

**ANALISIS HIDROLIKA DAN PERENCANAAN TINGGI JAGAAN  
(FREEBOARD) JEMBATAN JALUR GANDA KERETA API  
(BH-116 KM.63+317) PADA WAY SEPUTIH**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**MUHAMMAD HAFIDH HIBATULLOH  
NPM 1815011050**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

**ANALISIS HIDROLIKA DAN PERENCANAAN TINGGI JAGAAN  
(FREEBOARD) JEMBATAN JALUR GANDA KERETA API  
(BH-116 KM. 63+317) PADA WAY SEPUTIH**

**Oleh**

**MUHAMMAD HAFIDH HIBATULLOH**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## **ABSTRAK**

### **ANALISIS HIDROLIKA DAN PERENCANAAN TINGGI JAGAAN (FREEBOARD) JEMBATAN JALUR GANDA KERETA API (BH-116 KM. 63 + 317) PADA WAY SEPUTIH**

Oleh

**MUHAMMAD HAFIDH HIBATULLOH**

Evaluasi kondisi jembatan eksisting dilakukan sebagai acuan dalam perencanaan ulang suatu jembatan dalam hal ini jembatan kereta api jalur ganda pada sungai Way Seputih, kecamatan Seputih Agung, Lampung Tengah dengan beberapa kriteria yang harus terpenuhi diantaranya tinggi jagaan. Proses evaluasi diawali dengan analisis hidrologi menggunakan metode HSS Nakayasu untuk periode ulang 5,10, 25, 50 dan 100 tahun kemudian dilakukan analisis hidraulika menggunakan perangkat lunak HEC-RAS v5.0.7. Diperoleh debit banjir sebesar 444.532 m<sup>3</sup>/s, 544.032 m<sup>3</sup>/s, 695.973 m<sup>3</sup>/s, 830.442 m<sup>3</sup>/s dan 985.386 m<sup>3</sup>/s dan nilai elevasi muka air banjir secara berturut-turut yaitu +28.44 m, +29.00 m, +29.66 m, +30.16 m dan +30.71 m serta nilai tinggi jagaan jembatan eksisting berdasarkan elevasi MAB yaitu 11.56 m, 11.00 m, 10.34 m, 9.84 m dan 9.29 m untuk kala ulang 5,10,25,50 dan 100 tahun. Sehingga disimpulkan jembatan eksisting dinilai aman terhadap muka air banjir dan elevasi gelagar terbawah pada jembatan jalur ganda direncanakan mengikuti elevasi gelagar terbawah jembatan eksisting.

Kata kunci : jembatan kereta api, hidrologi, hidrolika, tinggi jagaan, HEC-RAS.

## **ABSTRACT**

### **ANALISIS HIDROLIKA DAN PERENCANAAN TINGGI JAGAAN (FREEBOARD) JEMBATAN JALUR GANDA KERETA API (BH-116 KM. 63 + 317) PADA WAY SEPUTIH**

*By*

**MUHAMMAD HAFIDH HIBATULLOH**

Evaluation of the existing bridge conditions is carried out as a reference in re-planning a bridge in this case the double track railway bridge on the Way Seputih river, Seputih Agung sub-district, Central Lampung with several criteria that must be met including the height of the bridge. The evaluation process begins with hydrological analysis using the HSS Nakayasu method for return periods of 5, 10, 25, 50 and 100 years and then hydraulics analysis using HEC-RAS v5.0.7 software. Obtained flood discharge of 444,532 m<sup>3</sup>/s, 544,032 m<sup>3</sup>/s, 695,973 m<sup>3</sup>/s, 830,442 m<sup>3</sup>/s and 985,386 m<sup>3</sup>/s and flood water level elevation values are +28.44 m, +29.00 m, +29.66 m, +30.16 m and +30.71 m and the value of the existing bridge height based on the MAB elevation is 11.56 m, 11.00 m, 10.34 m, 9.84 m and 9.29 m for the return period of 5,10,25,50 and 100 years. So it is concluded that the existing bridge is considered safe against flood water levels and the bottom girder elevation on the double-track bridge is planned to follow the bottom girder elevation of the existing bridge.

Keywords : railway bridge, hydrology, hydraulics, freeboard, HEC-RAS.

Judul Skripsi

: **ANALISIS HIDROLIKA DAN PERENCANAAN  
TINGGI JAGAAN (FREEBOARD) JEMBATAN  
JALUR GANDA KERETA API (BH-116 KM.  
63+317) PADA WAY SEPUTIH**

Nama Mahasiswa

: **Muhammad Hafidh Hibatulloh**

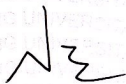
Nomor Pokok Mahasiswa : 1815011050

Program Studi : Teknik Sipil

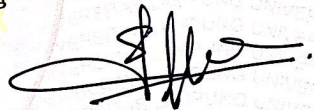
Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing



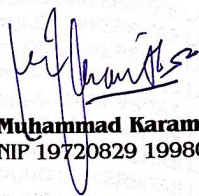
**Ir. Nur Arifaini, M.S.**  
NIP 19620218 199303 1 001



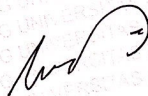
**Siti Nurul Khotimah, S.T., M.Sc.**  
NIP 19800328 200501 2 002

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil



**Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.**  
NIP 19720829 199802 1 001

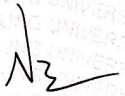


**Ir. Laksmi Irianti, M.T.**  
NIP 19620408 198903 2 001


**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

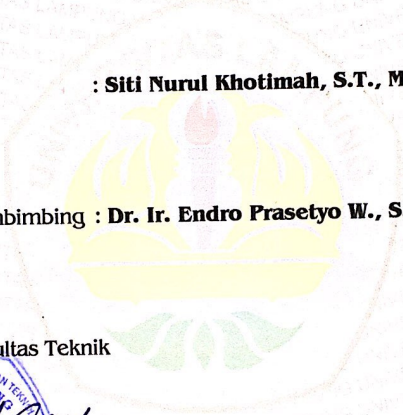
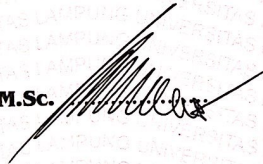
**Ketua : Ir. Nur Arifaini, M.S.**



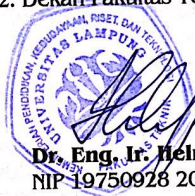
**Sekretaris : Siti Nurul Khotimah, S.T., M.Sc.**



**Penguji  
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Endro Prasetyo W., S.T., M.Sc.**



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**  
NIP. 19750928 200112 1 002

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 21 Maret 2023**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, adalah:

Nama : Muhammad Hafidh Hibatulloh

NPM : 1815011050

Prodi/jurusan : S1/Teknik Sipil

Fakultas : Teknik Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka.

