersebut dalam merespon curah hujan yang jatuh dalam wilayah DAS tersebut dapat memberikan pengaruh terhadap besar-kecilnya evapotranspirasi, infiltrasi, perkolasasi, air larian, aliran permukaan, kandungan air tanah, dan aliran sungai. Di antara faktor-faktor yang berperan dalam menentukan sistem hidrologi tersebut di atas, faktor tataguna lahan dan kemiringan dan panjang lereng dapat direkayasa oleh manusia. Namun faktor-faktor yang lainnya bersifat alamiah yang tidak bisa direkayasa oleh manusia.

Air mengalir secara alamiah sesuai hukum gravitasi dari hulu ke hilir, tidak ditentukan dengan batas administratif suatu daerah, oleh karena itu pengelolaan sumber daya air harus dilakukan menurut batas daerah aliran sungai. Pengelolaan DAS melibatkan keikutsertaan dari semua pihak termasuk masyarakat umum.

2.2. Analisis Banjir Rencana

Analisis ini dimulai dengan mencari curah hujan rencana. Hujan harian daerah maksimum tahunan dipakai untuk menentukan curah hujan rancangan di suatu daerah aliran sungai. Curah hujan rencana merupakan curah hujan harian yang diperoleh dari data curah hujan harian maksimum tahunan dengan metode analisis distribusi frekuensi.

Dalam Limantara (2010) dituliskan bahwa analisis frekuensi itu bukan untuk menentukan besarnya debit aliran sungai pada suatu saat, tetapi lebih tepatnya untuk memperkirakan apakah debit aliran sungai tersebut akan melampaui atau menyamai suatu harga tertentu misalnya untuk 10 tahun, 20 tahun yang akan datang. Dalam hidrologi, analisis tersebut dipakai untuk menentukan besarnya hujan dan debit banjir rancangan (*design flood*) dengan kala ulang tertentu.

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk melakukan analisis distribusi atau sebaran data curah hujan harian maksimum tahunan dalam periode tertentu adalah:

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

Selanjutnya, untuk menentukan perhitungan distribusi yang terbaik yang nantinya akan dipilih, dilakukan uji kecocokan terhadap semua distribusi tersebut. Uji kecocokan yang dilakukan dapat digunakan dengan uji Chi-Square dan uji Smirnov-Kolmogorov.

2.2.1 Menghitung Curah Hujan Rata-Rata Daerah

Untuk memperoleh data curah hujan, maka diperlukan sejumlah stasiun hujan yang dipasang sedemikian rupa sehingga dapat mewakili besaran hujan di DAS tersebut. Dalam kaitan ini ada dua faktor yang sangat menentukan ketelitian pengukuran hujan, yaitu jumlah dan pola penyebaran stasiun hujan (Harto, 1993).

Data curah hujan diukur dengan penakar hujan yang berupa data curah hujan titik. Untuk mendapatkan data curah hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan beberapa metode, yaitu:

a. Metode Rata-rata Aljabar

Curah hujan rata-rata DAS didapatkan dengan menggunakan cara rata-rata hitung (*arithematic mean*) dari penakar hujan areal tersebut dibagi dengan jumlah stasiun pegamatan (Sosrodarsono dan Takeda, 1976). Cara ini digunakan apabila :

- Daerah tersebut berada pada daerah yang datar
- Penempatan alat ukur tersebar merata
- Variasi data curah hujan antar stasiun ceterap tahunnya tidak terlalu besar
- Hujan yang terjadi dalam DAS bersifat homogen.
- Metode ini merupakan cara yang paling sederhana, akan tetapi memberikan hasil yang tidak teliti (Harto, 1993).

b. Metode *Thiessen*

Cara ini didasarkan atas cara rata-rata timbang, di mana masing-masing stasiun mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua stasiun dengan planimeter, sehingga dapat dihitung luas daerah tiap stasiun. (Sosrodarsono dan Takeda, 1976).

Hal yang perlu diperhatikan dalam metode ini adalah sebagai berikut :

- Jumlah stasiun pengamatan minimal tiga buah stasiun.
- Penambahan stasiun akan mengubah seluruh jaringan
- Topografi daerah tidak diperhitungkan
- Stasiun hujan tidak tersebar merata

Metode ini memberikan bobot tertentu untuk setiap stasiun hujan dengan pengertian bahwa setiap stasiun hujan dianggap mewakili hujan dalam suatu daerah dengan luas tertentu, dan luas tersebut merupakan faktor koreksi (*weighing factor*) bagi hujan.

c. Metode Isohyet

Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Pada setiap titik di suatu kawasan dianggap hujan sama dengan yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili suatu luasan (Sosrodarsono dan Takeda, 1976).

Metode ini digunakan dengan ketentuan :

- Dapat digunakan pada daerah datar maupun pegunungan
- Jumlah stasiun pengamatan harus banyak
- Bermanfaat untuk hujan yang sangat singkat

2.2.2 Analisis Curah Hujan Rencana

Dalam menganalisis curah hujan rencana dapat dilakukan dengan beberapa metode tertentu, diantaranya adalah:

- Distribusi Normal
 - Distribusi Log Normal
 - Distribusi Log Pearson Tipe III
 - Distribusi Gumbel

Untuk menentukan metode yang sesuai, maka terlebih dahulu harus dihitung besarnya parameter statistik yaitu koefisien kepencengan (*skewness*) atau C_s , dan koefisien kepuncakan (*kurtosis*) atau C_k . Persamaan yang digunakan adalah (Montarcih, 2010):

$$Ck = \frac{n^2 \sum (x - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \dots \dots \dots \quad (2-2)$$

dengan:

Cs = *skewness* / kepencengangan

Ck = kurtosis / koefisien puncak

S = simpangan baku

n = jumlah data

Hasil perhitungan Cs dan Ck tersebut kemudian disesuaikan dengan syarat pemilihan metode frekuensi pada tabel berikut ini:

Tabel 2.1 Syarat Pemilihan Metode Frekuensi

Jenis Metode	Ck	Cs
Gumbel	$\approx 5,4002$	$\approx 1,1396$
Normal	$\approx 3,0$	≈ 0
Log Person Tipe III	Bebas	Bebas

Sumber: Harto (2009).

Berikut ini adalah penjelasan untuk analisis metode hujan rencana:

a. Distribusi Normal

Distribusi ini mempunyai *probability density function* sebagai berikut:

dengan:

σ = varian

μ = rata-rata

Sifat khas lain distribusi ini, yaitu nilai asimetrisnya (*Skewness*) hampir sama dengan nol dan dengan *Kurtosis* 3.

b. Distribusi Log Normal

Probabilitas *density function* dari distribusi ini adalah:

$$P'(x) = \frac{1}{x\sigma_n\sqrt{2\pi}} e^{ksp} \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \mu_n^2}{\sigma_n^2} \right) \right]; (\mu > 0) \quad (2-4)$$

dengan:

$$\mu_n = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\mu^4}{\mu^2 + \sigma^2} \right) \quad (2-5)$$

$$\sigma_n^2 = \ln \left(\frac{\sigma^2 + \mu^2}{\mu^2} \right) \quad (2-6)$$

besar asimetrisnya (*skewness*) adalah:

$$\gamma = \eta_v^3 + 3\eta_v \quad (2-7)$$

dengan:

$$\eta_v = \frac{\sigma}{\mu} \left(e^{-\sigma_n^2} - 1 \right)^{0.5} \quad (2-8)$$

$$Ck = \eta_v^8 + 6\eta_v^6 + 15\eta_v^4 + 16\eta_v^2 + 3 \quad (2-9)$$

Dengan persamaan (1), dapat didekati dengan nilai asimetri 3 dan selalu bertanda positif atau nilai *skewness* Cs kira-kira sama dengan tiga kali nilai koefisien variasi Cv.

c. Log Pearson Tipe III

Pada persamaan pearson terdapat 12 buah distribusi, tapi hanya distribusi Log-Pearson Type III yang digunakan dalam analisis curah hujan maksimum.

Probability *density function* distribusi ini adalah:

$$\text{Log } X = \overline{\text{Log } X} + K \cdot \text{Std} \quad (2-10)$$

$$\overline{\text{Log } X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Log } X_i \quad (2-11)$$

dimana:

X = Curah hujan (mm)

$$\overline{\log X} = \text{Rerata log } X$$

K = Faktor frekuensi (Tabel Pearson III yang nilainya tergantung Cs)

d. Distribusi Gumbel

$$P(X) = e^{-\left(\frac{C-X}{C-B}\right)^A} \quad \dots \dots \dots \quad (2-13)$$

$$A = 1.281/\sigma$$

$$B = \mu - 0.45\sigma$$

Dalam penggambaran pada kertas milimeter dapat dituliskan sebagai berikut:

$$X = \mu + (\sigma/\sigma_N)(y - y_n) \quad (2-14)$$

Hubungan antara faktor frekuensi k dengan kala ulang t dapat disajikan dalam persamaan sebagai berikut:

$$K = -\sqrt{6}/\eta \left[0.5772 + \ln \left(\ln(T(X)/T(X)-1) \right) \right] \quad (2-15)$$

Secara umum frekuensi analisis dapat disederhanakan dalam bentuk:

$$X_T = X + sK \quad (2-16)$$

dimana :

X_T = besaran dengan kala ulang tertentu

X = besaran rata rata

s = simpangan baku

2.3. Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Dalam pencatatan data curah hujan dapat terjadi kesalahan berupa penyimpangan atau ketidak-konsistenan data yang tercatat. Perubahan yang terjadi pada data curah hujan dapat disebabkan karena pemindahan alat ukur hujan ke titik lain, pergantian pengamat, penggunaan cara baru dalam pengamatan, perubahan lingkungan (pertumbuhan vegetasi, penanaman pohon, pembangunan gedung) dan lain sebagainya.

Uji konsistensi bertujuan untuk menguji kebenaran data lapangan yang tidak dipengaruhi oleh kesalahan pada saat pengukuran, data tersebut harus menggambarkan fenomena hidrologi sesuai keadaan sebenarnya di lapangan. Sehingga dapat dikatakan bahwa data dikatakan tidak konsisten apabila terdapat perbedaan antara nilai pengukuran dan nilai sebenarnya (Soewarno, 1995). Supaya data curah hujan yang kita kumpulkan atau data yang akan digunakan konsisten, maka data tersebut perlu “disesuaikan” (*adjustment*), salah satu metode yang dapat digunakan untuk konsistensi data adalah *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS).

2.4.1 Metode Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS)

Metode RAPS ini adalah metode dimana konsistensi hujan ditunjukkan dengan nilai kumulatif penyimpangannya terhadap nilai rata-rata. Adapun langkah-langkah dalam perhitungan uji konsistensi data menggunakan Metode RAPS adalah sebagai berikut:

1. Menghitung nilai rerata data curah hujan tahunan.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X}{n} \quad \dots \dots \dots \quad (2-33)$$

2. Menghitung nilai selisih antara nilai curah hujan dengan rerata curah hujan.
3. Menghitung nilai S_k^* .

Untuk perhitungan tahun pertama, nilai S_k^* sama dengan nilai $X_i - \bar{X}$. Sedangkan untuk perhitungan selanjutnya adalah sebagai berikut:

$$S_k^* = (X_i - \bar{X})_t + (X_i - \bar{X})_{t+1} \quad \dots \dots \dots \quad (2-34)$$

4. Menghitung nilai D_y^2 .

$$Dy^2 = \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n} \quad \dots \dots \dots \quad (2-35)$$

Hitung keseluruhan nilai hujan tiap tahun, kemudian keseluruhan nilai tersebut dijumlahkan dengan jumlah total.

5. Menghitung nilai D_y

$$Dy = \sqrt{\sum_{i=1}^n Dy^2} \quad \dots \dots \dots \quad (2-36)$$

6. Menghitung nilai S_k^{**}

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{Dy} \quad \dots \dots \dots \quad (2-37)$$

7. Menghitung nilai absolut dari Sk^{**} dengan menghilangkan nilai negatif.
8. Mencari nilai minimum dan maksimum dari keseluruhan nilai Sk^{**} .
9. Menentukan nilai Q dengan memilih nilai absolut Sk^{**} maksimum.

$$Q = |Sk^{**}| \text{ maksimum} \dots \dots \dots \quad (2-38)$$

10. Menentukan nilai R dengan rumus sebagai berikut:

$$R = Sk^{**\text{maksimum}} - Sk^{**\text{minimum}} \dots \dots \dots \quad (2-39)$$

11. Menghitung nilai $\frac{Q}{\sqrt{N}}$ dan $\frac{R}{\sqrt{N}}$ sebagai nilai Q_{hitung} dan R_{hitung} .
12. Menentukan nilai Q_{kritis} yang didapat dari tabel.
13. Menentukan nilai R_{kritis} yang didapat dari tabel.
14. Membandingkan nilai Q_{hitung} dan R_{hitung} dengan nilai Q_{kritis} dan R_{kritis} . Dalam perbandingan ini diperoleh hasil nilai $Q_{\text{hitung}} < Q_{\text{kritis}}$ serta nilai $R_{\text{hitung}} < R_{\text{kritis}}$, maka nilai uji konsistensi data TRMM Metode RAPS diterima. Hal ini menunjukkan bahwa data curah hujan TRMM konsisten.

Tabel 2.2 Nilai Q Kritis dan R Kritis untuk metode RAPS

n	Q			R		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1.050	1.140	1.290	1.210	1.280	1.380
20	1.100	1.220	1.420	1.340	1.430	1.600
30	1.120	1.240	1.460	1.400	1.500	1.700
40	1.130	1.260	1.500	1.420	1.530	1.740
50	1.140	1.270	1.520	1.440	1.550	1.780
100	1.170	1.290	1.550	1.500	1.620	1.860
∞	1.220	1.360	1.630	1.620	1.750	2.000

Sumber: Harto (1993).

2.4. Uji Kualitas Data Curah Hujan

Data hidrologi yang selama ini digunakan disusun dalam bentuk deret berkala, yaitu data yang disajikan secara kronologis sebagai fungsi dari waktu dengan interval waktu

yang sama. Deret berkala umumnya dibedakan menjadi dua tipe, yaitu stasioner dan tidak stasioner (Soewarno, 1995).

Deret berkala disebut stasioner apabila nilai dari parameter statistiknya relatif tidak berubah dari setiap bagian ke bagian yang lain dalam rangkaian data runtut waktu tersebut, sedangkan apabila salah satu parameter statistiknya berubah untuk setiap bagian rangkaian data tersebut, maka deret berkala tersebut tidak stasioner. Deret berkala yang tidak stasioner menunjukkan bahwa datanya tidak homogen atau tidak sama jenis (Soewarno, 1995).

2.4.1 Uji stasioner

Uji stasioner dimaksudkan untuk menguji kestabilan nilai varian dan rata-rata dari suatu deret berkala dan untuk mengetahui homogen atau tidaknya nilai varian dan rata-ratanya (Soewarno, 1995).

Pengujian nilai varian dari deret berkala dapat dilakukan dengan uji-F. Apabila hasil menunjukkan hasil varian tidak stabil atau tidak homogen, maka tidak perlu dilakukan pengujian lanjutan. Tetapi apabila nilai varian tersebut stasioner, maka selanjutnya dilakukan pengujian kestabilan nilai rata-ratanya. Uji kestabilan nilai rata-rata dapat dilakukan dengan Uji-t (Soewarno, 1995).

2.4.2 Uji kestabilan varian

Persamaan Uji-F:

$$F = \frac{N_1 S_1^2 (N_2 - 1)}{N_2 S_2^2 (N_1 - 1)} \dots \dots \dots \quad (2-40)$$

Keterangan:

F : fungsi distribusi F

N_1 : jumlah sampel kelompok sampel ke 1

N_2 : jumlah sampel kelompok sampel ke 2

S_1 : deviasi standar kelompok sampel ke 1

S_2 : deviasi standar kelompok sampel ke 2

2.4.3 Uji kestabilan nilai rata-rata

Persamaan Uji-t:

$$t = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sigma \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \dots \quad (2-41)$$

dan

Keterangan:

t : variabel-t terhitung

\bar{X}_I : rata-rata hitung kelompok sampel ke 1

\bar{X}_2 : rata-rata hitung kelompok sampel ke 2

N_I : jumlah sampel kelompok sampel ke 1

N_2 : jumlah sampel kelompok sampel ke 2

Tabel 2. 3 Nilai Fc untuk uji F

dk2 = V2	dk1 = V1								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161,40	199,50	215,70	224,60	230,20	234,00	236,80	238,90	240,50
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,18
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,37	3,68
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46

dk2 = V2	dk1 = V1								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96
∞	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88

Sumber: Soewarno (1995).

Tabel 2. 4 Nilai Fc untuk uji F lanjutan

dk2 = V2	dk1 = V1									
	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	241,9	243,9	245,9	248,0	249,1	250,1	251,1	252,2	253,3	254,3
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	19,40	19,41	19,43	19,45	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49	19,50
4	8,79	8,74	8,70	8,66	8,64	8,62	8,59	8,57	8,55	8,53
	5,96	5,91	5,86	5,80	5,77	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63
5										
6	4,74	4,68	4,62	4,56	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40	4,36
7	4,06	4,00	3,94	3,87	3,84	3,81	3,77	3,74	3,70	3,67
8	3,64	3,57	3,51	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23
9	3,35	3,28	3,22	3,15	3,12	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93
	3,14	3,07	3,01	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71
10										
11	2,98	2,91	2,85	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54
12	2,85	2,79	2,72	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40
13	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30
14	2,67	2,60	2,53	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,25	2,21
	2,60	2,53	2,46	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13
15										
16	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11	2,01
17	2,49	2,42	2,35	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01

dk2 = V2	dk1 = V1									
	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
18	2,45	2,38	2,31	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96
19	2,41	2,34	2,27	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92
	2,38	2,31	2,23	2,16	2,11	2,07	2,03	1,98	1,93	1,88
20										
21	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84
22	2,32	2,25	2,18	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81
23	2,30	2,23	2,15	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78
24	2,27	2,20	2,13	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76
	2,25	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73
25										
26	2,24	2,16	2,09	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71
27	2,22	2,15	2,07	1,99	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75	1,69
28	2,20	2,13	2,06	1,97	1,93	1,88	1,84	1,79	1,73	1,67
29	2,19	2,12	2,04	1,96	1,91	1,87	1,82	1,77	1,71	1,65
	2,18	2,10	2,03	1,94	1,90	1,85	1,81	1,75	1,70	1,64
30										
40	2,16	2,09	2,01	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62
60	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51
120	1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47	1,39
∞	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35	1,25
	1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00

Sumber: Soewarno (1995)

Tabel 2.5 Nilai tc untuk uji t

dk	Derajat Kepercayaan (α)				
	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898

dk	Derajat Kepercayaan (α)				
	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
inf.	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

Sumber: Soewarno (1995)

Selanjutnya untuk menentukan uji distribusi frekuensi seperti apa yang akan dipakai, selanjutnya dilakukan pengujian terhadap hasil dari distribusi frekuensi tersebut. Ada dua metode yang digunakan dalam uji distribusi frekuensi, yaitu uji Smirnov-Kolmogorof dan Uji Chi-Square.

a. Uji Smirnov-Kolmogorof

Cara yang digunakan dalam metode ini adalah dengan mengurutkan data dari yang terkecil hingga data terbesar, kemudian menghitung simpangan maksimum D yang dihasilkan. Rumus dari simpangan maksimum D adalah

$$D = \text{Max} |P_x(x) - S_n(x)| \quad \dots \dots \dots \quad (2- 17)$$

dimana:

$P_x(x)$ = posisi data x menurut garis sebaran teoritis.

$S_n(x)$ = posisi data x menurut pengamatan, yang dalam hal ini dipakai posisi *plotting* menurut Weibull.

Untuk mendapatkan nilai $S_n(x)$ dengan memakai posisi *plotting* dari Weibull, maka digunakan rumus berikut:

$$S_n(x) = \frac{n}{1+N} \quad \dots \dots \dots \quad (2- 18)$$

dimana: n = nomor urut data

N = banyak data

b. Uji Chi-Square

Uji Chi-Square (χ^2) memiliki rumus

dimana:

Oj = Frekuensi pengamatan kelas j

Ej = Frekuensi teoritis kelas j

Dalam uji Chi-Square (χ^2) untuk kesesuaian distribusi, maka hipotesanya adalah:

Hipótesa:

H_0 = Sample memenuhi syarat distribusi yang diuji

H1 = Sample tidak memenuhi syarat distribusi yang diuji.

Harga χ^2 tabel dicari pada tabel Distribusi Chi-Square untuk derajat bebas tersebut di atas α (*Level of Significance*) misalnya = 5%. Apabila $\chi^2_{\text{hit}} < \chi^2$ tabel, maka H_0 diterima, dan jika sebaliknya maka H_0 ditolak.

2.5. Distribusi Hujan Jam-jaman

Dalam perhitungan banjir rancangan, diperlukan data masukan berupa hujan rancangan yang didistribusikan ke dalam data curah hujan jam-jaman atau hyetografi (Triatmodjo, 2008). Data kedalaman curah hujan dicatat dalam data harian dan jam-jaman, namun yang tersedia umumnya data komulatif harian. Data komulatif harian tersebut adalah total hujan yang terjadi dalam satu hari dan tidak terdapat distribusi waktu dalam jam-jaman sehingga intensitas hujan diabaikan.

Pada kondisi data hujan yang tersedia berupa data hujan harian, untuk memperoleh data kedalaman curah hujan dalam satuan jam dari hujan rancangan dengan mengalihragamkan data yang tersedia dapat digunakan model distribusi hujan jam-jaman. Salah satu model distribusi hujan jam-jaman tersebut adalah *Alternating Block Method* (*ABM*). Kedalaman hujan rencana yang dihasilkan oleh model ini adalah hujan yang terjadi dalam n rangkaian interval waktu yang berurutan dengan durasi Δt selama waktu $Td = n \times \Delta t$. Intensitas hujan dalam periode ulang tertentu dapat dicari dengan kurva IDF selama durasi 24 jam.

dengan:

R_t = hujan rencana untuk berbagai kala ulang (mm)

t = waktu konsentrasi (jam), untuk satuan dalam menit, t dikalikan 60.

It = intensitas hujan untuk berbagai kala ulang (mm/jam)

Kedalaman curah hujan didapat dengan mengalikan durasi waktu (Td) dengan intensitas hujan (It). Perbedaan antara nilai kedalaman hujan yang berurutan merupakan pertambahan hujan dalam interval waktu Δp . Pertambahan hujan tersebut (blok-blok), diurutkan kembali ke dalam rangkaian waktu dengan intensitas hujan maksimum berada pada tengah-tengah durasi hujan Td dan blok-blok sisanya disusun dalam urutan menurun secara bolak-balik pada kanan dan kiri dari blok tengah. Dengan demikian telah terbentuk hyetografi rencana.

2.6. Limpasan (*Runoff Curve Number Method*)

Limpasan adalah bagian curah hujan mengalir ke sungai, danau atau laut sebagai permukaan atau aliran bawah permukaan. Limpasan umumnya diartikan sebagai permukaan. Limpasan akan terjadi apabila intensitas curah hujan melebihi kapasitas infiltrasi, evaporasi, intersepsi, tampungan permukaan dan tampungan saluran. Banyak metode yang dapat digunakan untuk menghitung debit limpasan air hujan, antara lain Metode SCS dan Metode Rasional.

2.6.1. Metode Soil Conservation Service (SCS)

Metode SCS dikembangkan dari hasil pengamatan curah hujan selama bertahun-tahun dan melibatkan banyak daerah pertanian di Amerika Serikat. Metode ini berusaha mengaitkan karakteristik DAS seperti tanah, vegetasi, dan tata guna lahan dengan bilangan kurva air larian CN (*runoff curve number*) yang menunjukkan potensi air larian untuk curah hujan tertentu.

Metode CN didasarkan atas hubungan infiltrasi pada setiap jenis tanah dengan jumlah curah hujan yang jatuh pada setiap kali hujan. Total curah yang jatuh pada setiap hujan (P) di atas tanah dengan potensi maksimal tanah untuk menahan air (S) tertentu, akan terbagi menjadi tiga komponen; Air larian (Q), Infiltrasi (F) dan Abstraksi awal (*Initial Abstraction*: I_a), dengan hubungan berikut ini:

dengan:

Q = Volume Limpasan permukaan (mm)

Ia = Abstraksi awal

P = Hujan harian (mm)

S = Volume dari total simpanan permukaan (mm)

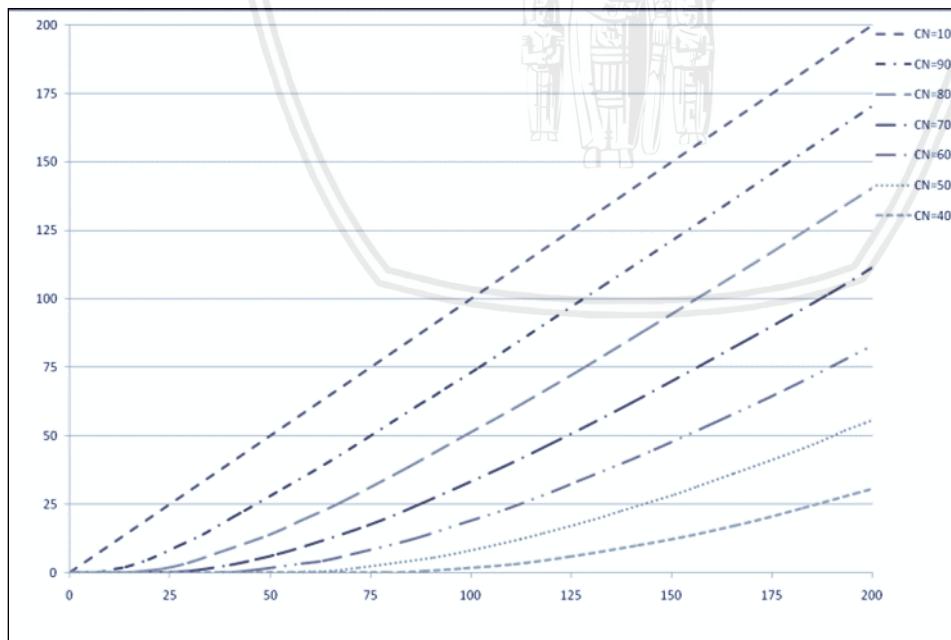
Dalam menentukan kedalaman dari curah hujan berlebih (*depth excess rainfall*) atau limpasan pemukaan dapat ditunjukkan dalam persamaan di atas dimana korelasi nilai I_a dengan S adalah: (Chow, 1988:148)

Dalam memudahkan perhitungan kelembapan awal (*antecedent moisture condition*), tata guna lahan dan konservasi tanah, US SCS menentukan besarnya S sebagai berikut:

CN : Bilangan kurva air larian bervariasi dari 0 hingga 100

Dengan menentukan nilai dari P dan Q pada kurva SCS maka nilai CN dapat ditentukan. Metode SCS mengelompokkan jenis tanah dalam 4 (empat) jenis yaitu berdasar tipe tanah dan tataguna lahannya (*hydrology soil group*). Pada abstraksi awal, Ia biasanya menggunakan pendekatan 0.2 S sehingga persamaan menjadi:

Limpasan permukaan akan terjadi apabila hujan (P) lebih besar dari abstraksi awal (Ia). Untuk nilai CN berbeda-beda dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 1 Grafik CN-SCS

Sumber: Arnold dan Neitsch (2005).

Nilai CN didapatkan dari kondisi penelitian yaitu daerah beriklim sedang. Namun nilai tersebut dapat digunakan apabila nilai CN di daerah yang diteliti belum tersedia.

Tabel 2.6. Nilai CN Berdasarkan SCS

Tataguna Lahan	Keadaan Hidrologi	Kelompok Tanah			
		A	B	C	D
Padang rumput terus menerus untuk tempat penggembalaan ternak	Buruk	68	79	86	89
	Cukup	49	69	79	84
	Baik	39	61	74	80
Padang rumput terlindung dari ternak, untuk dipanen		30	58	71	78
Semak-semak, rerumputan dengan tumbuhan semak-semaknya yang dominan	Buruk	48	67	77	83
	Cukup	35	56	70	79
	Baik	30	48	65	77
Tanaman kayu-kombinasi rumput dan perkebunan	Buruk	57	73	82	86
	Cukup	43	65	76	82
	Baik	32	58	72	79
Tegakan hutan tidak rapat	Buruk	45	66	77	83
	Cukup	36	60	73	79
	Baik	30	55	70	77
Tanah pertanian		59	74	82	86

Sumber: Arnold dan Neitsch (2005).

SCS telah mengembangkan sistem klasifikasi tanah berdasarkan sifat tanah dan dikelompokkan menjadi empat kelompok hidrologi (*Hydrologic Soil Grup*). Adapun definisi pada setiap kelompok tanah tersebut disesuaikan dengan melihat kesamaan terhadap potensi limpasan permukaan pada kondisi cuaca dan tata guna lahan yang sama, dan dikelompokkan berdasarkan kelompok berikut:

Tabel 2.7. Klasifikasi *Hydrologic Soil Grup*

Kelompok Tanah	Keterangan	Laju Infiltrasi (mm/jam)
A	Potensi Air Larian paling kecil, termasuk tanah pasir dalam dengan unsur debu dan liat. Laju infiltrasi tinggi	8-12
B	Potensi Air Larian kecil, tanah berpasir lebih dangkal dari A. Tekstur halus sampai sedang. Laju infiltrasi sedang	4-8
C	Potensi Air Larian Sedang, tanah dangkal dan mengandung cukup liat. Tekstur sedang sampai halus. Laju infiltrasi rendah	1-4
D	Potensi Air Larian Tinggi, kebanyakan tanah liat, dangkal, dengan lapisan kedap air dekat permukaan tanah. Infiltrasi paling rendah	0-1

Sumber : Asdak (2002).

2.6.2. Metode Rasional

Metode rasional banyak digunakan untuk memperkirakan debit puncak yang ditimbulkan oleh hujan deras pada daerah tangkapan (DAS) kecil. Suatu DAS disebut DAS kecil apabila distribusi hujan dianggap seragam dalam suatu ruang dan waktu, dan biasanya durasi hujan melebihi waktu konsentrasi. Dan mempunyai rumus sebagai berikut:

$$Q = 0,278 * C * I * A \quad (2- 25)$$

Pada penelitian ini menggunakan metode yang sesuai dengan menggunakan Metode SCS berdasarkan luasan DAS pada lokasi penelitian.

2.7. Model Hidrologi HMS

U.S.Army Corpsof Engineers mengembangkan *Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS). HEC-HMS ini merupakan model hidrologi yang dapat mensimulasikan besaran banjir secara spasial dalam skala DAS.

HEC-HMS ini mengadopsi prinsip kerja dari SCS-CN model untuk menghitung limpasan langsung/runoff. Untuk menggambarkan pengaliran melalui saluran atau sungai digambarkan melalui *Reach*. Formulasi dari SCS-CN dapat dilihat pada persamaan berikut ini:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_a}{P - I_a} \quad (2- 26)$$

$$P = P_e + I_a + F_a \quad (2- 27)$$

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \text{ dimana, } I_a = 0.2S \quad (2- 28)$$

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (2- 29)$$

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (2- 30)$$

Dengan:

P adalah total hujan, Ia adalah abstraksi awal, S adalah *retention capacity* yang dipengaruhi oleh nilai *Curve Number* (CN) dimana nilai CN berkisar dari 0 -100.

2.8. Profil Aliran dengan Program HEC-RAS

Elevasi muka air pada alur sungai perlu dianalisis untuk mengetahui pada bagian manakah terjadi luapan pada alur sungai dengan debit rencana yang telah diketahui, sehingga dapat menentukan alternatif perbaikan sungai yang ditinjau. Dalam menganalisis kondisi sungai tersebut dapat menggunakan program *software* HEC-RAS 4.1 yang dikeluarkan oleh *U.S. Army Corps of Engineers*. Program HEC-RAS sendiri

dikembangkan oleh *The Hydrologic Engineer Centre* (HEC), yang merupakan bagian dari oleh *U.S. Army Corps of Engineers*.

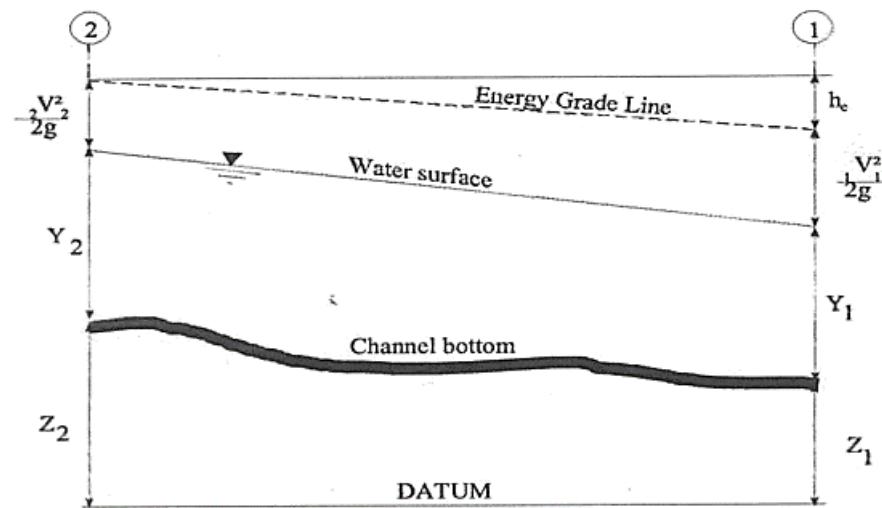
Program HEC-RAS 4.1 menggunakan pengaturan data dimana dengan data geometri yang sama bisa dilakukan kalkulasi data aliran yang berbeda-beda, begitu juga dengan sebaliknya. Data geometri terdiri dari *layout* permodelan disertai *cross section* untuk saluran-saluran yang dijadikan model. Data aliran ditempatkan terpisah dari data geometri. Data aliran bisa dipakai salah satu antara data aliran tunak (*steady*) atau data aliran tak tunak (*unsteady*). Dalam masing-masing data aliran tersebut harus terdapat *boundary condition* dan *initial condition* yang sesuai agar permodelan dapat dijalankan. Selanjutnya bisa dilakukan kalkulasi dengan membuat skenario simulasi. Skenario simulasi harus terdiri dari satu data geometri dan satu data aliran.

2.8.1. Aliran Tetap (*Steady Flow*)

Komponen pada model ini digunakan untuk menghitung profil muka air pada kondisi aliran tetap (*steady flow*). Dasar perhitungan didasarkan pada solusi satu dimensi energi. Energi yang hilang disebabkan oleh gesekan (persamaan Manning) dan penyempitan/pelebaran (koefisien tambahan dari perubahan kecepatan). Persamaan momentum dapat digunakan dalam situasi dimana profil muka air mengalami perubahan tiba-tiba. Situasi ini termasuk dengan sistem perhitungan aliran gabungan atau aliran pada jembatan dan perubahan muka air pada pertemuan saluran.

2.8.2. Persamaan Dasar Aliran Tetap (*Steady Flow*)

Untuk penyederhanaannya, profil muka air pada aliran tetap dihitung dengan persamaan *standart method*, persamaan ini dihitung profil muka air dari penampang saluran satu ke penampang satunya. Berikut gambaran sederhana mengenai persamaan energi pada aliran tetap.



Gambar 2. 2 Garis Energi pada Aliran Tetap

Persamaan energi untuk aliran tetap (*steady flow*) sebagai berikut,

$$Y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad \dots\dots\dots (2- 31)$$

dimana :

z_1, z_2 = elevasi dasar saluran pada penampang 1 dan 2 (m)

Y_1, Y_2 = kedalaman air pada penampang 1 dan 2 (m)

g = gaya gravitasi (m/s^2)

h_e = kehilangan energi

2.8.3. Kehilangan Tinggi Energi

Kehilangan tinggi energi pada penampang sungai diakibatkan oleh gesekan dan perubahan penampang. Persamaan kehilangan tinggi energi dapat dilihat sebagai berikut :

$$h_e = L \bar{S}_f + c \left[\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right] \quad \dots\dots\dots (2- 32)$$

Dengan :

C = koefisien akibat kehilangan tinggi kontraksi dan ekspansi

L = panjang / jarak antar penampang (m)

S_f = kemiringan rata-rata dasar saluran antar penampang (*friction slope*)

Mencari nilai L dapat dihitung dari persamaan berikut:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \cdot \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \cdot \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}}$$

Dimana :

L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} = panjang bidang gesekan antara 2 *cross-section* untuk aliran di sebelah kiri tanggul, tengah saluran dan kanan tanggul.

Q_{lob} Q_{ch} Q_{rob} = debit aliran di bagian kiri tanggul, tengah saluran dan kanan tanggul.

Program ini mengasumsikan bahwa kontraksi dan ekspansi (kehilangan energi akibat pelebaran sungai) terjadi jika kecepatan di hilir lebih tinggi jika dibandingkan dengan kondisi di hulu.

Tabel 2.8. Koefisien Kontraksi dan Ekspansi untuk Aliran Subkritis

Kondisi	Kontraks i	Ekspansi
No Transition Loss Computed	0.0	0.0
Gradual Transitions	0.1	0.3
Typical Bridge Section	0.2	0.5
Abrupt Transitions	0.3	0.8

Sumber: Hydrologic Engineering Center (2010)

2.8.4. Penentuan Kedalaman Kritis

Kondisi muka air kritis adalah elevasi dimana tinggi energi total minimum (energi minimum tertentu untuk *cross-section* itu untuk aliran yang terjadi). Kedalaman kritis untuk sebuah *cross-section* akan ditentukan jika kondisi ini terpenuhi :

1. Aliran superkritis terjadi
2. Perhitungan kedalaman kritis diinginkan oleh user
3. Eksternal boundary *cross-section* dan kedalaman kritis harus ditentukan untuk memastikan user memasukan *boundary condition* di dalam aliran dengan tepat
4. Bilangan Froude dicek untuk profil subkritis menunjukan bahwa kedalaman kritis ditentukan untuk menentukan aliran yang sesuai dengan elevasi yang seimbang.
5. Program tidak dapat menyeimbangkan persamaan energi dalam toleransi tertentu sebelum mencapai nilai iterasi maksimum.

2.8.5. Koefisien Kekasaran

Suatu sungai memiliki nilai kekasaran yang sangat bervariasi dan tergantung pada beberapa faktor sehingga perlu adanya tinjauan terhadap faktor-faktor yang memiliki pengaruh besar terhadap nilai koefisien kekasaran.

2.8.6. Kondisi Batas

Kondisi batas diperlukan untuk menentukan permukaan air mula-mula pada bagian akhir sistem sungai (hulu dan hilir). Pada aliran sub kritis, kondisi batas hanya diutamakan pada akhir skema sungai bagian hilir. Pada aliran superkritis, kondisi batas hanya diutamakan pada akhir skema sungai bagian hilir. Jika perpaduan antara aliran sub kritis dan super kritis, maka kondisi batas yang harus dimasukkan adalah kedua batas pada skema sistem sungai tersebut (hulu dan hilir).

Ada beberapa tipe syarat kondisi batas (*boundary condition*) yang tersedia pada kondisi aliran tidak tetap :

1. Stage Hydrograph

Stage Hydrograph dapat digunakan sebagai syarat batas hulu maupun hilir.

Data yang dimasukkan berupa data tinggi muka air dan waktu.

2. Flow Hydrograph

Flow Hydrograph dapat digunakan sebagai syarat batas hulu maupun hilir. Namun biasanya digunakan sebagai syarat batas hulu. Data yang dimasukkan berupa debit dan waktu.

3. Stage and Flow Hydrograph

Stage and Flow Hydrograph digunakan bersama-sama pada syarat batas hulu maupun hilir. Pada syarat batas hulu *Stage and Flow Hydrograph* digunakan secara kombinasi. Pada awalnya *Stage Hydrograph* sebagai syarat batas hulu, namun pada saat perhitungan keluar dari cakupan data, maka secara otomatis syarat batas akan berubah ke *Flow Hydrograph*.

4. Lateral Inflow Hydrograph

Lateral Inflow Hydrograph sebagai syarat batas internal. *Lateral Inflow* digunakan jika pengguna ingin memasukkan *Flow Hydrograph* di antara dua potongan melintang dan didistribusikan secara merata sepanjang aliran.

5. Rating Curves

Rating Curves digunakan untuk syarat hilir. Ketika kondisi batas tipe ini dipilih, sebuah menu *window* akan muncul dan pengguna memasukkan nilai elevasi dengan *flow rating curve*.

6. Normal depth

Normal depth hanya dapat digunakan sebagai syarat batas pada saluran yang mempunyai hilir terbuka. Untuk kondisi batas tipe ini, perlu memasukkan nilai kemiringan energi yang akan digunakan dalam perhitungan kedalaman normal (menggunakan rumus manning) pada lokasi tersebut. Pada umumnya, kemiringan energi dapat diperkirakan dengan menggunakan kemiringan rerata pada saluran atau pada permukaan air pada jarak interval penampang melintangnya.

7. Ground Water Inflow

Pilihan ini memungkinkan pengguna dapat mengidentifikasi saluran yang debitnya dapat dipengaruhi oleh air bawah tanah.

8. Time Series of Gate Openings

Pilihan ini memungkinkan pengguna dapat memperhitungkan bukaan pintu yang dioperasikan secara berkala pada pintu pelimpah, baik melintang maupun latera, atau pintu pelimpah yang menggunakan dua kolam retensi.

9. Elevation Controlled Gate

Pilihan ini memungkinkan pengguna dapat memperhitungkan bukaan dan penutupan pintu air yang dipengaruhi oleh ketinggian air.

10. Navigation Dam

Untuk menggambarkan pintu air sebagai kontrol pada pengoperasian *Navigation Dam*.

11. Internal Observed Stage and Flow Hydrograph

Pilihan ini memungkinkan pengguna memasukkan hasil pengamatan *Stage and Flow Hydrograph* sebagai syarat batas internal pada titik di dekat hulu (*just upstream*) struktur melintang.

Bila elevasi muka air pada kondisi batas tidak diketahui, namun perlu memasukkan nilai tersebut untuk memulai menghitung, maka nilai elevasi muka air estimasi harus dimasukkan atau memilih kedalaman normal atau kritis.

2.9. Sistem Informasi Geografis

Menurut Aronoff (1989), Sistem Informasi Geografis merupakan sistem yang berbasiskan komputer yang digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi informasi-informasi geografi. SIG memiliki rancangan seperti mengumpulkan, menyimpan dan menganalisa obyek-obyek dan fenomena dimana lokasi geografis merupakan karakteristik yang penting untuk dianalisa. Dengan demikian, SIG merupakan sistem komputer yang memiliki empat kemampuan dalam menangani data yang berasal dari geografi yaitu masukan, manajemen data (penyimpanan dan pemanggilan data), analisa dan manipulasi data, serta keluaran.

Sistem Informasi Geografis menawarkan suatu sistem yang mengintegrasikan data yang bersifat keruangan (spasial/geografis) dengan data tekstual yang merupakan deskripsi menyeluruh tentang obyek dan keterkaitannya dengan obyek lain. Dengan sistem ini data dapat dikelola, dilakukan manipulasi untuk keperluan analisa secara komprehensif sekaligus menampilkan hasil dalam berbagai format baik dalam bentuk peta maupun berupa tabel atau laporan.

Dibandingkan dengan sistem pengolahan basis data yang lain, SIG memiliki keunikan tersendiri yaitu kemampuan untuk menyajikan informasi spasial maupun non-spasial secara bersama-sama. Sebagai contoh penggunaan lahan dapat disajikan dalam bentuk batas-batas yang masing-masing mempunyai atribut penjelasan dalam bentuk tulisan maupun angka. Pada umumnya informasi yang berlainan tema disajikan dalam bentuk lapisan informasi yang berbeda, sebagai contoh akan terdapat informasi jalan, ketinggian, bangunan, dan sebagainya.

Adapun kegunaan SIG yaitu:

1. Teknologi SIG menggabungkan data spasial lain dalam satu sistem, dimana sistem ini menawarkan suatu kerangka yang konsisten untuk analisa geografi.
2. Dengan menggabungkan peta dan informasi spasial yang lain dalam bentuk digital, SIG bisa digunakan untuk manipulasi dan penampilan yang terbaru dari pengetahuan SIG.
3. SIG menghubungkan antara aktivitas-aktivitas berdasarkan kedekatan geografi.

Secara khusus tahapan proses penggunaan SIG dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Pembuatan peta berdasarkan batas Wilayah Sungai, Daerah Aliran Sungai dan administrasi di lokasi studi.
- b. Inputting data-data yang didapat selama pengumpulan data dan survei

- c. Analisa luas pengaruh pos hujan yang telah ada (eksisting) berdasarkan standar WMO (*World Meteorological Organization*)
- d. Melakukan analisa semivariogram dan pengelompokan nilai semivariogram (Metode Kriging) berdasarkan pada jarak terjauh antar pos hujan. Sehingga untuk pemilihan *lag* dan banyaknya *lag* yang dipilih dalam pemodelan semivariogram adalah yang menghasilkan nilai perkalian sebesar setengah dari jarak terjauh antar pos.
- e. Model semivariogram terpilih selanjutnya digunakan untuk membuat peta kontur galat baku prediksi (*prediction standard error map*). Pembuatan peta kontur ini bertujuan untuk mengetahui besar kesalahan distribusi kontur jaringan pos hujan pada kondisi eksisting.
- f. Dari peta kontur tersebut, dapat dilihat bahwa pola penyebaran pos hujan mempengaruhi kesalahan distribusi kontur.
- g. Hubungan antara jarak stasiun dengan korelasi dibuat dalam bentuk lengkung eksponensial mengikuti persamaan fungsi korelasi. Dari hasil persamaan yang dihasilkan dapat diperoleh besaran dan dengan pemadaan terhadap persamaan tersebut.
- h. Pembuatan peta pos hujan sesuai dengan hasil rasionalisasi yang telah dilakukan.