Atas pertanyaan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 4 April 2023

Penulis,



*Muhammad Hafidh Hibatulloh*

**Munammad Hafidh Hibatulloh**

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung,, Provinsi Lampung pada tanggal 27 Maret 2000 sebagai anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Ir. Mohamad Baehaqi dan Ibu Wiwin Andriyani. Pendidikan formal penulis dimulai tahun 2006 masuk Sekolah Dasar di SD S Al - Kautsar yang diselesaikan pada tahun 2012, kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP S Al – Kautsar yang diselesaikan pada tahun 2015, lalu melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA S Al - Kautsar yang diselesaikan pada tahun 2018.

Pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung sebagai anggota Departemen Media Informasi periode 2019/2020, kemudian pada periode 2021 penulis aktif sebagai anggota Departemen Usaha dan Karya Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung. Penulis juga turut aktif dalam program unggulan dalam Himpunan Mahasiswa yaitu menjadi Ketua Pelaksana pada acara Civil Goes To Village dalam memperingati Hari Bangunan Indonesia. Penulis juga pernah diangkat menjadi Asisten mata kuliah Statika, Mekanika Fluida, dan Hidrolika.

Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode I di Desa Rajabasa Jaya, Kecamatan Rajabasa, Bandar Lampung selama 40 hari dari Januari-Februari 2021. Di tahun yang sama, penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Proyek Pembangunan Gedung Perawatan Neurologi RSUD Dr. H. Abdul Moeloek Provinsi Lampung selama 3 bulan dari Agustus - November 2021. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul “Analisis Hidrolika dan Perencanaan Tinggi Jagaan (*Freeboard*) Jembatan Jalur Ganda Kereta Api (BH-116 KM. 63+317) pada Way Seputih”.



# *Persembahan*

Alhamdulillahirobbilalamin

Puji dan syukur tercurahkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wasallam.

Kupersembahkan karya ini untuk:

**Ayah, Mama, Mbak Kiki, Aa Try, Umar dan Rara**

Yang telah senantiasa mendoakan dan memberikan motivasi.

**Dosen Pembimbing dan Penguji**

Yang selalu memberikan ilmu dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.

**Seluruh Keluarga Besar Teknik Sipil Angkatan 2018**

Yang selalu memberikan semangat dan dukungan.

**Almamater Tercinta, Universitas Lampung dan Jurusan Teknik Sipil**

Tempat bernaung mengemban semua ilmu untuk menjadi bekal hidup.

# MOTTO

“Menjadikan kesuksesan sebagai tujuan hidup, merupakan proses rekayasa makna hidup tersendiri. Mengapa disebut tujuan yang direkayasa? Karena ia sebenarnya bukanlah tujuan hidup. Tujuan hidup yang sejati adalah berbakti dan mengabdikan pada Tuhan, sebagaimana dijelaskan oleh agama-agama”

(Komjen Pol. Drs. Dharma Pongrekun, M.M., M.H.)

“*de materiele onderbouw bepaalt de geestelijke bovenbouw*” yang berarti kesejahteraan materi menentukan kesejahteraan rohani, atau kemajuan kebudayaan dan peradaban tidak mungkin diraih tanpa kesejahteraan material sebagai landasannya

(Kwik Kian Gie)

“Dan bersabarlah kamu, sesungguhnya janji Allah adalah benar”

(Q.S Ar-Rum:60)

## SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah senantiasa memberikan rahmat serta hidayah-Nya kepada penulis, serta penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Hidrolika dan Perencanaan Tinggi Jagaan (*Freeboard*) Jembatan Jalur Ganda Kereta Api (BH-116 KM. 63+317) pada Way Seputih**” dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang selalu memberikan petunjuk, kekuatan, kesabaran, serta pertolongan yang tiada henti dan senantiasa memberikan keberkahan ilmu kepada hambanya.
2. Kedua orang tua tercinta, Ayah (Ir. Mohamad Baehaqi) dan Mama (Wiwin Andriyani) yang senantiasa mendoakan penulis, memberikan dukungan dan semangat yang tiada henti, serta memberikan kepercayaan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan segala proses perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Kakak saya tercinta Rizky Zakiyah dan kakak ipar Try S. Rasyid serta keponakan saya Umar dan Rara yang senantiasa mendoakan penulis, memberikan dukungan dan semangat tiada henti, serta memberikan kepercayaan kepada penulis untuk menyelesaikan studi.
4. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
5. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

6. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
7. Bapak Ir. Nur Arifaini, M.S., selaku Dosen Pembimbing pertama penulis atas ketersediaannya memberikan bimbingan, arahan, ide-ide, saran dan kritik yang membangun, serta kebaikan dan pengertiannya kepada penulis dalam proses penyusunan skripsi ini.
8. Ibu Siti Nurul Khotimah, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing kedua atas ketersediaannya memberikan bimbingan, arahan, ide-ide, saran dan kritik, serta kebaikan kepada penulis dalam proses penyusunan skripsi ini.
9. Bapak Dr. Ir. Endro Prasetyo W. S.T., M.Sc., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan, saran dan arahan kepada penulis guna penyempurnaan skripsi ini.
10. Bapak Subuh Tugiono, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak membantu penulis selama perkuliahan.
11. Bapak Amril Ma'ruf Siregar, S.T., M.T. dan Mbak Nur Anisa yang telah memberikan ilmu, masukan, dan arahan kepada penulis guna penyempurnaan skripsi.
12. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis serta seluruh karyawan jurusan atas bantuannya kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
13. BBWS Mesuji Sekampung yang telah mendukung penulis untuk mendapatkan data hujan pada stasiun penelitian.
14. Bapak Kepala Stasiun Haji Pemanggilan dan Satpam Stasiun Haji Pemanggilan yang telah mengizinkan kami melakukan pengambilan data dan keamanan dalam proses survey dalam proses penyusunan skripsi.
15. Om saya KH. Ismail Zulkarnain, Om Robbi Firli yang senantiasa memberikan dukungan moril dan materil dalam pelaksanaan survey lapangan penulis bersama teman dalam kelancaran penyelesaian skripsi.
16. Kelompok 12 Pancasila dan Teman-teman, Annisa, Bhisma, Devina, Dicko, Fauzan, Luthfi, Laka, Nasri, Riri, Rudi dan Safinah, sebagai sahabat sejak awal perkuliahan hingga akhir menyelesaikan skripsi yang selalu membantu,

memotivasi, dan menemani penulis dalam suka maupun duka. Serta tim survey lapangan, Luthfi, Laka, dan Daffara yang meluangkan waktu dan tenaga untuk membantu penulis dalam survey penelitian, juga Nanda Destyana yang selalu menemani, membantu, dan memotivasi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.

17. Teman-teman perkuliahan Kelas A Npm (0,1,2), Eko, Sinung, Mayang, Prayoga, Musabiq, Felin, Bopeng, Riyan, Wibi, Indra, Reni, dll. yang mendukung penulis dalam hal akademik maupun non akademik.
18. Teman-teman penelitian *peer group* hidroteknik, Maharani Elvida, Firas Banna, Lucky, Ahmad Bagus, Bunga, Alka, Berti yang memberikan masukan, dukungan pada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
19. Teman-teman pada HEC-RAS Users di platform media sosial *facebook* yang senantiasa membantu memberikan solusi pemodelan saya salah satunya Nestor David Sanchez dari Maracay, Venezuela
20. Teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2018 yang berjuang bersama serta berbagi kenangan, pengalaman dan membuat kesan yang tak terlupakan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, karena itu penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 4 April 2023

Penulis,

**Muhammad Hafidh Hibatulloh**

## DAFTAR ISI

### Halaman

<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Gambaran Umum Studi .....	5
2.2. Analisis Hidrolika .....	5
2.2.1. Pemodelan HEC-RAS .....	6
2.2.2. Elemen Geometri .....	11
2.3. Analisis Spasial .....	12
2.3.1. Sistem Informasi Geografis (SIG) .....	12
2.3.2. Digital Elevation Model (DEM) .....	12
2.3.3. Tata Guna Lahan .....	12
2.4. Analisis Hidrologi .....	13
2.4.1. Karakteristik Sungai .....	13
2.4.2. Daerah Aliran Sungai (DAS) .....	14
2.4.3. Curah Hujan Rata-rata .....	14
2.4.4. Parameter Statistik .....	15
2.4.5. Analisis Frekuensi .....	15
2.4.6. Pengujian Distribusi Frekuensi .....	23
2.4.7. Intensitas Curah Hujan Jam-Jaman .....	25
2.4.8. Koefesien Limpasan Permukaan .....	26
2.4.9. Debit Rencana .....	27

2.4.10. Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu .....	27
<b>III. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>29</b>
3.1. Lokasi Penelitian.....	29
3.2. Metodologi Penelitian.....	30
3.2.1. Pengumpulan Data .....	30
3.3. Analisis Data.....	31
3.3.1. Analisis Hidrologi.....	31
3.3.2. Analisis Hidraulika dengan HEC-RAS.....	32
3.4. Diagram Alir Penelitian .....	48
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>49</b>
4.1. Analisis Hidrologi.....	49
4.1.1. Delineasi dan Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS) .....	49
4.1.2. Curah Hujan Kawasan.....	50
4.1.3. Hidrograf Banjir Rencana untuk Jembatan Eksisting .....	57
4.2. Analisis Hidraulika Jembatan Eksisting dengan HEC-RAS.....	59
4.2.1. Perencanaan Tinggi Jagaan Jembatan Jalur Ganda Berdasarkan Kondisi Jembatan Eksisting .....	65
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>68</b>
5.1. Kesimpulan .....	68
5.2. Saran .....	69
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>70</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Nilai Koefisien Kekasaran Manning (n) .....	11
2. Persyaratan untuk Menentukan Jenis Distribusi .....	16
3. Nilai Faktor Frekuensi.....	17
4. Koefisien $Y_n$ dan $S_n$ .....	19
5. Hubungan Antara Nilai Reduced Variate $Y_T$ dengan Periode Ulang .....	20
6. Nilai K untuk Kemencengan Positif.....	21
7. Nilai K untuk Kemencengan Negatif .....	22
8. Nilai $X_{cr}^2$ .....	24
9. Nilai $\Delta_{kritik}$ .....	25
10. Karakteristik DAS pada Metode Cook.....	26
11. Luas Daerah Tangkapan Hujan .....	51
12. Curah Hujan Harian Maksimum .....	51
13. Curah Hujan Rata-rata.....	52
14. Perhitungan sebaran distribusi data hidrologi Sub DAS Way Seputih .....	52
15. Penentuan jenis distribusi data hidrologi Sub DAS Way Seputih .....	53



16.	Analisis Frekuensi Metode Log Pearson III.....	54
17.	Rekap Hasil Perhitungan Hujan Rancangan .....	55
18.	Koefisien limpasan berdasarkan kemiringan lereng .....	56
19.	Koefisien limpasan berdasarkan tata guna lahan .....	57
20.	Rencana Debit Banjir Puncak dengan Metode Nakayasu .....	58
21.	Tinggi jagaan jembatan eksisting terhadap muka air banjir.....	65