2.9.1. Subsistem SIG

SIG dapat diuraikan menjadi 4 (empat) subsistem yaitu:

1. Pemasukan Data

Subsistem data *Input* berfungsi untuk mengumpulkan dan mempersiapkan data spasial dan atribut dari berbagai sumber yang relevan untuk kepentingan analisa. Subsistem ini mengkonversi atau mentransformasikan dari format data aslinya kedalam format digital yang sesuai dengan format SIG. Pemasukan data dapat dilakukan dengan digitasi, dimana digitasi adalah proses pengubahan data grafis analog menjadi data grafis digital, dalam struktur vektor. Hasil dari proses digitasi adalah himpunan segmen maupun poligon.

2. Manajemen Data

Subsistem manajemen data berfungsi untuk mengorganisasikan data spasial maupun atribut kedalam basis data sedemikian rupa sehingga mudah dipanggil, di *update*, dan di *edit*. Basis data adalah himpunan dari beberapa berkas data atau tabel yang disimpan dengan suatu struktur tertentu, sehingga keterkaitan yang ada diantara

anggota-anggota himpunan tersebut dapat diketahui, dimunculkan, dan dimanipulasi oleh perangkat lunak manajemen basis data untuk keperluan tertentu.

3. Manipulasi Data dan Analisis

Subsistem ini berfungsi untuk menentukan informasi-informasi yang dapat dihasilkan oleh SIG, selain itu subsistem ini juga melakukan manipulasi dan pemodelan data untuk keperluan informasi yang diharapkan.

4. Keluaran Data

Keluaran data dari SIG adalah seperangkat prosedur yang digunakan untuk menampilkan informasi dari SIG dalam bentuk yang disesuaikan dengan keinginan pengguna. Subsistem data *output* berfungsi untuk menampilkan atau menghasilkan keluaran seluruh atau sebagian basis data baik bentuk *softcopy* maupun *hardcopy* seperti tabel, grafik, peta, dan lain-lain.

Apabila subsistem-subsystem SIG diperjelas berdasarkan uraian jenis masukan, proses, dan jenis keluaran yang ada didalamnya maka subsistem SIG dapat digambarkan sebagai berikut.

2.9.2. Model Data SIG

Terdapat dua jenis data yang dapat mempresentasikan fenomena-fenomena yang terdapat di dunia nyata. Yang pertama adalah jenis data yang mempresentasikan aspek-aspek keruangan dari fenomena yang bersangkutan. Jenis data ini disebut data posisi koordinat, ruang atau data spasial. Sedangkan yang kedua adalah jenis data yang mempresentasikan aspek-aspek deskriptif dari fenomena yang dimodelkannya. Aspek deskriptif ini mencakup *items* dari fenomena yang bersangkutan hingga dimensi waktunya. Jenis data ini disebut data atribut atau data non-spasial.

1. Data Spasial

Data spasial dari segi penyimpanan data dibagi menjadi dua yaitu data vektor dan data *raster*. Kedua sistem tersebut merupakan fungsi posisi yang menunjukkan salah satu karakteristik dari data topografi. Tetapi masing-masing sistem mempunyai kelebihan dan kekurangan.

Pada sistem vektor, fenomena geografi disajikan dalam tiga konsep topologi, yaitu titik, garis, dan poligon. Fenomena geografi tersebut disimpan dalam bentuk pasangan koordinat (x,y) sehingga letak titik, garis dan area dihubungkan dengan data atribut menggunakan pengenal terlebih dahulu. Resolusi dari vektor tergantung dari jumlah titik yang membentuk garis.

Pada sistem *raster*, fenomena geografi disimpan dalam bentuk rangkaian bujursangkar atau pixel (*grid/raster*) yang sesuai dengan kenampakkan. Pada sistem ini titik dinyatakan dalam bentuk *grid* atau sel tunggal, garis dinyatakan dengan beberapa sel yang mempunyai arah dan poligon dinyatakan dalam beberapa sel. Resolusi data *raster* ditentukan oleh ukuran *grid-cell*.

2. Data Atribut

Data atribut merupakan keterangan dari data geografi baik disimpan secara vektor maupun *raster*. Deskripsi data-data tersebut berupa keterangan-keterangan pada bagian fenomena geografi dengan cara pemberian kode.

2.9.3. Komponen SIG

SIG merupakan sistem yang kompleks yang terdiri dari beberapa komponen seperti:

1. Perangkat keras

SIG tersedia untuk beberapa *platform* perangkat keras mulai PC *desktop*, *workstation*, hingga *multiuser host*. Adapun perangkat keras yang sering digunakan untuk SIG adalah komputer (PC), *mouse*, *digitizer*, *pointer*, *plotter*, dan *scanner*.

2. Perangkat Lunak

SIG merupakan sistem perangkat lunak yang tersusun secara modular dimana basis data memegang peranan kunci. Setiap subsistem (data *input*, data *output*, data *management*, data manipulasi dan analisis) diimplementasikan dengan menggunakan beberapa modul.

3. Data dan Informasi Geografi (Basis data)

SIG dapat mengumpulkan dan menyimpan data dan informasi yang diperlukan baik secara langsung dengan cara mengimport-nya dari perangkat-perangkat lunak SIG yang lain maupun secara langsung dengan cara mendigitasi data spasialnya dari peta dan memasukkan data atributnya dari tabel-tabel.

4. Manajemen

Suatu proyek SIG akan berhasil jika dimanajemen dengan baik dan dikerjakan oleh orang-orang yang memiliki keahlian yang tepat pada semua tingkatan.

2.9.4. Pengolahan Data dengan SIG

1. Pemasukan Data

Pemasukan data geografis dalam SIG berupa data grafis, yaitu peta batas sub-DAS, peta tata guna lahan, peta topografi, peta jenis tanah, peta kemiringan lereng, dan peta jaringan sungai. Pemasukan data dilakukan dengan digitasi. Digitasi dilakukan dengan

cara menelusuri delienasi yang dibuat pada peta *analog* sehingga seluruhnya dipindahkan ke dalam komputer dengan perantara meja *digitizer*. Proses digitasi dilakukan dengan memanfaatkan fasilitas ADS (*Arc Digitizer System*) dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Menentukan titik kontrol dengan maksud agar koordinat pada peta dapat dipindahkan pada sistem koordinat yang memiliki *digitizer*. Pada studi ini digunakan sistem koordinat UTM (*Universal Transverse Mercator*).
- b. Digitasi dilakukan dengan menelusuri kenampakan di peta yang berupa titik, garis dan area dengan alat penelusur pada *digitizer*. Setelah proses ini selesai, setiap kenampakan di peta disimpan dalam bentuk segmen.

2. Manipulasi dan Analisis Data

Satuan pemetaan harus ditentukan nilainya agar dapat dipadukan dengan peta yang lain untuk tujuan analisis. Pada umumnya terdapat dua jenis fungsi analisis dalam SIG yang meliputi fungsi analisis spasial dan fungsi analisis atribut. Fungsi analisis data atribut dari operasi dasar sistem pengelolaan basis data / *Database Management System* (DBMS) dan perluasannya meliputi:

- a. Operasi dasar basis data yang mencakup:
 1. Membuat basis data baru (*create database*)
 2. Menghapus basis data (*drop database*)
 3. Membuat tabel basis data (*create table*)
 4. Menghapus tabel basis data (*drop table*)
 5. Mengisi dan menyisipkan data (*record*) kedalam tabel (*insert*)
 6. Membaca dan mencari data (*field* atau *record*) dari tabel basis data (*seek, find, search, retrieve*)
 7. Mengubah atau mengedit data yang ada dalam tabel basis data (*update edit*)
 8. Membuat indeks untuk setiap basis data
- b. Perluasan operasi basis data:
 1. Membaca dan menulis basis data kedalam basis data yang lain (*export/import*)
 2. Dapat menggunakan bahasa basis data standar SQL (*Structure Query Language*)

Fungsi analisis spasial dari SIG:

- a. Klasifikasi (*reclassify*): fungsi ini mengklasifikasi kembali suatu data spasial menjadi data spasial yang baru dengan menggunakan kriteria tertentu.
- b. Jaringan (*network*): fungsi ini menunjukkan kepada data-data spasial yang berupa titik-titik atau garis-garis sebagai suatu jaringan yang tidak terpisahkan.
- c. Tumpang susun (*overlay*): fungsi ini menghasilkan data spasial baru dari minimal dua data spasial yang menjadi masukkannya.
- d. *Buffering*: fungsi ini menghasilkan data spasial baru yang berbentuk poligon atau zone dengan jarak tertentu dari data spasial yang menjadi masukkannya.
- e. *3D analysis*: fungsi ini terdiri dari sub-sub fungsi yang berhubungan dengan presentasi data spasial dalam ruang tiga dimensi.
- f. *Digital Image Processing*: fungsi ini dimiliki oleh SIG yang berbasiskan raster.

2.9.5. Keluaran Data

Keluaran data dari SIG adalah seperangkat prosedur yang digunakan untuk menampilkan informasi dari SIG dalam bentuk yang disesuaikan dengan pengguna. Keluaran data terdiri dari tiga bentuk, yaitu cetakan, tayangan, dan data digital. Bentuk cetakan dapat berupa peta maupun tabel yang dicetak dengan media kertas atau media lain. Bentuk tayangan berupa tampilan gambar di layar komputer.

Keluaran data dalam bentuk digital berupa *file* yang dibaca oleh komputer ataupun menghasilkan cetakan lain ditempat. Keluaran data pada studi ini berupa peta-peta tematik yang meliputi struktur data dalam format vektor dan *raster/grid* (Prahasta, 2001).

“ halaman ini sengaja dikosongkan”

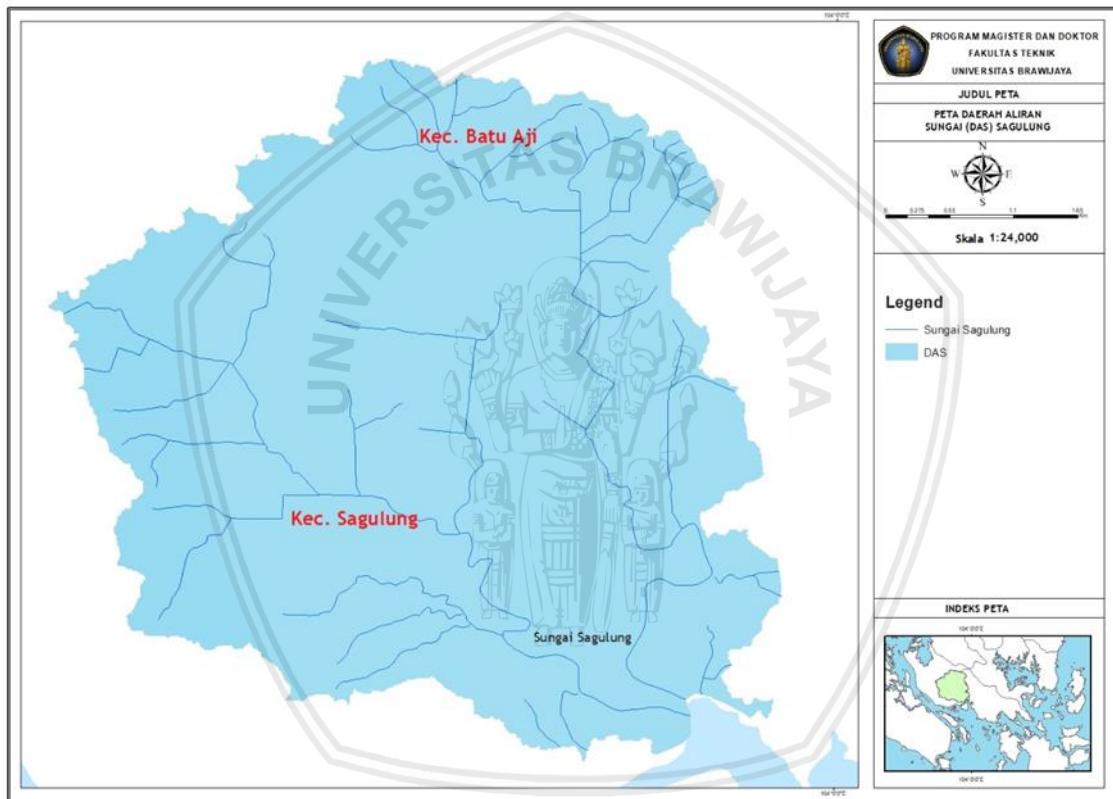


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Pengamatan ini dilakukan di Daerah Aliran Sungai Sagulung Kota Batam, Provinsi Kepulauan Riau. Luas DAS Sagulung berdasarkan analisis GIS adalah sebesar 24,24 km². DAS Sagulung merupakan tipikal DAS yang ada di daerah kepulauan, yaitu memiliki alur sungai yang pendek dan didominasi oleh dataran rendah.



Gambar 3.1. DAS Sagulung

Sumber: Hasil Analisa

Daerah Sagulung di Kota Batam adalah daerah berpenduduk yang cukup padat, dapat dilihat pada tabel berikut.:

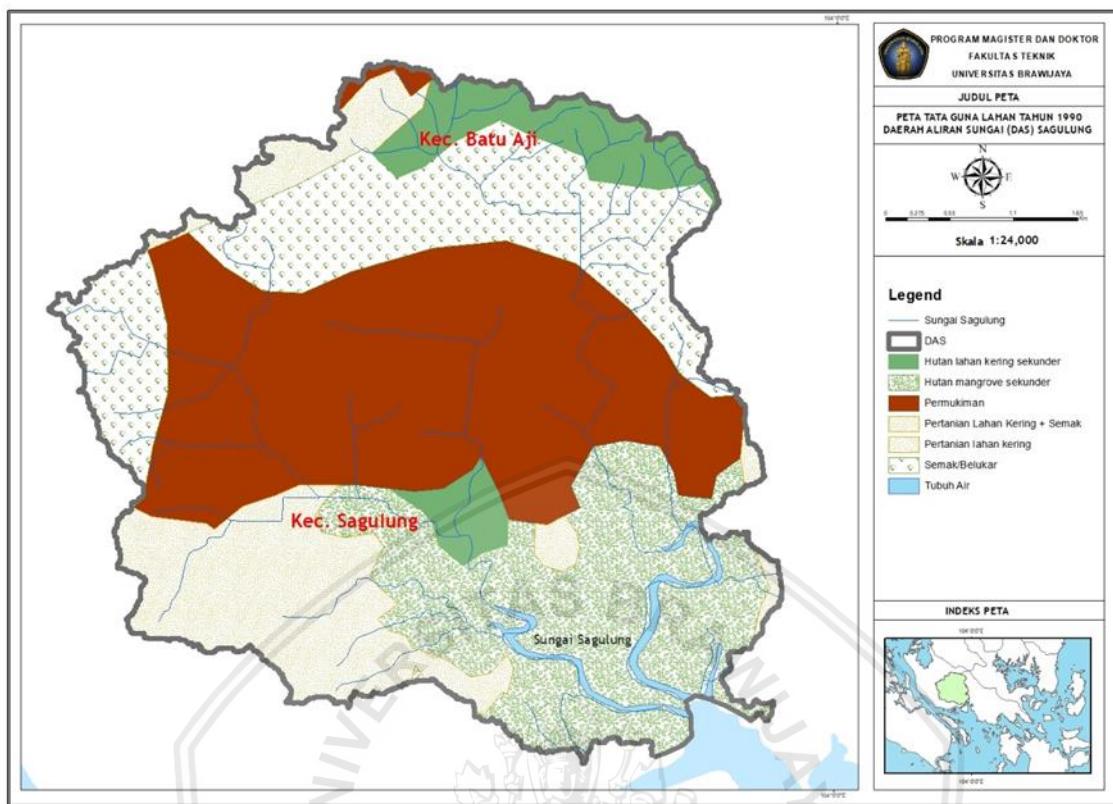
Tabel 3. 1 Data Jumlah Penduduk per Kecamatan di Kota Batam pada Tahun 2012

No.	Kecamatan	Kelurahan	Jenis Kelamin		
			Laki-laki	Perempuan	Jumlah
I	Belakang Padang		12.811	12.373	25.184
		Pemping	494	479	973
		Kasu	2.086	1.912	3.998
		Pulau Terong	2.101	2.035	4.136
		Pecong	451	431	882
		Tanjung Sari	3.832	3.744	7.576
II	Batu Ampar	Sekanak Raya	3.847	3.772	7.619
			53.832	47.203	101.035
		Tanjung Sengkuang	18.828	16.677	35.505
		Sungai Jodoh	13.655	11.642	25.297
		Batu Merah	5.922	5.255	11.177
III	Sekupang	Kampung Seraya	15.427	13.629	29.056
			77.610	71.317	148.927
		Sungai Harapan	12.301	11.986	24.287
		Tanjung Pinggir	6.610	5.607	12.217
		Tanjung Riau	9.223	7.846	17.069
		Tiban Indah	8.671	8.218	16.889
		Tiban Baru	14.286	13.503	27.789
		Tiban Lama	14.828	13.504	28.332
IV	Nongsa	Patam Lestari	11.691	10.653	22.344
			35.415	30.735	66.150
		Sambau	4.961	4.392	9.353
		Batu Besar	14.927	13.023	27.950
		Kabil	14.641	12.601	27.242
V	Bulang	Ngenang	886	719	1.605
			6.608	6.079	12.687
		Bulang Lintang	1.006	952	1.958
		Pulau Buluh	1.794	1.723	3.517
		Temoyong	813	776	1.589
		Batu Legong	728	612	1.340
		Pantai Gelam	532	563	1.195
VI	Lubuk Baja	Pulau Setokok	1.635	1.453	3.088
			58.039	55.964	114.003
		Kampung Pelita	8.257	8.620	16.877
		Lubuk Baja Kota	9.518	9.208	18.726
		Batu Selicin	10.238	10.421	20.659
		Tanjung Uma	12.760	11.464	24.224
		Baloi Indah	17.266	16.251	33.517

		Duriangkang	12.399	11.464	23.863
		Mangsang	27.182	27.757	54.939
		Tanjung Piayu	10.722	9.298	20.020
VIII	Galang		9.208	8.260	17.468
		Sijantung	994	905	1.899
		Karas	1.480	1.295	2.775
		Galang Baru	1.584	1.373	2.957
		Sembulang	1.390	1.233	2.623
		Rempang Cate	2.016	1.774	3.790
		Subang Mas	428	402	830
		Pulau Abang	906	904	1.810
		Air Raja	410	374	784
IX	Bengkong		65.769	61.975	127.744
		Bengkong Indah	16.165	15.490	31.655
		Bengkong Laut	13.537	12.881	26.418
		Sadai	16.929	15.106	32.035
		Tanjung Buntung	19.138	18.498	37.636
X	Batam Kota		90.147	85.368	175.515
		Baloi Permai	19.775	18.837	38.612
		Taman Baloi	14.808	14.306	29.114
		Teluk Tering	8.590	8.190	16.780
		Belian	30.106	28.083	58.189
		Sukajadi	3.009	2.932	5.941
		Sei Panas	13.859	13.020	26.879
XI	Sagulung		100.276	88.041	188.317
		Tembisi	15.132	14.053	29.185
		Sungai Binti	16.370	13.474	29.844
		Sungai Lekop	10.240	9.066	19.306
		Sagulung Kota	19.912	16.570	36.482
		Sungai Langkai	26.175	23.666	49.841
		Sungai Pelenggut	12.447	11.212	23.659
XII	Batu Aji		68.254	63.580	131.834
		Tanjung Uncang	15.874	12.471	28.345
		Buliang	25.714	26.034	51748
		Kibing	16.506	16.031	32.537
		Bukit Tempayan	10.160	9.044	19.204
	JUMLAH KOTA BATAM		638.314	597.247	1.235.56

Sumber : Dinas Kependudukan dan Capil Kota Batam (2012).

Berikut ini gambar properti DAS Sagulung dan tata guna lahannya:



Gambar 3.2 Analisis Digital Elevation Model (DEM) DAS Sagulung
Sumber: Hasil Analisa

3.2 Teknik Pengumpulan data

Jenis data yang digunakan terutama berupa data sekunder yang akan didukung oleh data primer dengan melakukan pengamatan langsung ke lapangan, di mana pengumpulan data dilakukan dengan metode sebagai berikut:

a. Data Sekunder

Data diperoleh dari kajian literatur terdahulu yang terkait, beberapa data diperoleh melalui *website* dan lembaga terkait.

b. Data Primer

Data diperoleh melalui observasi ke lokasi penelitian untuk memperoleh gambaran kondisi terkini di lapangan dan untuk memperoleh data untuk perhitungan kalibrasi.

Tabel 3. 2 Komponen Data Penelitian

No	Komponen Data	Sumber Data
1	Batas DAS di Kota Batam	BWS Sumatera IV, Kementerian PUPR.
2	Peta Tata Guna Lahan	Badan Informasi Geospasial (BIG)
4	Data Jaringan Sungai	BWS Sumatera IV,Kementerian PUPR.
5	Peta Jenis Tanah	Puslit Tanah Bogor
6	Curah Hujan Harian DAS	BMKG
7	Klimatologi	BMKG

Sumber: Hasil Analisa

3.3 Metode Analisa Data

3.3.1 Analisis Statistika

Analisis statistik yang dilakukan pada tahap awal penyusunan tesis ini, dimaksudkan menganalisa kondisi data hujan yang ada bisa digunakan untuk analisa hidrologi berikutnya atau tidak.

3.3.2 Analisis Hidrologis

Analisis hidrologis meliputi, analisis data hujan dan analisis limpasan permukaan dengan menggunakan data pengamatan tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017.

3.3.3 Analisis Tekstur Tanah

Berdasarkan kelompok jenis tanah dan tekstur tanah, maka dapat ditentukan kelompok hidrologis tanah sesuai dengan metode SCS dan digunakan sebagai dasar salah satu variabel dalam menentukan besarnya nilai CN (selain variabel tutupan lahan) untuk analisa faktor kehilangan dengan menggunakan metode *Curve Number* serta menentukan besarnya nilai infiltrasi awal dan konstan untuk analisa faktor kehilangan dengan menggunakan metode *Initial and Constant*.

3.3.4 Analisis Tata Guna Lahan

Kondisi tata guna lahan yang digunakan dalam studi ini merupakan kondisi tata guna lahan pada Tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017. Untuk masing masing periode dibuat klasifikasi dan luas tutupan lahan yang ada, kemudian dibuat prosentase perubahan kondisi tata guna lahan dari tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017.

Berdasarkan kondisi tutupan lahan pada masing masing periode tersebut, disusun besarnya nilai *Curve Number*.

3.3.5 Curve Number Komposit

Besarnya nilai *Curve Number* komposit ditentukan oleh variabel jenis tata guna lahan dan kelompok hidrologis tanah. Dalam tesis ini nilai *Curve Number* yang digunakan sebagai masukan model merupakan nilai *Curve Number* komposit DAS.

3.3.6 Tata Guna Lahan dan Limpasan

Untuk menggambarkan dan menganalisa hubungan tata guna lahan dan limpasan yang terjadi di DAS Sagulung dilakukan dengan cara menganalisis nilai CN berdasarkan kondisi tata guna lahan dan kelompok hidrologi jenis tanah SCS pada DAS Sagulung. Dengan melakukan skenario perubahan tata guna lahan dimana hal itu akan berpengaruh pada nilai CN serta memberikan input hujan sebagai masukannya, maka akan didapatkan suatu nilai limpasan yang terjadi di DAS Sagulung.

3.3.7 Analisa Data dengan Arc View dan HEC HMS

3.3.7.1. Analisa Data / Peta dengan Arc View

Pengolahan data dengan menggunakan bantuan *software ArcView GIS 3,2*, dengan beberapa program analisa *Geo Processing Wizard*, *Spatial Analyst*, *3D Analyst*, *Xtools*, untuk mengolah data kontur menjadi data DEM (*Digital Elevation Model*).

Berikut merupakan langkah awal yang dilakukan dalam analisa dengan GIS, dengan membuat DEM dari kontur yang ada pada DAS :

1. Mempersiapkan peta topografi digital dengan skala 1: 25.000 dari Bakosurtanal yang meliputi wilayah DAS Sagulung.
2. Peta disesuaikan dengan kordinat *Universal Transfer Mercator (UTM)*,
3. Dilakukan proses pemeriksaan dan perbaikan yakni proses *editing*. Pada proses ini yang perlu diperhatikan adalah :
 - a. Pemeriksaan terhadap jenis garis yang terdapat pada tiap tiap *site* peta yang digabung. Apabila jenis garis berupa *polyline*, maka garis tersebut tidak perlu *di_edit*. Sedangkan bila terdapat jenis garis berupa *3D polyline*, maka garis tersebut harus *di_explode* (pemisahan) agar jenis garisnya berubah menjadi *line*.
 - b. Pada tepi pertemuan peta gabungan, terdapat garis yang tidak tersambung secara sempurna. Garis ini perlu perbaikan agar tergabung secara sempurna.
 - c. Selanjutnya semua garis dapat *di_joint* (penggabungan), agar pada semua garis kontur didapatkan jenis garis yang sama yaitu *polyline*.

4. Format *file* dalam program *autocad (*.dwg)*. Setelah diolah dengan *Autocad*, selanjutnya *file* tersebut disimpan dalam format *(*.dwg)*, kemudian peta dieksport *polyline* kontur ke dalam format *file* program *ArcView (*.shp)* dengan bantuan program *CAD2Shape 1,0*,
5. Hasil *file* yang didapatkan pada program *CAD2Shape 1,0* adalah berformat *(*.shp)*, sesuai dengan *layer* yang dipilih. Dalam hal ini *layer* yang di-eksport *polyline* yaitu *layer topografi*.
6. Selanjutnya menjalankan program *ArcView GIS 3,2* dan membuat *view* untuk batas DAS. Kemudian mengatur sistem proyeksi yang digunakan pada *view properties*. Kontur dan sungai yang sudah dalam format *file (*.shp)* tersebut di-*input*.
7. Hasil gabungan peta, dibangkitkan ke dalam *DEM* dalam bentuk tiga dimensi dengan format *TIN (Triangular Irregular Network)* dari *toolbar surface* dengan pilihan *option* adalah *create TIN from feature*.
8. *DEM* dikonversi dari format *TIN* ke dalam struktur format *grid* dengan ukuran sel 25 m x 25 m. Perintah yang digunakan adalah *convert to grid*.

3.3.7.2. Pengolahan Data dengan HEC-HMS 3.5

Pengolahan dan analisa data di program HEC HMS dilakukan setelah tahapan awal pengolahan data yang berbasis geografis sudah dilakukan dengan bantuan *software arcview* dan HEC GEO HMS,

Berikut ini adalah garis besar dari langkah-langkah pengolahan dan analisa data yang dilakukan dalam program HEC HMS :

1. Membuat suatu project baru (*new project/ import project*)
2. Membuat *HMS Component Models*
 - a. *Basin Model*
 - b. *Meteorologic Model*
 - c. *Control Specification*
3. Membuat *Time Series Data*, seperti:
 - a. Data hujan
 - b. Data debit
4. Membuat *Basin Models*
5. Memilih dan mengisi *Basin Models*
6. Mengisi *Meteorologic Model*
7. Mengisi *Control Specification*

8. Mengisi *Time-series Data*

9. Memeriksa *Data*

10. Melakukan *Simulation*

11. Melakukan *Calibration*

3.3.7.3.Tahapan Kalibrasi dan Validasi Model

Berdasarkan ketersediaan data maka untuk keperluan pemodelan digunakan rentang waktu antara 1990, 2000, 2008, dan 2017. Selanjutnya, dari periode dimana terdapat data rentang-waktu (hujan, debit, evaporasi).

1. Prosedur Kalibrasi

a. Metode kalibrasi

Metode kalibrasi yang digunakan adalah kombinasi metode *generic* dan manual, Pada metode generic maka nilai parameter awal ditentukan oleh model, Sedangkan pada metode manual, nilai parameter awal model dapat ditentukan oleh *user* (pengguna) dengan mengentri suatu nilai ke dalam kolom model yang telah disediakan,

b. Metode optimasi parameter

Optimasi nilai parameter dilakukan sesuai dengan tujuan optimasi model yaitu nilai debit puncak atau nilai volume debit untuk kurun waktu tertentu. Kriteria optimasi model yang optimal didasarkan pada besarnya persentase debit hasil *running model* dengan debit observasi.

c. Visualisasi hasil

Visualisasi hasil dilakukan dengan membandingkan grafik hasil perhitungan dan pengukuran, Beberapa grafik yang dapat ditampilkan untuk menunjukkan hasil kalibrasi,

2. Prosedur Validasi

Setting nilai parameter yang didapat selama periode kalibrasi, selanjutnya digunakan untuk validasi/verifikasi model pada periode rentang waktu.

3.3.7.4. *Running Model HEC HMS*

Dalam melakukan *running model* dilakukan, pentahapan sebagai berikut, yaitu :

a. Model di *running*, berdasarkan masukan data yang diperlukan, dimana hasil model tersebut dikalibrasi dengan data yang ada di AWLR. Namun dikarenakan tidak adanya

data AWLR, Maka digunakan data *base flow* yang dibandingkan dengan data pengukuran debit langsung di lokasi kegiatan.

3.3.7.5. Analisis Hidrolik Dengan HEC-RAS

Dalam tahapan persiapan data HEC-RAS, dilakukan pengumpulan data potongan memanjang dan melintang dari sungai-sungai yang melalui DAS Sagulung. Data potongan memanjang dan melintang dari sungai-sungai yang melalui DAS Sagulung yang diperoleh masih dalam bentuk gambar yang ada di CAD, maka dilakukan pengolahan terlebih dahulu terhadap data tersebut. Data melintang dan memanjang dari sungai yang diperoleh selanjutnya dibuat menjadi data koordinat. Data koordinat yang diperoleh selanjutnya akan dimasukkan kedalam program *Microsoft Excel* dengan tujuan untuk mempermudah proses pemasukan data dengan menggunakan aplikasi HEC-RAS.

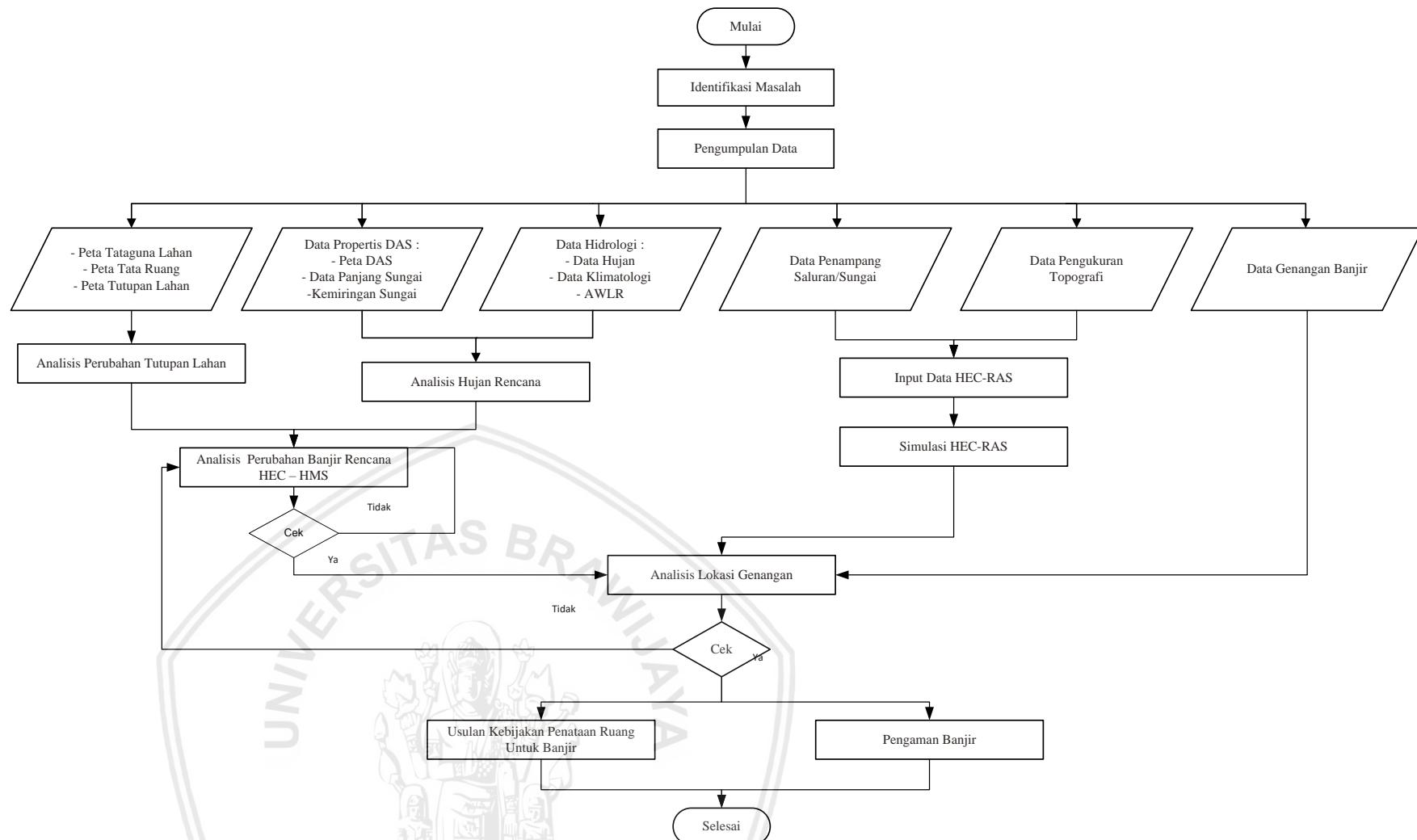
Dalam mengidentifikasi genangan dan pelacakan tinggi muka air digunakan *software* HEC-RAS 4.1. Untuk memulai menjalankan aplikasi tersebut, diperlukan beberapa data, diantaranya adalah data geometri dari sungai tersebut. Selain itu diperlukan juga data debit aliran sungai. Data debit ini diperoleh dari perhitungan banjir rencana dengan menggunakan HEC-HMS.

3.4 Studi Literatur

Pada tahap ini yang akan dilakukan adalah mengumpulkan referensi-referensi atau teori yang mendasari penelitian. Referensi akan diambil dari buku, jurnal, dan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya. Referensi yang digunakan terkait dengan analisis hidrologi seperti perhitungan banjir rencana, pelacakan banjir, penggunaan model HEC-HMS dan HEC-RAS, serta penggunaan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk analisis kesesuaian lahan dengan masterplan Kota Batam.

3.5 Tahapan Penelitian

Dalam penyusunan tesis ini, dilakukan beberapa tahapan atau langkah-langkah untuk mencapai tujuan penelitian seperti yang terlihat pada diagram berikut:



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa hubungan antara perubahan tutupan lahan dengan debit banjir rencana di DAS Sagulung diawali dengan pengumpulan data yang terkait dengan studi, setelah itu melakukan analisa secara statistik pada data curah hujan yang digunakan, mengidentifikasi kondisi tutupan lahan DAS Sagulung dan karakteristik DAS Sagulung serta beberapa hal lain yang dapat digunakan dalam analisa selanjutnya.

4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan sebelum melakukan permodelan. Data-data yang diperlukan diantaranya adalah peta tata guna lahan, peta tata ruang, peta tutupan lahan, data properti DAS seperti panjang sungai dan kemiringan sungai, data hidrologi seperti data hujan, data klimatologi dan data pengukuran topografi.

Peta tata guna lahan, peta tata ruang dan peta tutupan lahan digunakan untuk melakukan analisis terhadap perubahan tutupan lahan yang terjadi di DAS Sagulung. Sedangkan data properti DAS dan data hidrologi terkait lokasi studi digunakan untuk melakukan analisis hujan rencana. Hasil analisis tutupan lahan dan analisis hujan rencana nantinya akan digunakan untuk melakukan analisis perubahan banjir rencana dengan menggunakan model HEC-HMS.

Data penampang saluran sungai dan data pengukuran topografi digunakan sebagai input data HEC-RAS. HEC RAS merupakan program aplikasi yang digunakan untuk memodelkan aliran air di sungai. Sedangkan data genangan banjir digunakan untuk analisis lokasi genangan berdasarkan hasil permodelan HEC-HMS dan HEC-RAS.

4.2 Analisis Hidrologi

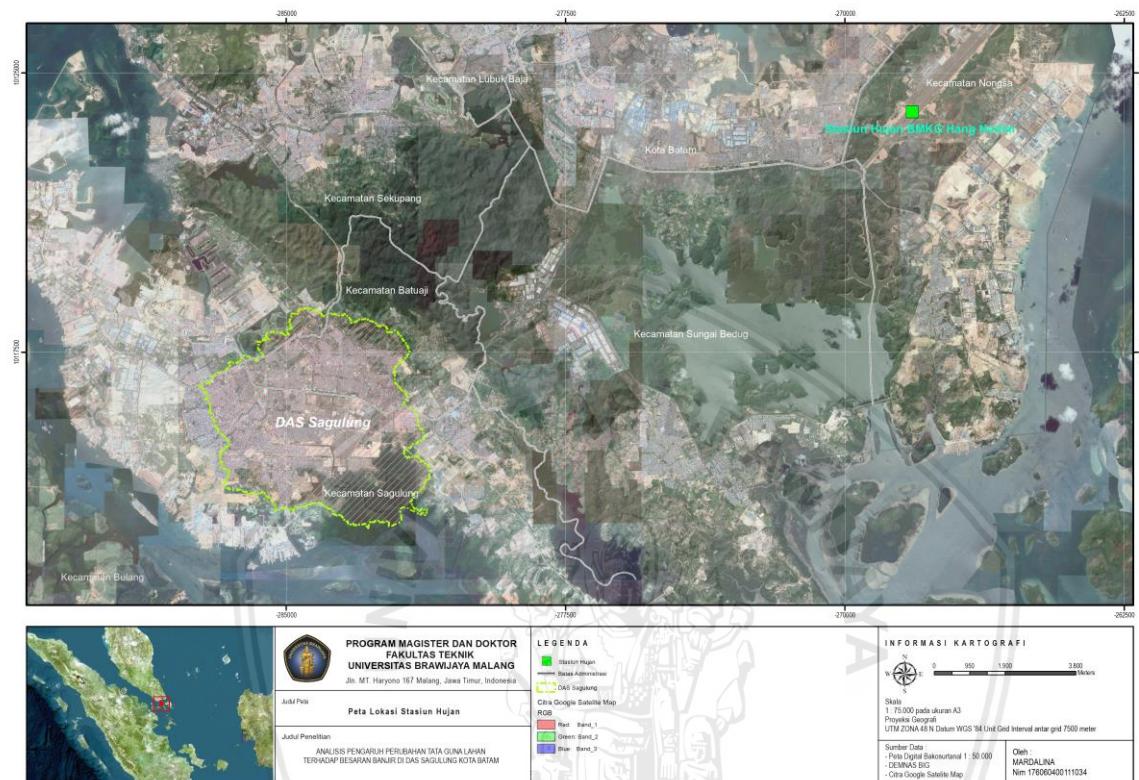
4.2.1 Data Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan dalam analisa ini merupakan data curah hujan harian yang berasal dari stasiun penakar hujan BMKG Hang Nadim Kota Batam selama 16 tahun dimulai tahun 2003 sampai dengan tahun 2018. Pada data tersebut diperoleh data curah hujan tahunan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4. 1 Stasiun Penakar Hujan BMKG Hang Nadim Kota Batam

Kode Stasiun	Nama Stasiun	X (m)	Y (m)	Elevasi (mdpl)
960087	(ARR) Hang Nadim	401192.7	123075.2217	30

Sumber: BMKG Kota Batam



Gambar 4. 1 Lokasi Stasiun Penakar Hujan BMKG Hang Nadim Kota Batam

Sumber: Hasil Analisa (2019).

Tabel 4. 2 Curah Hujan Tahunan Stasiun Penakar Hujan BMKG Hang Nadim Kota Batam

Tahun	R _{Tahunan} (mm)	Tahun	R _{Tahunan} (mm)
2003	2,552.80	2011	2,921.80
2004	2,066.90	2012	2,345.60
2005	2,280.60	2013	2,549.60
2006	2,965.50	2014	1,875.50
2007	2,960.60	2015	1,875.50
2008	2,471.10	2016	1,883.50
2009	1,976.50	2017	2,587.10
2010	2,058.00	2018	1,204.80

Sumber: Hasil Analisa (2019).

4.2.2 Analisa Ketiadaan Trend

Data hidrologi yang disajikan secara berkelanjutan sebagai fungsi waktu dengan interval waktu yang sama dinamakan dengan deret berkala. Deret berkala yang nilainya menunjukkan pergerakan yang panjang dan mempunyai kecenderungan ke satu arah, baik arah naik dan arah turun disebut dengan trend. Apabila dalam deret berkala (data hidrologi) menunjukkan adanya trend maka datanya tidak disarankan untuk digunakan beberapa analisa hidrologi, misalnya analisa peluang dan simulasi.

Data curah hujan yang digunakan di DAS Sagulung yaitu dari stasiun penakar hujan BMKG Hang Nadim Kota Batam sebanyak 16 tahun (2003 sampai dengan 2018).

Sebelum digunakan untuk analisa, data tersebut diuji dengan uji ketiadaan trend dari deret berkala pada derajat kepercayaan 1% ditolak, dengan menggunakan uji korelasi peringkat metode Spearman.

$$KP = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (dt)^2}{n^3 - n}$$

$$t = KP \left[\frac{n - 2}{1 - KP^2} \right]^{1/2}$$

Dimana

R_t : peringkat dari variabel hidrologi dalam deret berkala

n : jumlah data

dt : $R_t - T_t$

KP : koefisien korelasi

T_t : tingkatan waktu

t : nilai distribusi t , pada derajat kebebasan ($n-2$) untuk derajad kepercayaan tertentu misalnya (1%).

Tabel nilai kritis t , dapat dilihat pada tabel. Adapun hipotesisnya adalah sebagai berikut:

- H_0 : tidak ada trend
- H_1 : ada trend

Hasil pengujian dapat dilihat di Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Uji T pada Stasiun Hujan BMKG Hang Nadim

No.	Tahun	Peringkat Tt	R (mm)	Peringkat Rt	dt	dt ²
1	2003	1	2552.8	5	4	16
2	2004	2	2066.9	8	6	36
3	2005	3	2280.6	6	3	9
4	2006	4	2965.5	1	-3	9
5	2007	5	2960.6	2	-3	9
6	2008	6	2471.1	7	1	1
7	2009	7	1976.5	10	3	9
8	2010	8	2058	9	1	1
9	2011	9	2921.8	3	-6	36
10	2012	10	345.6	16	6	36
11	2013	11	549.6	15	4	16
12	2014	12	1875.5	12	0	0
13	2015	13	1875.5	13	0	0
14	2016	14	1883.5	11	-3	9
15	2017	15	2587.1	4	-11	121
16	2018	16	1204.8	14	-2	4
						Total 312

Sumber: Hasil Analisa (2019).

Deret berkala dua seri data (Rt dan Tt) adalah independen pada derajad kepercayaan 1%

$$KP = 0.541$$

$$t = 2.408$$

$$Dk = 14$$

Dari tabel nilai tc kritis dengan derajad kepercayaan 1% didapatkan nilai

$$t_{0.99} = 2.624$$

$$-t_{0.99} = -2.624$$

Dari perhitungan diatas maka nilai t terletak diantara nilai tc

$$-2.624 < 2.408 < 2.624$$

Maka, berdasarkan perhitungan uji T maka dapat disimpulkan bahwa dua seri data adalah independen dan tidak menunjukkan adanya trend.

4.2.3 Uji Stasioner / Homogenitas Data

Setelah dilakukan perhitungan uji ketiadaan trend, maka perhitungan selanjutnya adalah uji stasioner. Uji ini dimaksudkan untuk menguji kestabilan dan mengetahui

homogen atau tidaknya nilai varian dan rata rata dari deret berkala. Pengujian dari deret berkala dilakukan dengan cara membagi data deret berkala menjadi dua kelompok, setiap kelompok diuji dengan menggunakan uji F.

Data hujan yang berasal dari stasiun Hang Nadim dengan data sebanyak 16 tahun (2003 sampai dengan 2018), menunjukkan data deret berkala yang dibagi menjadi 2 kelompok, dilakukan uji stasioner pada derajat kepercayaan 5% ditolak (95% diterima), dengan melaksanakan pengujian nilai variannya. Untuk perhitungan uji F dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 4. Hasil Perhitungan Uji F pada Stasiun Hujan BMKG Hang Nadim

No.	Tahun	R (mm)	Peringkat Rt	No.	Tahun	R (mm)	Peringkat Rt
1	2003	2552.8	5	1	2011	2921.8	3
2	2004	2066.9	8	2	2012	345.6	16
3	2005	2280.6	6	3	2013	549.6	15
4	2006	2965.5	1	4	2014	1875.5	12
5	2007	2960.6	2	5	2015	1875.5	13
6	2008	2471.1	7	6	2016	1883.5	11
7	2009	1976.5	10	7	2017	2587.1	4
8	2010	2058	9	8	2018	1204.8	14
x total		48		x total		88	
x rerata		6		x rerata		11	
Standart deviasi		3.207		Standart deviasi		4.899	

Sumber: Hasil Analisa (2019).