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
1. Tinggi jagaan (freeboard) pada konstruksi jembatan. ....	2
2. Menu Editing Data Geometri Sungai .....	8
3. Contoh metode, (a) Isohyet dan (b) Poligon Thiessen. ....	14
4. Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu .....	28
5. Foto Satelit Jembatan KA BH.116 Km. 63+317. ....	29
6. Foto Visual Jembatan KA BH.116 Km 63+317 .....	30
7. Gambaran Daerah Aliran Sungai dan Karakteristik DAS .....	31
8. User interface HEC-RAS.....	33
9. Membuat project baru.....	34
10. Memberi nama pada project title dan file name. ....	34
11. Mengubah sistem satuan pada HEC-RAS. ....	34
12. Memilih sistem satuan yang digunakan.....	35
13. Membuka menu RAS Mapper. ....	35
14. Menu Set Projection for Project. ....	36
15. Memasukkan data projection.....	36
16. Create a New Ras Terrain.....	37

17. Memasukkan data terrain.....	37
18. Memasukkan map layers pada project.....	38
19. Kombinasi terrain dan map layers. ....	39
20. Membuat dan memberi nama pada file geometri. ....	39
21. Membuat alur sungai. ....	40
22. Membuat potongan melintang pada sungai. ....	40
23. Memasukkan data geometri sungai. ....	41
24. Geometri sungai Way Seputih. ....	41
25. Memasukkan nilai Manning (n).....	42
26. Memasukkan station untuk jembatan baru. ....	42
27. Setelah memasukkan data jembatan. ....	43
28. Tampilan utama HEC-RAS setelah diinput data geometri.....	43
29. Memasukkan data debit. ....	45
30. Memasukkan nilai batas pada bagian hilir sungai. ....	45
31. Input steady flow analysis. ....	46
32. Layar hitungan hidraulika setelah proses running. ....	47
33. Tampilan utama HEC-RAS setelah proses running. ....	47
34. Diagram Alir Penelitian. ....	48
35. Gambaran daerah aliran sungai (DAS) sub das way seputih.....	49
36. Poligon Thiessen Sub DAS Way Seputih.....	50

37. Peta kemiringan lereng/relief Sub DAS Way Seputih.....	55
38. Peta Tata Guna Lahan Sub DAS Way Seputih.....	56
39. Grafik Hidrograf Banjir Rencana Sub DAS Way Seputih. ....	58
40. Potongan memanjang dengan kala ulang 5, 10, 25, 50 dan 100 Tahun. ....	59
41. Potongan memanjang beserta elevasi muka air hulu akibat aliran balik jembatan eksisting. ....	60
42. Potongan Melintang Jembatan Sta 2060 Upstream. ....	61
43. Potongan Melintang Jembatan Sta 2060 Downstream. ....	61
44. Potongan Melintang Bagian Hulu Jembatan Sta 2076. ....	62
45. Potongan Melintang Hilir Jembatan Sta 2050. ....	63
46. X-Y-Z Perspektif Plot.....	64
47. Kondisi jembatan eksisting terhadap muka air banjir kala ulang 5 tahun. ....	66
48. Kondisi jembatan eksisting terhadap muka air banjir kala ulang 10 tahun. ....	66
49. Kondisi jembatan eksisting terhadap muka air banjir kala ulang 25 tahun. ....	66
50. Kondisi jembatan eksisting terhadap muka air banjir kala ulang 50 tahun. ....	67
51. Kondisi jembatan eksisting terhadap muka air banjir kala ulang 100 tahun. ....	67

## DAFTAR LAMPIRAN

### Lampiran

1. Perhitungan Analisis Hidrologi & HSS Nakayasu ..... A
2. Peta Topografi & 2D Jembatan ..... B
3. Lembar Asistensi ..... C
4. Dokumentasi Lapangan ..... D

## I. PENDAHULUAN

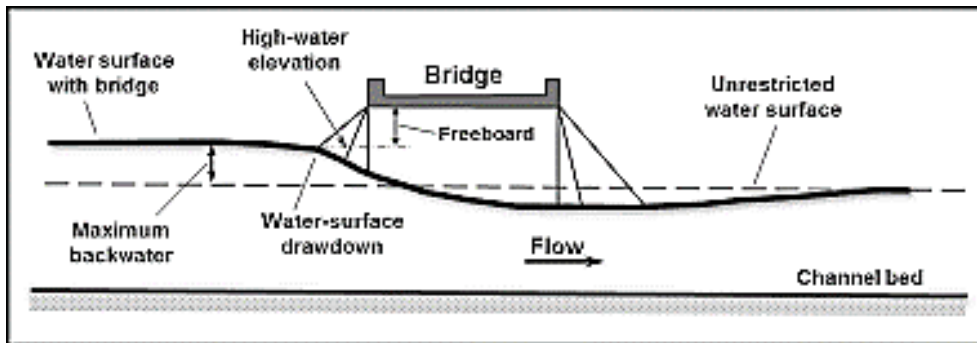
### 1.1. Latar Belakang Masalah

Jembatan kereta api jalur ganda di Way Seputih terletak di desa Fajar Bulan Seputih Agung, Kabupaten Lampung Tengah. Jembatan ini menjadi penghubung antara Haji Pemanggilan – Selusuban. Jembatan ini akan dilakukan perencanaan ulang (*redesign*) karena akan ada penambahan jalur. Sebelum melakukan perencanaan ulang maka kondisi eksisting jembatan perlu dievaluasi sebagai acuan dalam perencanaan tersebut.

Dalam perencanaan jembatan ada beberapa aspek yang harus dipenuhi diantaranya aspek tinggi jagaan (*freeboard*). Aspek tinggi jagaan ini mengantisipasi kejadian banjir terekstrim yang mungkin terjadi. Menurut Patra dkk. (2022) kegagalan pada jembatan jalan raya atau kereta api yang melewati sungai salah satunya karena banjir yang ekstrim sehingga termasuk bencana alam yang paling umum dan penting. Estimasi debit banjir pada lokasi jembatan dengan muka air, kecepatan aliran, dll. merupakan faktor penting untuk memastikan keamanan dari jembatan. Pada Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012 tentang persyaratan teknik jalur kereta api menetapkan bahwa batas tinggi jagaan (*freeboard*) untuk perencanaan jembatan kereta api tidak kurang dari 1 (satu meter) dari gelagar terbawah jembatan terhadap tinggi muka air debit rencana. Tinggi jagaan pada jembatan dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada penelitian ini dilakukan analisis tinggi jagaan (*freeboard*) dengan menghitung tinggi muka air melalui analisis hidraulika. Analisis hidraulika dibantu dengan aplikasi HEC-RAS 5.0.7. Dalam penggunaannya, aplikasi HEC-RAS membutuhkan input data berupa debit aliran. Kemudian debit aliran dalam penelitian didapat melalui analisis hidrologi. Pada Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan (2015) bahwa

umur rencana untuk jembatan dengan fungsi strategis dibuat dengan umur rencana 100 tahun. Sehingga analisis hidrologi ditentukan dengan kala ulang 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun.