Berdasarkan uji F

$$F = \frac{N_1 \cdot S_1^2 (N_2 - 1)}{N_2 \cdot S_2^2 (N_2 - 1)}$$

$$dk_1 = N_1 - 1 \text{ dan } dk_2 = N_2 - 1$$

Keterangan :

F = perbandingan F

dk₁ dan dk₂ = derajad kebebasan kelompok sampel ke-1 dan ke-2

N₁ dan N₂ = jumlah sampel kelompok sampel ke-1 dan ke-2

S₁ dan S₂ = deviasi standar kelompok sampel ke-1 dan ke-2

Dengan tabel perhitungan diatas didapatkan nilai sebagai berikut:

$$N_1 = 7 \quad N_2 = 7$$

$$S_1 = 3.207 \quad S_2 = 4.899$$

$$dk1 = 7 \quad dk2 = 7$$

Dengan rumus uji F didapatkan nilai F Hitung (FH) = 0.429

Dengan mengambil tingkat signifikansi 5%, diperoleh harga F kritis :

$$F \text{ kritis} = 3.79 \quad (\text{dari Tabel "Distribution of Variance Ratio } F\text{"})$$

Pada derajad kebebasan $dk1 = 7$ dan $dk2 = 7$ dengan derajad kepercayaan 5%, didapatkan nilai F tabel sebesar = 3,79, sedangkan F hitung = 0.429 .

Dikarenakan nilai F hitung $< F$ kritis, maka data kedua kelompok merupakan homogen, dan pada peluang 95% nilai variannya stabil.

4.2.4 Uji RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*).

Yang pertama dilakukan adalah menghitung nilai simpangan mutlaknya (S^*K), simpangan rata-rata (Dy) dan Nilai Konsistensi Data ($S^{**}K$). Perhitungan tersebut dilakukan untuk mencari nilai statistiknya yang nantinya akan dibandingkan dengan nilai parameternya untuk mengetahui apakah data tersebut masih masuk kedalam batasan konsisten atau tidak. Nilai S^*K , Dy dan $S^{**}K$ didapatkan dengan persamaan berikut:

$$S^*K = \sum_{i=1}^k (Y_i - Y)$$

$$Dy^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (Y_i - Y)^2}{n}$$

$$S^{**}K = \frac{S^*K}{Dy}$$

Hasil perhitungan uji konsistensi stasiun Hang Nadim dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut :

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan Uji RAPS pada Stasiun Hujan BMKG Hang Nadim

No.	Tahun	X_i	S^*K	Dy^2	$S^{**}K$	$ S^{**}K $
1	2003	254.30	106.22	705.1514	1.498724	1.498724
2	2004	239.00	90.92	516.6387	1.282844	1.282844
3	2005	145.80	-2.28	0.325256	-0.03219	0.032188
4	2006	246.30	98.22	602.9327	1.385845	1.385845
5	2007	209.00	60.92	231.9434	0.85955	0.85955
6	2008	117.40	-30.68	58.83369	-0.43291	0.432906
7	2009	99.30	-48.78	148.7256	-0.68829	0.688293
8	2010	94.10	-53.98	182.1235	-0.76166	0.761664
9	2011	279.50	131.42	1079.43	1.85429	1.85429
10	2012	77.60	-70.48	310.4754	-0.99448	0.994475
11	2013	64.50	-83.58	436.6141	-1.17931	1.179313
12	2014	116.70	-31.38	61.54893	-0.44278	0.442783
13	2015	68.20	-79.88	398.8134	-1.12711	1.127107

No.	Tahun	Σx_i	S^*K	Dy^2	$S^{**}K$	$ S^{**}K $
14	2016	109.00	-39.08	95.45901	-0.55143	0.551428
15	2017	155.70	7.62	3.627834	0.107499	0.107499
16	2018	92.90	-55.18	190.3106	-0.7786	0.778596
	Jumlah	2369.30	0.00	5022.95		
	Rata-Rata	148.08				

Sumber: Hasil Analisa (2019).

Berdasarkan perhitungan tersebut kemudian dicari besar nilai Q dan R. Nilai Q merupakan nilai statistik yan besarnya merupakan nilai maksimal dari $|S^{**}k|$. Sedangkan nilai R adalah Δ dari nilai maksimal $S^{**}k$ dengan nilai minimal $S^{**}k$.

$$Q = \text{Maks } |S^{**}k| = 1.854$$

$$\frac{Q}{\sqrt{n}} = 0.463$$

$$R = \text{Maks } |S^{**}k| - \text{Min } |S^{**}k| = 3.033$$

$$\frac{R}{\sqrt{n}} = 0.758$$

Nilai $\frac{Q}{\sqrt{n}}$ dan $\frac{R}{\sqrt{n}}$ tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai syaratnya yang dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Nilai Syarat Uji RAPS

N	Q/\sqrt{n}			R/\sqrt{n}		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.10	1.22	1.42	1.34	1.43	1.60
30	1.12	1.24	1.46	1.40	1.50	1.70
40	1.13	1.26	1.50	1.42	1.53	1.74
50	1.14	1.27	1.52	1.44	1.55	1.78
100	1.17	1.29	1.55	1.50	1.62	1.86
>100	1.22	1.36	1.63	1.62	1.75	2.00

Berdasarkan nilai syarat pada tabel diatas, maka dapat disimpulkan bahwa data yang didapatkan sudah konsisten karena nilai statistiknya lebih kecil dibandingkan nilai syaratnya.

4.2.5 Distribusi Frekuensi Data Hujan

4.2.5.1 Distribusi Hujan Gumbel

Distribusi Hujan Gumbel merupakan salah satu distribusi hujan yang sering digunakan dalam mencari besar curah hujan rencana. Distribusi Gumbel dihitung dengan menggunakan rumus

$$X_t = \bar{X} + s K$$

Dengan \bar{X} merupakan besar rata-rata, s adalah besar simpangannya dan K adalah nilai ekstrim Gumbel yang didapatkan dengan persamaan

$$K = \frac{Y_T - Y_n}{S_n}$$

Dengan Y_T adalah *reduced variate*, Y_n adalah *reduced mean* dan S_n adalah *reduced standard deviation*. Besar *reduced variate* tergantung dengan *return period* yang digunakan sedangkan besar *reduced mean* dan standar deviasi tergantung pada jumlah data yang dimiliki. Jumlah data yang digunakan adalah 16 buah data sehingga besar Y_n yang digunakan adalah 0.5157 dan S_n yang digunakan adalah 1.0316.

Sehingga untuk mendapatkan besar hujan rencana dua tahunannya, dengan Y_t untuk *return period* 2 tahun sebesar 0.367, dapat dilakukan dengan langkah berikut :

$$X_t = \bar{X} + s \frac{Y_T - Y_n}{S_n}$$

$$X_t = 148.08 + 73.197 \cdot \frac{0.367 - 0.5157}{1.0316} = 137.496 \text{ mm}$$

Perhitungan lengkap untuk semua kala ulang dapat dilihat pada tabel di bawah

Tabel 4. 7 Perhitungan Distribusi Hujan Gumbel

No.	Tahun	X_i	X_i Terurut	P (%)	X_i^2
1	2003	254.30	279.50	5.88	78120.3
2	2004	239.00	254.30	11.76	64668.5
3	2005	145.80	246.30	17.65	60663.7
4	2006	246.30	239.00	23.53	57121.0
5	2007	209.00	209.00	29.41	43681.0
6	2008	117.40	155.70	35.29	24242.5
7	2009	99.30	145.80	41.18	21257.6
8	2010	94.10	117.40	47.06	13782.8
9	2011	279.50	116.70	52.94	13618.9
10	2012	77.60	109.00	58.82	11881.0
11	2013	64.50	99.30	64.71	9860.5
12	2014	116.70	94.10	70.59	8854.8
13	2015	68.20	92.90	76.47	8630.4

14	2016	109.00	77.60	82.35	6021.8
15	2017	155.70	68.20	88.24	4651.2
16	2018	92.90	64.50	94.12	4160.3
Jumlah			16		416383
Rerata		148.08			32029
(Std)		73.197			

Tabel 4. 8 Rekapitulasi Perhitungan Distribusi Hujan Gumbel

No.	Tr	X	S	Yt	Yn	Sn	K	Xt
1	2	148.08	73.197	0.367	0.5157	1.0316	-0.145	137.496
2	5			1.500			0.954	217.918
3	10			2.250			1.682	271.164
4	25			3.199			2.601	338.442
5	50			3.902			3.283	388.352
6	100			4.600			3.959	437.893

4.2.5.2 Distribusi Hujan Log Pearson Tipe III

Dalam menggunakan distribusi Log Pearson Tipe III, parameter-parameter yang dibutuhkan adalah nilai rata-ratanya, standard deviasiannya dan koefisien kemencengannya. Besarnya distribusi Log Pearson Tipe III dapat dihitung dengan rumus

$$\log X_t = \overline{\log X_t} + Std . G$$

Dengan G sebagai variabel yang besarnya tergantung pada nilai koefisien asimetrisnya (*skewness*)

Tabel 4. 9 Perhitungan Distribusi Hujan Log Pearson Tipe III

No.	Xi	P (%)	Log Xi	(Log Xi - Log Xrt)	(Log Xi - Log Xrt) ²
1	279.50	5.9	2.446	0.325	0.105560
2	254.30	11.8	2.405	0.284	0.080579
3	246.30	17.6	2.391	0.270	0.072891
4	239.00	23.5	2.378	0.257	0.066006
5	209.00	29.4	2.320	0.199	0.039468
6	155.70	35.3	2.192	0.071	0.005014
7	145.80	41.2	2.164	0.042	0.001787
8	117.40	47.1	2.070	-0.052	0.002685
9	116.70	52.9	2.067	-0.054	0.002961
10	109.00	58.8	2.037	-0.084	0.007065
11	99.30	64.7	1.997	-0.125	0.015508
12	94.10	70.6	1.974	-0.148	0.021872
13	92.90	76.5	1.968	-0.153	0.023552
14	77.60	82.4	1.890	-0.232	0.053648
15	68.20	88.2	1.834	-0.288	0.082770

16	64.50	94.1	1.810	-0.312	0.097295
Jumlah	2369		33.9	0.00	0.68
Rerata	148.08		2.12	0.00	0.04
St. Deviasi (Std)				0.213	
Skewness (Cs)				0.204	

Tabel 4. 10 Rekapitulasi Perhitungan Distribusi Hujan Log Pearson Tipe III

No.	Tr	P (%)	G	Log Xt	Xt
1	2	50	-0.0337	2.114	130.108
2	5	20	0.8297	2.298	198.597
3	10	10	1.3014	2.398	250.200
4	25	4	1.8194	2.508	322.457
5	50	2	2.1613	2.581	381.242
6	100	1	2.4752	2.648	444.595

4.2.6 Uji Keselarasan Distribusi

4.2.6.1 Uji Chi-Square

Perhitungan ini untuk menentukan apakah distribusi dari pengamatan yang dilakukan dapat diterima dengan distribusi teoritisnya. Menghitung besar nilai *chi-square* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan :

$$\chi^2 = \sum \frac{(Oj - Ej)^2}{Ej}$$

Dengan Ej sebagai frekuensi kelas teoritisnya yang didapatkan dengan membagi jumlah data yang dimiliki dengan jumlah kelasnya. Sedangkan Oj adalah frekuensi pengamatan kelas yang didapatkan dari data yang tersedia. Banyaknya jumlah kelas dilakukan dengan menggunakan persamaan *sturgess*

$$K = 1 + 3.322 \log n = 1 + 3.222 \log 16 = 4.877 \approx 5$$

Sehingga jumlah kelasnya adalah 5 dengan sebaran masing-masing kelasnya adalah sebedar 20% yang didapatkan dari 100% dibagi dengan jumlah kelasnya. Sehingga sebaran peluang yang digunakan adalah 80%, 60%, 40% dan 20%. Kemudian untuk menghitung batas kelas pertama yaitu dengan peluang 80% adalah periode ulang 1.25 tahun. Kemudian dihitung kembali besar hujan rencana untuk periode ulang 1.25 tahun yang nantinya akan digunakan untuk batas atas kelasnya.

Persamaan yang digunakan adalah persamaan yang sama yang digunakan pada perhitungan distribusi Gumbel dan Log Pearson Tipe III. Yt untuk periode ulang 1.25 tahun adalah -0.4759 dan G untuk periode ulang 1.25 adalah -0.8501.

$$X_t = \bar{X} + s \frac{Y_T - Y_n}{S_n}$$

$$X_t = 148.08 + 73.197 \cdot \frac{-0.4759 - 0.5157}{1.0316} = 77.723 \text{ mm}$$

Besarnya frekuensi kelas teoritisnya atau Ej adalah 3.2 didapatkan dari jumlah data, yaitu 16 data, dibagi dengan jumlah kelas yang ada yaitu 5. Sedangkan jumlah Oj didapatkan dari jumlah data yang masuk dalam batas kelas tersebut. Perhitungan nilai χ -hitung untuk metode Gumbel dan metode Log Pearson tipe III dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Perhitungan Nilai χ -hitung Metode Gumbel

No	Sebaran Peluang		Yt	K	Batas Kelas			Ej	Oj	$(Oj - Ej)^2/Ej$
	Pr	Tr			0	-	77.723			
1	0.80	1.250	-0.4759	-0.9612	0	-	77.723	3.2	3	0.0125
2	0.60	1.667	0.0874	-0.4152	77.723	-	117.693	3.2	5	1.0125
3	0.40	2.500	0.6717	0.1512	117.693	-	159.152	3.2	2	0.4500
4	0.20	5.000	1.4999	0.9541	159.152	-	217.918	3.2	3	0.0125
5					217.918	-	~	3.2	3	0.0125
					Jumlah			16	16	1.5000

Tabel 4. 12 Perhitungan Nilai χ -hitung Metode Log Pearson Tipe III

No	Sebaran Peluang		G	Batas Kelas			Ej	Oj	$(Oj - Ej)^2/Ej$
	Pr	Tr		0	-	87.22749			
1	0.80	1.250	-0.8501	0	-	87.22749	3.2	3	0.0125
2	0.60	1.667	-0.3059	87.2275	-	113.87286	3.2	4	0.2000
3	0.40	2.500	0.2541	113.8729	-	149.8051	3.2	3	0.0125
4	0.20	5.000	0.8297	149.8051	-	198.5967	3.2	1	1.5125
5				198.5967	-	~	3.2	5	1.0125
					Jumlah		16	16	2.7500

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 4.12 diperoleh nilai χ -hitung untuk distribusi Gumbel adalah 1.50 dan untuk distribusi Log Pearson Tipe III adalah 2.75. Kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan nilai chi kritisnya yang didapatkan dari tabel *chi-square* yang besarnya tergantung pada nilai derajat kebebasannya dan α . Dari tabel juga diperoleh

nilai χ -kritisnya adalah 5.990. Karena besarnya χ -hitung kedua metode lebih kecil dibandingkan dengan besar χ -kritisnya maka kedua hasil distribusi tersebut dapat diterima.

4.2.6.2 Uji Smirnov Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov dilakukan dengan membandingkan kemungkinan dari setiap peluang dan peluang teoritisnya untuk memperoleh nilai perbedaan maksimum. Untuk menghitung besar nilai maksimumnya dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$\Delta = \text{maks} [Px(x) - Sn(x)]$$

Dengan Δ adalah besar perbedaan nilai peluang data pengamatan ($Px(x)$) dengan nilai peluang teoritisnya ($Sn(x)$). Nilai peluang data pengamatan didapatkan dengan menggunakan persamaan Weibull. Perhitungan untuk nilai Δ maksimum metode Gumbel dan metode Log Pearson Tipe III dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Perhitungan Nilai Δ Maksimum Metode Gumbel

No	X_i	$Sn(X)$	Y_t	Tr	Pr	$Px(X)$	Δ max
1	279.50	0.0588	1.8705	7.005	0.1428	0.0086	0.0503
2	254.30	0.1176	1.6445	5.694	0.1756	0.0082	0.1094
3	246.30	0.1765	1.5727	5.337	0.1874	0.0081	0.1683
4	239.00	0.2353	1.5073	5.033	0.1987	0.0080	0.2273
5	209.00	0.2941	1.2382	3.973	0.2517	0.0075	0.2866
6	155.70	0.3529	0.7601	2.677	0.3735	0.0063	0.3467
7	145.80	0.4118	0.6713	2.499	0.4001	0.0060	0.4058
8	117.40	0.4706	0.4166	2.071	0.4828	0.0052	0.4654
9	116.70	0.5294	0.4103	2.062	0.4849	0.0052	0.5243
10	109.00	0.5882	0.3412	1.965	0.5088	0.0049	0.5833
11	99.30	0.6471	0.2542	1.853	0.5395	0.0046	0.6425
12	94.10	0.7059	0.2076	1.798	0.5563	0.0044	0.7014
13	92.90	0.7647	0.1968	1.785	0.5602	0.0044	0.7603
14	77.60	0.8235	0.0596	1.639	0.6102	0.0039	0.8196
15	68.20	0.8824	-0.0247	1.560	0.6412	0.0036	0.8788
16	64.50	0.9412	-0.0579	1.530	0.6534	0.0035	0.9377

Tabel 4. 14 Perhitungan Nilai Δ Maks Metode Log Pearson Tipe III

No	X_i	Log X_i	G	Pr	$Sn(X)$	$Px(X)$	Δ max
1	279.50	2.45	1.53	7.38	0.06	0.06	0.00
2	254.30	2.41	1.33	9.62	0.13	0.09	0.00
3	246.30	2.39	1.27	4.41	0.19	0.03	0.00

4	239.00	2.38	1.21	5.19	0.25	0.04	0.00
5	209.00	2.32	0.93	8.67	0.31	0.08	0.00
6	155.70	2.19	0.33	7.45	0.38	0.06	0.00
7	145.80	2.16	0.20	8.38	0.44	0.07	0.01
8	117.40	2.07	-0.24	5.54	0.50	0.05	0.01
9	116.70	2.07	-0.26	5.63	0.56	0.05	0.01
10	109.00	2.04	-0.40	6.66	0.63	0.06	0.01
11	99.30	2.00	-0.59	8.05	0.69	0.07	0.01
12	94.10	1.97	-0.70	8.86	0.75	0.08	0.01
13	92.90	1.97	-0.72	11.40	0.81	0.10	0.01
14	77.60	1.89	-1.09	13.08	0.88	0.12	0.01
15	68.20	1.83	-1.35	0.00	0.94	0.01	0.01
16	64.50	1.81	-1.47	0.00	1.00	0.01	0.01

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.14 nilai Δ maks untuk metode Gumbel adalah sebesar 0.9377 sedangkan untuk metode Log Pearson tipe III adalah sebesar 0.01. Untuk menentukan distribusi mana yang akan digunakan selanjutnya, maka tahapan selanjutnya yang dilakukan adalah mencari nilai Δ kritisnya. Berdasarkan jumlah data dan α , didapatkan bahwa besarnya Δ kritisnya adalah 0.300. Nilai Δ maks dari perhitungan metode Gumbel lebih besar dibandingkan dengan nilai Δ kritisnya sehingga hasil distribusi tersebut tidak dapat diterima. Sedangkan hasil distribusi dengan menggunakan metode Log Pearson Tipe III dapat diterima karena Δ maks hitungannya lebih kecil dibandingkan dengan Δ kritisnya.

4.2.6.3 Rekapitulasi Hasil Uji

Berikut merupakan hasil rekapitulasi hasil perhitungan metode Gumbel dan metode Log Pearson tipe III.

Tabel 4. 15 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Hujan Rencana

No	Kala Ulang Tr (Tahun)	Hujan Rancangan (mm)	
		Metode Gumbel	Metode Log Pearson Type III
1	2	137.496	130.108
2	5	217.918	198.597
3	10	271.164	250.200
4	25	338.442	322.457
5	50	388.352	381.242
6	100	437.893	444.595
Smirnov-Kolmogorov Test			
D Hitung Maksimum, D P_{max} (%)		0.938	0.010
Derajat Signifikan, α (%)		5%	5%
D Kritis, D P_{kritis} (%)		0.300	0.300
Hipotesa		Ditolak	Diterima

Chi Square Test		
Chi-Square hitung	1.500	2.750
Chi-Square kritis	9.488	5.990
Derajat Bebas, v	2	2
Derajat Signifikasi, a	5%	5%
Hipotesa	Diterima	Diterima

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa yang akan digunakan dalam perhitungan selanjutnya adalah distribusi hujan metode Log Pearson Tipe III karena kedua hasil ujinya menyatakan bahwa hasil perhitungan distribusi tersebut dapat diterima.

4.3 Analisis Peta DAS

4.3.1 Model HEC-HMS

Model HEC-HMS digunakan untuk menganalisis banjir di "titik referensi" sistem peringatan dini banjir. Data yang dibutuhkan di sini adalah hipogram hujan, sehingga mereka perlu direkam dengan sensor hujan otomatis. Peta topografi juga diperlukan untuk menentukan zona banjir dari setiap lapisan, lokasi bangunan yang penuh sesak, dan saluran alternatif.

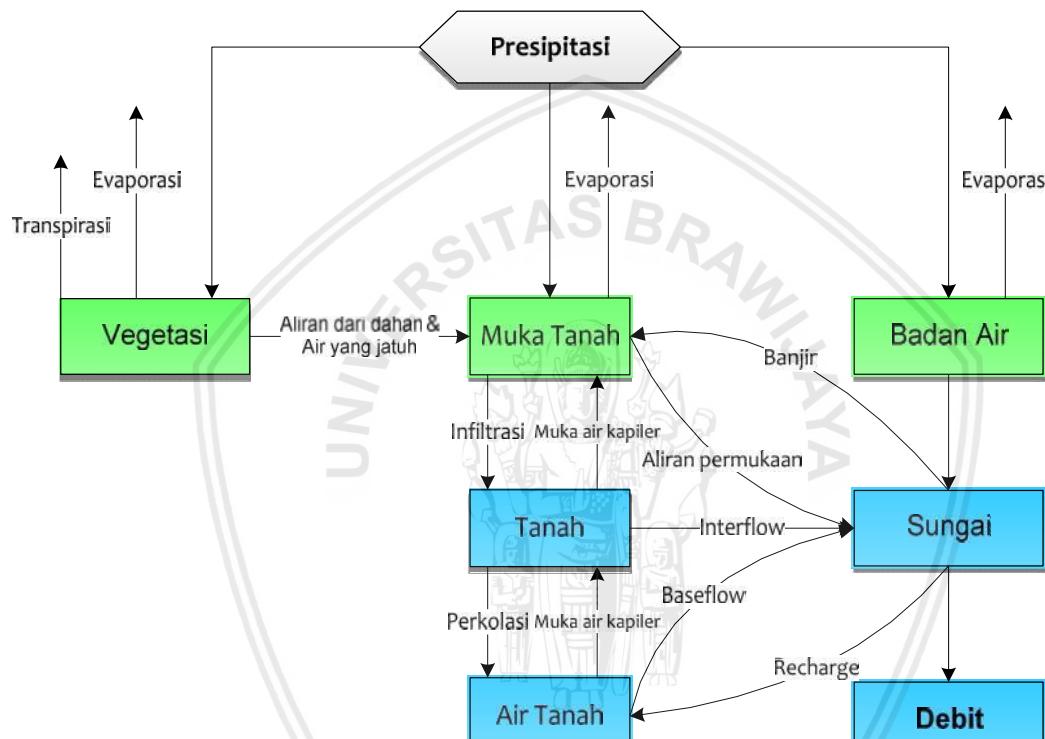
Peta atau data GIS diperlukan untuk menentukan parameter cekungan reservoir. Area, Kemiringan, dan Parameter Lainnya HEC-HMS adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh Korps Insinyur Angkatan Darat AS. Perangkat lunak ini digunakan untuk analisis hidrologis dengan mensimulasikan proses presipitasi dan limpasan dari daerah aliran sungai.

Hec-HMS digunakan di wilayah geografis yang sangat besar sehingga dapat memecahkan masalah seperti pasokan air di cekungan, hidrologi banjir, limpasan di daerah perkotaan kecil dan daerah tangkapan air alami. Unit hidrografi yang dibuat dapat digunakan secara langsung atau dengan ketersediaan air, drainase perkotaan, prakiraan urbanisasi, desain luapan, mitigasi kerusakan banjir, pengendalian banjir, sistem manajemen hidrologi. Itu juga dapat dikombinasikan dengan perangkat lunak (US Army Technology Institute, 2001).

Hec-HMS dapat memberikan simulasi hidrologi dari puncak aliran harian untuk perhitungan debit banjir rencana dari suatu DAS (Daerah Aliran Sungai). Model HEC-HMS mengemas berbagai macam metode yang digunakan dalam analisa hidrologi. Dalam

pengoperasiannya menggunakan basis sistem *windows*, sehingga model ini menjadi mudah dipelajari dan mudah untuk digunakan, tetapi tetap dilakukan dengan pendalaman dan pemahaman dengan model yang digunakan.

Aturan dasar menghitung model HEC-HMS adalah data curah hujan dalam bentuk penggunaan air untuk satu atau lebih sub-basis (sub-basis) yang dianalisis. Tipe data diwakili oleh intensitas, volume atau jumlah kumulatif hujan. Setiap pakaian dalam diperlakukan sebagai reservoir non-linear yang menerima data curah hujan. Aliran permukaan, infus, dan penguapan adalah bagian yang meninggalkan underdog.



Gambar 4. 2 Bagan air HEC-HMS
Sumber: USACE (2000).

4.3.2 Komponen HEC-HMS

Komponen utama dalam model HEC-HMS adalah sebagai berikut:

1. *Basin model* – berisi elemen-elemen DAS, hubungan antar elemen dan parameter aliran
2. *Meteorologic model* – berisi data hujan dan penguapan
3. *Control Specifications* – berisi waktu mulai dan berakhirnya hitungan.
4. *Time series data* – berisi masukan data antara lain hujan, curah hujan jam jaman, dan debit
5. *Paired data* – berisi pasangan data seperti hidrograf satuan

4.3.3 Simulasi Hujan Aliran Model HEC-HMS

Simulasi hujan-aliran dalam setiap sub-DAS memerlukan beberapa komponen model yaitu:

1. Hujan (*precipitation*) *model* - merupakan masukan pada sistem DAS
2. *Loss models* - untuk menghitung volume *run off* (hujan efektif)
3. *Direct run off models* – untuk mentransformasikan dari hujan efektif menjadi aliran/limpasan permukaan
4. *Baseflow models* – untuk menghitung besarnya aliran dasar

Apabila sistem DAS yang akan dimodelkan lebih dari 1 sub-basin (*multi basins*), maka diperlukan analisis penelusuran aliran aliran dari hulu ke hilir. Dalam HEC- HMS analisis tersebut difasilitasi dengan *hidrologic routing models*.

Berbagai metode dari model tersebut yang terdapat dalam program HEC- HMS disajikan pada tabel berikut ini.

Tabel 4. 16 Metode Simulasi dalam Program HEC-HMS

No	Model	Metode
1	Hujan	<ul style="list-style-type: none"> a. <i>User hyetograph</i> b. <i>User gage weighting</i> c. <i>Inverse-distance gage weights</i> d. <i>Gridded precipitation</i> e. <i>Frequency storm</i> f. <i>Standard project storm</i>
2	<i>Volume runoff</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. <i>Initial and constant-rate</i> b. <i>SCS curve number</i> c. <i>Gridded SCS curve number</i> d. <i>Green and Ampt</i> e. <i>Deficit and constant rate</i> f. <i>Soil moisture accounting</i> g. <i>Gridded SMA</i>
3	<i>Direct runoff</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. <i>User-specified unit hydrograph (UH)</i> b. <i>Clark's UH</i> c. <i>Snyder's UH</i> d. <i>SCS UH</i> e. <i>Modclark</i> f. <i>Kinematic wave</i>
4	<i>Baseflow</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. <i>Constant monthly</i> b. <i>Exponential recession</i> c. <i>Linear reservoir</i>
5	<i>Routing</i>	<ul style="list-style-type: none"> a. <i>Kinematic wave</i> b. <i>Lag</i> c. <i>Modified Puls</i> d. <i>Muskingum</i> e. <i>Muskingum-Cunge Standard Section</i> f. <i>Muskingum-Cunge 8-point section</i>

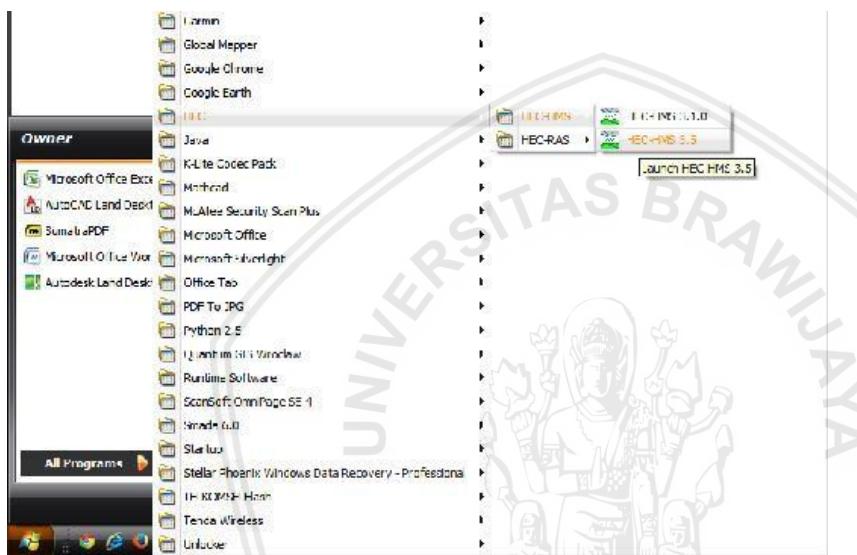
Sumber: USACE (2000).

4.3.4 Menjalankan Software HEC-HMS

Untuk menjalankan program HEC-HMS 3.5 pada komputer dengan sistem operasi *Windows*, diperlukan langkah-langkah sebagai berikut :

Setelah program HEC-HMS terinstal pada komputer, buka program dengan cara *double click*

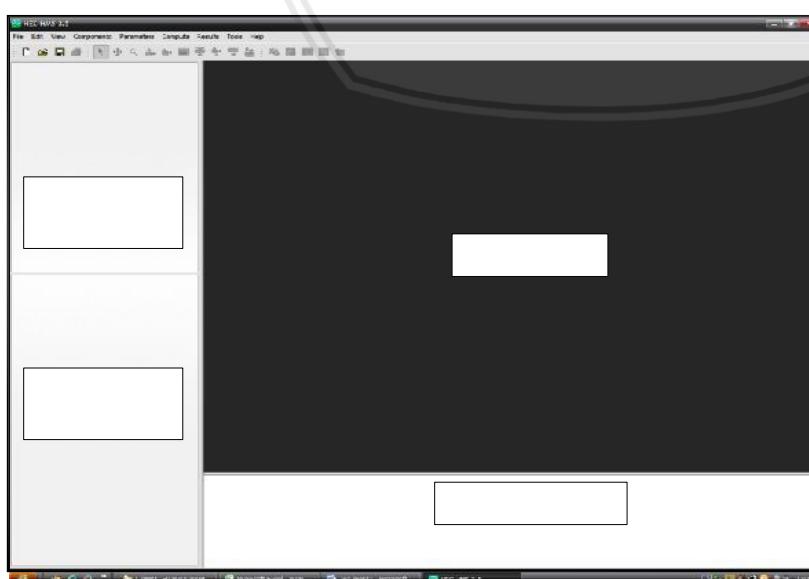
click ikon  yang terletak pada desktop atau dengan klik pada Start Menu – Programs - HEC - HEC-HMS , seperti gambar berikut :



Gambar 4. 3 Tampilan utama HEC-HMS

Sumber: HEC-HMS (2019).

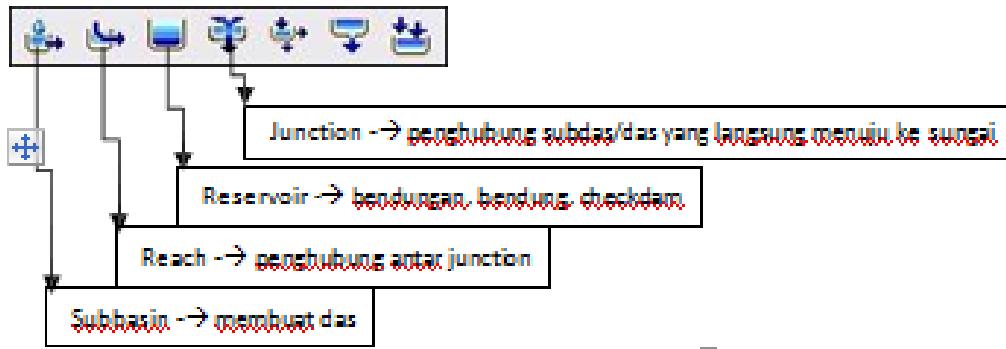
Maka akan keluar tampilan awal program HEC HMS seperti dibawah ini.



Gambar 4. 4 Tampilan awal HEC-HMS

Sumber: HEC-HMS (2019).

Susunan konfigurasi DAS berdasarkan elemen-elemen hidrologi dengan menggunakan ikon-ikon yang terdapat pada toolbar, yaitu :

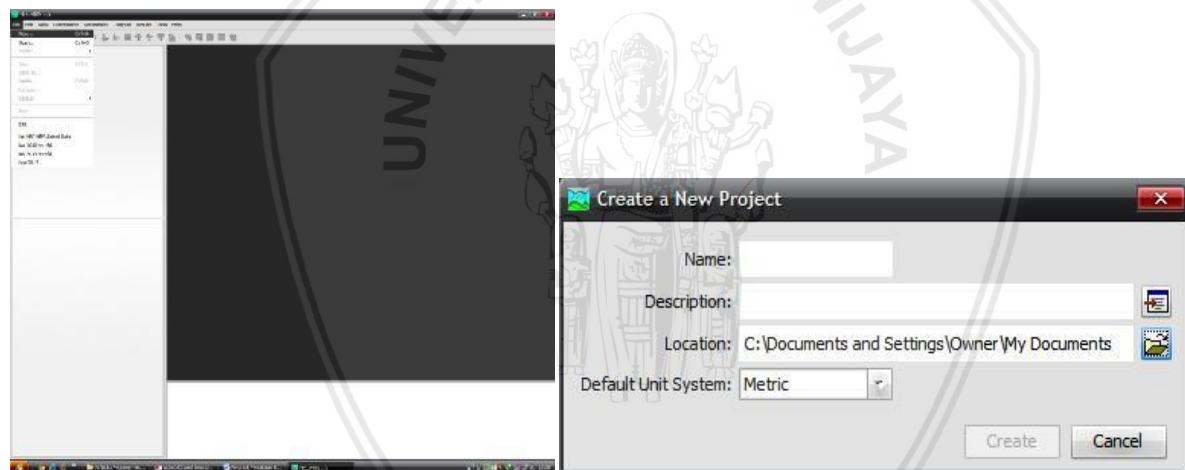


Gambar 4. 5 Ikon-ikon toolbar HEC-HMS

Sumber: HEC-HMS (2019).

- 1) Membuat Project Baru

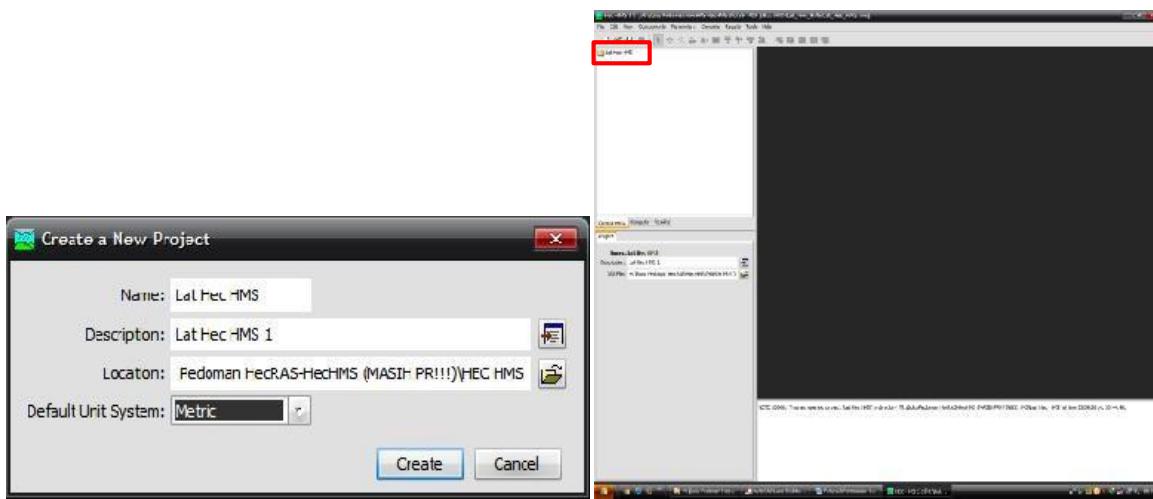
Untuk memulai project baru maka pilih menu **File - New... - Create a New Project** atau dapat juga dengan meng-klik .



Gambar 4. 6 Tampilan lembar kerja baru HEC-HMS

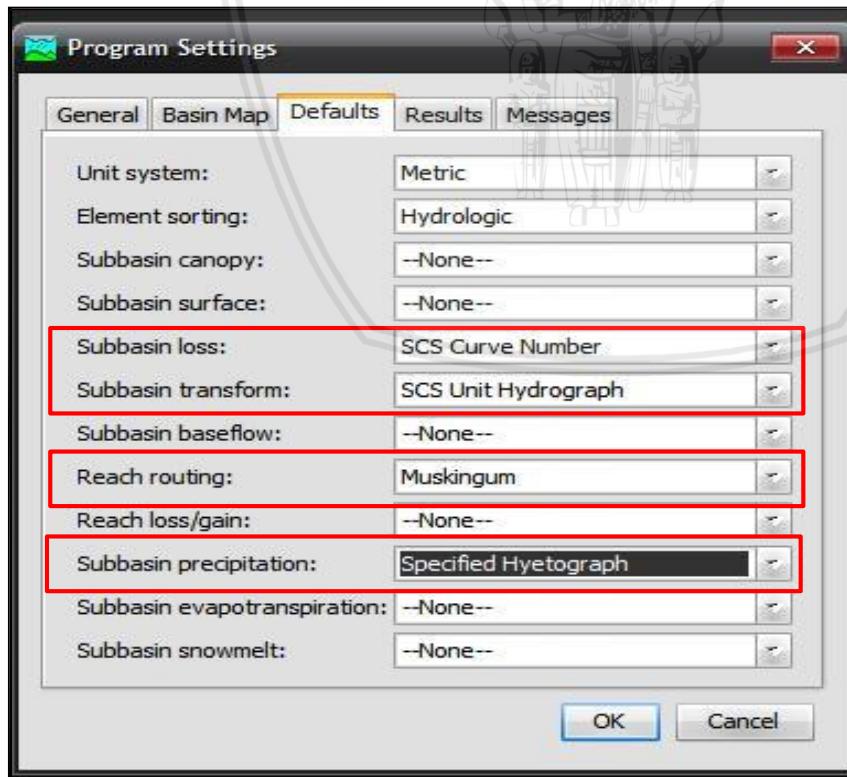
Sumber: HEC-HMS (2019).

Kemudian isikan Lat Hec HMS pada Name dan Lat Hec HMS 1 pada Description seperti yang ditunjukkan dalam gambar dibawah ini. Menggunakan isian tersebut, maka file project akan tersimpan dalam folder Lat_Hec_HMS. Atur Default Unit System menjadi Metric dan klik tombol Create untuk membuat project, setelah itu akan muncul tampilan seperti dibawah ini.



Gambar 4. 7 Tampilan lembar kerja HEC-HMS
Sumber: HEC-HMS (2019).

Atur pilihan project sebelum membuat komponen-komponen model. Pilih menu *Tools - Program Settings...*. Atur Loss menjadi *SCS Curve Number*, Transform menjadi *SCS Unit Hydrograph*, Baseflow menjadi *None*, Routing menjadi *Muskingum*, Gain Loss menjadi *None*, Precipitation menjadi *Specified Hyetograph*, Evaporation menjadi *None*, dan Snowmelt menjadi *None*. Klik tombol *OK* untuk menyimpan dan menutup jendela *Program Settings*.



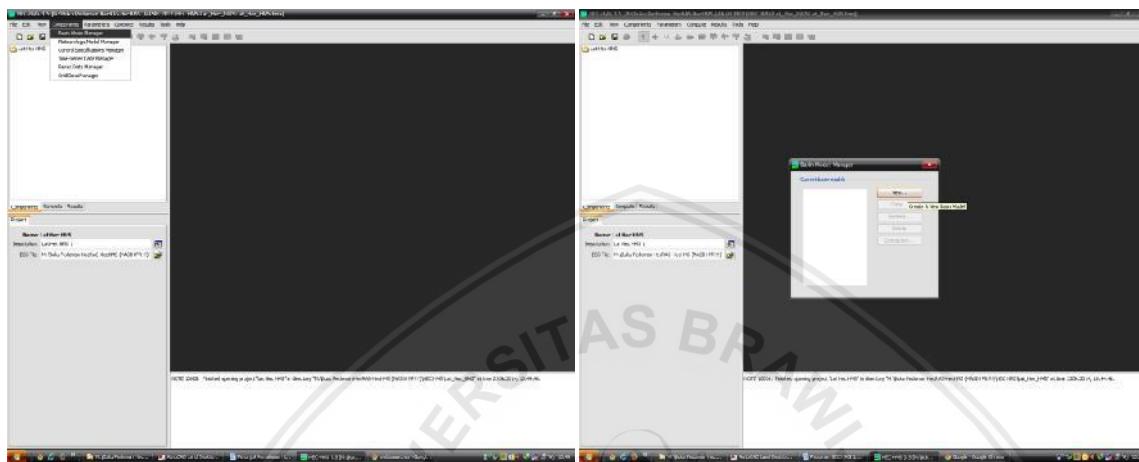
Gambar 4. 8 Pengisian komponen-komponen model pada program setting
Sumber: HEC-HMS (2019).

2) Membuat HMS *Component Models*

HMS model *components* terdiri dari *basin model*, *meteorologic model* dan *control specifications*.

a. Pembuatan *Basin Model*

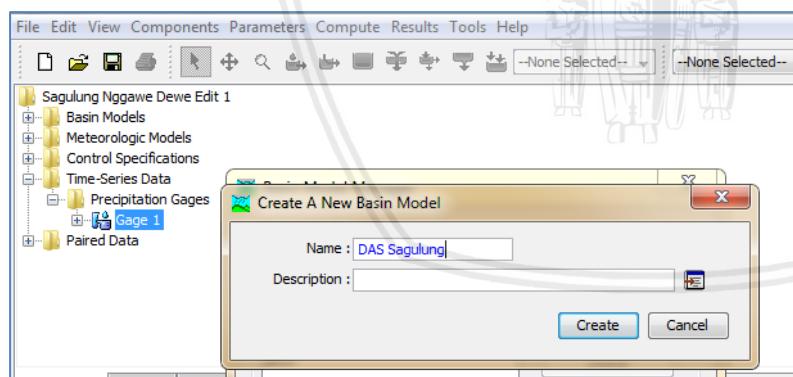
Pembuatan basin model langkahnya adalah pilih menu : *Component - Basin Model Manager*.



Gambar 4. 9 Tampilan pembuatan basin model HEC-HMS

Sumber: HEC-HMS (2019).

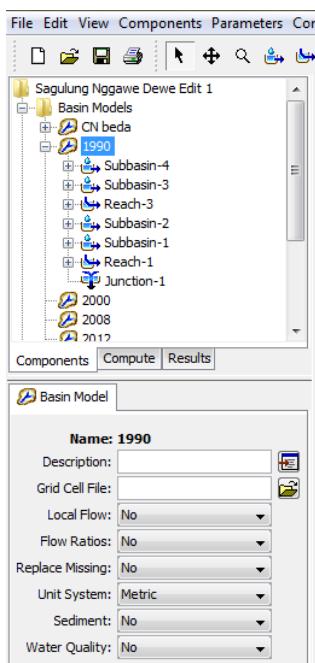
Click *New...* pada layar akan muncul *Create A New Basin Model editor*. Isikan nama *Basin Model* beserta deskripsinya seperti gambar berikut.



Gambar 4. 10 Tampilan *create a new basin model* HEC-HMS

Sumber: HEC-HMS (2019).

Setelah pengisian nama *basin* dan deskripsi maka click *Create*, sehingga akan muncul *Basin Model Manager* beserta nama *basin* yang telah dimasukkan tadi. Selanjutnya tutup *editor* tersebut dan pada *layer* akan muncul tampilan seperti berikut.