Gambar 1. Tinggi jagaan (*freeboard*) pada konstruksi jembatan.

## 1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini yaitu:

1. Menghitung tinggi muka air banjir dengan memperhatikan faktor hidrolika pada sungai yang ditinjau.
2. Menganalisis batas tinggi jagaan (*freeboard*) untuk konstruksi jembatan kereta api.

## 1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang diambil dalam analisa tugas akhir ini yaitu:

1. Kajian pada elevasi muka air dengan kala ulang banjir 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun.
2. Kajian terhadap perencanaan tinggi jagaan (*freeboard*) sesuai dengan Perencanaan teknis jalur kereta api berdasarkan Peraturan Menteri No.60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.

3. Input di dalam program HEC-RAS V5.0.7 pada Way Seputih dianggap sebagai aliran tetap atau *steady flow* dengan simulasi satu dimensi (1D).
4. Analisis hidraulika menggunakan program HEC-RAS V5.0.7.

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Menganalisis tinggi muka air banjir rencana dengan memperhatikan faktor hidrolika pada sungai yang ditinjau.
2. Menganalisis tinggi jagaan (*freeboard*) untuk konstruksi jembatan kereta api.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Dari hasil penelitian yang diperoleh, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi akademis, penelitian ini bermanfaat sebagai referensi untuk penelitian sejenis sehingga dapat lebih memahami bagaimana melakukan analisis hidrolika dan perancangan terhadap tinggi jagaan (*freeboard*) dan keterkaitan antara ilmu teoritis dengan pelaksanaannya di lapangan.
2. Bagi instansi terkait, penelitian ini bermanfaat sebagai bahan evaluasi atau bahan pertimbangan dalam pengambilan kebijakan untuk melakukan Tindakan terhadap objek penelitian serta di dalam pelaksanaan pekerjaan sejenis lainnya.



## **1.6. Sistematika Penulisan**

Sistematika atau kerangka penulisan yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut:

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini berisikan pembahasan mengenai latar belakang dilakukan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisikan pembahasan mengenai landasan teori yang digunakan dalam penelitian.

### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Bab ini berisikan pembahasan mengenai metode penelitian yang akan digunakan dalam hal ini mencakup lokasi dan waktu penelitian, analisa kebutuhan data penelitian, serta tahap-tahap yang akan dilakukan dalam penelitian.

### **BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisikan gambaran hasil analisa dan penelitian baik secara kualitatif maupun kuantitatif, dan pembahasan hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

### **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran terhadap penelitian yang telah dilakukan. Pada kesimpulan dapat dikemukakan masalah-masalah yang terjadi pada saat penelitian kemudian saran berisikan solusi atas permasalahan dan keluhan yang terjadi selama penelitian

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Gambaran Umum Studi

Tinggi jagaan (*freeboard*) pada jembatan adalah jarak dari permukaan air ke gelagar jembatan paling bawah terhadap muka air banjir rencana minimal 1,0 meter (PM No.60 Tahun 2012). Dalam penelitian ini, direncanakan tinggi jagaan (*freeboard*) pada jembatan kereta api km. 63+317 di Way Seputih sesuai dengan PM No.60 Tahun 2012 dengan melakukan analisis hidrologi dengan debit banjir rencana 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. Selanjutnya dilakukan analisis hidrolika dengan *software* HEC-RAS 5.0.7 untuk mengetahui elevasi muka air banjir rencana terhadap gelagar terbawah jembatan kereta api. Sesuai dengan Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan (2015) bahwa jembatan khusus dengan fungsi strategis harus direncanakan dengan umur rencana 100 tahun.

### 2.2. Analisis Hidrolika

Analisis hidrolika dimaksudkan untuk menganalisis profil muka air banjir dengan kala ulang tertentu dari debit rencana. Pada analisis ini, nantinya akan dihitung pengaruh pengendalian banjir secara struktural terhadap tinggi muka air banjir dan luapan yang terjadi. Dalam analisis hidrolika, dihitung profil muka air menggunakan beberapa data hasil dari analisis hidrologi guna memperoleh profil muka airnya (Suadnya dkk., 2017) juga dalam analisis hidrolika ini digunakan *software* pemodelan HEC-RAS.

### 2.2.1. Pemodelan HEC-RAS

Pemodelan tinggi muka air dalam tugas akhir ini dimodelkan/digambarkan menggunakan *software* HEC-RAS. *HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System)* sendiri merupakan aplikasi yang digunakan untuk menganalisis kapasitas suatu sungai atau drainase (Suadnya dkk., 2017) yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center (HEC)* yang merupakan satu divisi di dalam *Institute for Water Resource (IWC)* di bawah *US Army Corps of Engineers (USACE)*. HEC-RAS merupakan model 1D aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one-dimensional flow model*).

Tujuan utama dari HEC-RAS adalah untuk menghitung elevasi muka air pada lokasi tampang melintang (*cross-section*) yang diteliti sepanjang sungai atau aliran untuk nilai aliran (*flow values*) tertentu. Hitungan profil dilakukan pada *cross-section* dengan kondisi awal yang diketahui atau diperkirakan, kemudian dilanjutkan ke arah hulu untuk tipe aliran *subcritical* dan ke arah hilir untuk tipe aliran *supercritical* (Meris, 2020).

Data-data yang diperlukan dalam menganalisis penampang sungai dengan menggunakan *software HEC-RAS* adalah (Wigati dan Soedarsono, 2016) :

1. Penampang memanjang dan melintang sungai
2. Data debit yang melalui sungai
3. Angka koefisien kekasaran *Manning* (*n*) penampang sungai
4. Geometri aliran dan dimensi sungai

Hal-hal yang perlu diketahui untuk simulasi dengan program HEC-RAS untuk aliran *steady flow* adalah :

- a) Persamaan Dasar untuk Perhitungan Profil

Profil permukaan air dihitung dari suatu potongan melintang saluran ke potongan selanjutnya dengan memecahkan persamaan kekekalan energi dengan prosedur interaktif yang disebut Metode Tahap Standar (*Standard Step*

*Method*). Menurut Dalrino dkk., (2018) persamaan kekekalan energi ditulis sebagai berikut.

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

dimana:

$Y_1, Y_2$  = kedalaman air pada potongan melintang

$Z_1, Z_2$  = elevasi pada saluran utama

$V_1, V_2$  = kecepatan rata-rata (jumlah total debit)

$\alpha_1, \alpha_2$  = koefisien tinggi kecepatan

$h_e$  = kehilangan energi

Kehilangan energi antara dua potongan melintang diakibatkan oleh kehilangan energi akibat gesekan dan ekspansi maupun kontraksi. Menurut Dalrino dkk. (2018) persamaan kehilangan tinggi energi dituliskan sebagai berikut.

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left[ \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right]$$

dimana:

$L$  = jarak sepanjang bentang yang ditinjau

$S_f$  = kemiringan gesekan (*friction slope*) antara dua potongan melintang

$C$  = koefisien ekspansi atau kontraksi

Menurut Dalrino dkk. (2018) jarak sepanjang bentang yang ditinjau  $L$ , dihitung dengan persamaan :

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

dimana:

$L_{lob}, L_{ch}, L_{rob}$  = jarak sepanjang potongan melintang pada aliran yang ditinjau di pinggir kiri sungai/*left overbank (lob)*, saluran utama/*main channel (ch)*, dan pinggir kanan sungai/*right overbank (rob)*.

$\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$  = jarak sepanjang potongan melintang pada aliran yang ditinjau di pinggir kiri sungai (*lob*), saluran utama (*ch*), dan pinggir kanan sungai (*rob*).

b) Pembagian Potongan Melintang (*Cross Sections*)

Penentuan penyaluran total aliran dan koefisien kecepatan untuk potongan melintang membutuhkan pembagian aliran menjadi beberapa satuan sehingga kecepatan didistribusikan secara merata. Pendekatan yang digunakan pada HEC-RAS adalah membagi daerah aliran pada pinggir saluran atau sungai dengan menggunakan masukan nilai  $n$  pada potongan melintang dimana nilai  $n$  berubah sebagai dasar pembagian. Menurut Dalrino dkk. (2018) penyaluran/aliran dihitung di dalam tiap sub bagian dari bentuk persamaan Manning berikut ini:

$$Q = K S_f^{1/2} \quad K = \frac{1,486}{n} A R^{2/3}$$

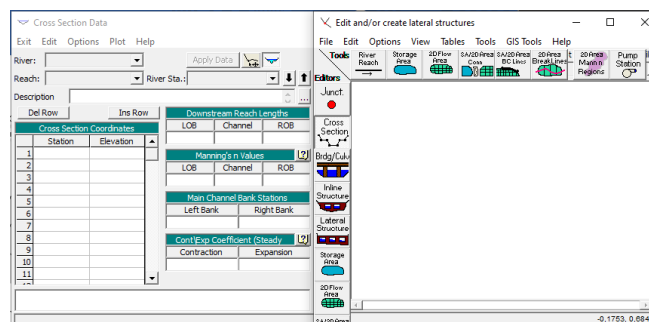
dimana:

$K$  = penyaluran untuk suatu sub bagian

$n$  = koefisien kekasaran Manning untuk sub bagian

$A$  = luas daerah aliran pada sub bagian

$R$  = jari-jari hidraulik pada sub bagian



Gambar 2. Menu Editing Data Geometri Sungai

Program akan menjumlahkan tambahan penyaluran pada pinggir saluran untuk mendapatkan penyaluran pada sebelah kiri dan kanan pinggir sungai. Penyaluran saluran utama dihitung dengan cara biasasebagai satu bagian penyaluran. Jumlah total penyaluran dapat diperoleh dengan menjumlahkan tiga sub bagian penyaluran, yaitu: sub bagian kiri pinggir sungai, saluran utama, dan sub bagian kanan pinggir sungai.

c) Perhitungan Nilai Rata-Rata Tinggi Energi Kinetik

Perangkat lunak HEC-RAS adalah program perhitungan profil permukaan air satu dimensi, oleh karenanya hanya satu permukaan air dan satu tinggi energi rata-rata yang dihitung pada tiap potongan melintang. Jika suatu nilai permukaan air diketahui, rata-rata tinggi energi didapatkan dengan menghitung tinggi energi aliran dari tiga sub bagian pada potongan melintang (*left overbank, main channel, dan right overbank*).

Menurut Dalrino dkk. (2018) Untuk menghitung rata-rata energi kinetic diperlukan perhitungan koefisien tinggi kecepatan alpha ( $\alpha$ ). Alpha dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\alpha \frac{\bar{V}}{2g} = \frac{Q_1 \left( \frac{V_1^2}{2g} \right) + Q_2 \left( \frac{V_2^2}{2g} \right)}{Q_1 + Q_2}$$

$$\alpha = \frac{2g \left[ Q_1 \left( \frac{V_1^2}{2g} \right) + Q_2 \left( \frac{V_2^2}{2g} \right) \right]}{(Q_1 + Q_2) \bar{V}^2}$$

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{(Q_1 + Q_2) \bar{V}^2}$$

Dalam bentuk umumnya:

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2}{Q \bar{V}^2}$$

Koefisien kecepatan,  $\alpha$ , dihitung berdasarkan pada penyaluran di tiga bagian aliran. Persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk penyaluran dan daerah luasannya seperti pada persamaan di bawah ini:

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[ \frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_t)^3}$$

dimana:

$A_t$  = jumlah total luas daerah aliran pada potongan melintang

$A_{lob}, A_{ch}, A_{rob}$  = luas daerah pada tiap sub bagian penampang saluran

$K_t$  = jumlah total penyaluran pada potongan melintang  
 $K_{lob}$ ,  $K_{ch}$ ,  $K_{rob}$  = penyaluran pada sub bagian penampang saluran

d) Perhitungan Kehilangan Energi Akibat Gesekan

Menurut Dalrino dkk. (2018) kehilangan energi akibat gesekan yang diperhitungkan pada HEC-RAS adalah produk dari  $S_f$  dan L. Kemiringan gesekan  $S_f$  pada tiap bagian potongan melintang dihitung dari persamaan Manning sebagai berikut:

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2$$

Bentuk alternative persamaan-persamaan  $S_f$  pada HEC-RAS adalah:

Persamaan Penyaluran Rata-rata:

$$S_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2}\right)^2$$

Persamaan Kemiringan Gesekan Rata-rata:

$$\bar{S}_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2}$$

Persamaan Kemiringan Gesekan Rata-rata Geometri:

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f1} \cdot S_{f2}}$$

Persamaan Kemiringan Gesekan Rata-rata Harmonik:

$$\bar{S}_f = \frac{2S_{f1} \cdot S_{f2}}{S_{f1} + S_{f2}}$$

e) Perhitungan Kehilangan Energi Akibat Kontraksi dan Ekspansi

Menurut Dalrino dkk. (2018) kehilangan energi akibat kontraksi dan ekspansi pada HEC-RAS dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$h_o = C \left[ \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right]$$

dimana:

C = koefisien ekspansi atau kontraksi

### 2.2.2. Elemen Geometri

Komponen elemen geometri yang dimaksudkan ialah jari-jari hidrolik (R) dan kecepatan pengaliran (V). Jari-jari hidrolika merupakan luas basah dibagi dengan keliling basah suatu saluran seperti pada persamaan di bawah ini.

$$R = \frac{A}{P}$$

Keterangan:

R = Jari-jari hidrolik (m)

A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)

P = Keliling basah (m)

Sedangkan kecepatan pengaliran didasarkan pada kecepatan minimum yang diperbolehkan agar konstruksi saluran tetap aman. Persamaan yang digunakan ialah:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

Keterangan:

V = Kecepatan pengaliran (m/s)

n = Koefisien kekasaran Manning (Tabel 9)

S = Kemiringan memanjang saluran

**Tabel 1.** Nilai Koefisien Kekasaran Manning (n)

No.	Bahan	Koef. Manning (n)
1	Besi tuang dilapis	0.014
2	Kaca	0.010
3	Saluran beton	0.013
4	Bata dilapis mortar	0.015
5	Pasangan batu disemen	0.025
6	Saluran tanah bersih	0.022
7	Saluran tanah	0.030
8	Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0.040
9	Saluran pada galian batu cadas	0.040

(Sumber: Triadmodjo, 1993)



### **2.3. Analisis Spasial**

Analisis spasial merupakan teknik atau proses yang melibatkan sejumlah hitungan dan evaluasi logika (matematis) yang dilakukan dalam rangka mencari atau menemukan (potensi) hubungan yang terdapat di antara unsur-unsur geografis (Prahasta, 2009).

#### **2.3.1. Sistem Informasi Geografis (SIG)**

Sistem Informasi Geografis (SIG) atau *Geographic Information System (GIS)* adalah sistem informasi yang dirancang untuk bekerja dengan data yang bereferensi spasial atau berkoordinat geografi atau dengan kata lain pada SIG adalah suatu sistem basis data yang memiliki kemampuan khusus untuk mengolah data keruangan (spasial) bersamaan dengan seperangkat operasi kerja (Rauf dkk., 2017).

#### **2.3.2. Digital Elevation Model (DEM)**

*Digital Elevation Model (DEM)* adalah bentuk 3 dimensi dari permukaan bumi yang memberikan data berbagai morfologi permukaan bumi, seperti kemiringan lereng, aspek lereng, ketinggian tempat, dan area DAS (Rauf dkk., 2017). Berikut beberapa turunan algoritma pengolahan DEM pada penelitian ini:

- a. Delineasi Daerah Aliran Sungai (DAS)
- b. Kemiringan Lereng

#### **2.3.3. Tata Guna Lahan**

Tata guna lahan secara garis besar berhubungan dengan kemampuan lahan dan pada lokasi lahan. Pada aktivitas pertanian, penggunaan lahan tergantung pada kelas kemampuan lahan yang dicirikan oleh adanya perbedaan pada sifat-sifat yang menjadi

penghambat bagi penggunaannya seperti tekstur tanah, lereng permukaan tanah, kemampuan menahan air dan tingkat erosi yang telah terjadi (Rauf dkk., 2017).

## **2.4. Analisis Hidrologi**

Hidrologi adalah ilmu yang erat kaitannya dengan air di muka bumi, baik mengenai terjadinya, peredaran dan penyebarannya, sifat-sifatnya dan hubungan dengan lingkungannya terutama dengan makhluk hidup. Ilmu hidrologi lebih banyak didasarkan pada pengetahuan empiris daripada teoritis (Triatmodjo, 2008). Hal ini karena banyaknya parameter yang berpengaruh pada kondisi hidrologi di suatu daerah, seperti kondisi klimatologi, kondisi lahan seperti jenis tanah, tata guna lahan, kemiringan lahan. Karena itu analisis hidrologi sangat diperlukan untuk menentukan karakteristik dari suatu daerah aliran sungai (DAS). Di bawah ini merupakan aspek-aspek hidrologi yang dibahas :