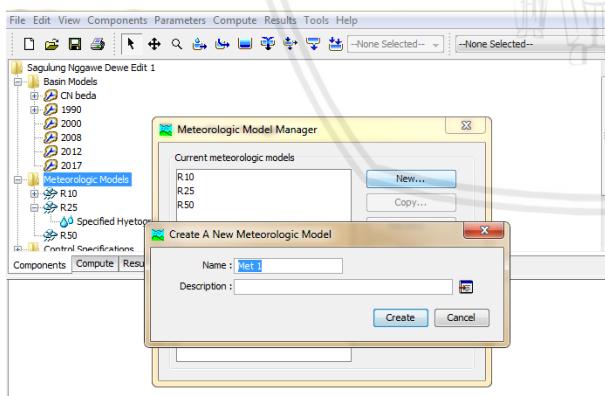


Gambar 4. 11 Basin model manager HEC-HMS
Sumber: HEC-HMS (2019).

b. Pembuatan *Meteorologic Model* (Model Data Curah Hujan)

Meteorologic model dapat dibuat dengan prosedur yang sama seperti pembuatan basin model yaitu dengan cara pilih menu *Component - Meteorologic Model Manager*.

Click *New...* pada layar akan muncul *Create A New Meteorologic Model* editor. Isikan nama *Meteorologic Model* beserta deskripsinya seperti gambar berikut.

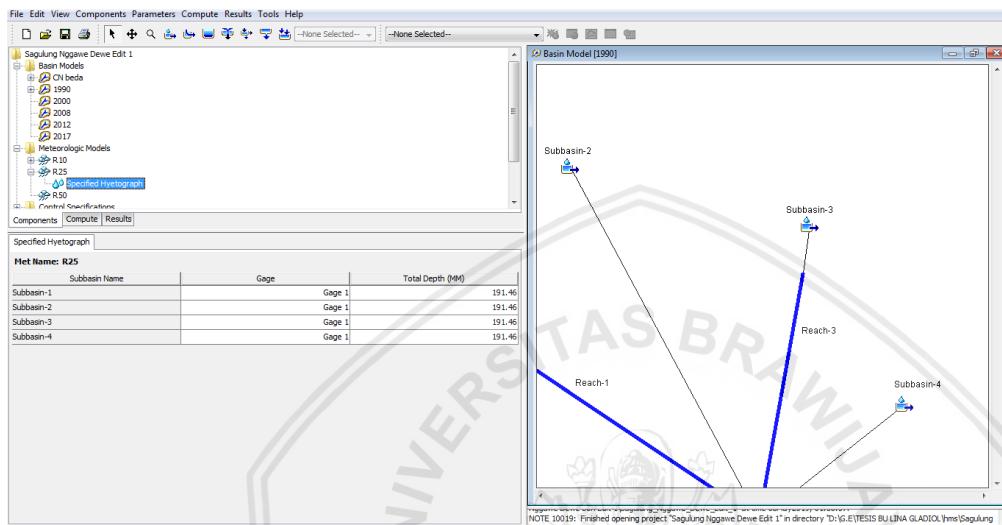


Gambar 4. 12 Tampilan meteorologic model manager HEC-HMS
HEC-HMS (2019).

Setelah pengisian nama dan deskripsi maka click *Create*, sehingga akan muncul *Meteorologic Model Manager* beserta nama yang telah dimasukkan tadi. Selanjutnya tutup editor tersebut dan pada *layer* akan muncul tampilan seperti berikut.

c. Pembuatan *Control Specifications*

Control Specifications memuat *input* waktu kapan dimulai dan berakhirnya eksekusi (*running*) dari *program* serta interval waktu yang diinginkan (15menit, 1jam, atau 1hari). Prosedur yang digunakan sama seperti pembuatan *basin model* maupun *meteorologic model* yaitu dengan cara pilih menu *Component - Control Specifications Manager*.

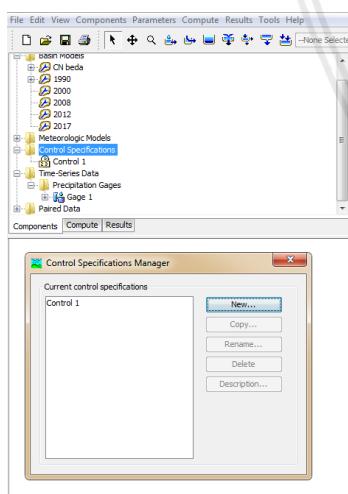


Gambar 4. 13 Tampilan *control specifications manager* HEC-HMS

Sumber: HEC-HMS (2019).

Click *New...* pada layar akan muncul *Create A New Control Specifications editor*.

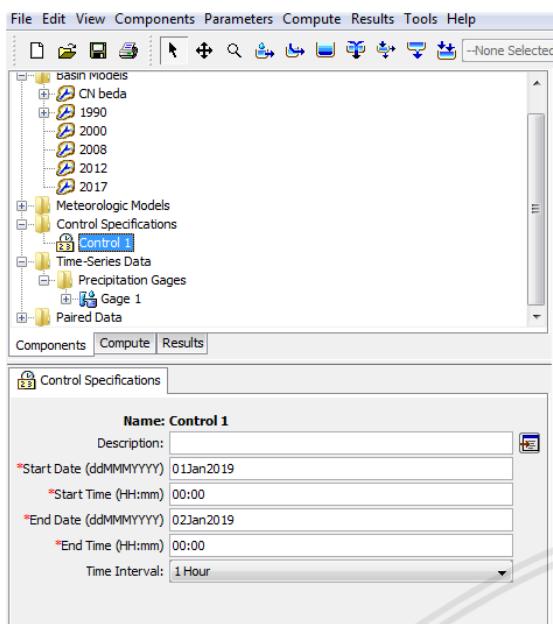
Isikan nama beserta deskripsinya seperti gambar berikut.



Gambar 4. 14 Tampilan *control specifications manager* HEC-HMS

Sumber: HEC-HMS (2019).

Setelah pengisian nama dan deskripsi maka *click Create*, sehingga akan muncul *Control Specifications* beserta nama yang telah dimasukkan tadi. Selanjutnya tutup *editor* tersebut dan pada *layer* akan muncul tampilan seperti berikut.

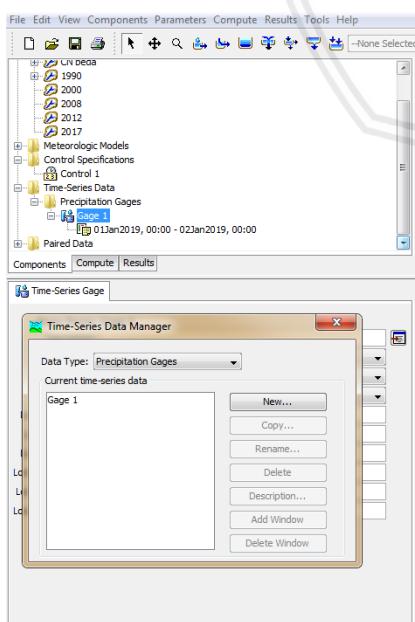


Gambar 4. 15 Tampilan *control specifications manager* HEC-HMS

Sumber: HEC-HMS (2019).

3) Membuat *Time-Series Data*

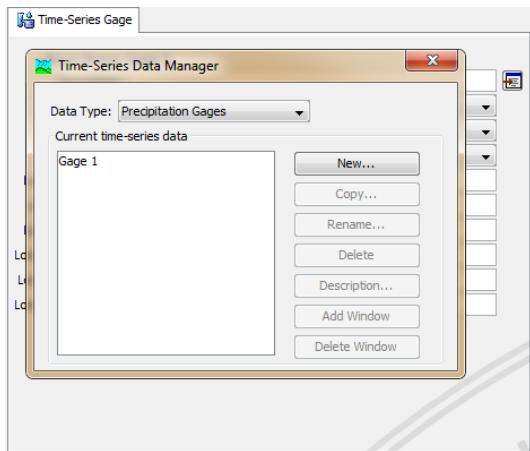
Melalui *Time-Series Data Manager* beberapa tipe data yang akan digunakan dalam aplikasi model HEC-HMS dapat dibuat. Data tersebut antara lain adalah data hujan, data hujan jam jaman, data debit, data elevasi muka air, data temperatur. Prosedur yang digunakan sama seperti pembuatan *basin model*, *meteorologic model* maupun *control specifications manager* yaitu dengan cara pilih menu *Component - Time-Series Data Manager*.



Gambar 4. 16 Tampilan *time-series data manager* HEC-HMS

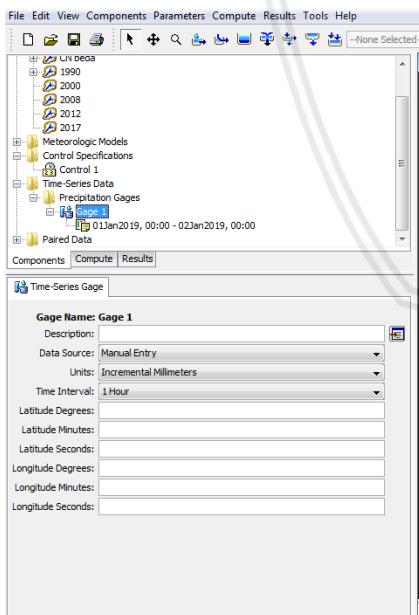
Sumber: HEC-HMS (2019).

Click New... pada layar akan muncul *Create A New Precipitation Gage editor*. Menggunakan *precipitation gage* karena data yang akan digunakan pada penelitian kali ini adalah *time series* data hujan. Isikan nama beserta deskripsinya seperti gambar berikut.



Gambar 4. 17 Tampilan time-series data manager HEC-HMS

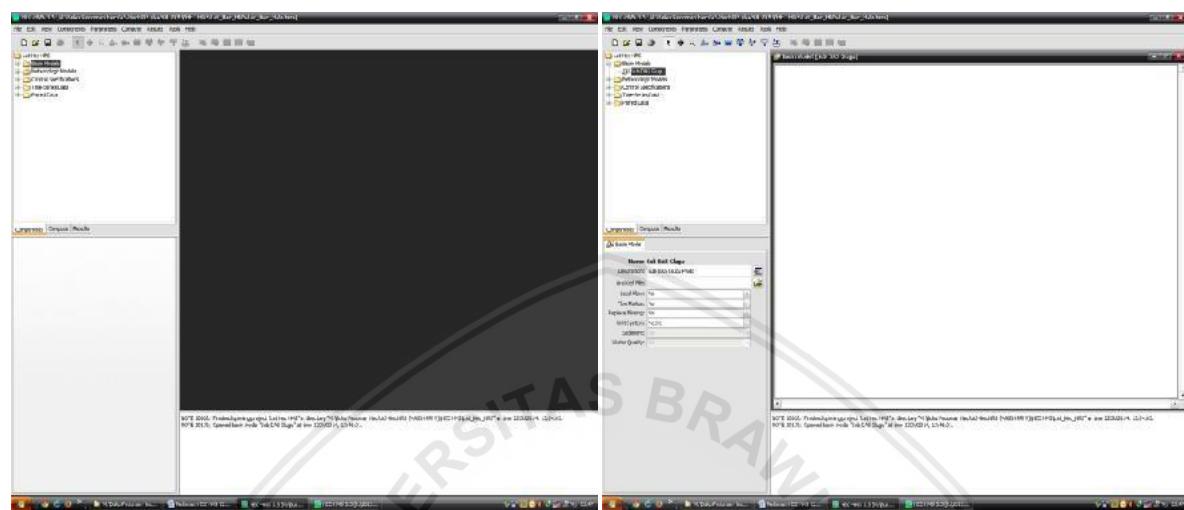
Setelah pengisian nama dan deskripsi maka click *Create*, sehingga akan muncul *Time-Series Data* beserta nama yang telah dimasukkan tadi. Selanjutnya tutup *editor* tersebut dan pada *layer* akan muncul tampilan seperti berikut.



Gambar 4. 18 Tampilan time-series data manager HEC-HMS
Sumber: HEC-HMS (2019).

4) Membuat *Basin Model*

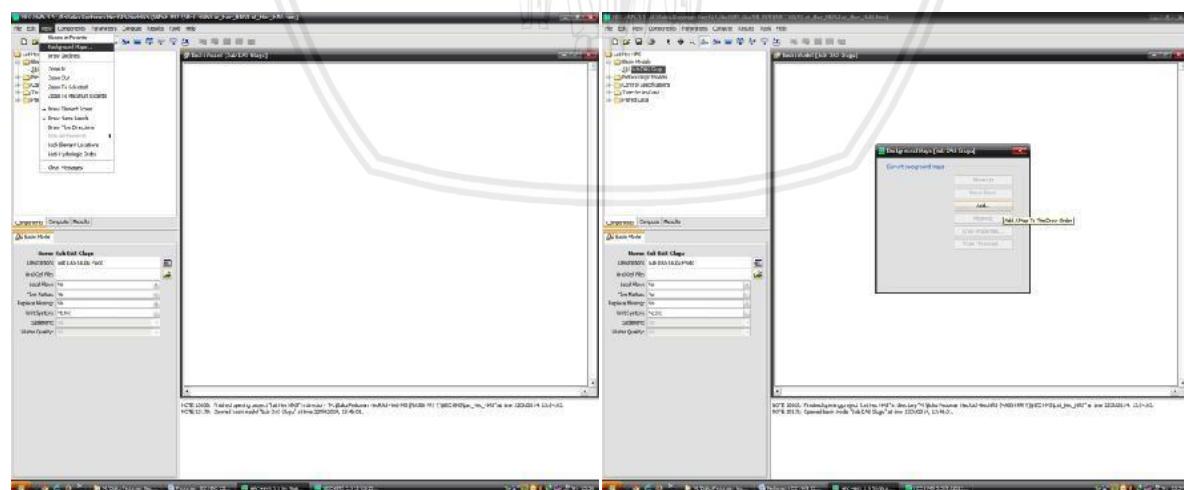
Untuk menggambarkan suatu DAS ke dalam HEC-HMS dilakukan langkah : Pilih *basin model* yang terdapat pada *Watershed Explorer*, hingga muncul tampilan berikut ini.



Gambar 4. 19 Tampilan *basin model manager* HEC-HMS

Sumber: HEC-HMS (2019).

Sebelum membuat sub-basin, untuk mempermudah dalam pembuatan elemen-elemen hidrologi maka dapat menggunakan fungsi *Background Map* yaitu peta subdas yang bersangkutan (disini yang dipakai adalah Sub DAS Basin). Prosedur yang harus dilakukan adalah pilih menu *View - Background Map*

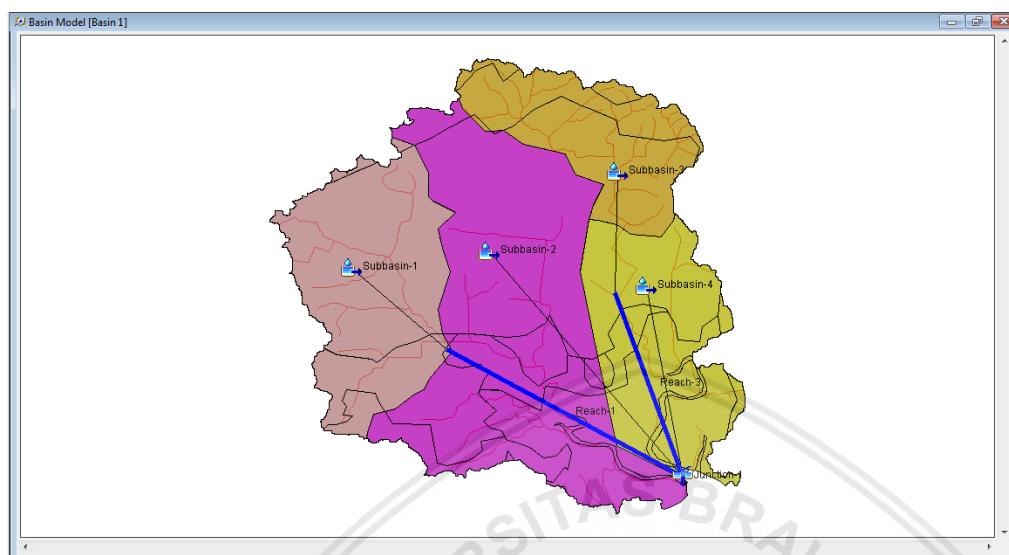


Gambar 4. 20 Tampilan *basin model manager* HEC-HMS

Sumber: HEC-HMS (2019).

Click Add pada layar akan muncul tampilan untuk mengambil file peta (*.shp) yang akan digunakan sebagai *background map* (subdas.basin.shp dan sungai.basin.shp).

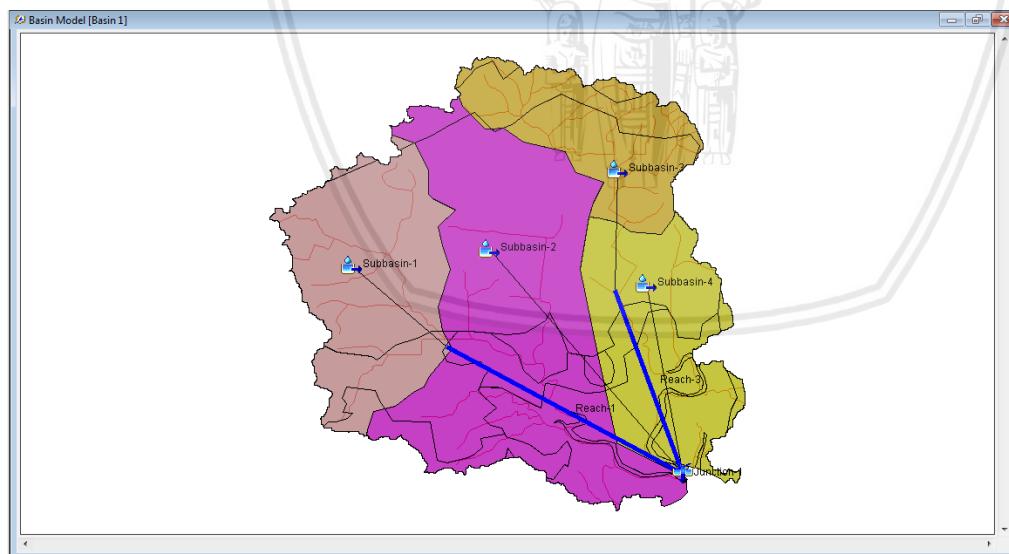
Sub-basin dibuat dengan menggunakan *sub-basin creation tool* yang ditempatkan pada *Window Desktop* dan *click mouse* kiri akan diperoleh tampilan *Create A New Subbasin Element* sebagai berikut.



Gambar 4. 21 Tampilan *basin model manager* HEC-HMS

Sumber: HEC-HMS (2019).

Setelah itu isikan nama dan deskripsi subbasin/subDAS kemudian klik *Create*, sehingga akan diperoleh seperti gambar berikut.



Gambar 4. 22 Tampilan *basin model manager* HEC-HMS

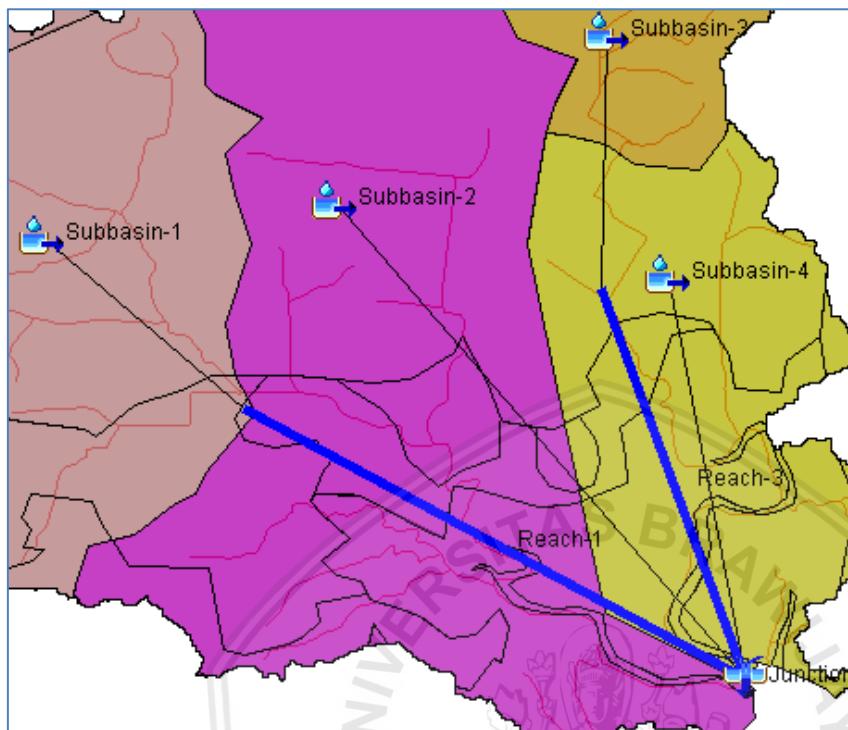
Sumber: HEC-HMS (2019).

Dengan menggunakan *basin model element tools* seperti pada pembuatan basin di atas, maka semua elemen basin yang lain dapat digambarkan. Berikut contoh lain

dalam pembuatan elemen DAS yaitu membuat *junction* yang dilakukan dengan



Junction Creation Tool.



Gambar 4. 23 Tampilan *basin model manager* HEC-HMS
Sumber: HEC-HMS (2019).

Selanjutnya hubungkan elemen subbasin dan *junction* dengan cara :

- Menggunakan *Component Editor Window* (kiri bawah)

Dengan menggunakan *Component Editor Window* (subbasin), klik *Basin-1* kemudian ganti *downstream* : none menjadi *Junction-1*,

- Menggunakan *Arrow Tool*

Dengan *Arrow Tool*, letakkan *pointer* pada *Basin-1*, klik kanan pada *mouse* kemudian pilih *connect downstream*, selanjutnya klik *pointer* ke arah *Junction-1* maka kedua elemen tersebut akan terhubungkan.

6) Memilih dan Mengisi *Basin Model*

- Memilih *Basin Model*

Pada setiap Subbasin terdapat tiga model/metode untuk transformasi hujan menjadi aliran. Ketiga metode tersebut akan muncul pada *Component Editor* dengan klik elemen *Basin-1* yang terdapat pada *Watershed Explorer*, yaitu:

- *Loss method* : untuk menghitung hujan yang menjadi limpasan (hujan efektif)

- *Transform method* : untuk transformasi dari hujan efektif menjadi aliran,
- *Baseflow method* : untuk simulasi aliran dasar.

Pilih metode yang sesuai dan akan digunakan dalam simulasi hujan aliran. Dalam contoh ini digunakan metode sebagai berikut:

<i>Loss method</i>	:	<i>SCS Curve Number</i>
<i>Transform method</i>	:	<i>SCS Unit</i>
<i>Hydrograph Baseflow method</i>	:	<i>None</i>

b. Memilih *Basin Model Parameters*

Setiap basin model yang digunakan untuk merepresentasikan DAS terdiri dari beberapa parameter. Jumlah dan jenis parameter berbeda antara model yang satu dengan lainnya. Pengisian nilai parameter model sesuai dengan data yang ada, apabila nilai parameter tidak diketahui dapat dilakukan dengan sembarang nilai sebagai nilai awal (*initial value*) namun demikian nilai tersebut harus sesuai/logis untuk DAS yang ditinjau.

1. Parameter *Loss method*

Klik *Loss* yang terdapat pada *component editor*, selanjutnya isikan nilai parameter yang sesuai.

2. Parameter *Transform method*

Klik *Transform* yang terdapat pada *component editor*, selanjutnya isikan nilai parameter yang sesuai.

7) Mengisi *Meteorologic Models*

Pengisian *meteorologic model* dilakukan dengan klik *Meteorologic Model* pada *Watershed Explorer*, selanjutnya isikan pilihan yang sesuai dengan data yang ada.

Selanjutnya dengan klik pada *Basins* dan *Option* yang terdapat pada *Component Editor*, isikan pilihan yang sesuai, seperti pada gambar berikut ini.

Pemilihan stasiun hujan yang akan digunakan dalam analisis dilakukan dengan klik pada pilihan data hujan yang telah dilakukan sebelumnya (di *Watershed Explorer*), dalam contoh ini adalah *Specified Hyetograph*. Selanjutnya pilih stasiun hujan yang akan digunakan.

8) Mengisi *Control Specification*

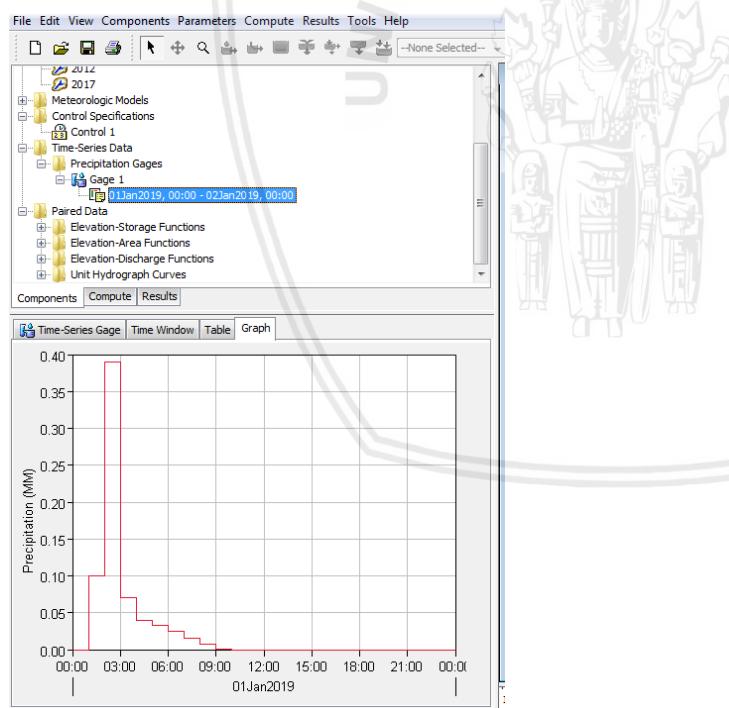
Pengisian *Control Specification* dilakukan dengan click *Control Specification* pada *Watershed Explorer*, selanjutnya isikan waktu untuk simulasi dan interval waktu yang akan digunakan (waktu mulai sampai akhir simulasi).

9) Mengisi Time-Series Data

Pengisian *Time Series Data* dilakukan dengan klik ganda *Time Series Data* pada *Watershed Explorer*, selanjutnya klik jenis data yang akan diisi. Dalam analisa ini menggunakan data hujan, kemudian double klik pada *Precipitation Gages* akan tampak layar nama stasiun hujan yang ada. Selanjutnya dengan klik stasiun tersebut akan muncul layar *Time-Series Gage pada Exponent Editor*. Selanjutnya isikan data sesuai dengan karakteristik data stasiun hujan yang ada seperti satuan data hujan (*incremental* atau *cummulative* dalam mm), cara memasukkan data, interval waktu data seperti pada gambar 4.24 di bawah ini.

Pada *Component Editor*, click *Time window* untuk mengisi ketersediaan data hujan seperti tampak pada tampilan di bawah ini.

Pengisian data hujan dilakukan dengan cara *click Table*, sedang pengisian data hujannya dapat dilakukan secara manual atau *copy* dari file lain misal Microsoft Excel. Untuk melihat grafik dari data hujan jam jaman yang telah dimasukkan, click *Graph* pada *Component Editor*.



*Gambar 4. 24 Tampilan Grafik Data Hujan Jam Jaman DAS Sagulung
Sumber: HEC-HMS (2019).*

10) Mengisi Paired Data

Pengisian *Paired Data* dilakukan dengan *double click* atau klik *Paired Data Components* pada *Watershed Explorer*, selanjutnya klik data yang akan digunakan

(dalam hal ini menggunakan *elevation-storage* dan *elevation area*). Selanjutnya *click Paired Data* di *Component Editor*. Isikan data elevasi-*storage* dan elevasi-area yang akan dimasukkan.

Pengisian data dalam contoh ini *Elevation-Storage Functions* dilakukan dengan *click Table* yang terdapat pada *Component Editor*, pengisian data dapat dilakukan secara manual atau *copy* dari *file* lain misal Microsoft Excel. Untuk melihat grafik dari data terinput, *click Graph* pada *Component Editor*.

11) Memeriksa Data

Prosedur yang dilakukan dalam memeriksa data yaitu *double click* pada *Basin Model Components*, kemudian *click* nama *basin* yang akan dicek datanya. Parameter DAS yang telah dimasukkan dapat dicek/diperiksa melalui menu *Parameters* yang terdapat pada *menu bar*. Kemudian pilih parameter yang akan dicek datanya, misal *loss parameter*. Selanjutnya pilih metode *Loss* yang digunakan misalkan metode *Curve Number*.

12) Melakukan *Simulation*

a. *Create Simulation Run*

Prosedur yang dilakukan adalah pilih menu *Compute - Create Simulation Run*, Terdapat 4 langkah dalam *Simulation Run*, yaitu :

1. Pemberian nama simulasi
2. Pemilihan *Basin Model*
3. Pemilihan *Meteorologic Model*
4. Pemilihan *Control Spesification*

Berikut ini tampilan dari 4 langkah dalam *simulation run*:

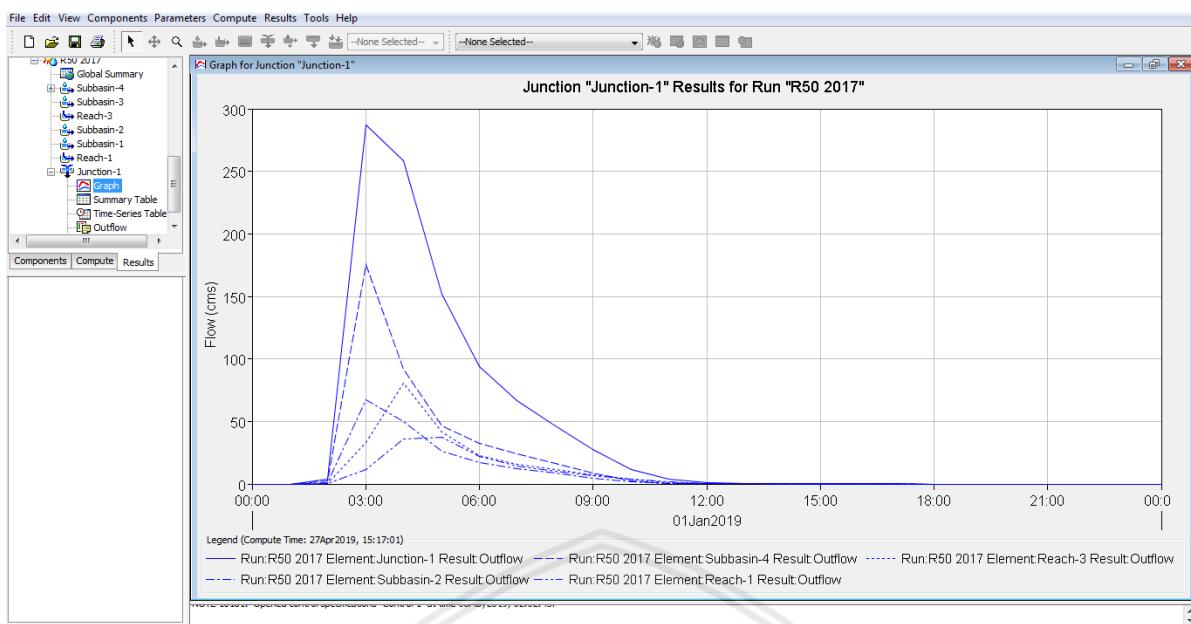
b. Simulasi

Prosedur yang dilakukan adalah pilih *Menu Compute - Select Run* kemudian pilih *Compute Current Run* .

c. Melihat Hasil Simulasi

Untuk melihat hasil *running simulation* ada 2 (cara) yang dapat dilakukan, yaitu:

1. Klik pada icon *View Global Summary Table*  , *View Graph for...*  , *View Summary Table for...*  dan *View Time-Series Table for...*  , atau
2. Klik *Result* pada *Watershed Explorer*

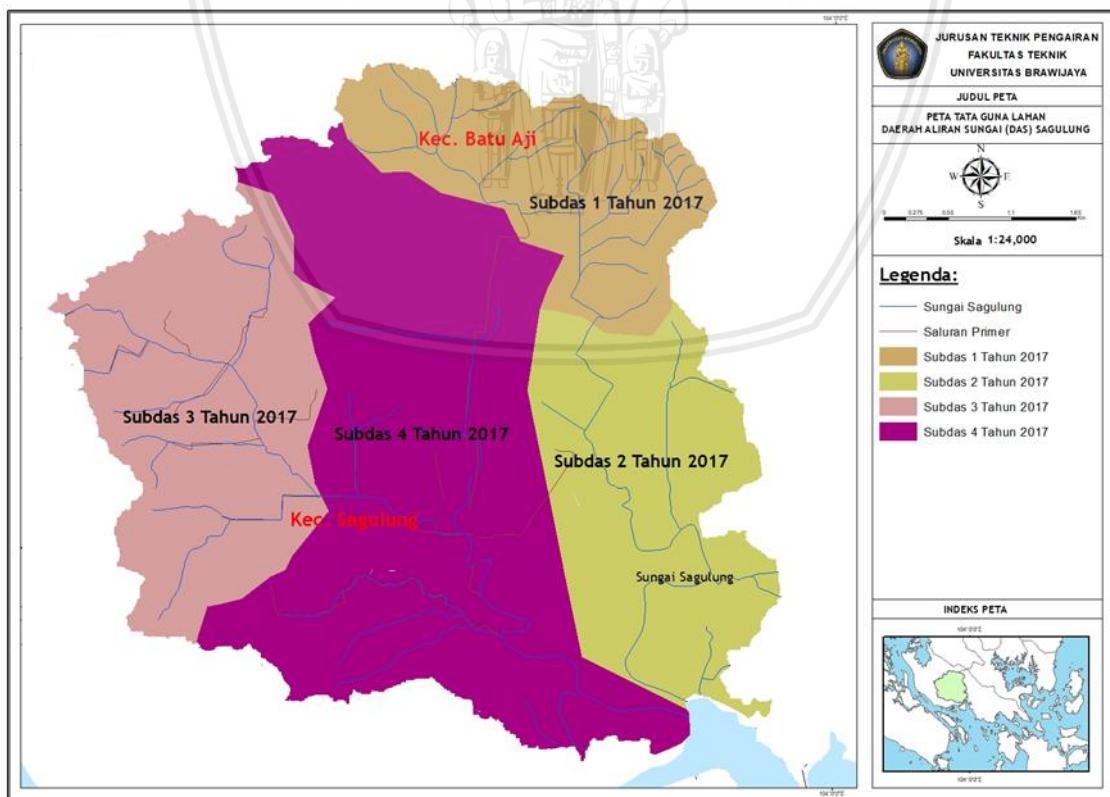


Gambar 4. 25 Tampilan hasil simulasi HEC-HMS

Sumber: HEC-HMS (2019).

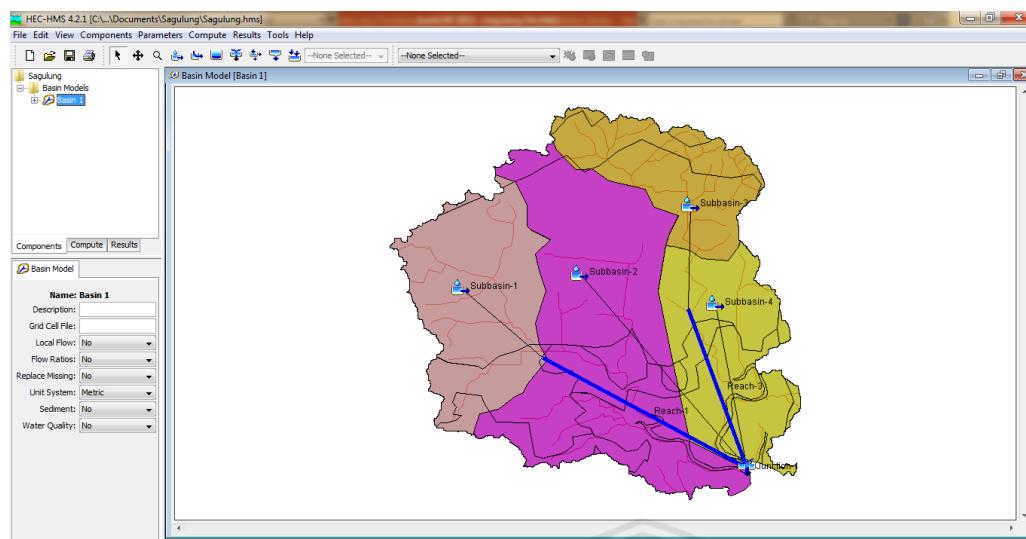
4.3.5 Properti DAS

Dalam penelitian ini, peta DAS Sagulung dibagi menjadi empat Sub-DAS. Pembagian keempat sub DAS pada permodelan HEC-HMS dapat dilihat pada gambar 4.26 di bawah.



Gambar 4. 26 Pembagian Sub DAS Sagulung

Sumber: Hasil Analisa (2019).



*Gambar 4. 27 Skematik DAS Sagulung pada permodelan HEC-HMS
Sumber: Hasil Analisa (2019).*

Setelah pembagian sub DAS ditentukan, selanjutnya adalah mencari properti masing-masing sub DAS. Properti sub DAS yang diperlukan antara lain seperti luas, kemiringan dan *time concentrationnya* yang disajikan pada Tabel 4.9.

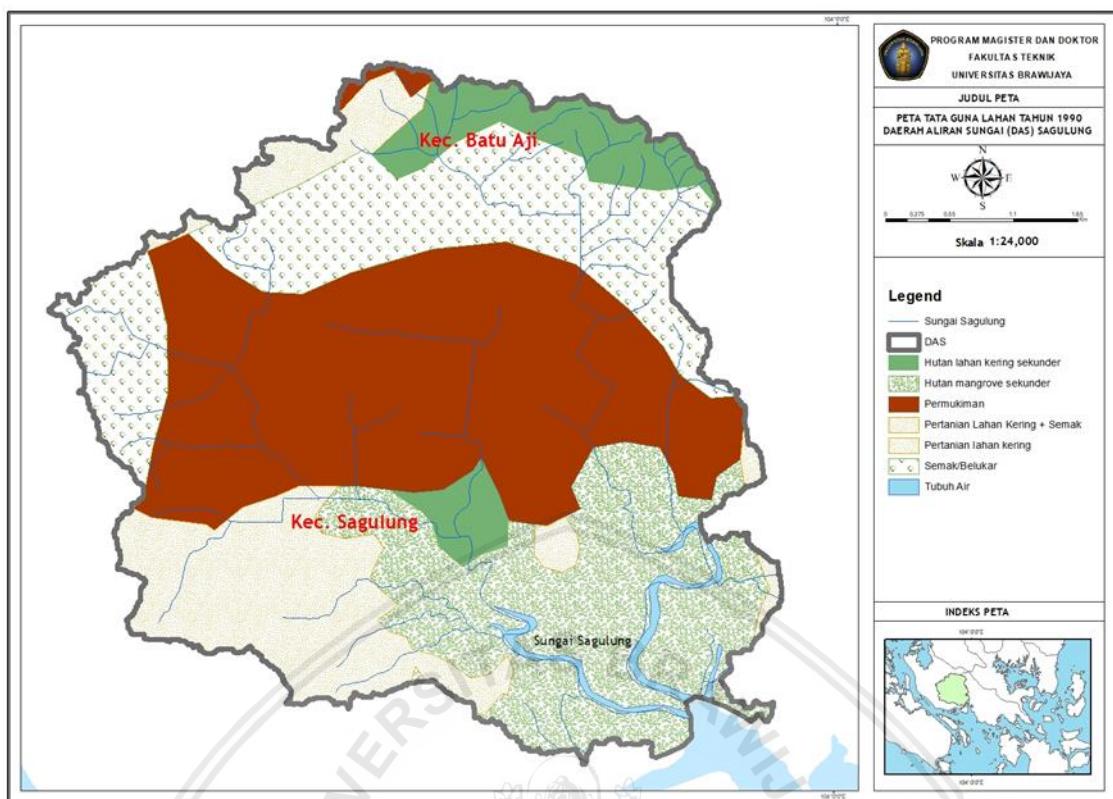
Tabel 4. 17 Properti Sub-DAS Sagulung

Lokasi	Luas (km ²)	Panjang Alur Terpanjang (km)
Sub-DAS 1	3.71	3.578
Sub-DAS 2	4.86	5.361
Sub-DAS 3	5.59	3.13
Sub-DAS 4	10.26	6.656

Sumber: Hasil Analisa (2019).

4.3.6 Analisis Perubahan Tutupan Lahan

Peta tutupan lahan yang digunakan dalam analisis adalah peta tutupan lahan DAS Sagulung pada tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017. Peta tersebut digunakan untuk analisa perubahan tutupan lahan yang terjadi di DAS Sagulung.



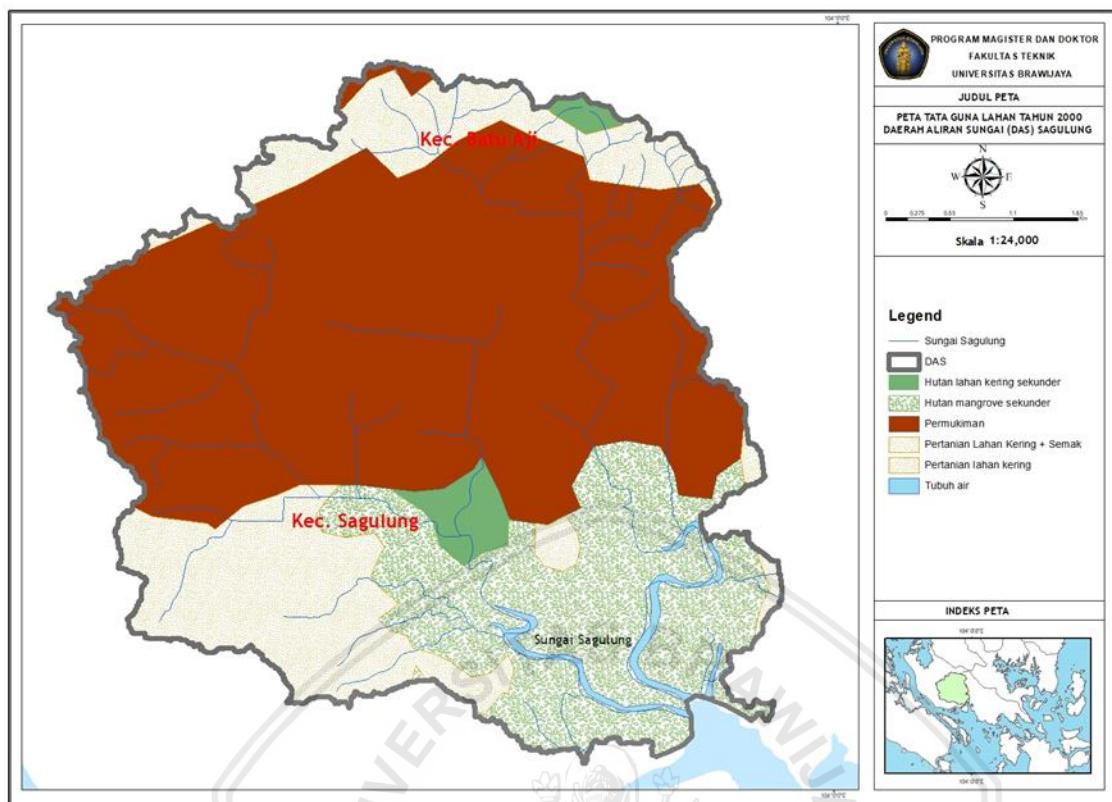
Gambar 4. 28 Tutupan lahan DAS Sagulung Tahun 1990
Sumber: Hasil Analisa (2019).

Tabel 4. 18 Persentase Tutupan Lahan DAS Sagulung Tahun 1990

No	Tutupan Lahan	Luas (km ²)	Persentase	CN	CN Terbobot
1	Permukiman	8.54	35%	85	29.738
2	Hutan Lahan Kering Sekunder	1.63	7.1%	66	4.407
3	Hutan Mangrove Sekunder	5.19	21%	0	0.000
4	Pertanian Lahan Kering + Semak	3.85	16%	71	11.198
5	Tubuh Air	0.26	1%	98	1.044
6	Semak/Belukar	4.81	20%	48	9.458
7	Pertanian Lahan Kering	0.13	0.9%	71	0.378
	Jumlah	24.41	100 %		56.224

Sumber: Hasil Analisa (2019).

Melalui hasil analisa menggunakan SIG, diperoleh data tutupan lahan DAS Sagulung pada tahun 1990 didominasi dengan kawasan permukiman yaitu sebesar 35% dari luas wilayahnya. Besar CN terbobot pada tahun 1990 adalah sebesar 56.224.



Gambar 4. 29 Tutupan lahan DAS Sagulung Tahun 2000

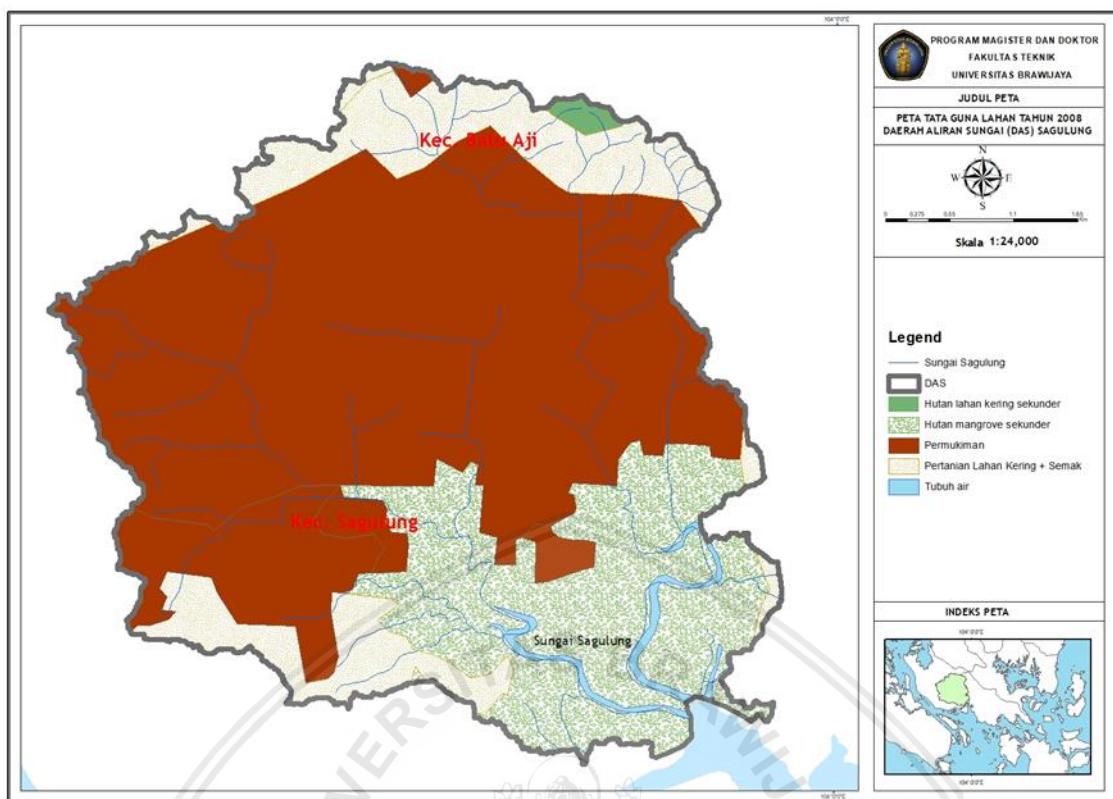
Sumber: Hasil Analisa (2019).

Tabel 4. 19 Persentase Tutupan Lahan DAS Sagulung Tahun 2000

No	Tutupan Lahan	Luas (km ²)	Persentase	CN	CN Terbobot
1	Permukiman	13.35	55%	85	46.506
2	Hutan Lahan Kering Sekunder	0.54	2.1%	66	1.460
3	Hutan Mangrove Sekunder	5.19	21%	0	0
4	Pertanian Lahan Kering + Semak	4.93	20%	71	14.345
5	Tubuh Air	0.26	1%	98	1.044
6	Pertanian lahan kering	0.13	0.9%	71	0.378
	Jumlah	24.41	100%		63.735

Sumber: Hasil Analisa (2019).

Pada tahun 2000 terjadi perubahan besaran tutupan lahan, diantaranya adalah semak belukar yang semula ditahun 1990 memiliki luasan sebesar 4.81 km² beralih fungsi menjadi kawasan pemukiman. Sehingga pada tahun 2000 luas kawasan permukiman bertambah menjadi 13.35 km² atau sebesar 55% dari luas DAS Sagulung. Besar CN terbobot DAS Sagulung tahun 2000 adalah 63.735.



Gambar 4. 30 Tutupan lahan DAS Sagulung Tahun 2008

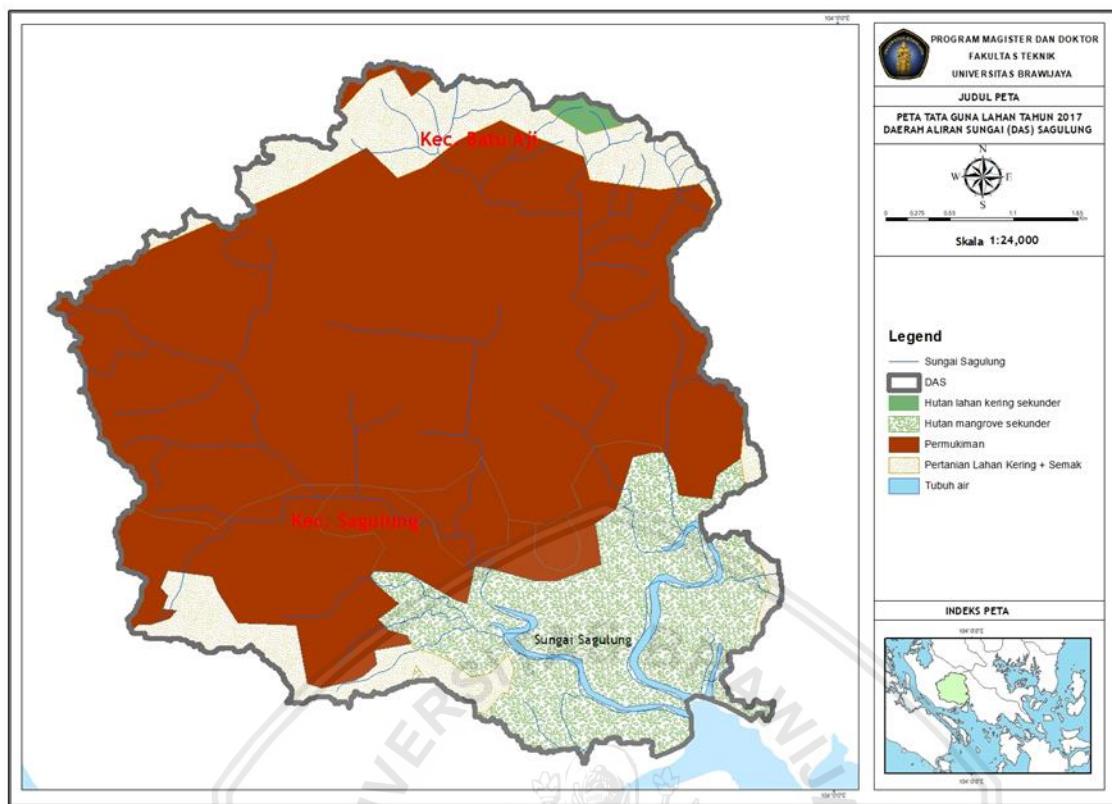
Sumber: Hasil Analisa (2019).

Tabel 4. 20 Persentase Tutupan Lahan DAS Sagulung Tahun 2008

No	Tutupan Lahan	Luas (km ²)	Persentase	CN	CN Terbobot
1	Permukiman	15.2	62%	85	52.929
2	Hutan Lahan Kering Sekunder	0.12	0.1%	66	0.324
3	Hutan Mangrove Sekunder	5.32	22%	0	0
4	Pertanian Lahan Kering + Semak	3.51	14%	71	10.209
5	Tubuh Air	0.26	0.9%	98	1.0438
	Jumlah	24.41	100%		64.506

Sumber: Hasil Analisa (2019).

Hasil analisa tutupan lahan pada tahun 2008, diperoleh luas kawasan permukiman mencapai i 62% dari luas DASnya. Luas kawasan pertanian lahan kering berkurang sebesar 6%. Untuk CN terbobot DAS Sagulung tahun 2008 adalah sebesar 64.506.



Gambar 4. 31 Tutupan lahan DAS Sagulung Tahun 2017

Sumber: Hasil Analisa (2019).

Tabel 4. 21 Persentase Tutupan Lahan DAS Sagulung Tahun 2017

No	Tutupan Lahan	Luas (Km ²)	Persentase	CN	CN Terbobot
1	Permukiman	17.11	70%	85	59.580
2	Hutan Lahan Kering Sekunder	0.12	0.1%	66	0.324
3	Hutan Mangrove Sekunder	4.09	17%	0	0
4	Pertanian Lahan Kering + Semak	2.83	12%	71	8.231
5	Tubuh Air	0.26	0.9%	98	1.044
	Jumlah	24.41	100%		69.179

Sumber: Hasil Analisa (2019).

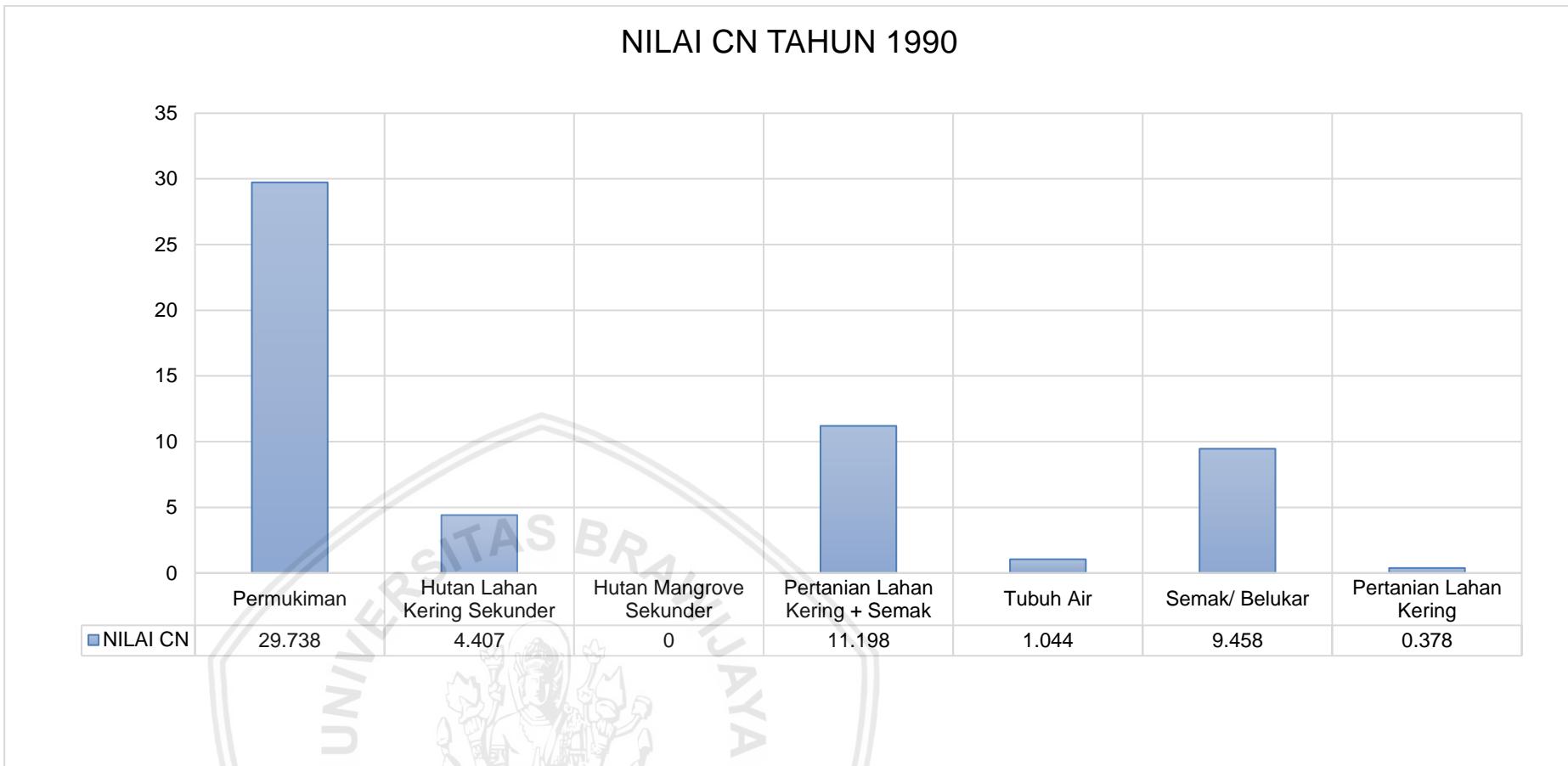
Untuk hasil analisa perubahan tutupan lahan di tahun 2017, diperoleh besaran luas kawasan permukiman di DAS Sagulung mencapai 70% dari luas DAS-nya, yaitu 17.11 km². Luas kawasan pertanian lahan kering berkurang sebanyak 2%. Untuk CN terbobot DAS Sagulung tahun 2017 adalah sebesar 69.179.

Hasil rekapitulasi perubahan tata guna lahan pada DAS Sagulung dari tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017 dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4. 22 Rekapitulasi Perubahan Tata Guna Lahan DAS Sagulung

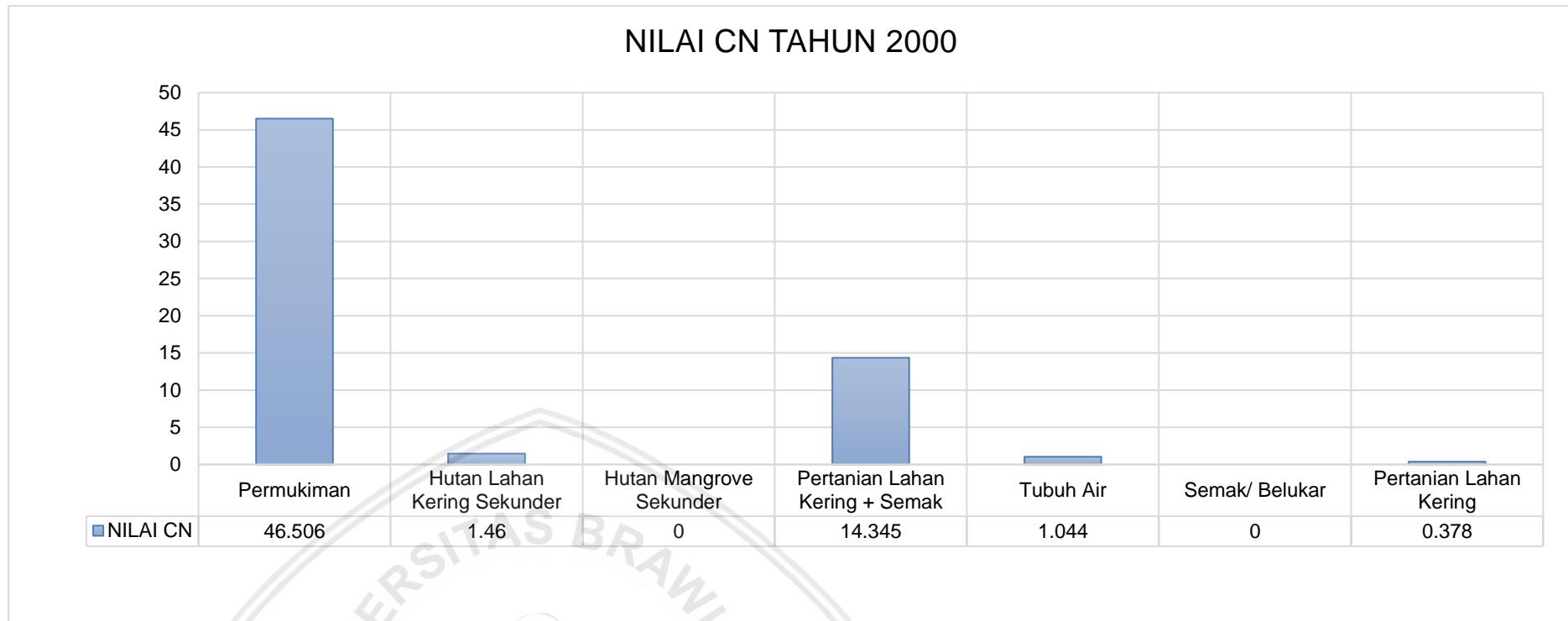
No	Tutupan Lahan	Tahun 1990		Tahun 2000		Tahun 2008		Tahun 2017	
		Luas (Km ²)	CN Terbobot						
1	Permukiman	8.54	29.738	13.35	46.506	15.2	52.929	17.11	59.58
2	Hutan Lahan Kering Sekunder	1.63	4.407	0.54	1.46	0.12	0.324	0.12	0.324
3	Hutan Mangrove Sekunder	5.19	0	5.19	0	5.32	0	4.09	0
4	Pertanian Lahan Kering + Semak	3.85	11.198	4.93	14.345	3.51	10.209	2.83	8.231
5	Tubuh Air	0.26	1.044	0.26	1.044	0.26	1.0438	0.26	1.044
6	Semak/Belukar	4.81	9.458	0	0	0	0	0	0
7	Pertanian Lahan Kering	0.13	0.378	0.13	0.378	0	0	0	0
	Jumlah	24.41	56.224	24.41	63.735	24.41	64.506	24.41	69.179

Sumber: Hasil Analisa (2019).



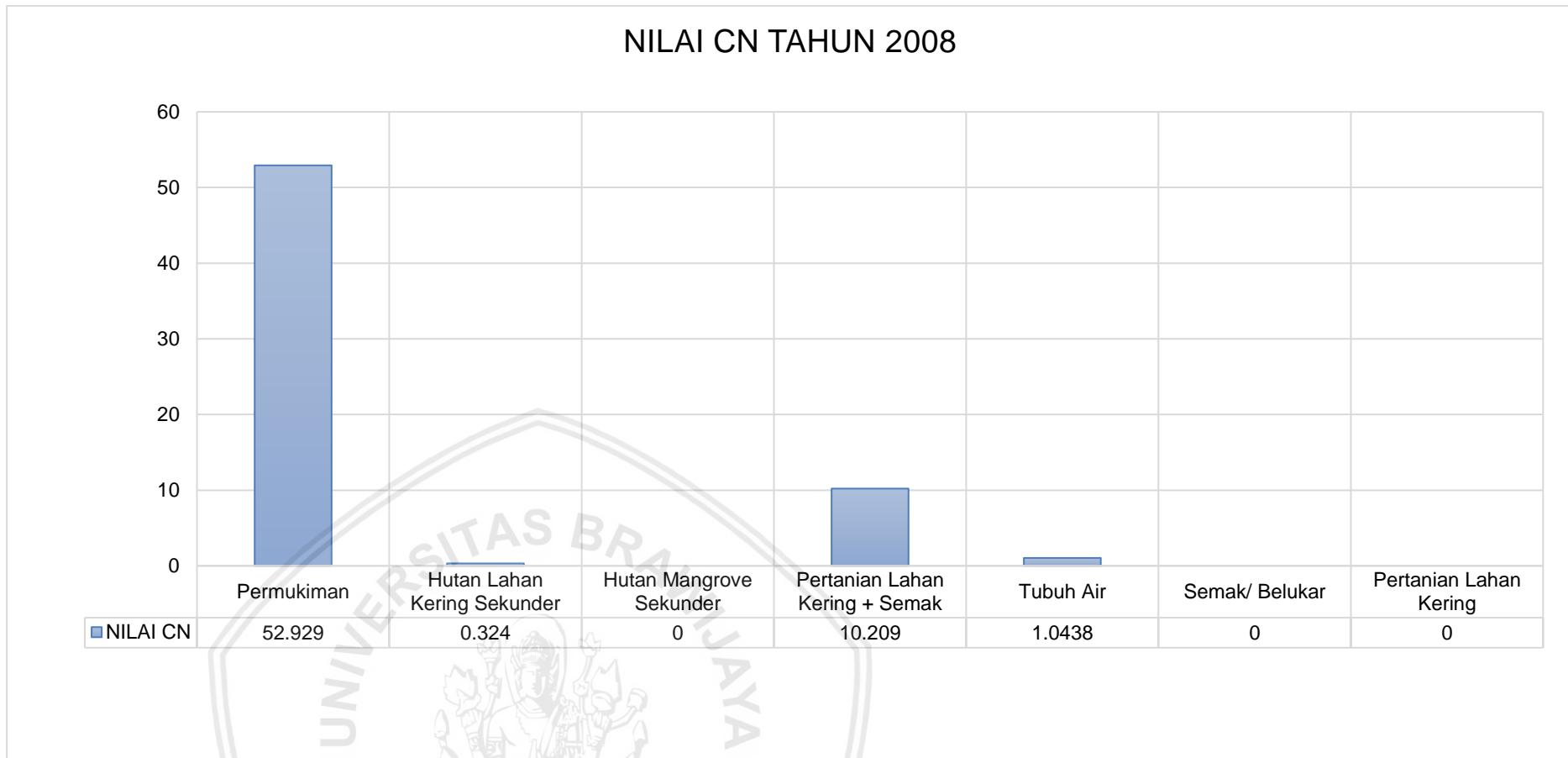
Gambar 4. 32 Nilai CN pada DAS Sagulung Tahun 1990

Sumber: Hasil Analisa (2019).



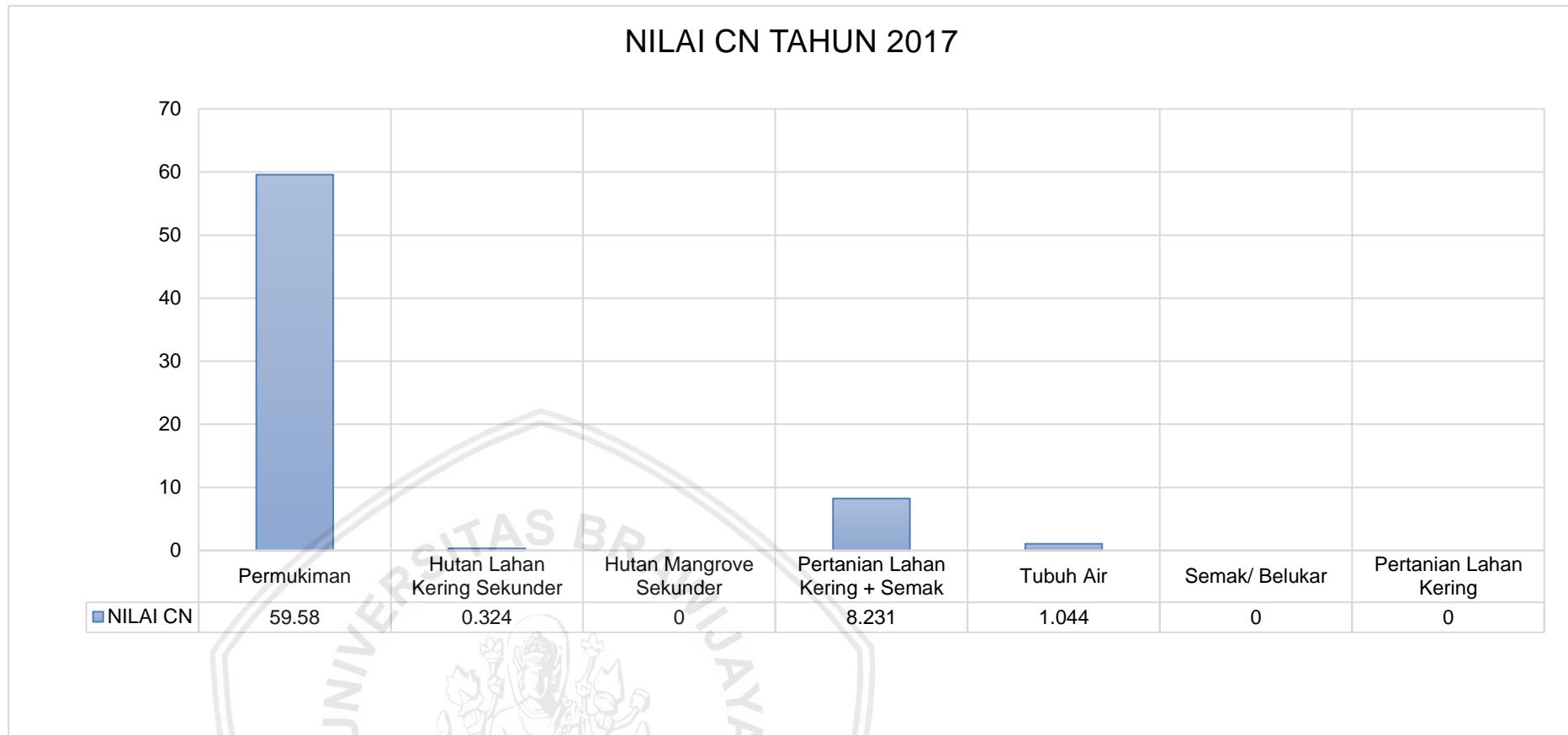
Gambar 4. 33 Nilai CN pada DAS Sagulung Tahun 2000

Sumber: Hasil Analisa (2019).

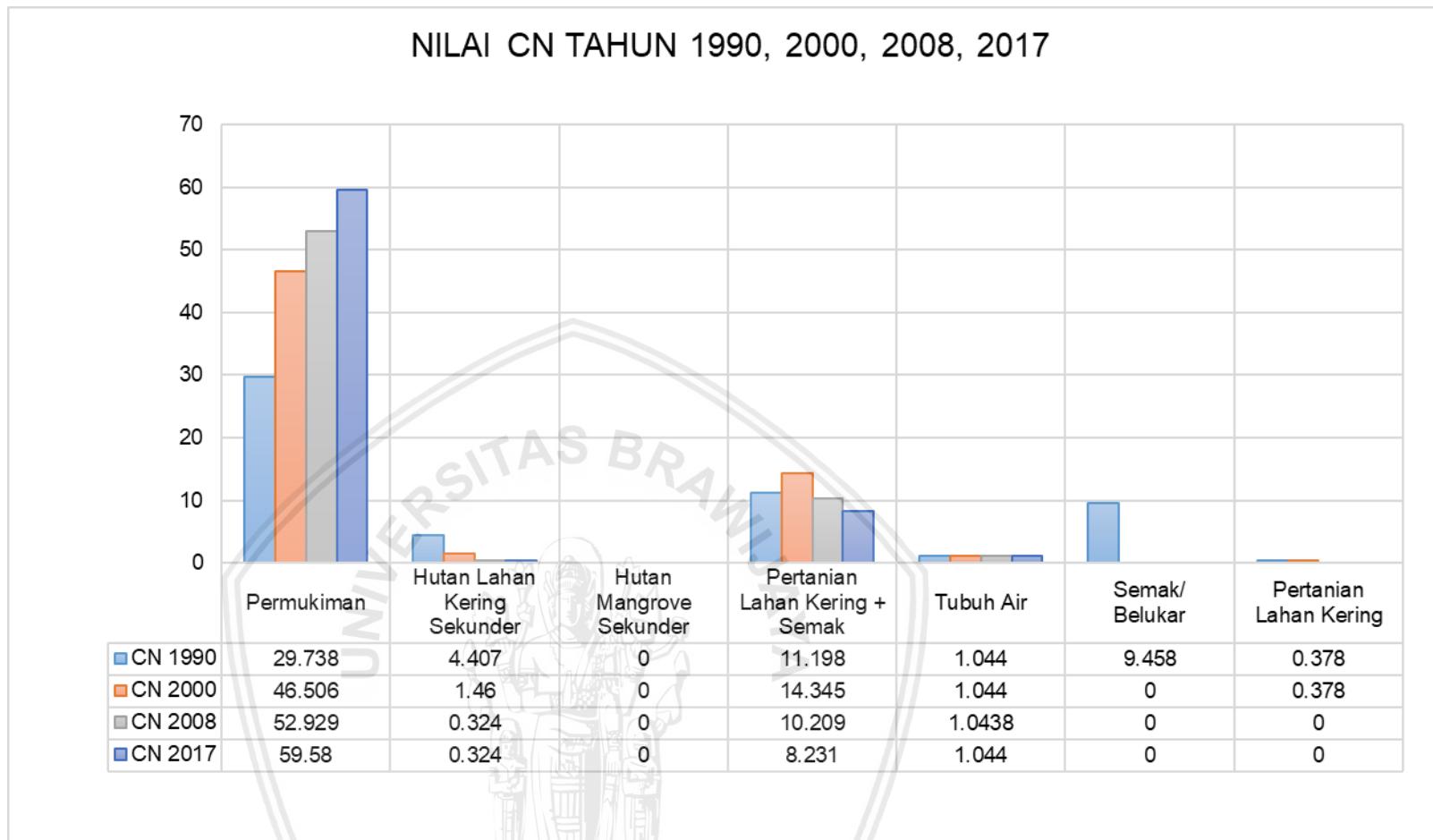


Gambar 4. 34 Nilai CN pada DAS Sagulung Tahun 2008

Sumber: Hasil Analisa (2019).



Gambar 4. 35 Nilai CN pada DAS Sagulung Tahun 2017
Sumber: Hasil Analisa (2019).



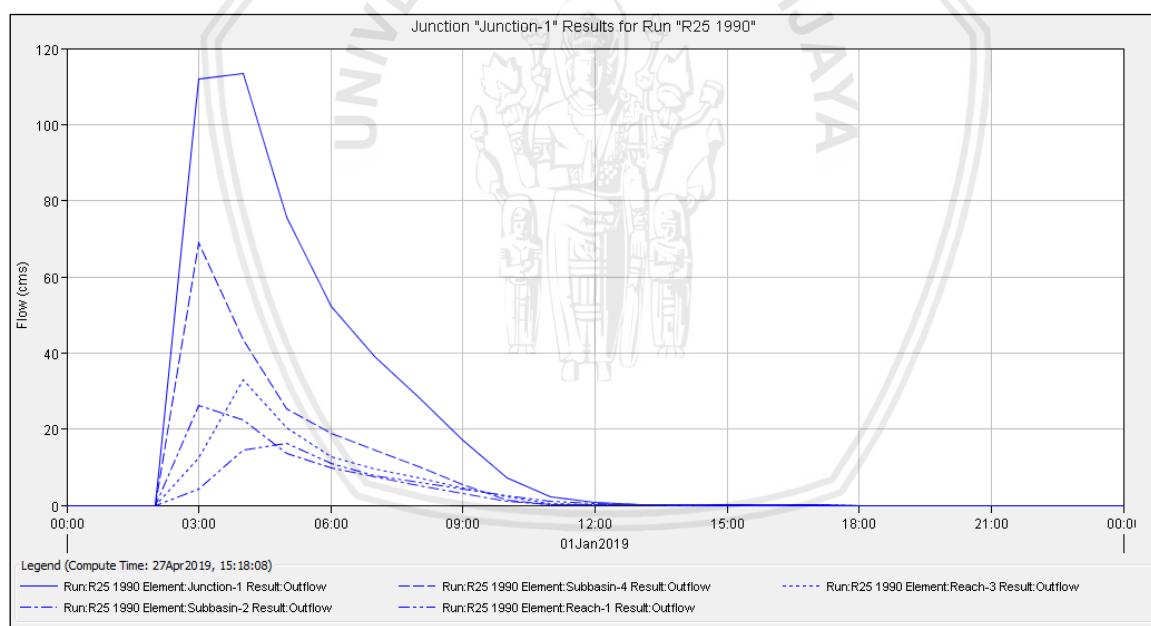
Gambar 4. 36 Nilai Total CN pada DAS Sagulung di Tahun 1990, 2000, 2008, 2012, 2017
Sumber: Hasil Analisa (2019).

Dari table dan gambar hasil perhitungan nilai CN dapat disimpulkan bahwa nilai tata guna lahan dapat mempengaruhi besarnya nilai CN karena semakin padat pemukiman maka infiltrasi air hujan akan semakin kecil sehingga nilai CN akan semakin besar.

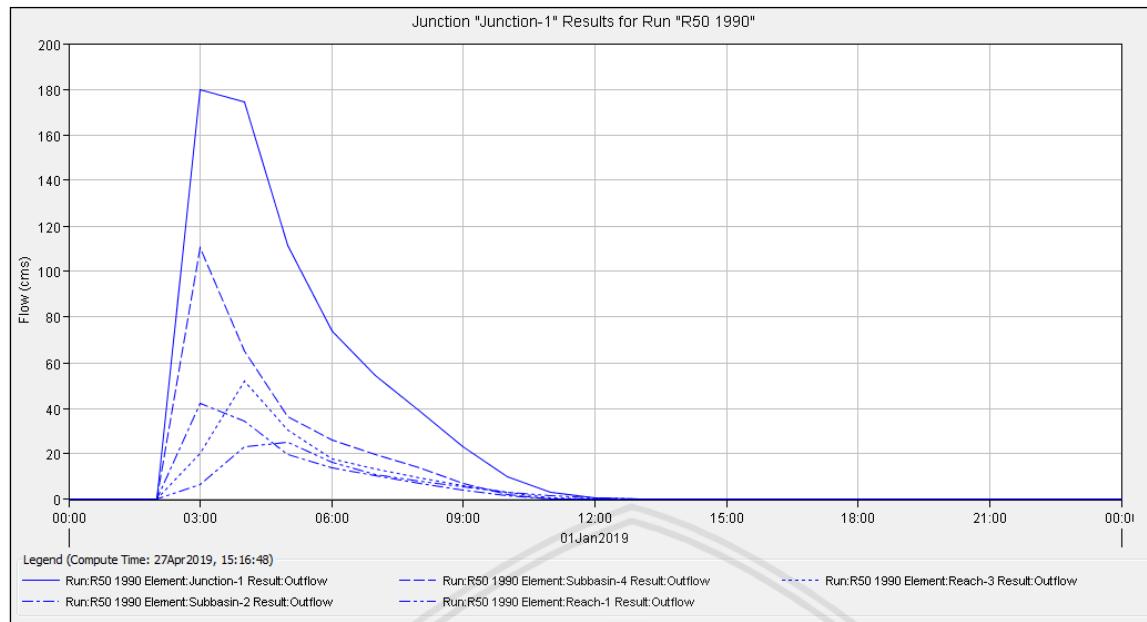
4.4 Analisis Perubahan Debit Banjir Rencana dengan HEC-HMS

Permodelan dengan menggunakan HEC-HMS dilakukan untuk menganalisa perubahan debit banjir rencana pada tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017. Permodelan dilakukan dengan memperhatikan perubahan lahan yang terjadi tiap tahunnya. Debit banjir yang dihitung menggunakan HEC-HMS adalah debit banjir rencana untuk Q 25 dan Q 50 tahunan.

Permodelan menggunakan HEC-HMS dapat menghasilkan *peakflow* dari masing-masing model yang dilakukan pada outlet DAS Sagulung. Untuk permodelan berdasarkan tutupan lahan DAS Sagulung tahun 1990 dengan nilai CN terbobotnya adalah 56,224, diperoleh hasil *peakflow* banjir rencana Q 25 dan Q 50 masing-masing adalah sebesar 113,4 m³/s dan 179,5 m³/s.

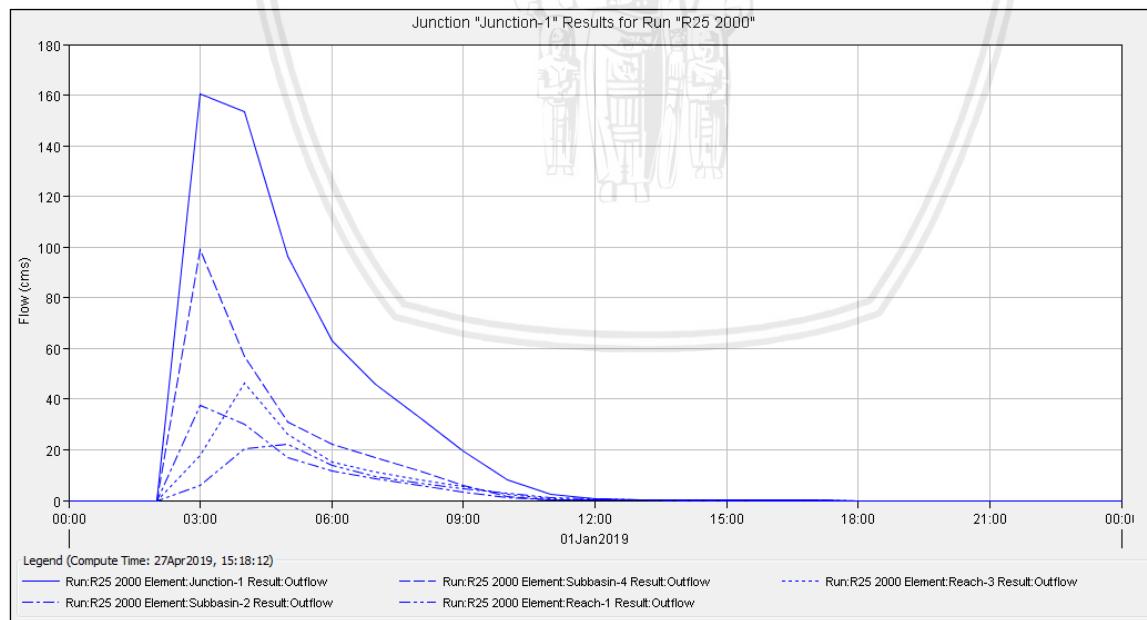


Gambar 4. 37 Hidrograf banjir Q25 tahun di DAS Sagulung pada Tahun 1990
Sumber: Hasil Analisa (2019).

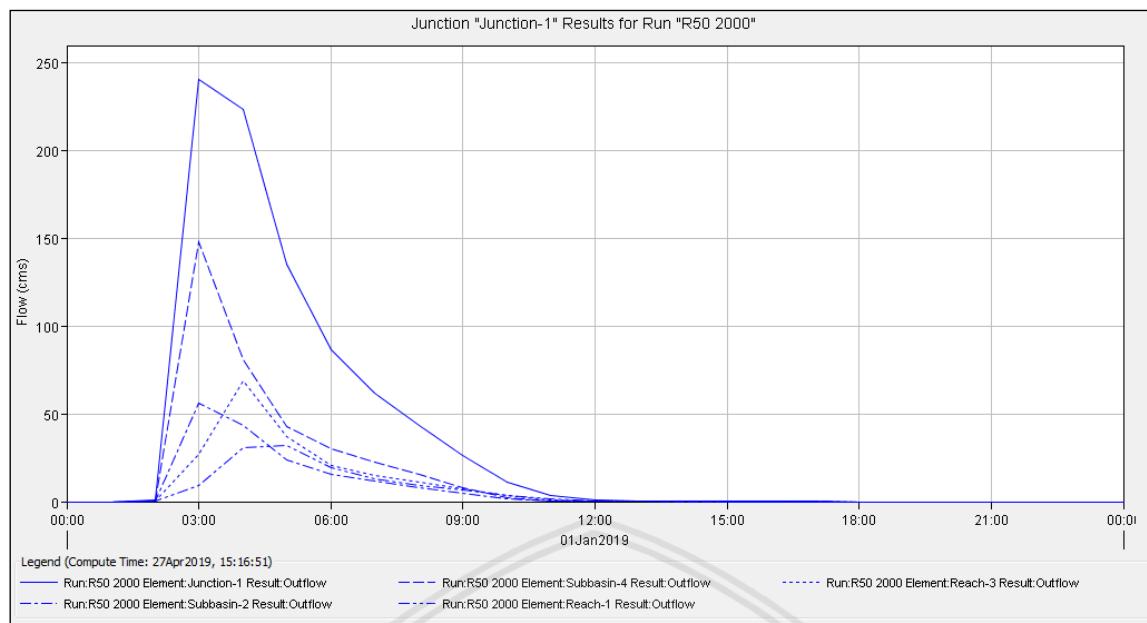


Gambar 4. 38 Hidrograf banjir Q50 tahun di DAS Sagulung pada Tahun 1990
Sumber: Hasil Analisa (2019).

Tutupan lahan DAS Sagulung pada tahun 2000 memiliki nilai CN terbobot sebesar 63,735. Berdasarkan hasil permodelan, dihasilkan *peakflow* untuk banjir Q 25 tahunannya adalah $160,6 \text{ m}^3/\text{s}$ dan untuk debit banjir Q 50 tahunannya adalah $240,9 \text{ m}^3/\text{s}$.

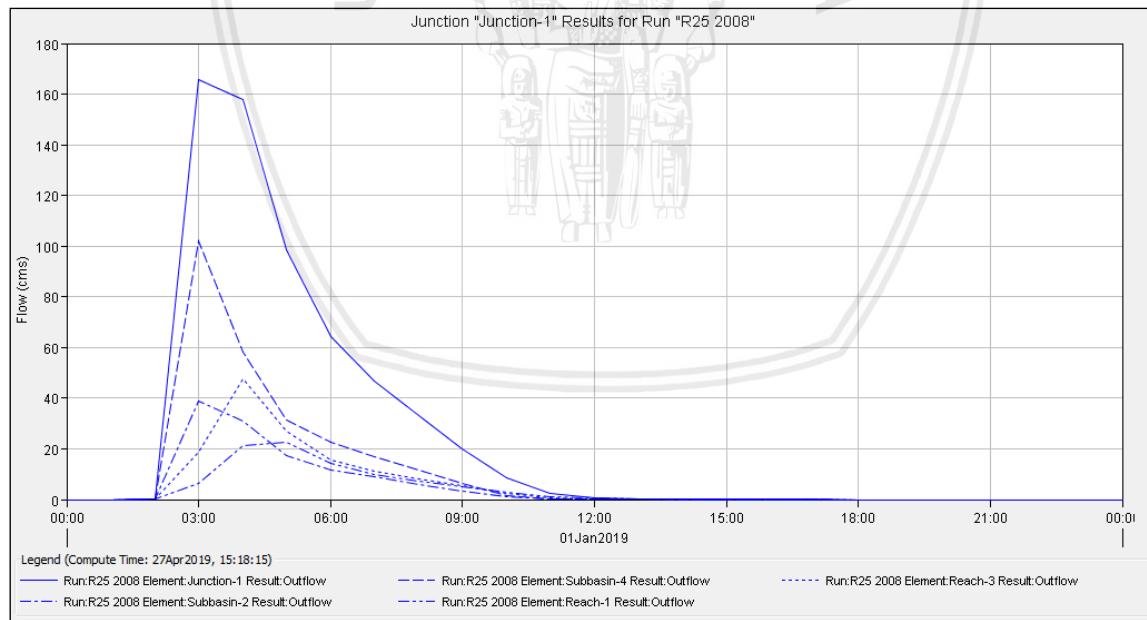


Gambar 4. 39 Hidrograf banjir Q25 tahun di DAS Sagulung pada Tahun 2000
Sumber: Hasil Analisa (2019).

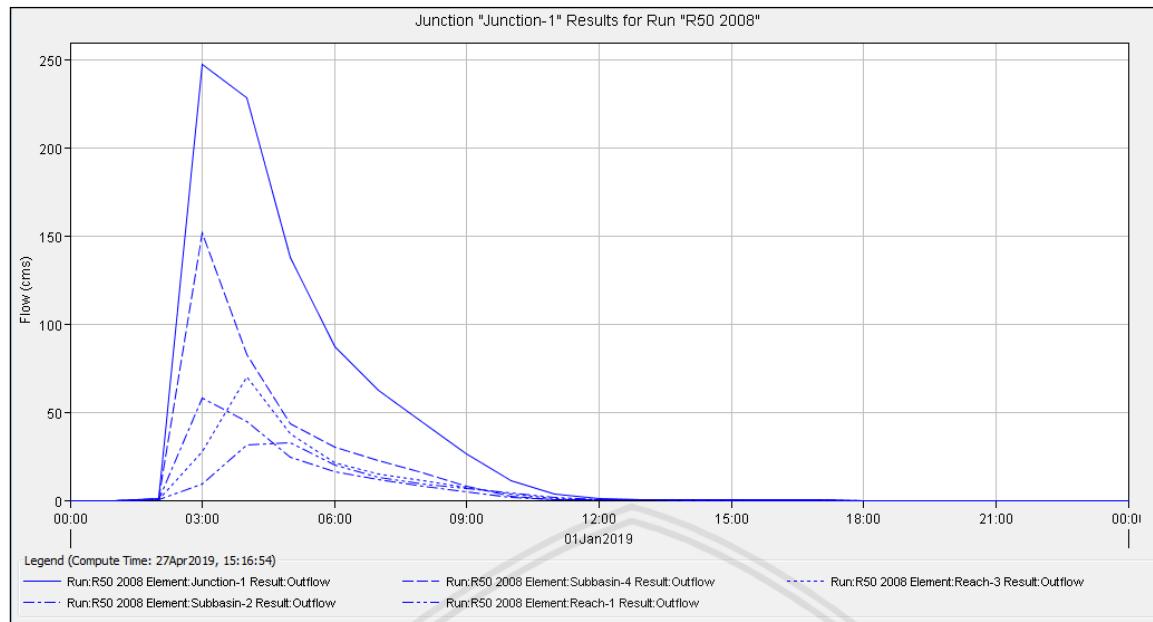


*Gambar 4. 40 Hidrograf banjir Q50 tahun di DAS Sagulung pada Tahun 2000
Sumber: Hasil Analisa (2019).*

Selanjutnya untuk tutupan lahan pada tahun 2008 memiliki nilai CN terbobot sebesar 64,506. Berdasarkan hasil permodelan, besar *peakflow* untuk banjir 25 tahunannya adalah $165,9 \text{ m}^3/\text{s}$ dan untuk debit banjir 50 tahunannya adalah $247,3 \text{ m}^3/\text{s}$

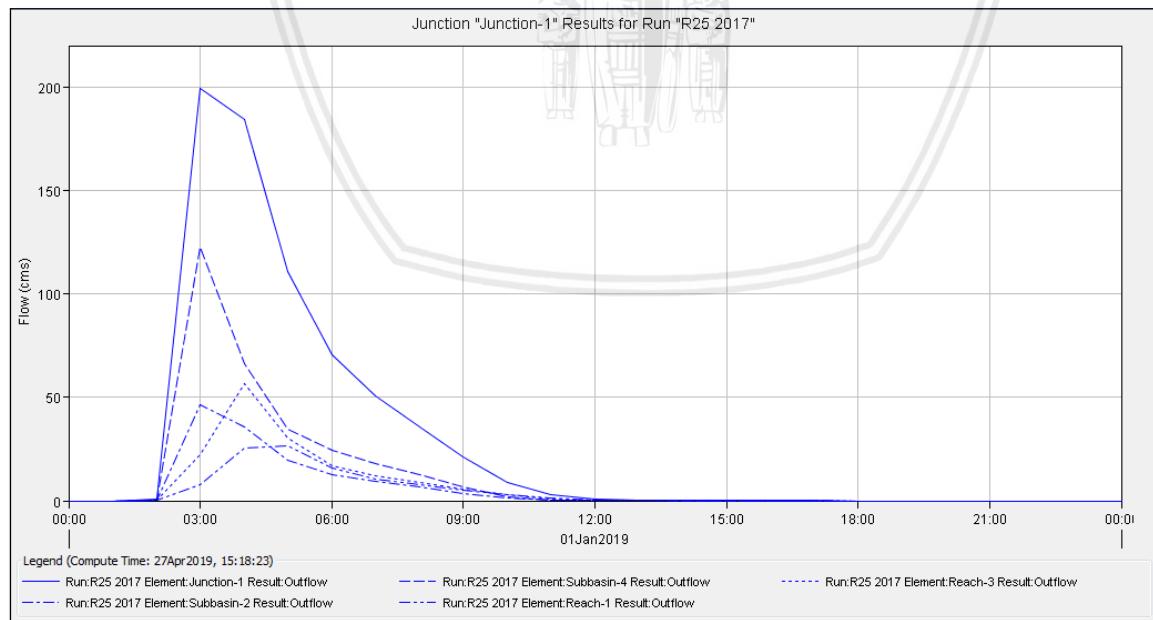


*Gambar 4. 41 Hidrograf banjir Q25 tahun di DAS Sagulung pada Tahun 2008
Sumber: Hasil Analisa (2019).*

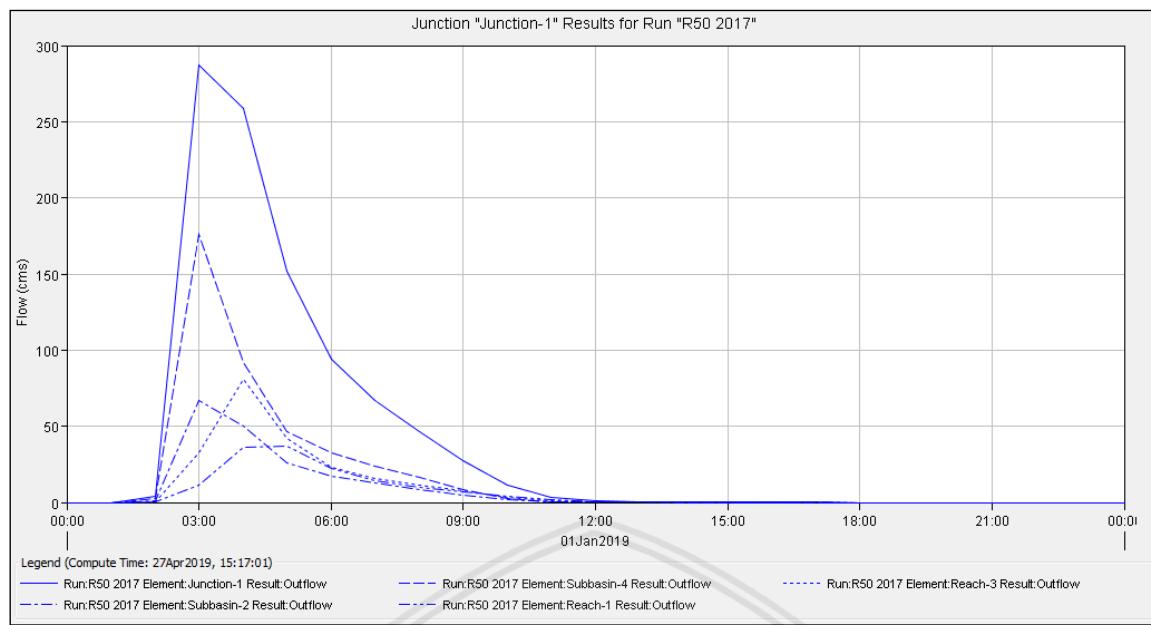


Gambar 4. 42 Hidrograf banjir Q50 tahun di DAS Sagulung pada Tahun 2008
Sumber: Hasil Analisa (2019).

Untuk tahun 2017 perubahan tutupan lahan yang terjadi menyebabkan perubahan nilai CN sehingga pada tahun 2017 didapatkan nilai CN terbobotnya adalah 69,179. Dengan perubahan nilai CN tersebut didapatkan besar peakflow untuk debit banjir 25 dan 50 tahunannya adalah 199,1 m³/s dan 286,9 m³/s.

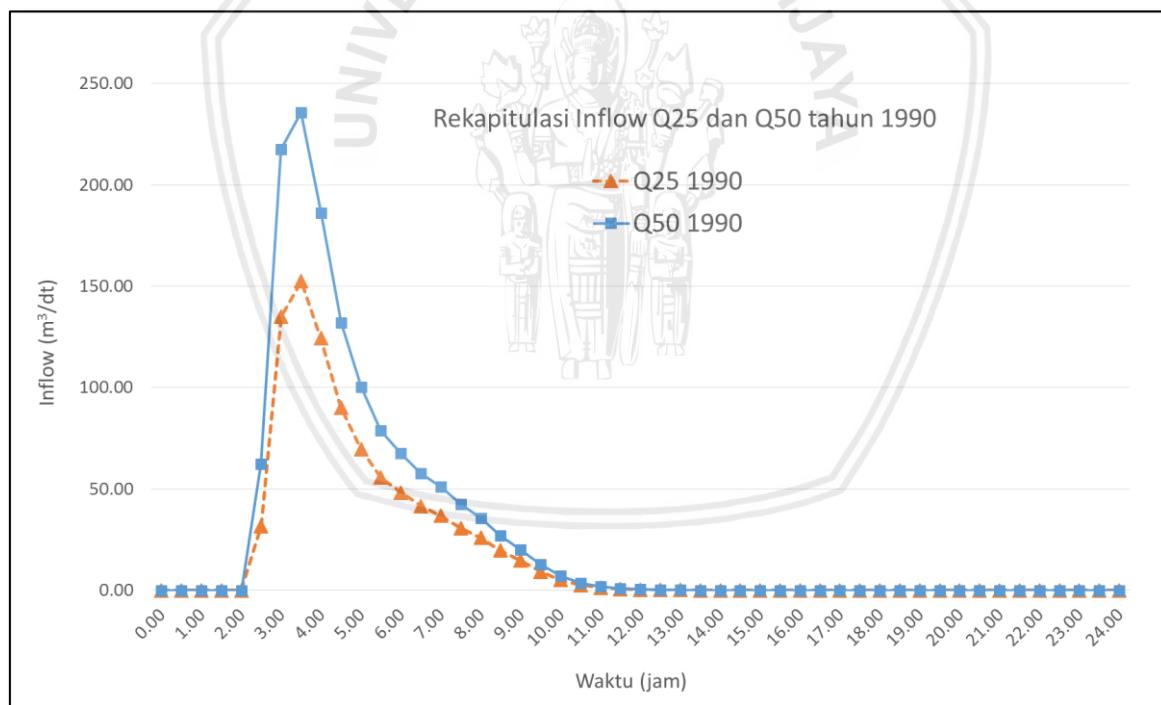


Gambar 4. 43 Hidrograf banjir Q25 tahun di DAS Sagulung pada Tahun 2017
Sumber: Hasil Analisa (2019).



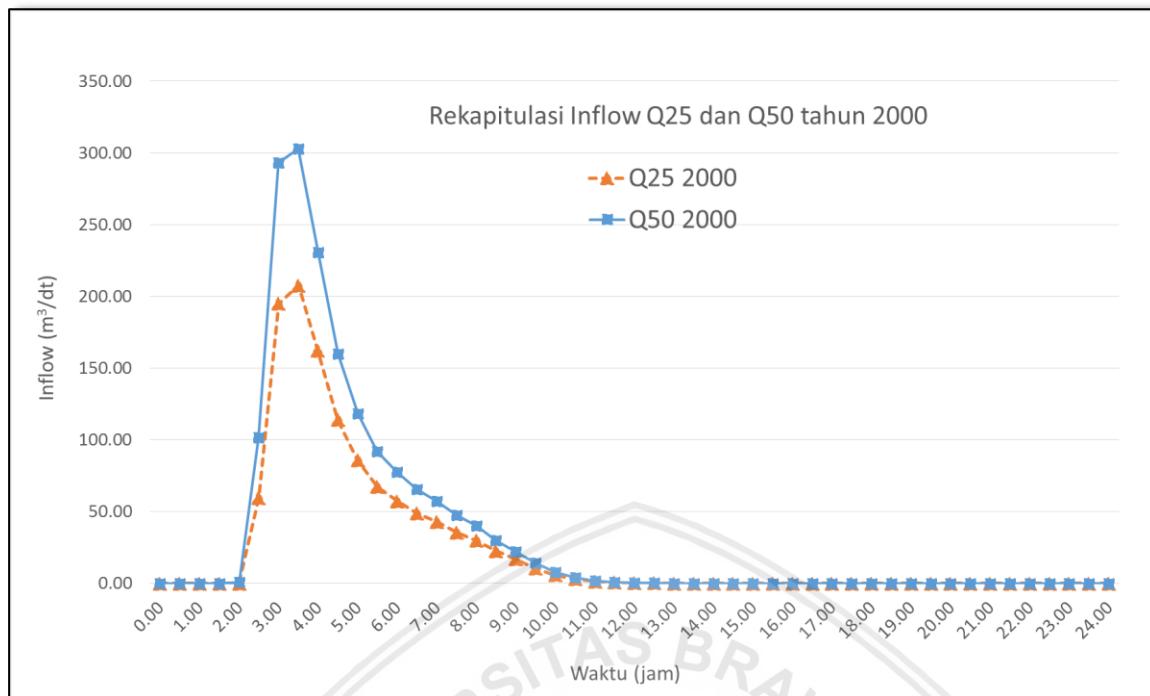
Gambar 4. 44 Hidrograf banjir Q50 tahun di DAS Sagulung pada Tahun 2017

Sumber: Hasil Analisa (2019).

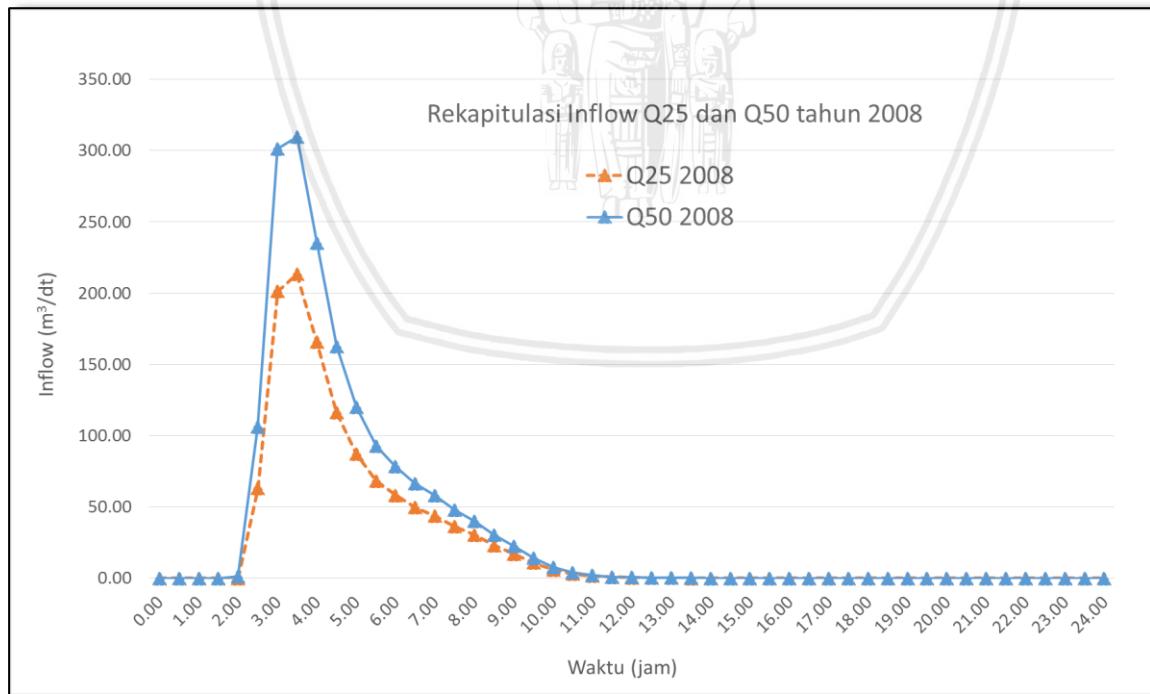


Gambar 4. 45 Hidrograf banjir Q25 dan Q50 tahun 1990 di DAS Sagulung

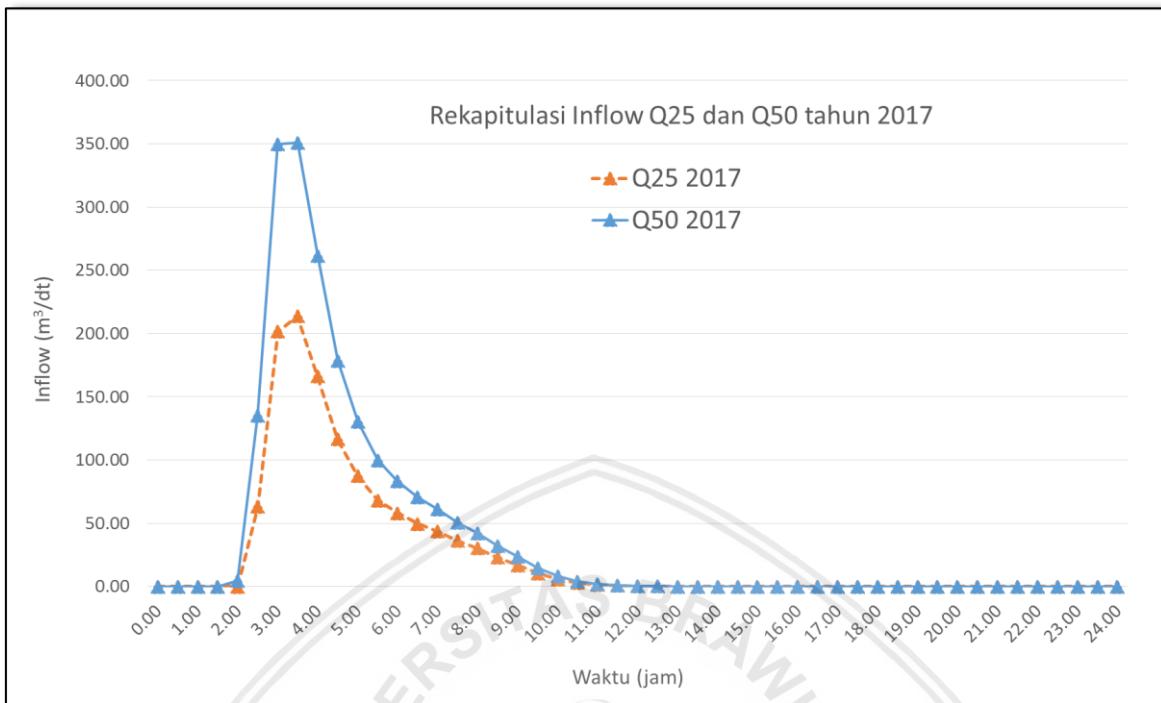
Sumber: Hasil Analisa (2019).



Gambar 4. 46 Hidrograf banjir Q25 dan Q50 tahun 2000 di DAS Sagulung
Sumber: Hasil Analisa (2019).



Gambar 4. 47 Hidrograf banjir Q25 dan Q50 tahun 2008 di DAS Sagulung
Sumber: Hasil Analisa (2019).



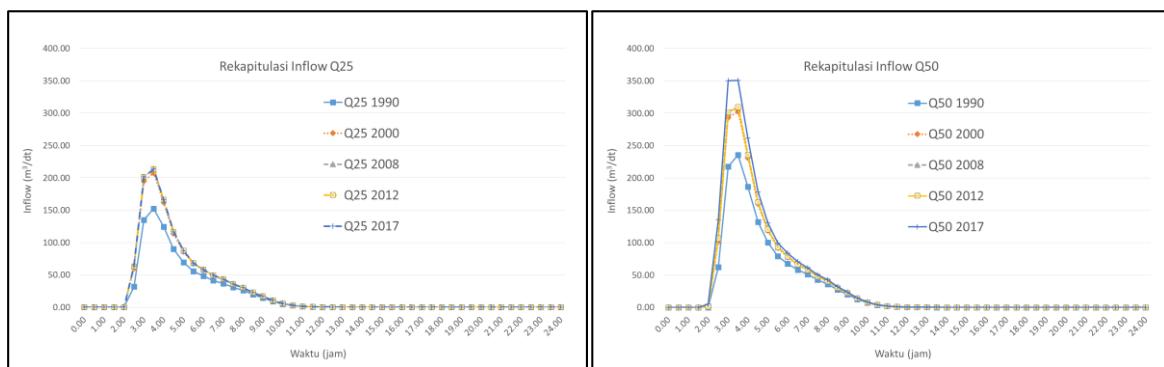
Gambar 4. 48 Hidrograf banjir Q25 dan Q50 tahun 2017 di DAS Sagulung
Sumber: Hasil Analisa (2019).

Berdasarkan hasil permodelan menggunakan HEC-HMS didapatkan masing-masing hidrograf untuk setiap skenario yang dibuat. Perubahan tutupan lahan pada tahun 1990 hingga 2017 menyebabkan perubahan nilai CN yang cukup besar yaitu dari 56,224 menjadi 69,179. Sehingga besar debit banjir rencana yang didapatkan juga berubah dari 113,4 m³/s dan 179,5 m³/s menjadi 199,1 m³/s dan 286,9 m³/s.

Tabel 4. 23 Rekapitulasi Debit Banjir Q25 dan Q50

No	Debit	Tahun (m ³ /dt)			
		1990	2000	2008	2017
1	Q 25	113,4	160,6	165,9	199,1
2	Q 50	179,5	240,9	247,3	286,9

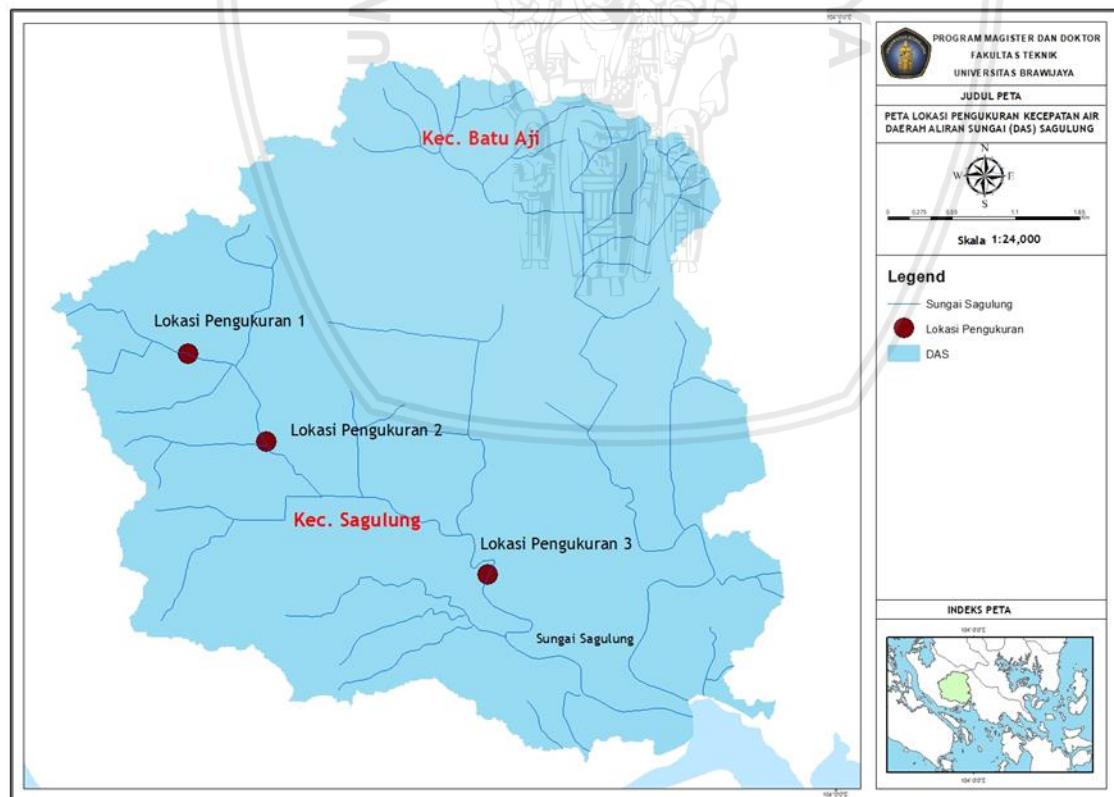
Sumber: Hasil Analisa (2019).



Gambar 4. 49 Rekapitulasi *Inflow* Banjir Q₂₅ dan Q₅₀

4.5 Kalibrasi Model

Sebagai salah satu cara untuk menguji bahwa analisis hidrologi yang dilakukan sudah sesuai, maka perlu dilakukan kalibrasi dengan menggunakan perhitungan debit hasil pengukuran kecepatan air dan tinggi muka air di lapangan. Hal itu dikarenakan di lokasi studi tidak terdapat data AWLR. Untuk lokasi pengukuran kecepatan air dan tinggi muka air dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 50 Lokasi Pengukuran berdasarkan lokasi survei di DAS Sagulung
Sumber: Hasil Analisa (2019)

Pengukuran kecepatan air dan tinggi muka air dilakukan pada satu penampang sungai di bagian hulu, tengah, dan hilir sungai (lokasi 1, 2, dan 3), dan dalam satu penampang sungai dilakukan pengukuran langsung dengan alat *current meter* pada posisi kiri, tengah dan kanan sungai (A, B, dan C).

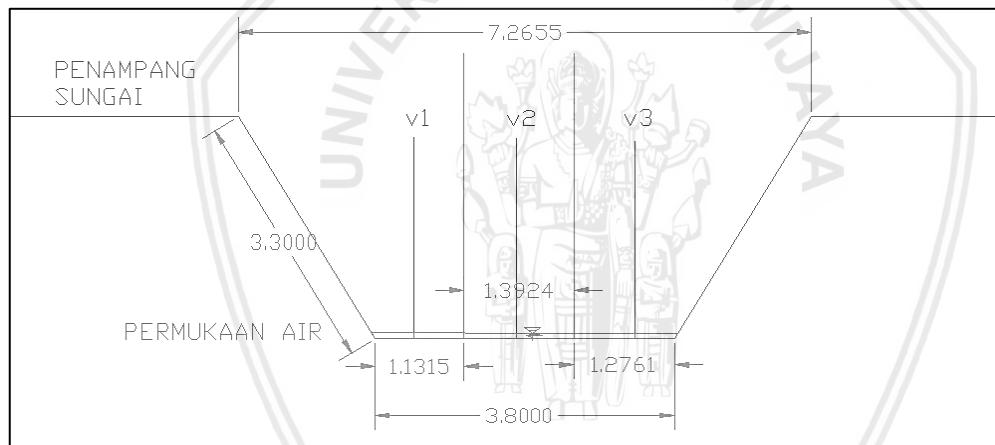
Pengukuran ini dilakukan pada tanggal 4 Februari 2019. Hasil pengukuran kecepatan air dan tinggi muka air di lapangan dilakukan pada kondisi sesaat dan tidak dalam kondisi banjir sehingga data yang diperoleh merupakan data debit dasar (*baseflow*). Setelah data pengukuran di kumpulkan kemudian dilakukan analisa perhitungan debit dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q = V \times A$$

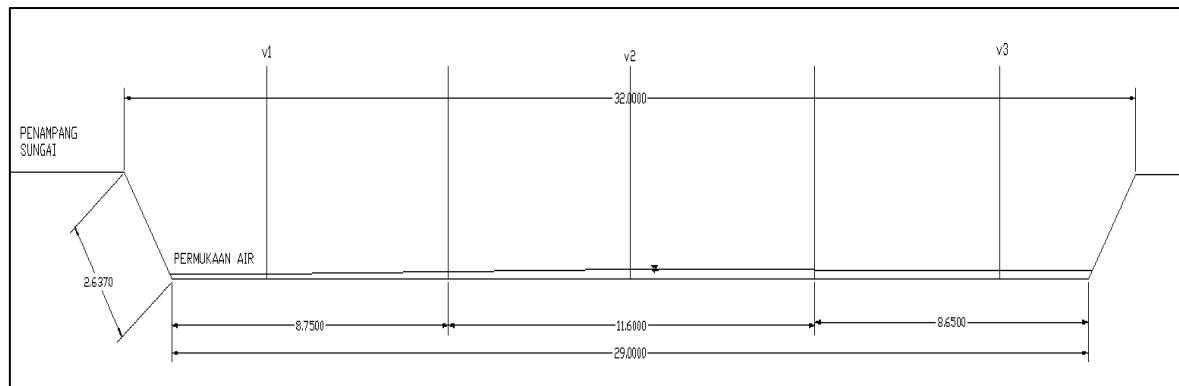
Dimana : Q = debit hasil pengukuran (m^3/det)

V = Kecepatan air hasil pengukuran (m/det)

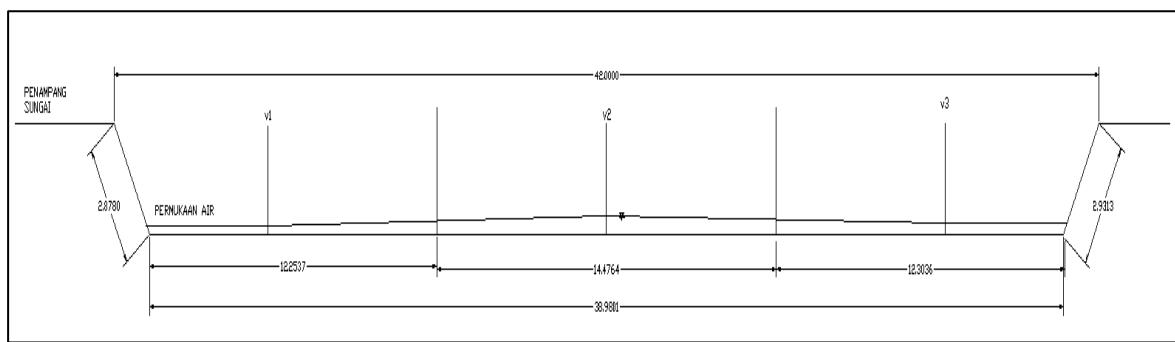
A = Penampang Sungai (m^2)



Gambar 4. 51 Sketsa penampang sungai lokasi pengukuran kesatu
Sumber: Hasil Analisa (2019)



Gambar 4. 52 Sketsa penampang sungai lokasi pengukuran kedua
Sumber: Hasil Analisa (2019)



Gambar 4. 53 Sketsa penampang sungai lokasi pengukuran ketiga
Sumber: Hasil Analisa (2019)

Tabel 4. 24 Hasil Analisa Perhitungan Debit di Lokasi Pengukuran 1

No	Tanggal	Jam	Lokasi	H (cm)	V (m/det)	V rerata (m/det)	Luas (m ²)	Q (m ³ /det)
1	4 Februari 2019	15.00 WIB	1A	8.0	0.4	0.367	0.280	0.103
			1B	7.0	0.4			
			1C	7.0	0.3			

Sumber: Hasil Analisa (2019)

Tabel 4. 25 Hasil Analisa Perhitungan Debit di Lokasi Pengukuran 2

No	Tanggal	Jam	Lokasi	H (cm)	V (m/det)	V rerata (m/det)	Luas (m ²)	Q (m ³ /det)
2	4 Februari 2019	15.45 WIB	2A	10.0	0.4	0.500	4.680	2.340
			2B	20.0	0.5			
			2C	17.0	0.6			

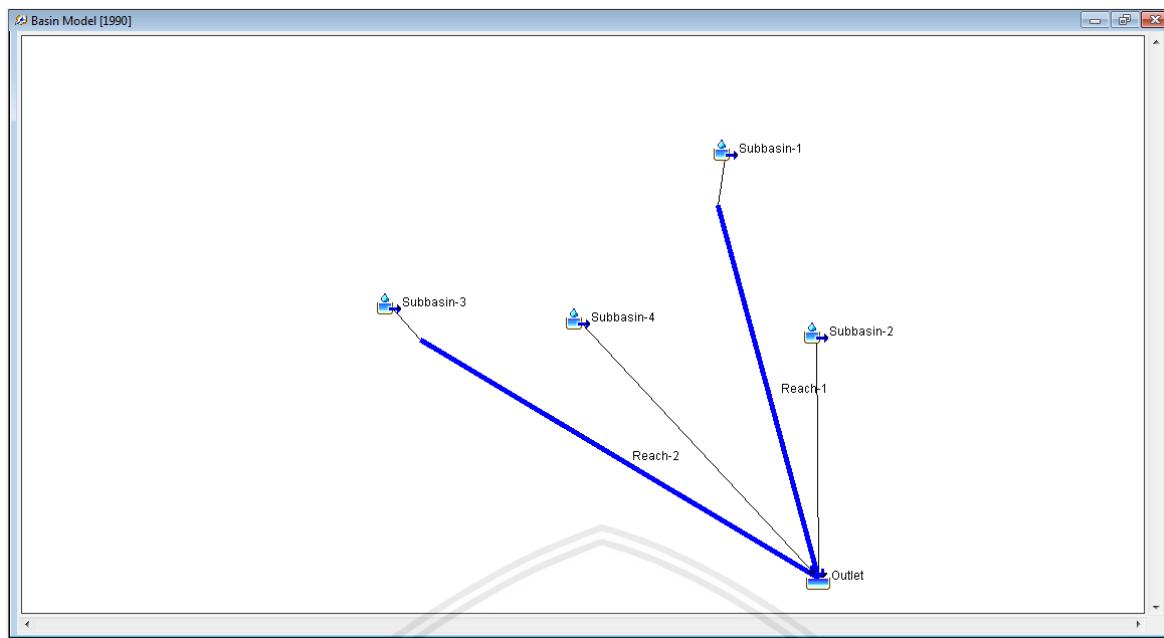
Sumber: Hasil Analisa (2019)

Tabel 4. 26 Hasil Analisa Perhitungan Debit di Lokasi Pengukuran 3

No	Tanggal	Jam	Lokasi	H (cm)	V (m/det)	V rerata (m/det)	Luas (m ²)	Q (m ³ /det)
3	4 Februari 2019	16.45 WIB	3A	20.0	0.4	0.500	11.300	5.650
			3B	40.0	0.5			
			3C	25.0	0.6			

Sumber: Hasil Analisa (2019)

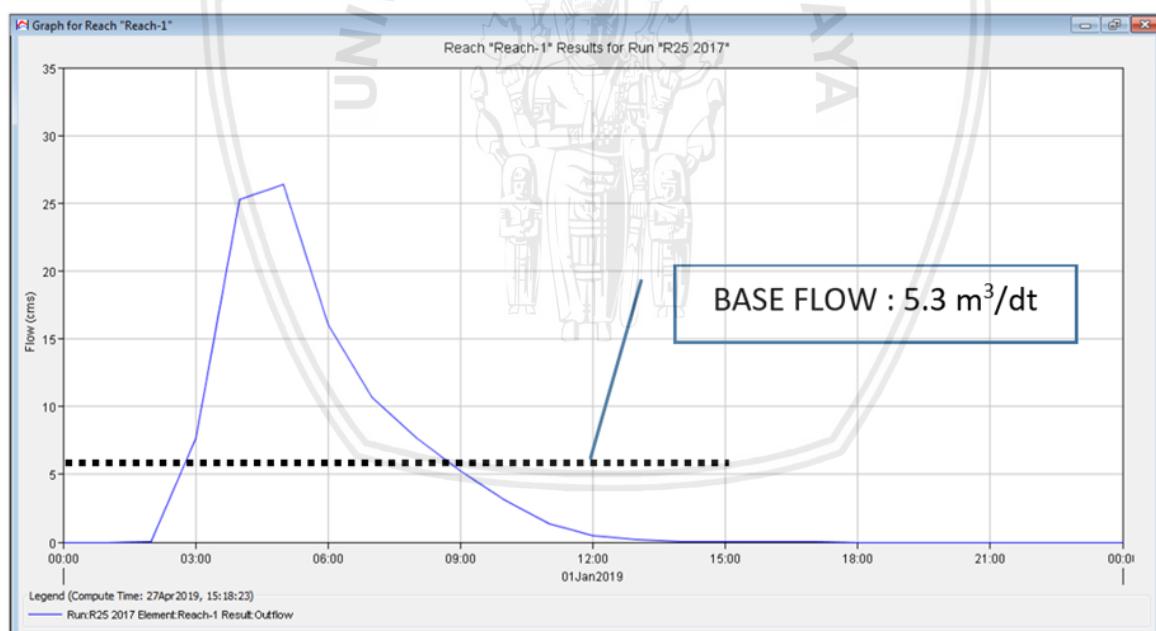
Pada permodelan banjir menggunakan HEC-HMS pada gambar 4.49 di bawah ini, titik kalibrasi berada pada item “Reach 1”, maka perlu menyamakan lokasi 3 pada item tersebut.



Gambar 4. 54 Permodelan HEC HMS DAS Sagulung

Sumber: Hasil Analisa (2019).

Hasil hidrograf banjir pada “Reach 1” seperti gambar dibawah ini:



Gambar 4. 55 Hidrograf banjir “Reach 1”

Sumber: Hasil Analisa (2019).

Hasil hidrograf banjir dengan HEC-HMS nilai *baseflow* didapatkan sebesar $5.3 \text{ m}^3/\text{dt}$ sedangkan hasil analisa perhitungan debit di lokasi pengukuran 3 didapatkan debit rerata sebesar $5.650 \text{ m}^3/\text{dt}$. Apabila hasil simulasi HEC-HMS dibandingkan dengan hasil debit pengukuran rerata maka nilai *baseflow* memiliki perbedaan sebesar $0.350 \text{ m}^3/\text{dt}$. Sehingga kalibrasi pada hasil banjir secara analisa sudah dianggap sesuai kondisi lapangan.

4.6 Analisis Hidrolik Sungai Sagulung

Untuk mengetahui dampak perubahan tata guna lahan pada peningkatan elevasi muka air, maka dilakukan analisa hidrolik pada DAS Sagulung dengan program HEC-RAS 4.1.0. Analisa hidrolik bertujuan untuk menganalisa kemampuan dimensi penampang Sungai Sagulung dalam menampung limpasan debit banjir rencana dan mengetahui limpasan yang terjadi pada tiap penampang sungai. Dalam analisa hidrolik ini menggunakan program HEC-RAS dengan data debit banjir Q25th dan Q50th yang digunakan merupakan data hasil HEC HMS pada tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017.

Proses analisa menggunakan program HEC-RAS memerlukan beberapa tahapan antara lain :

1. Membuat *new project*
2. Membuat skema sistem sungai
3. Memasukkan data geometri penampang sungai
4. Memasukkan data jarak antar penampang; koefisien kekasaran; batas tampungan dan data ekspansi dan kontraksi pada tiap penampang sungai
5. Memasukkan data debit banjir Q25th dan Q50th serta kondisi batas sungai (*boundary conditions*) di hulu dan hilir sungai pada *steady analysis*.
6. Menjalankan running terhadap data masukan pada *steady analysis*
7. Evaluasi hasil perhitungan

4.6.1. Data Geometri

Data geometri digunakan sebagai data masukan program HEC-RAS untuk dapat mewakili bentuk dan alur sungai yang berada di lapangan. Data tersebut antara lain berupa data skema alur sungai; penampang melintang sungai; dan jarak antara potongan melintang pada sungai yang dianalisa.

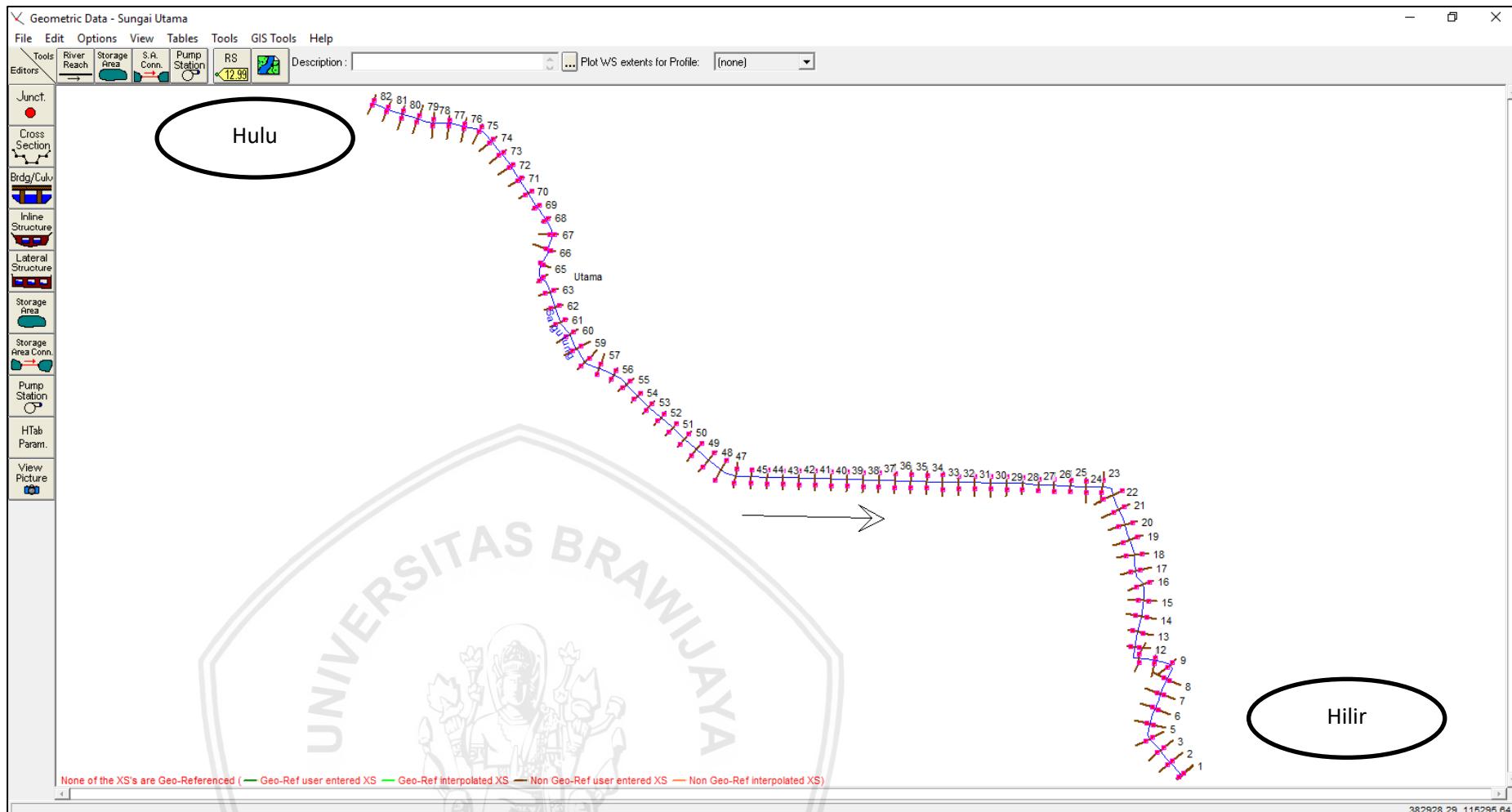
a. Skema alur sungai

Skema alur sungai pada program HEC-RAS menggambarkan bentuk alur sungai dan jangkauan antar patok. Skema alur sungai ini merupakan data masukan awal pada program HEC-RAS 4.1.0. sebelum memasukkan data yang lainnya.

Setiap penampang melintang sungai yang digunakan dalam program HEC-RAS 4.1.0. pada skema alur sungai diberi nomor tiap patok sesuai dengan jarak jangkauan tiap patok. Pada studi ini terdapat 82 penampang sungai dengan penamaan patok bagian hulu berdasarkan pengukuran berada pada patok STA 0+000 namun untuk input data HEC-RAS 4.1.0 dimasukkan patok tersebut ke dalam *river station* 82 sedangkan patok bagian hilir

(muara sungai) berdasarkan pengukuran berada pada patok STA 4+054 namun untuk input data HEC-RAS 4.1.0 dimasukkan ke dalam *river station* 0. Hasil data masukan skema alur sungai beserta lokasi tiap patok dapat dilihat pada gambar 4.56.



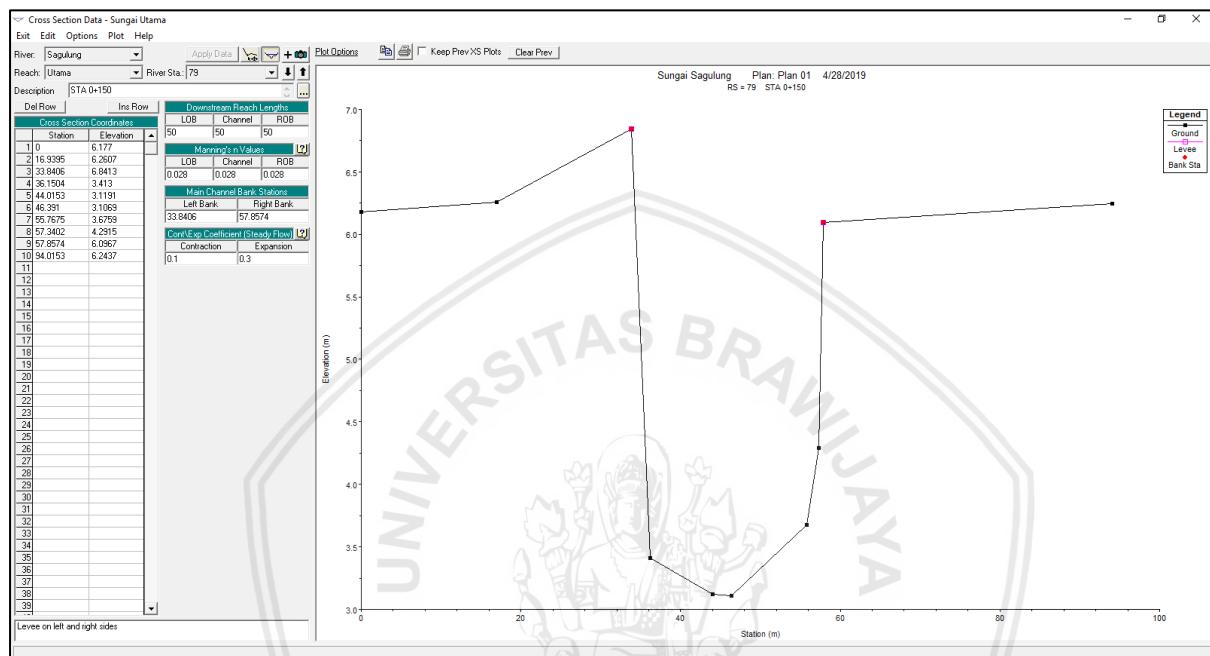


Gambar 4. 56 Skema alur Sungai Sagulung

Sumber: Hasil Analisa (2019).

b. Geometri penampang melintang sungai

Data penampang melintang sungai merupakan data hasil pengukuran di lapangan yang berupa elevasi muka tanah dari kiri sampai kanan yang tegak lurus terhadap sungai dari hulu sampai hilir sesuai dengan jangkauan pengukuran tiap penampang. Berikut ini gambar contoh data masukan penampang sungai pada STA 1+150 (*river station* 79) beserta gambar potongan melintang pada program HEC-RAS 4.1.0.



Gambar 4. 57 Penampang sungai STA 1+150 (river station 79)

Sumber: Hasil Analisa (2019).

Data input geometri penampang sungai untuk Sungai Sagulung pada program HEC-RAS 4.1.0 yaitu menggunakan sesuai dengan data pengukuran di lapangan, yaitu sepanjang 4,054 km dengan jarak jangkauan tiap patok untuk STA 0+000 sampai STA 4+050 berjarak 50 meter sedangkan untuk STA 4+050 sampai STA 4+054 berjarak 4 meter.

c. Koefisien Kekasaran *Manning*

Koefisien kekasaran *Manning* (*n*) yang dipakai pada studi ini diambil berdasarkan kondisi sungai di lapangan. Untuk sungai utama (untuk STA 0+000 sampai STA 4+054) berdasarkan kondisi sungai yang bersih, penuh dengan air, tidak ada celah dan air dalam tidak beriak (tenang), lebih banyak batuan, dan terdapat rumput liar berdasarkan tabel koefisien *Manning* diambil angka koefisien *manning* sebesar 0.028.

d. Koefisien kontraksi dan ekspansi

Kontraksi dan ekspansi terjadi akibat gesekan yang disebabkan perubahan penampang atau perubahan kemiringan dasar sungai. Angka koefisien konstraksi dan ekspansi untuk

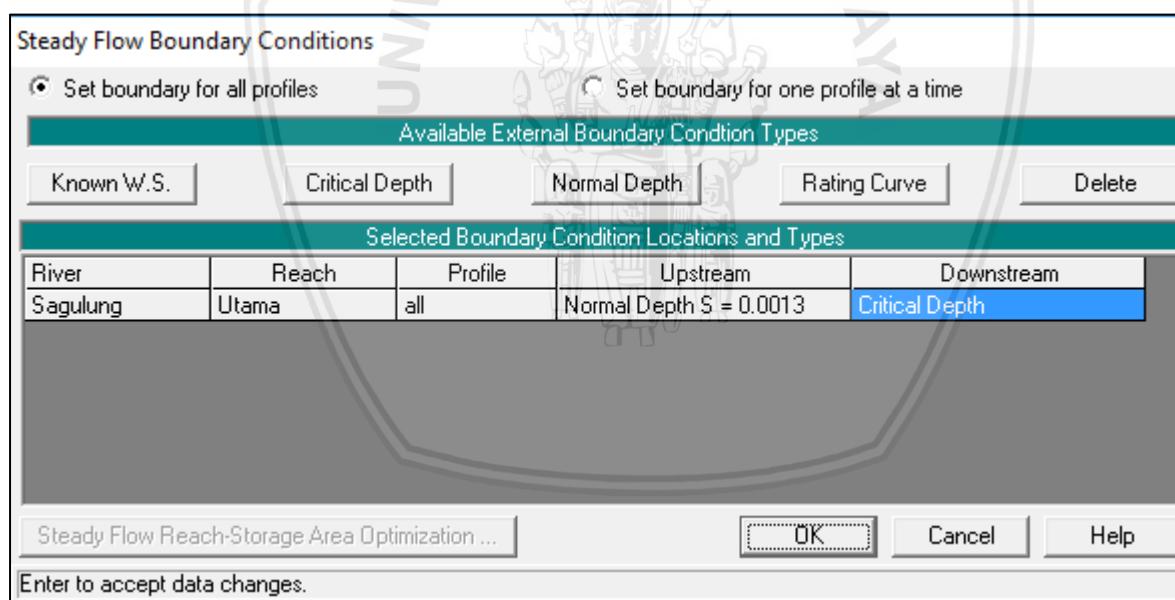
Sungai Sagulung menggunakan 0.1 dan 0.3 yang berasal dari tabel koefisien kontraksi dan ekspansi yaitu termasuk kondisi berubah berangsur-angsur.

4.6.2. Data Masukan pada Aliran Tetap

Data masukan pada aliran tetap digunakan untuk menjalankan program HEC-RAS 4.1.0. dan mengetahui profil muka air pada sungai apakah terjadi limpasan atau tidak sesuai dengan 2 kondisi, yaitu kondisi dengan debit banjir Q25th dan Q50th pada tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017. Data masukan ini berupa batas kondisi (*Boundary Condition*) yaitu dimana batas kondisi yang berada di hulu dan hilir. Batas hulu menggunakan Normal *depth* dengan *slope rerata* = 0.0013 sedangkan batas hilir menggunakan *critical depth*.

Data masukan pada program HEC-RAS 4.1.0

1. Debit yang digunakan: Q25th dan Q50th pada tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017.
 - Ruas sungai Patok 0-82: Debit banjir rancangan outlet hilir DAS
2. Batas hulu: *Normal depth* dengan slope rerata = 0.0013
3. Batas hilir: *Critical depth*



Gambar 4. 58 Data Masukan pada Steady Flow Boundary Conditions.
Sumber: Hasil Analisa (2019).

4.6.3. Hasil *Running* HEC-RAS

Setelah melakukan proses *running program* HEC-RAS 4.1.0 didapatkan hasil *running* yaitu terjadi limpasan pada beberapa penampang Sungai Sagulung dengan debit Q25th dan Q50th pada tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017. Limpasan akibat banjir dapat Sungai Sagulung sesuai dengan kondisi di lapangan di mana setiap tahun terjadi limpasan air sungai

akibat hujan yang terjadi di lokasi tersebut yang dapat dilihat pada gambar dokumentasi kondisi banjir di Sungai Sagulung tahun 2016.

Untuk mengetahui pengaruh perubahan tata guna lahan yang terjadi pada tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017 dengan melihat hasil simulasi HEC-RAS 4.1.0 pada penampang sungai STA 0+150 (*River Station 79*) dengan masukan data debit Q25th dan Q50th. Pada penampang sungai Sagulung STA 0+150 (*River Station 79*) berdasarkan hasil simulasi HEC-RAS terdapat kenaikan elevasi muka air pada tiap tahun pada debit Q25th dan Q50th yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 27 Hasil Simulasi HEC-RAS pada STA 0+150 Tiap Tahun dengan Q25th

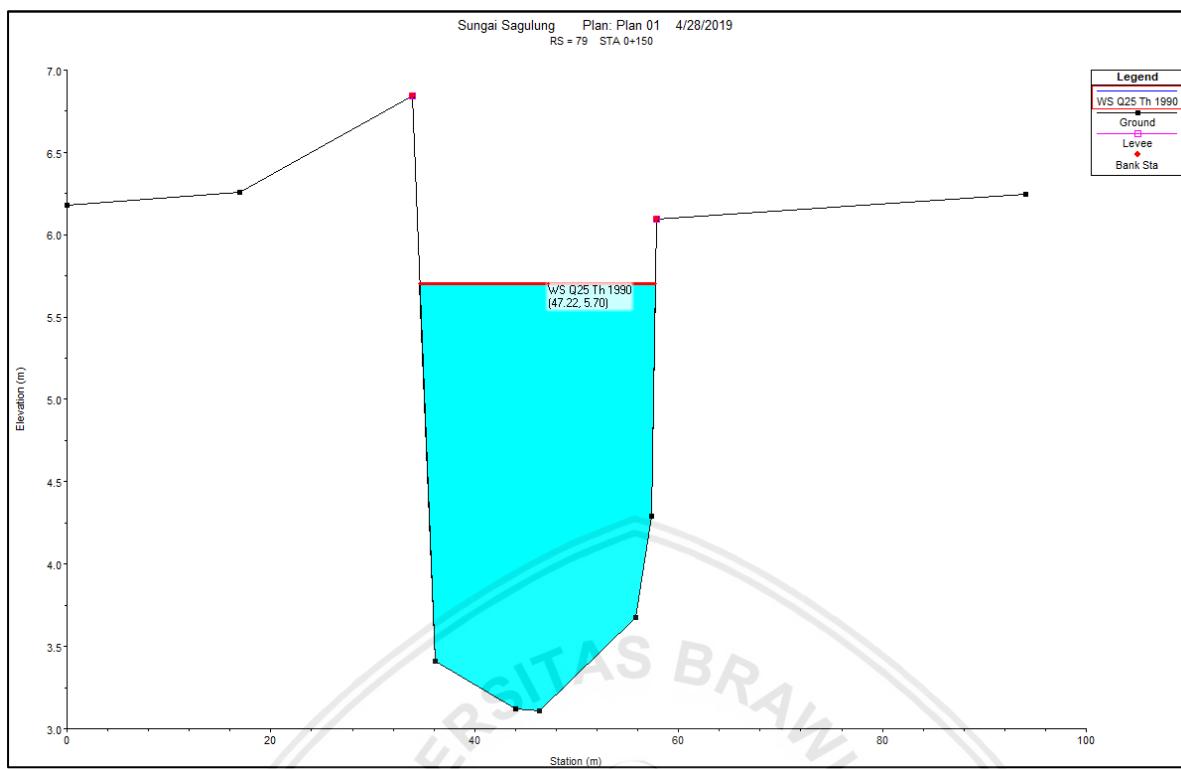
STA	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Froude
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	
0+150	Q25 Th 1990	113.4	3.11	5.7011	5.95	0.00147	2.19	0.47
0+150	Q25 Th 2000	160.6	3.11	6.1902	6.52	0.00160	2.54	0.5
0+150	Q25 Th 2008	165.9	3.11	6.2377	6.57	0.00160	2.57	0.5
0+150	Q25 Th 2017	199.1	3.11	6.5435	6.89	0.00150	2.65	0.49

Sumber: Hasil Analisa (2019).

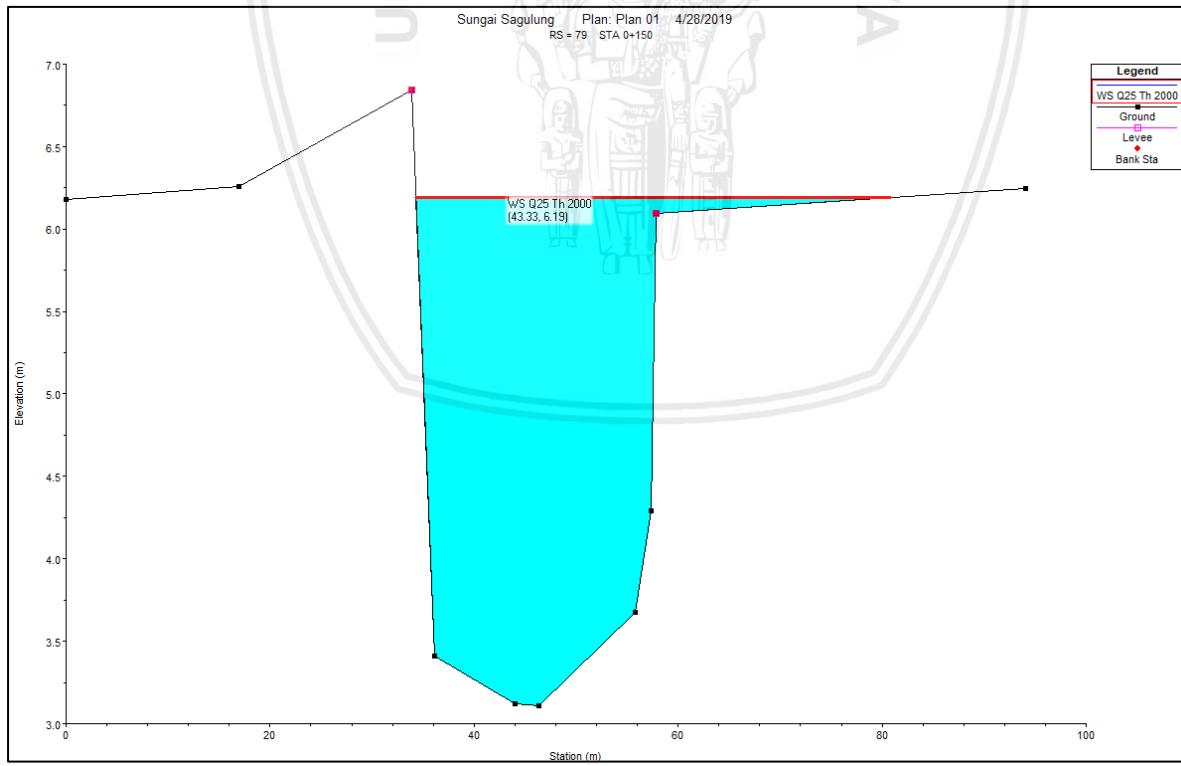
Tabel 4. 28 Hasil Simulasi HEC-RAS pada STA 0+150 Tiap Tahun dengan Q50th

STA	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Froude
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	
0+150	Q50 Th 1990	179.5	3.11	6.3725	6.71	0.00156	2.61	0.49
0+150	Q50 Th 2000	240.9	3.11	6.8639	7.16	0.00126	2.57	0.45
0+150	Q50 Th 2008	247.3	3.11	6.9163	7.2	0.00121	2.56	0.45
0+150	Q50 Th 2017	286.9	3.11	7.2274	7.47	0.00099	2.45	0.41

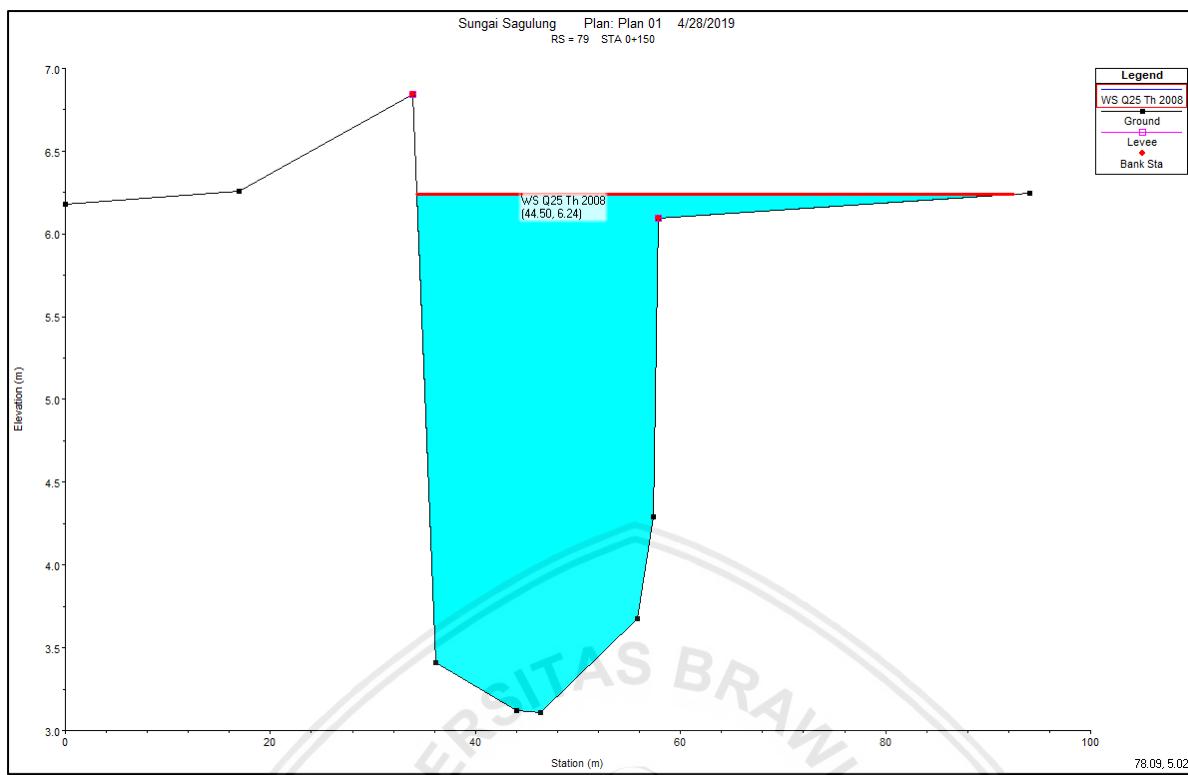
Sumber: Hasil Analisa (2019).



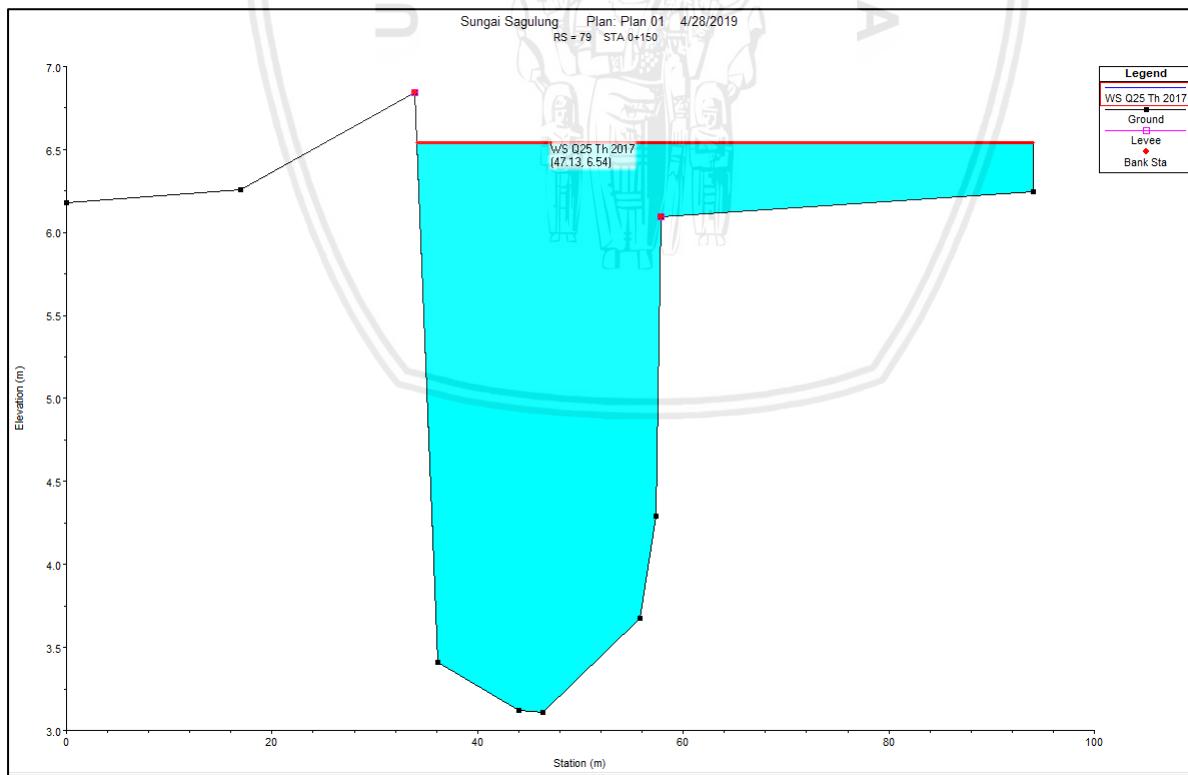
Gambar 4. 59 Profil muka air STA 0+150 (River Station 79) dengan Q25th Tahun 1990
Sumber: Hasil Analisa (2019).



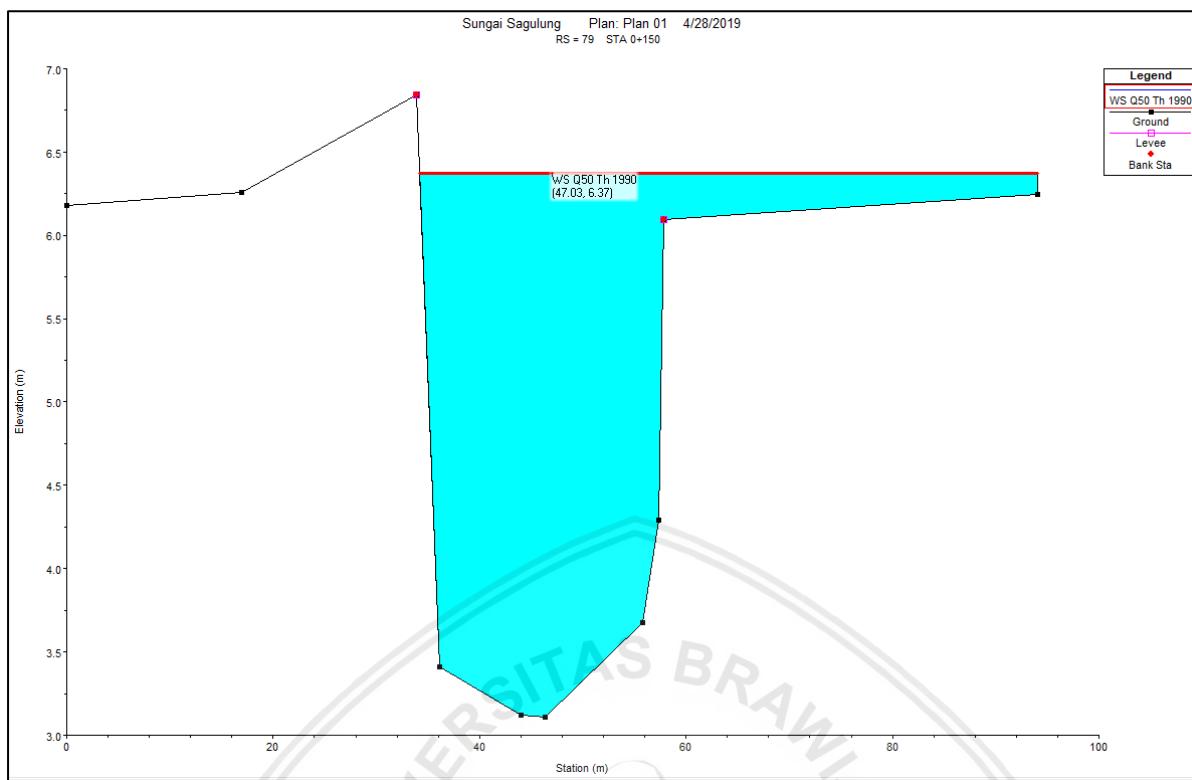
Gambar 4. 60 Profil muka air STA 0+150 (River Station 79) dengan Q25th Tahun 2000
Sumber: Hasil Analisa (2019).



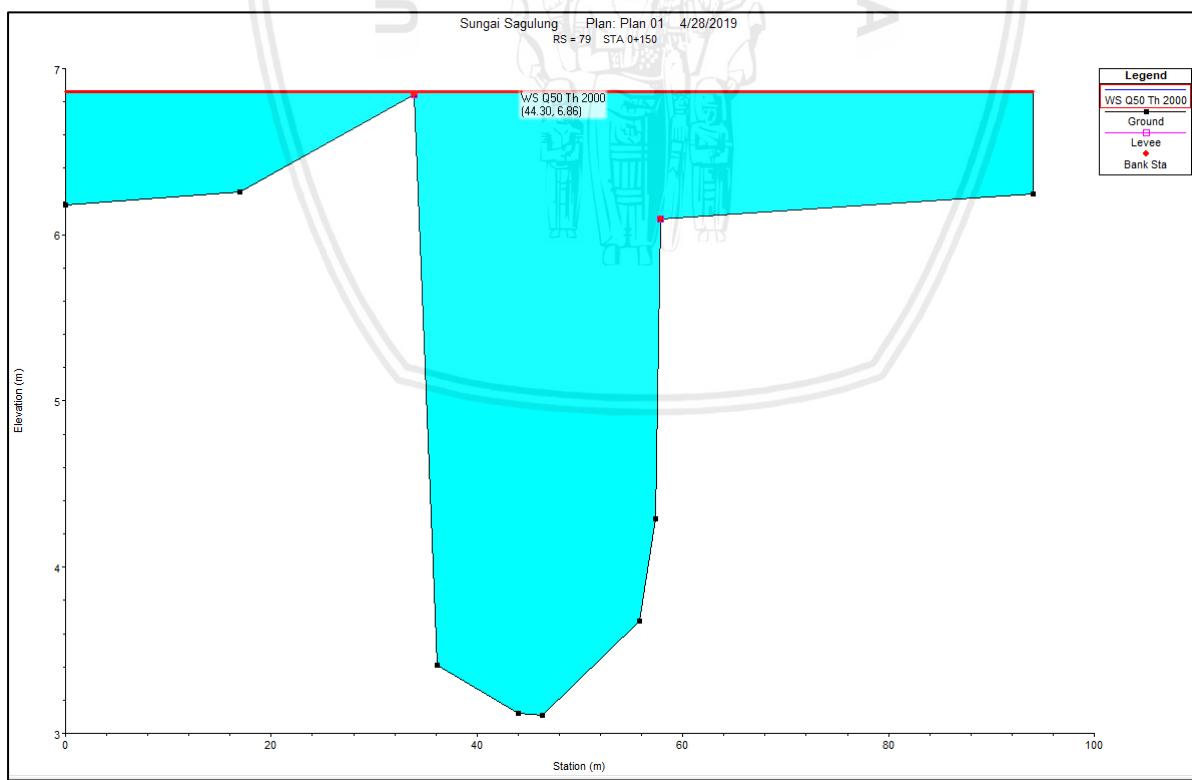
Gambar 4. 61 Profil muka air STA 0+150 (*River Station 79*) dengan Q25th Tahun 2008
Sumber: Hasil Analisa (2019).



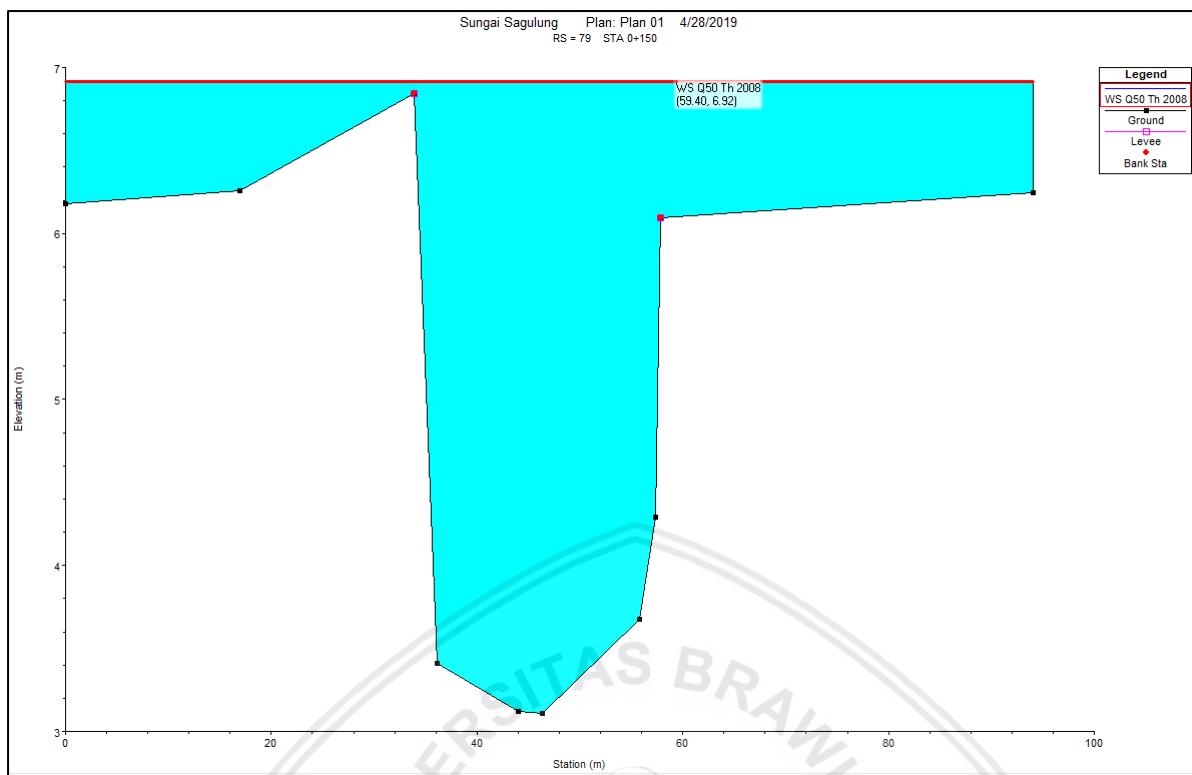
Gambar 4. 62 Profil muka air STA 0+150 (*River Station 79*) dengan Q25th Tahun 2017
Sumber: Hasil Analisa (2019).



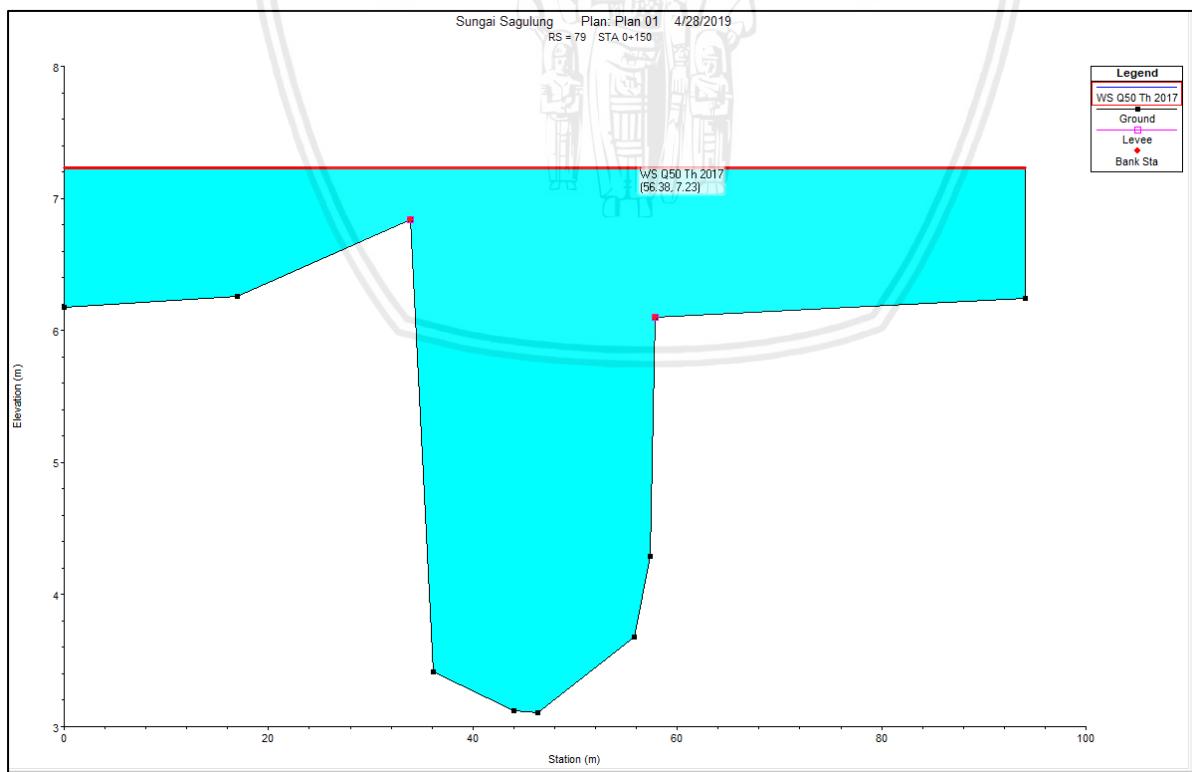
Gambar 4. 63 Profil muka air STA 0+150 (River Station 79) dengan Q50th Tahun 1990
Sumber: Hasil Analisa (2019).



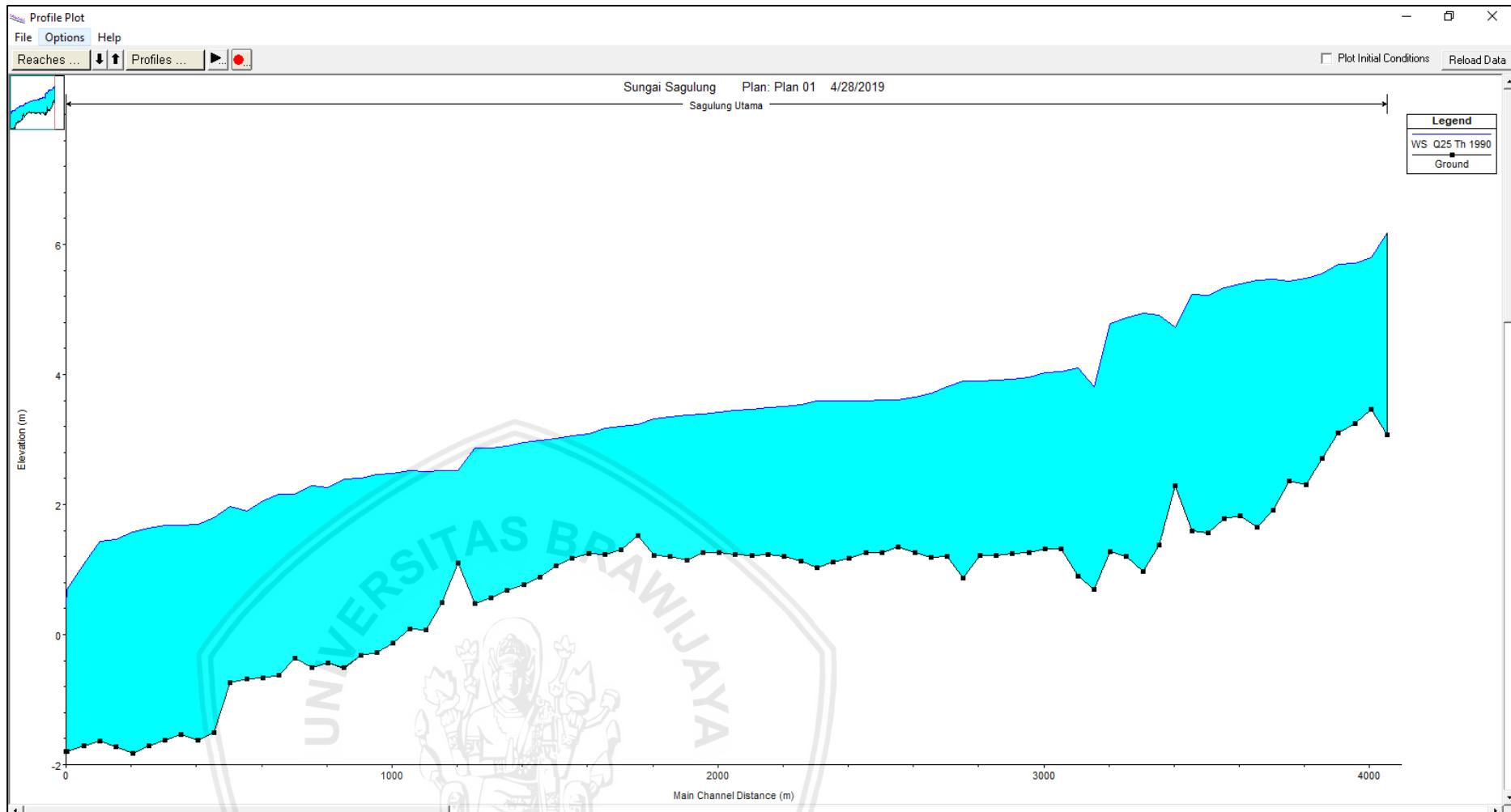
Gambar 4. 64 Profil muka air STA 0+150 (River Station 79) dengan Q50th Tahun 2000
Sumber: Hasil Analisa (2019).



Gambar 4. 65 Profil muka air STA 0+150 (*River Station 79*) dengan Q50th Tahun 2008
Sumber: Hasil Analisa (2019).

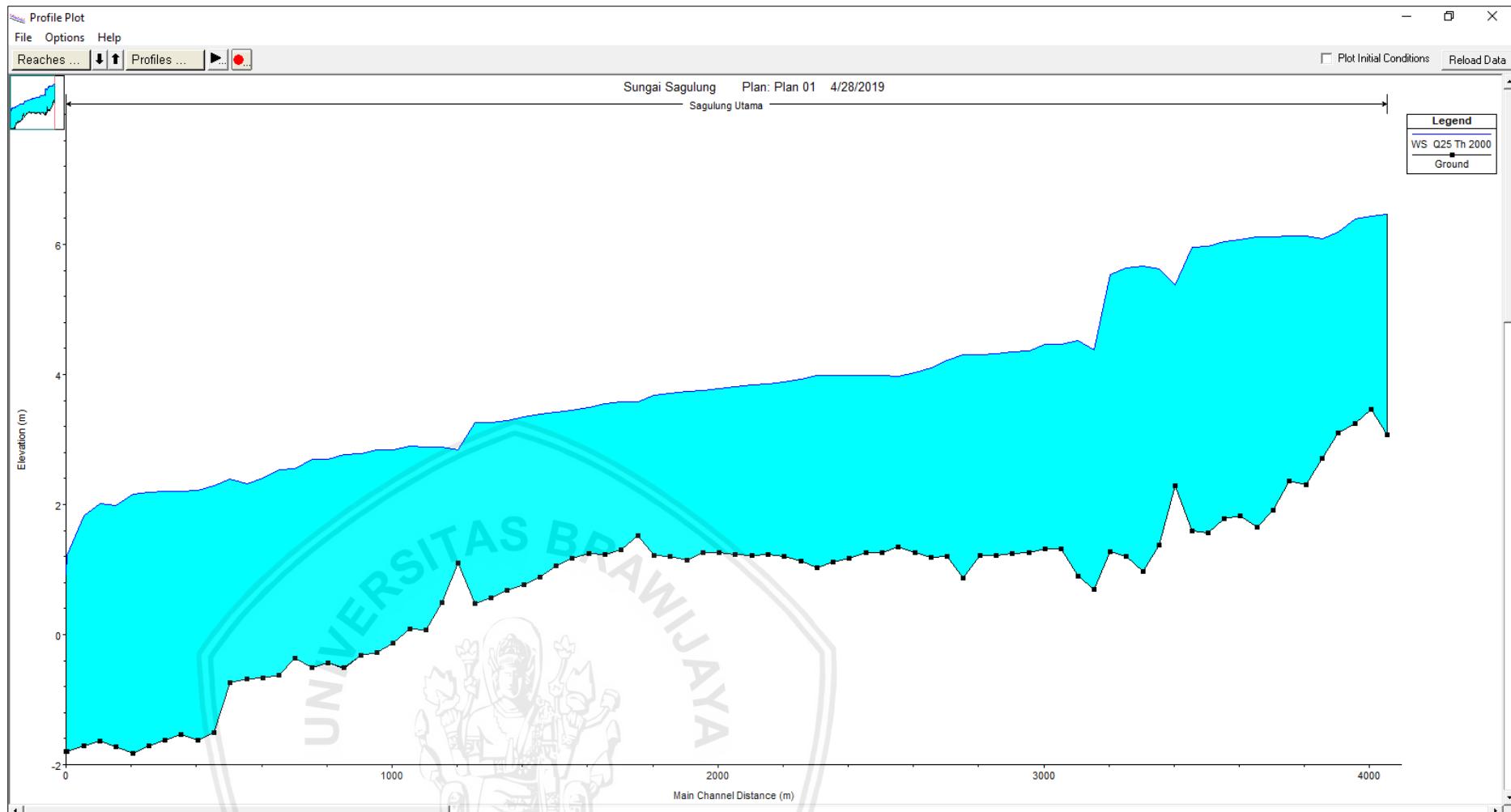


Gambar 4. 66 Profil muka air STA 0+150 (*River Station 79*) dengan Q50th Tahun 2017
Sumber: Hasil Analisa (2019).



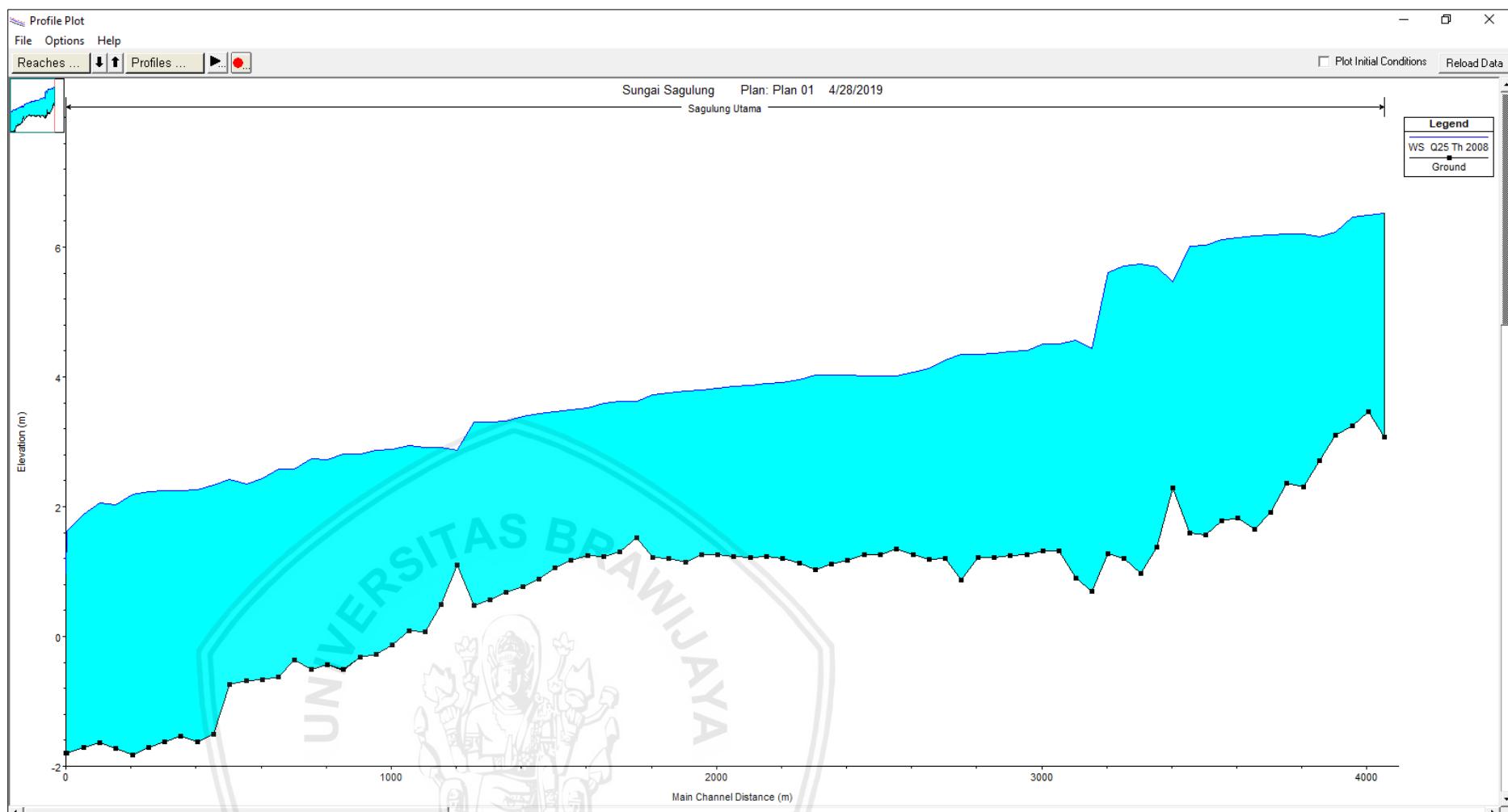
Gambar 4. 67 Profil muka air *long section* Sungai Sagulung dengan Q25th pada Tahun 1990

Sumber: Hasil Analisa (2019).



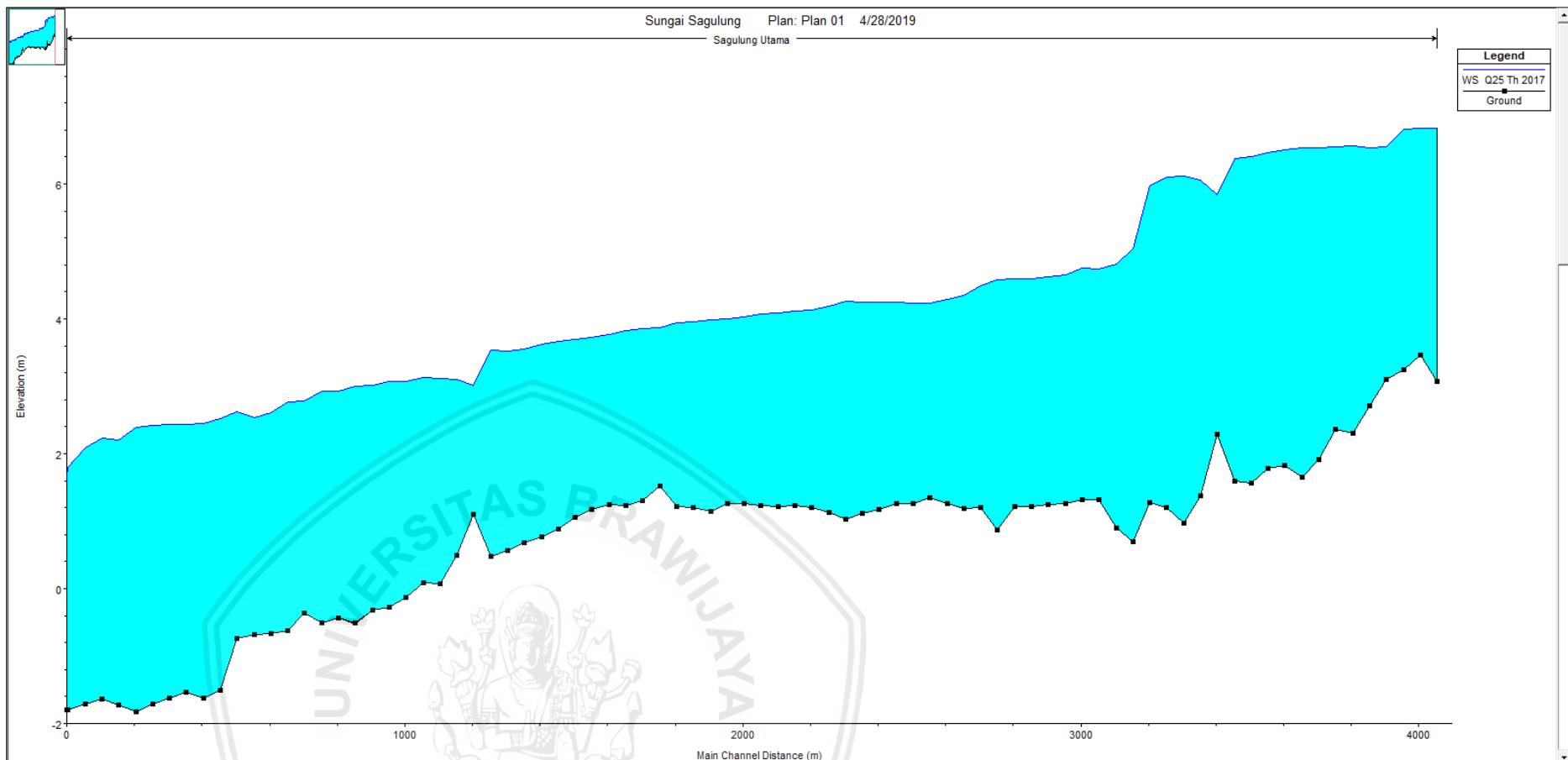
Gambar 4. 68 Profil muka air Long Section Sungai Sagulung dengan Q25th pada Tahun 2000

Sumber: Hasil Analisa (2019).



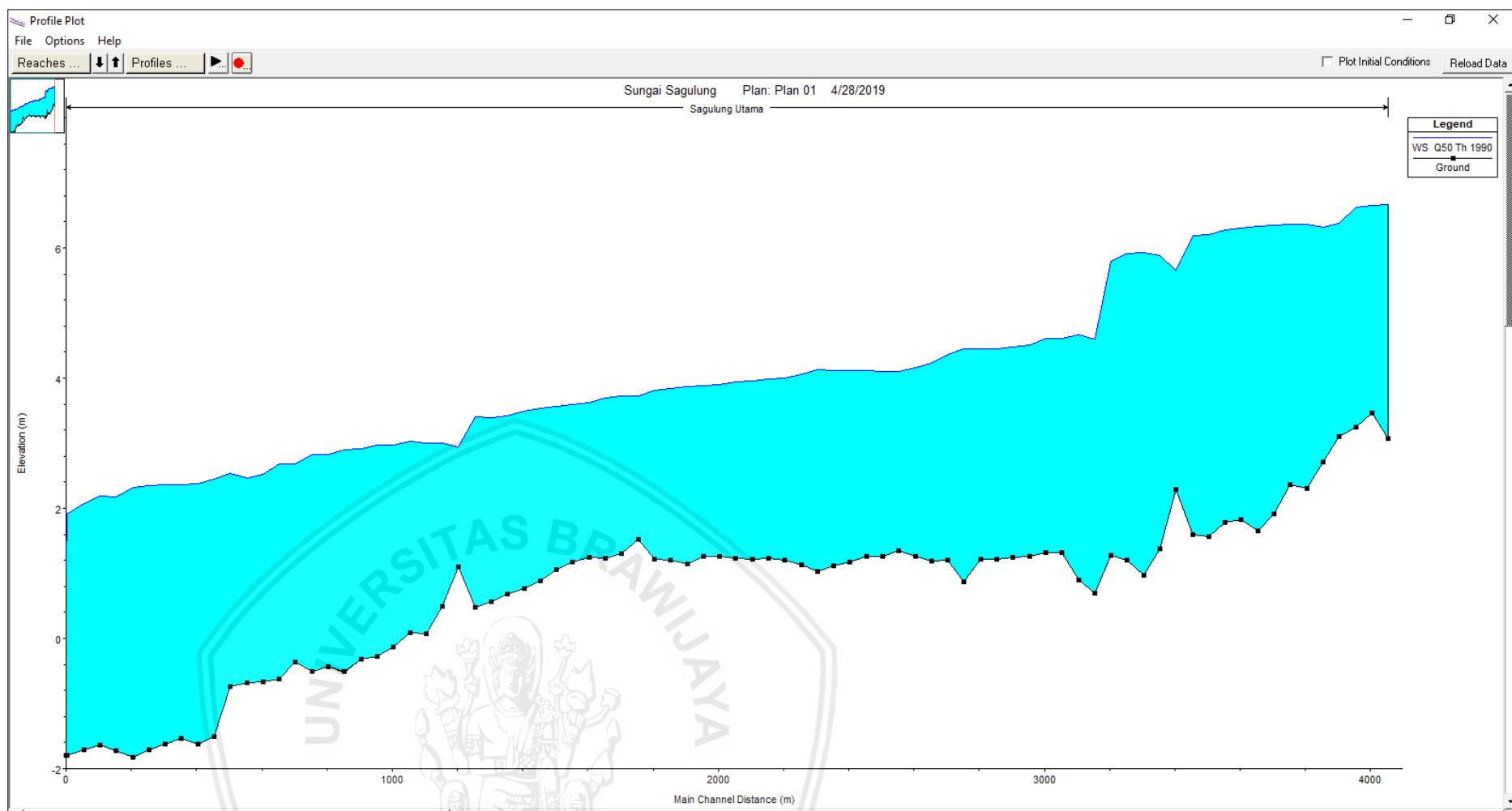
Gambar 4. 69 Profil muka air *long section* Sungai Sagulung dengan Q25th pada Tahun 2008

Sumber: Hasil Analisa (2019).



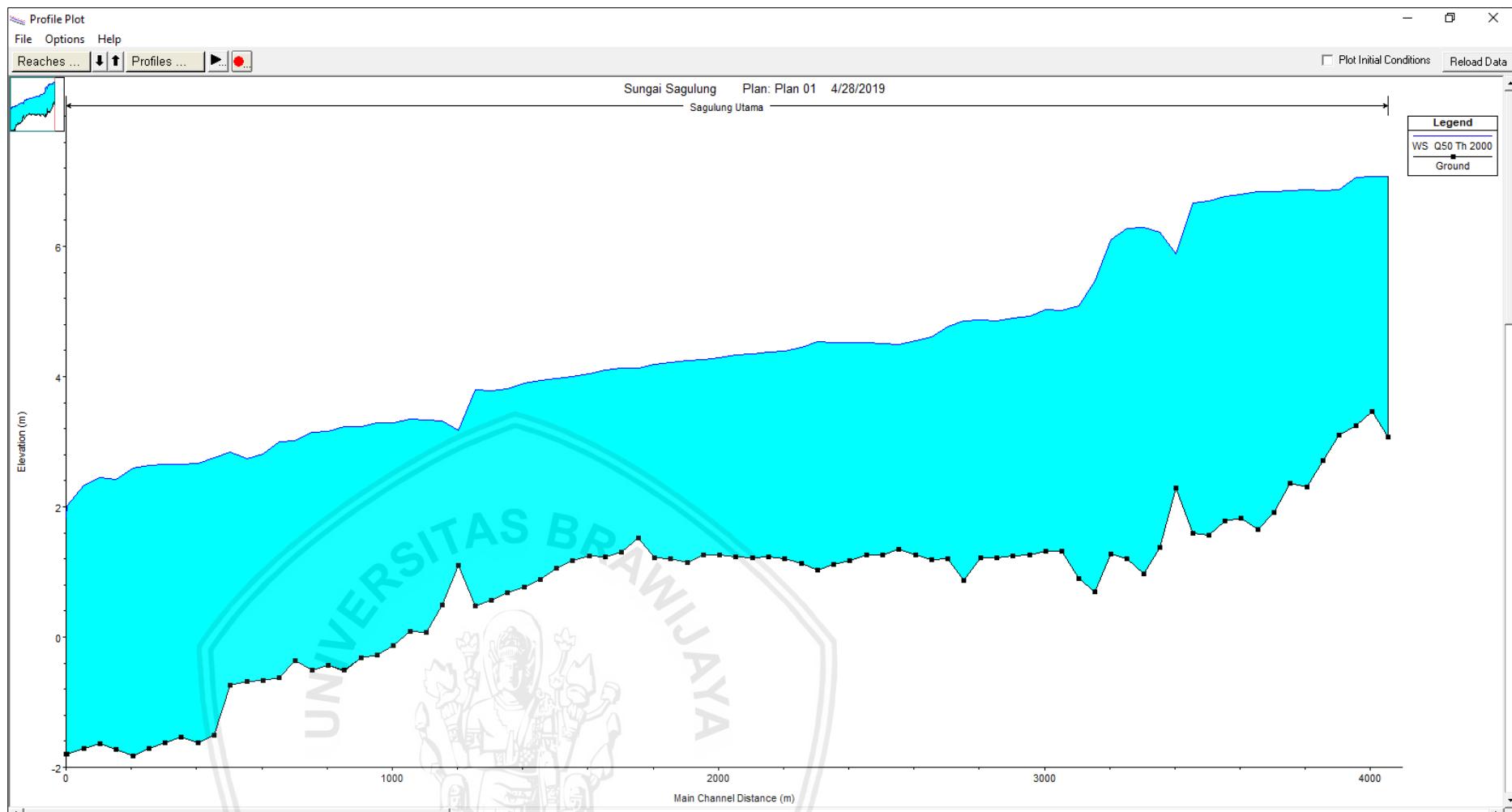
Gambar 4. 70 Profil muka air *Long Section* Sungai Sagulung dengan Q25th pada Tahun 2017

Sumber: Hasil Analisa (2019).



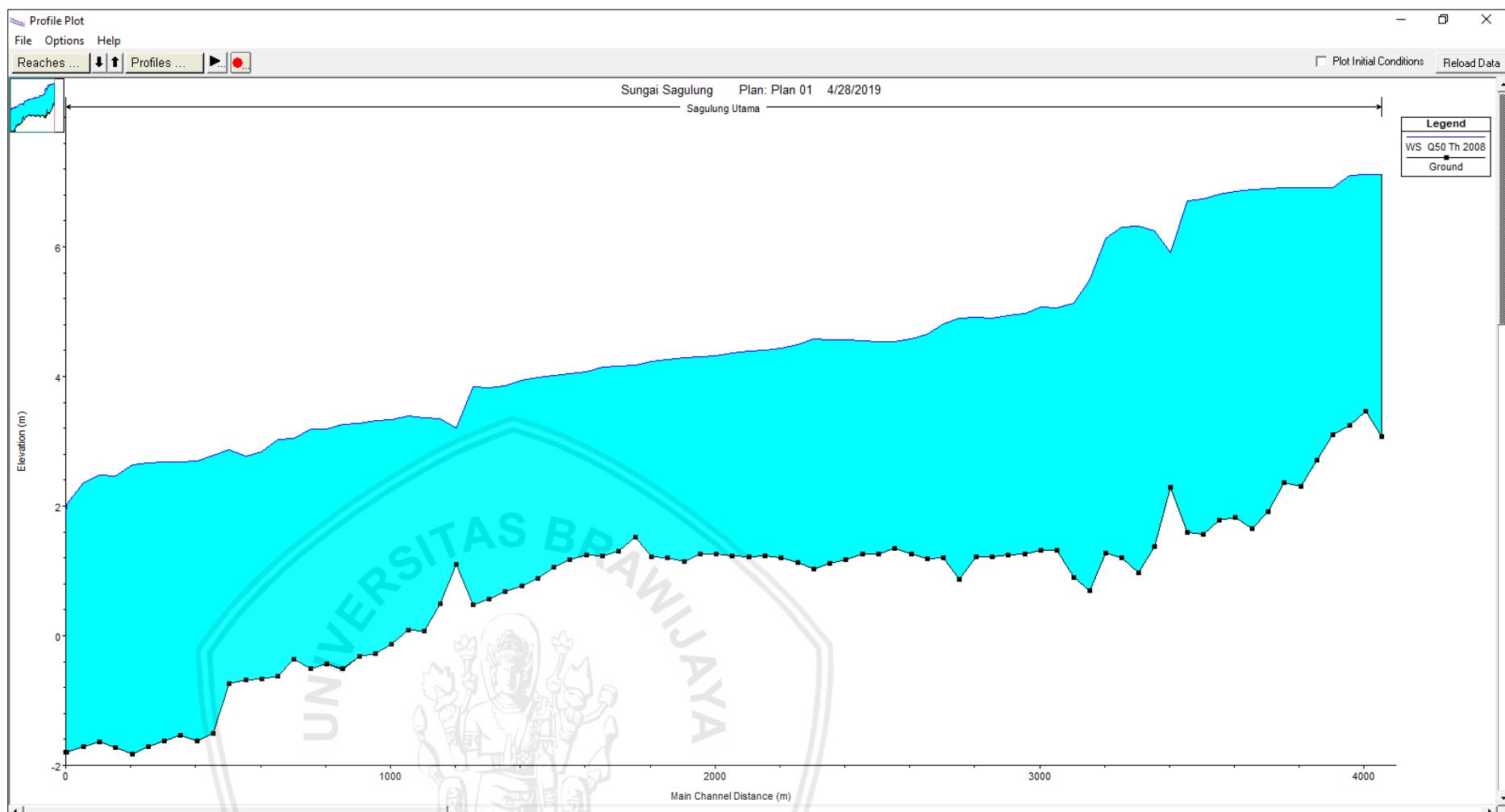
Gambar 4. 71 Profil muka air *long section* Sungai Sagulung dengan Q50th pada Tahun 1990

Sumber: Hasil Analisa (2019).



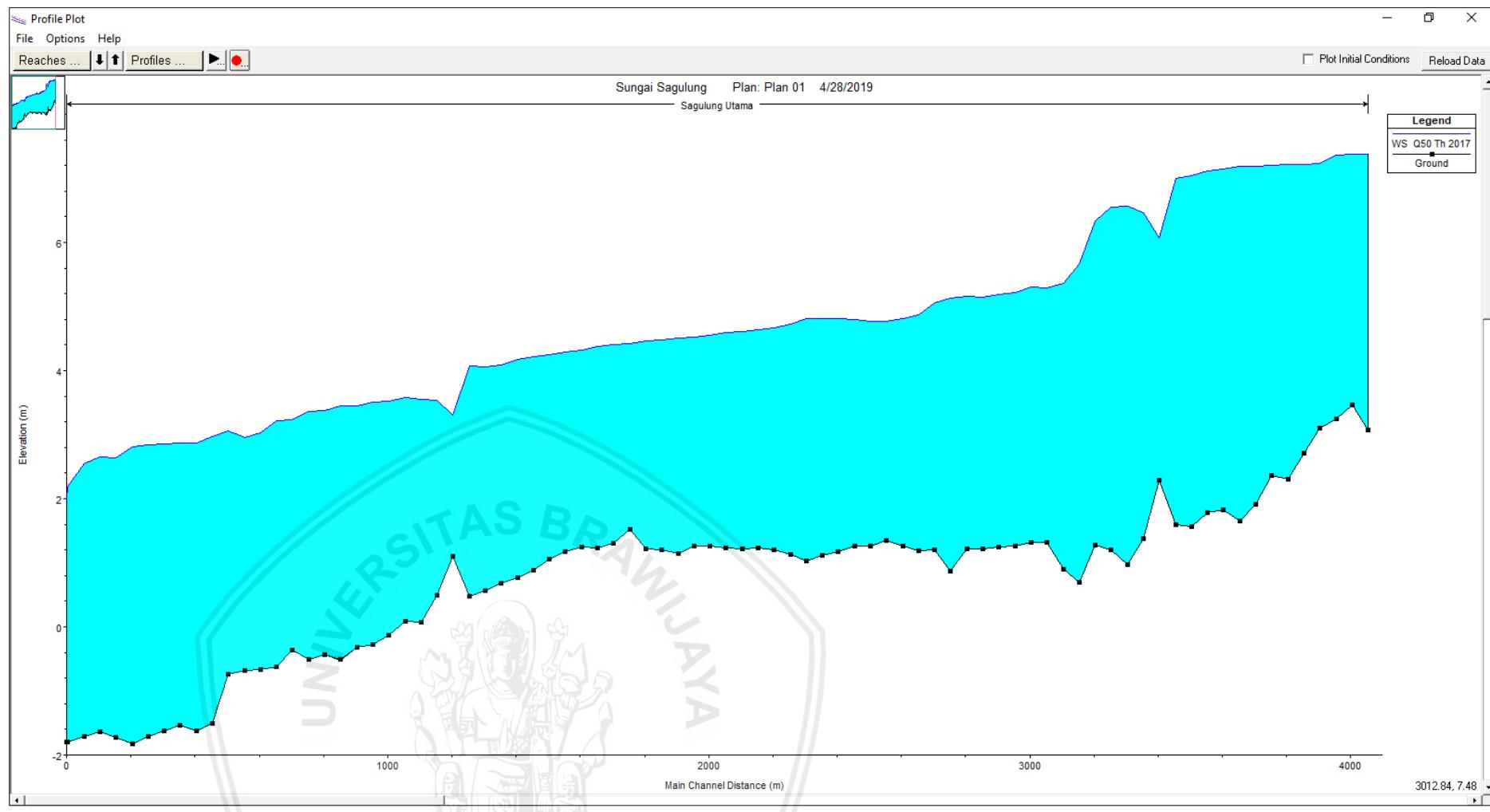
Gambar 4. 72 Profil muka air *long section* Sungai Sagulung dengan Q50th pada Tahun 2000

Sumber: Hasil Analisa (2019).



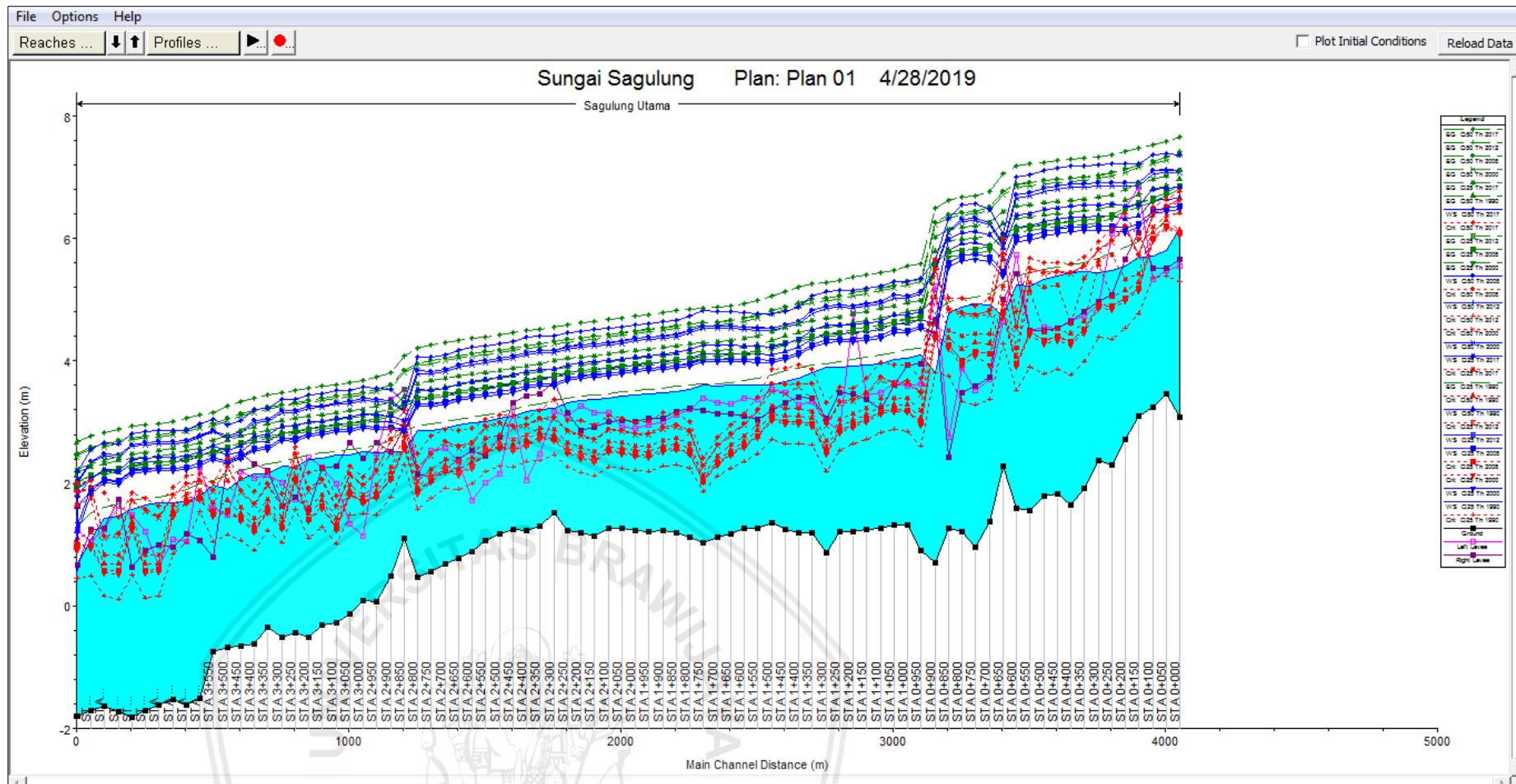
Gambar 4. 73 Profil muka air *long section* Sungai Sagulung dengan Q50th pada Tahun 2008

Sumber: Hasil Analisa (2019).



Gambar 4. 74 Profil muka air *long section* Sungai Sagulung dengan Q50th pada Tahun 2017

Sumber: Hasil Analisa (2019).



Gambar 4. 75 Grafik rekapitulasi debit banjir Q25 dan Q50 pada tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017

Sumber: Hasil Analisa (2019).

4.7 Analisa Sebaran Genangan Banjir

Untuk analisa sebaran genangan banjir didapatkan berdasarkan hasil simulasi dari program HEC-RAS dengan debit banjir Q25th dan Q50th pada tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017. Hasil simulasi HEC-RAS tersebut kemudian dioverlaykan ke program *Google Earth* untuk mengetahui luas area genangan banjir di DAS Sagulung. Besarnya luas area genangan banjir dengan Q25th dan Q50th dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4. 29 Luas Area Genangan Banjir Q25th dan Q50th

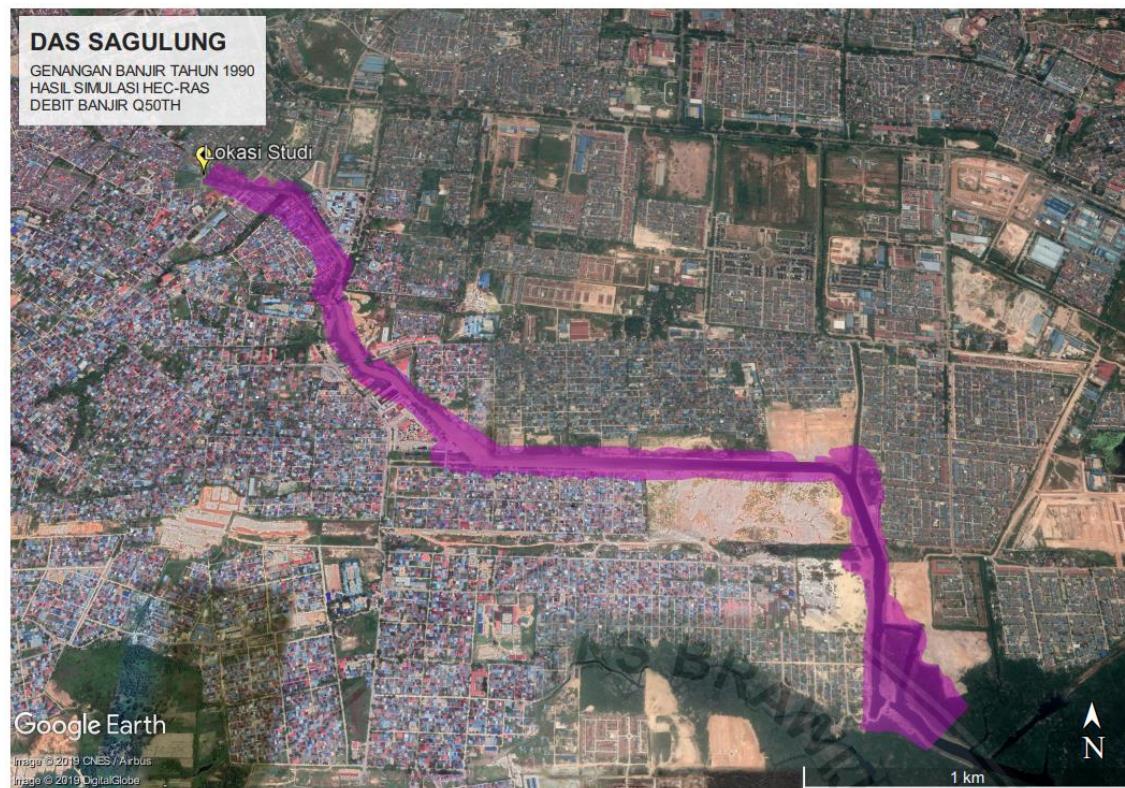
Tahun	Luas Area Genangan (km ²)	
	Q25th	Q50th
1990	0.35	0.44
2000	0.37	0.50
2008	0.44	0.53
2017	0.50	0.60

Sumber: Hasil Analisa (2019).

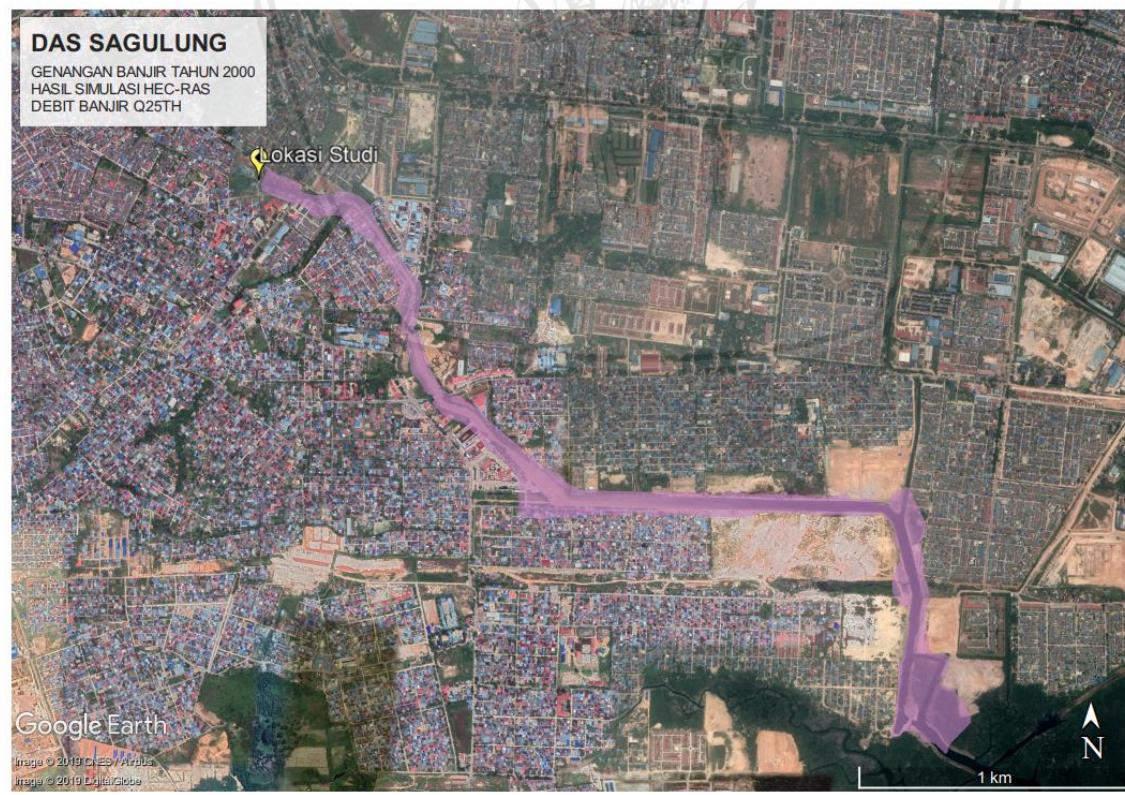
Berikut gambar area genangan pada DAS Sagulung dengan debit banjir Q25th dan Q50th pada tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017.



Gambar 4. 76 Sebaran genangan banjir Tahun 1990 dengan debit banjir Q25th
Sumber: Hasil Analisa (2019).



Gambar 4. 77 Sebaran genangan banjir Tahun 1990 dengan debit banjir Q50th
Sumber: Hasil Analisa (2019).



Gambar 4. 78 Sebaran genangan banjir Tahun 2000 dengan debit banjir Q25th
Sumber: Hasil Analisa (2019).



Gambar 4. 79 Sebaran genangan banjir Tahun 2000 dengan debit banjir Q50th
Sumber: Hasil Analisa (2019).



Gambar 4. 80 Sebaran genangan banjir Tahun 2008 dengan debit banjir Q25th

Sumber: Hasil Analisa (2019).

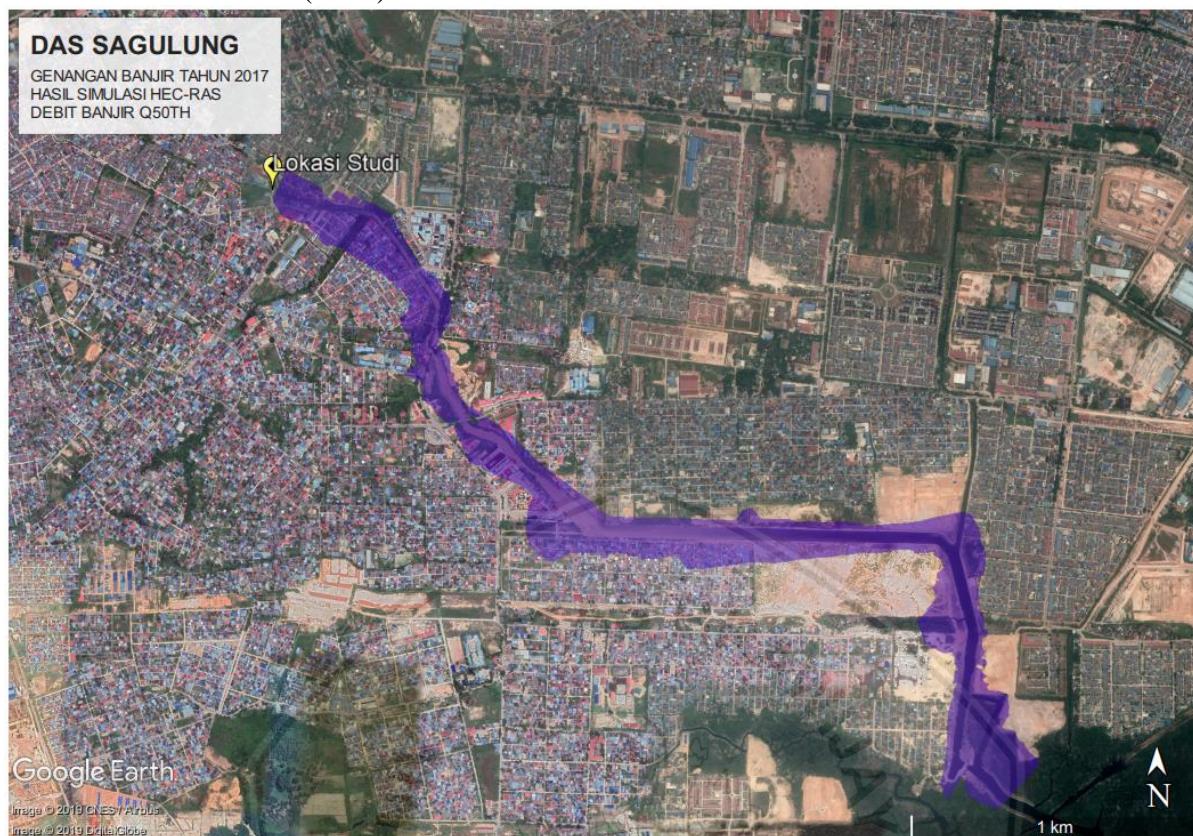


Gambar 4. 81 Sebaran genangan banjir Tahun 2008 dengan debit banjir Q50th
Sumber: Hasil Analisa (2019).



Gambar 4. 82 Sebaran genangan banjir tahun 2017 dengan debit banjir Q25th

Sumber: Hasil Analisa (2019).



Gambar 4. 83 Sebaran genangan banjir Tahun 2017 dengan debit banjir Q50th
Sumber: Hasil Analisa (2019).

4.8 Hasil Analisis Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan terhadap besaran Banjir

Berdasarkan analisa, maka diperoleh hasil perubahan tata guna lahan pada tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017 di DAS Sagulung dapat diidentifikasi sebagai berikut.

- a. Tutupan lahan DAS Sagulung pada tahun 1990 sudah didominasi dengan kawasan permukiman yaitu sebesar 35% luas wilayahnya. Besar CN terbobot pada tahun 1990 adalah sebesar 56.224.
- b. Pada tahun 2000, kawasan semak belukar yang ditahun 1990 memiliki luas 4.81 km^2 beralih fungsi menjadi kawasan pemukiman. Sehingga pada tahun 2000 luas kawasan permukiman menjadi 13.35 km^2 atau sebesar 55% luas DAS Sagulung. Besar CN terbobot DAS Sagulung tahun 2000 adalah 63.735.
- c. Di tahun 2008, luas kawasan permukiman di DAS Sagulung mencapai 62% luas DAS-nya. Luas kawasan pertanian lahan kering berkurang sebanyak 6%. Untuk CN terbobot DAS Sagulung tahun 2008 adalah sebesar 64.506.

- d. Pada tahun 2017, besar presentasi luas kawasan permukimannya mencapai 70% dari luas DAS Sagulung. Sehingga hanya menyisakan sekitar 30% lahannya untuk kawasan pertanian, hutan dan tubuh air. Besar CN terbobot DAS Sagulung pada tahun 2017 adalah 69.179.

Permodelan dengan menggunakan HEC-HMS dilakukan untuk tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017. Permodelan dilakukan dengan memperhatikan perubahan lahan yang terjadi tiap tahunnya. Debit banjir yang dihitung menggunakan HEC-HMS adalah debit banjir rencana untuk 25 dan 50 tahunan. Hasil permodelan dengan HEC-HMS dapat menunjukkan *peakflow* dari masing-masing model yang dilakukan pada outlet DAS Sagulung.

- a. Untuk permodelan berdasarkan tutupan lahan tahun 1990 dengan nilai CN terbobotnya adalah 56,224, didapatkan *peakflow* untuk banjir rencana 25 dan 50 tahunan masing-masing adalah sebesar 113,4 m³/s dan 179,5 m³/s.
- b. Tutupan lahan pada tahun 2000 memiliki nilai CN terbobot sebesar 63,735. Berdasarkan hasil permodelan, besar *peakflow* untuk banjir 25 tahunannya adalah 160,6 m³/s dan untuk debit banjir 50 tahunannya adalah 240,9 m³/s.
- c. Selanjutnya untuk tutupan lahan pada tahun 2008 memiliki nilai CN terbobot sebesar 64,506. Berdasarkan hasil permodelan, besar *peakflow* untuk banjir 25 tahunannya adalah 165,9 m³/s dan untuk debit banjir 50 tahunannya adalah 247,3 m³/s
- d. Untuk tahun 2017 perubahan tutupan lahan yang terjadi menyebabkan perubahan nilai CN sehingga pada tahun 2017 didapatkan nilai CN terbobotnya adalah 69,179. Dengan perubahan nilai CN tersebut didapatkan besar *peakflow* untuk debit banjir 25 dan 50 tahunannya adalah 199,1 m³/s dan 286,9 m³/s.
- e. Berdasarkan hasil permodelan menggunakan HEC-HMS didapatkan masing-masing hidrograf untuk setiap skenario yang dibuat. Perubahan tutupan lahan pada tahun 1990 hingga 2017 menyebabkan perubahan nilai CN yang cukup besar yaitu dari 56,224 menjadi 69,179. Sehingga besar debit banjir rencana yang didapatkan juga berubah dari 113,4 m³/s dan 179,5 m³/s menjadi 199,1 m³/s dan 286,9 m³/s.

Untuk mengetahui sebaran genangan banjir yang terjadi maka dilakukan analisa hidrolika yang menggunakan program HEC-RAS dengan data debit banjir Q25th dan Q50th yang digunakan merupakan data hasil HEC HMS pada tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017, dan diperoleh hasil sebagai berikut

- a. Pada tahun 1990 pada saat Q 25 terjadi luas area genangan sebesar $0,35 \text{ Km}^2$, pada saat Q 50 terjadi luas area genangan sebesar $0,44 \text{ Km}^2$
- b. Pada tahun 2000 pada saat Q 25 terjadi luas area genangan sebesar $0,37 \text{ Km}^2$, pada saat Q 50 terjadi luas area genangan sebesar $0,50 \text{ Km}^2$
- c. Pada tahun 2008 pada saat Q 25 terjadi luas area genangan sebesar $0,44 \text{ Km} \text{ Km}^2$, pada saat Q 50 terjadi luas area genangan sebesar $0,53 \text{ Km}^2$
- d. Pada tahun 2017 pada saat Q 25 terjadi luas area genangan sebesar $0,50 \text{ Km}^2$, pada saat Q 50 terjadi luas area genangan sebesar $0,60 \text{ Km}^2$

Berdasarkan analisa yang sudah dilakukan diperoleh hubungan antara nilai CN, debit banjir dan elevasi muka air sungai, semakin besar nilai CN maka semakin besar pula debit banjir yang terjadi yang mengakibatkan tingginya elevasi muka air di Sungai Sagulung.

Perubahan tata guna lahan DAS Sagulung tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017 dengan debit Q25th dan Q50th berdampak signifikan terhadap genangan yang terjadi, terutama akibat alih fungsi lahan di bagian hulu DAS dan perubahan penampang sungai di daerah sekitar pemukiman bagian hilir DAS di sepanjang sempadan sungai serta kondisi ruang terbuka hijau berkurang mengakibatkan limpasan hujan (*run off*) menjadi tinggi.

Berdasarkan tabel 4.15 perubahan tata guna lahan dengan bertambahnya luas pemukiman dari tahun 1990 sampai 2017, dari luas pemukiman seluas 8.54 km^2 pada tahun 1990 menjadi 17.11 km^2 pada tahun 2017, sehingga beberapa lokasi di sepanjang sempadan sungai Sagulung mengalami penyempitan dengan adanya rumah warga. Sempadan sungai juga seringkali dimanfaatkan oleh warga sebagai tapak bangunan. Hal itu menyebabkan berkurangnya area infiltrasi dan menyebabkan terjadinya banjir besar.

Berikut foto kondisi banjir pada ruas sungai DAS sagulung pada tahun 2016 dan 2017 terjadi banjir air sungai meluap tanggul hingga masuk ke pemukiman, sesuai di gambar bawah ini:



Gambar 4. 84 Kondisi banjir DAS Sagulung pada Tahun 2016

Sumber: Dokumentasi.



Gambar 4. 85 Kondisi banjir DAS Sagulung pada Tahun 2016

Sumber: Dokumentasi.

4.9 Strategi Penanganan Masalah

Di sepanjang Sungai Sagulung berikut wilayah tangkapannya terdapat beberapa hal yang menjadi perhatian khusus terutama pada kondisi daerah sempadan sungai dan kondisi badan sungai yang berada di hilir. Pada beberapa lokasi sempadan sungai ditemui kondisi penggunaan lahan sempadan sungai telah difungsikan sebagai tapak bangunan pemukiman masyarakat. Dan pada lokasi hilir sungai telah dilakukan beberapa reklamasi lahan yang diperuntukan sebagai pemukiman dan bangunan lainnya, hal ini sangat disayangkan mengingat pada lokasi hilir Sungai Sagulung awalnya merupakan lahan rawa-rawa yang ditumbuhi oleh tanaman mangrove yang berfungsi sebagai retensi genangan apabila terjadi debit banjir di Sungai Sagulung. Hal ini menjadi kendala tersendiri dalam melakukan restorasi Sungai Sagulung itu sendiri.

Dari hal tersebut di atas, dapat diperoleh strategi penanganan masalah yang terjadi di Sungai Sagulung dalam dua kategori yaitu :

1. Strategi Penanganan Fisik

Penanganan fisik mencakup segala aspek unsur dan elemen sungai, dalam upaya menjaga dan memperbaiki kondisi eksisting Sungai Sagulung. Adapun pananganan fisik yang dimaksud adalah sebagai berikut :

a) Penataan sempadan sungai

Ada banyak sekali masalah yang dapat ditemukan begitu kita masuk ke kawasan bantaran sungai Sagulung. Hal yang paling terlihat kemungkinan besar adalah lingkungan yang kumuh, minim area hijau, dan beberapa bangunan seakan tanpa batas dengan sungai sehingga rawan banjir bila sungai menguap sewaktu-waktu. Konsep penataan sempadan Sungai Sagulung ini akan dilakukan berdasarkan beberapa aspek fungsional yaitu dengan menata sempadan sungai, tidak hanya dari segi fungsi ekologisnya (sebagai penyeimbang ekosistem kota) namun juga fungsi sosial ekonomi (sebagai tempat berinteraksi, rekreasi dan olahraga), fungsi edukasi (sebagai sarana pembelajaran dan penelitian), serta fungsi arsitektural (meningkatkan kualitas visual/estetika kota).

b) Pemeliharaan Sungai

Pemeliharaan sungai bertujuan untuk menjaga dan mengoptimalkan fungsi sungai dalam mengalirkan debit banjir saat musim penghujan, dan upaya sebagai perawatan sarana dan prasarana sungai agar berfungsi sebagaimana mestinya. Adapun berbagai upaya dalam pemeliharaan sungai sagulung adalah normalisasi badan sungai dengan melakukan pengeringan pada daerah potensi endapan dari erosi tebing yang melebihi batas perhitungan normal sehingga terjadi pendangkalan sungai dan pembangunan terasering pada tebing yang berpotensi rawan erosi.

2. Strategi Penanganan Non Fisik

Selain penanganan secara fisik di sepanjang sempadan dan badan Sungai Sagulung, konsep lain yang dihadirkan untuk penanganan restorasi adalah dari segi non fisik. Konsep penanganan non fisik ini cenderung kepada penanganan penguatan pola dan perilaku masyarakat dalam hal pembuangan sampah ke daerah badan sungai yang mengakibatkan tidak stabilnya aliran sungai serta kesadaran masyarakat mengenai pengelolaan sanitasi dan drainase di seluruh daerah tangkapan Sungai Sagulung . Pola penanganan konsep ini adalah dengan melakukan beberapa program, yang diantaranya adalah sebagai berikut :

a) Sinkronisasi dengan Pogram SKPD terkait rencana penanganan sanitasi di kawasan sempadan Sungai Sagulung berikut anak sungainya

- b) Meningkatkan program sosialisasi terkait pola Sanitasi masyarakat yang ada di kawasan sempadan Sungai Sagulung berikut anak sungainya
- c) Memberikan sanksi-sanksi yang dilakukan kepada masyarakat/pihak-pihak lain yang melakukan pelanggaran terhadap peraturan - peraturan yang berkaitan dengan kelestarian Sungai Sagulung.



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan sebelumnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, sebagai berikut:

1. Telah terjadi perubahan tata guna lahan di DAS Sagulung pada tahun pengamatan 1990, 2000, 2008, dan 2017. Di tahun 2017 areal untuk permukiman meningkat mencapai 70% dari luasan DAS Sagulung, dan hanya tersisa 30 % lahannya untuk kawasan pertanian, hutan, dan tubuh air. Dengan besarnya nilai Curve Number (CN) sebesar 69,179.
2. Berdasarkan hasil permodelan menggunakan HEC-HMS telah didapatkan masing-masing hidrograf untuk setiap skenario yang dibuat. Perubahan tutupan lahan pada tahun 1990 hingga 2017 menyebabkan perubahan nilai CN yang cukup besar yaitu dari 56,224 menjadi 69,179. Sehingga besaran debit banjir rencana Q25 tahun dan Q 50 tahun yang didapatkan juga berubah dari 113,4 m³/s dan 179,5 m³/s menjadi 199,1 m³/s dan 286,9 m³/s.
3. Perubahan tata guna lahan DAS Sagulung tahun 1990, 2000, 2008, dan 2017 dengan debit Q25th dan Q50th berdampak signifikan terhadap besar luasan genangan yang terjadi.
4. Berdasarkan analisa yang sudah dilakukan diperoleh hubungan antara nilai CN, debit banjir dan elevasi muka air sungai, semakin besar nilai CN maka semakin besar pula debit banjir yang terjadi yang mengakibatkan tingginya elevasi muka air sungai di DAS Sagulung.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diuraikan di atas, maka dapat disarankan dan rekomendasi sebagai berikut :

1. Kajian ini dapat disempurnakan dengan menambahkan parameter pengamatan pengaruh pasang surut yang terjadi di DAS Sagulung.
2. Pada Sungai Sagulung seharusnya dilakukan restorasi, selain penanganan secara fisik di sepanjang sempadan dan badan Sungai Sagulung, konsep lain yang dihadirkan untuk penanganan restorasi adalah dari segi non fisik. Konsep penanganan non fisik ini

cenderung kepada penanganan penguatan pola dan perilaku masyarakat dalam pengelolaan sanitasi dan drainase di seluruh daerah tangkapan Sungai Sagulung.



DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, J.G. and Neitsch, Fohrer. (2005). SWAT2000: Current Capabilities And Research Opportunities In Applied Watershed Modeling. *Hydrol. Process.* 19(3):563-572
- Aronoff, Stan. (1989). *Geographic Information System; A Management Perspective*. Ottawa: WDL, Publications
- Asdak, C.(2002). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Balai Wilayah Sungai Sumatera IV. (2016). *Laporan Akhir Studi Restorasi Sungai Sagulung*. Batam: Balai Wilayah Sungai Sumatera IV.
- Chow, V. T., Maidment, D. R. & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. New York, U.S.A: McGraw-Hill
- Harto, Sri. (1993). *Analisis Hidrologi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Hydrologic Engineering Center. (2010). *HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, Version 4.1, January 2010*. U. S. Army Cormps of Engineers: Davis, CA.
- Limantara, Lily Montarcih. (2010). *Hidrologi Praktis*. Malang: Lubuk Agung.
- Prahasta, Eddy. (2001). *Konsep – Konsep Dasar Sistem Informasi Geografi*. Bandung: Informatika.
- Sosrodarsono, Suyono dan Takeda Kensaku . (1976). *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: Paradnya Paramita.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi, Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Jilid I*. Bandung: Nova
- Triatmodjo, Bambang. (2008). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta : Beta Offset
- USACE. 2000. *Hydrologic Modelling System HEC HMS Technical Reference Manual* ,
<http://www.Hec.usace.army.mil>.
- USACE. 2000. *Hydrologic Modelling System HEC HMS Application Guide*. Desember ,
<http://www.Hec.usace.army.mil>.
- USACE. 2000. *Geospatial Hydrologic Modelling Extension HEC GeoHMS Use Manual*,
<http://www.Hec.usace.army.mil>.