### **2.4.1. Karakteristik Sungai**

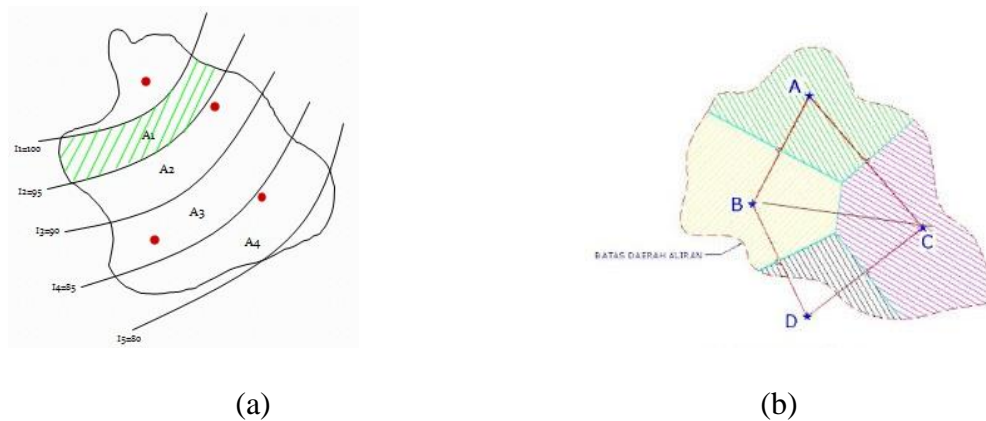
Sungai merupakan alur atau wadah alami berupa jaringan pengaliran air beserta semua yang ada di dalamnya, mulai dari hulu sampai ke hilir dengan dibatasi oleh garis sempadan di kanan dan kirinya (Wigati dan Soedarsono, 2016). Setiap sungai memiliki karakteristik yang dipengaruhi oleh daerah aliran sungai (DAS), topografi yang dilintasi aliran sungai dari hulu hingga ke hilir, dan itu semua akan terjadi secara alamiah mengikuti iklim yang terjadi pada wilayah daerah aliran sungai (DAS) (Pasaribu, 2017).

### 2.4.2. Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai (DAS) adalah daerah yang dimana semua airnya mengalir ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan (Suadnya dkk., 2017). Umumnya, daerah ini dibatasi oleh batas topografi yang ditetapkan berdasarkan pada aliran permukaan bukan berdasarkan pada air bawah tanah dikarenakan permukaan air tanah yang selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat pemakaian (Talumepa dkk., 2017).

### 2.4.3. Curah Hujan Rata-rata

Data curah hujan yang digunakan di dalam menganalisis debit banjir adalah hujan yang terjadi pada daerah aliran sungai pada waktu yang sama. Terdapat beberapa cara yang digunakan dalam perhitungan curah hujan ini yaitu diantaranya, metode aritmatik, metode poligon Thiessen, serta metode isohyet (Gunawan dkk., 2020). Berikut di bawah ini disajikan gambar dari metode poligon Thiessen dan metode aritmatik.



Gambar 3. Contoh metode, (a) Isohyet dan (b) Poligon Thiessen.

#### 2.4.4. Parameter Statistik

Beberapa parameter penting dalam analisis statistik dasar yang digunakan meliputi rerata ( $\bar{X}$ ), standar deviasi (S), koefisien variasi (Cv), koefisien kemencengan atau *skewness* (Cs), dan koefisien kurtosis (Ck) (Upomo dan Kusumawardani, 2016). Di bawah ini merupakan formulasi untuk masing-masing parameter yang digunakan (Mananoma dan Tanudjaja, 2015).

- $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum X_i$
- $S = \sqrt{\left[ \sum \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n} \right]}$
- $Cv = \frac{S}{\bar{X}}$
- $Cs = \frac{n \sum (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2) S^3}$
- $Ck = \frac{n^2 \sum (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3) S^4}$

Keterangan:

- $\bar{X}$  = Nilai rerata
- n = Jumlah data
- S = Standar deviasi
- Cv = Koefisien variasi
- Cs = Koefisien kemencengan/*skewness*
- Ck = Koefisien kurtosis

#### 2.4.5. Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi bertujuan untuk mengetahui besarnya suatu kejadian dan frekuensi atau periode ulang kejadian tersebut dengan menggunakan distribusi probabilitas (Talumepa dkk., 2017). Dalam menentukan jenis distribusi yang sesuai dengan data yang ada dilakukan dengan cara mencocokkan parameter data tersebut dengan syarat

masing-masing distribusi (Suadnya dkk., 2017) seperti terlihat pada Tabel 2. di bawah ini.

**Tabel 2.** Persyaratan untuk Menentukan Jenis Distribusi

No.	Distribusi	Persyaratan
1	Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
3	Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$
4	Log Pearson III	Selain dari nilai di atas

(Sumber: Triatmodjo, 2008)

Ada beberapa bentuk fungsi distribusi teoritis yang sering digunakan dalam analisis frekuensi untuk hidrologi, berikut merupakan jenis-jenis distribusi frekuensi yang ada antara lain (Suadnya dkk., 2017) :

- Distribusi Normal

Distribusi jenis ini banyak digunakan dalam analisis hidrologi, misalnya dalam analisis frekuensi hujan, analisis statistik dari distribusi rata-rata curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan dan sebagainya (Talumepa dkk., 2017). Fungsi distribusi normal mempunyai bentuk sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + z \cdot S$$

Keterangan:

$X_T$  = Curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun  
(mm/hari)

$\bar{X}$  = Curah hujan rata-rata (mm/hari)

$z$  = Faktor frekuensi (Tabel 2)

$S$  = Standar deviasi

**Tabel 3.** Nilai Faktor Frekuensi

No.	Periode Ulang T (Tahun)	Peluang	Nilai z
1	1,001	0,999	-3,050
2	1,005	0,995	-2,580
3	1,010	0,990	-2,330
4	1,050	0,950	-1,640
5	1,110	0,900	-1,280
6	1,250	0,800	-0,840
7	1,330	0,750	-0,670
8	1,430	0,700	-0,520
9	1,670	0,600	-0,250
10	2,000	0,500	0,000
11	1,500	0,400	0,250
12	3,330	0,300	0,520
13	4,000	0,250	0,670
14	5,000	0,200	0,840
15	10,000	0,100	1,280
16	20,000	0,050	1,640
17	50,000	0,020	2,050
18	100,000	0,010	2,330
19	200,000	0,005	2,580
20	500,000	0,002	2,880
21	1000,000	0,001	3,090

(Sumber: Suripin, 2004)

- Distribusi Lognormal

Distribusi ini digunakan apabila nilai-nilai dari variabel random tidak mengikuti distribusi normal, tetapi nilai logaritmanya memenuhi distribusi normal (Triatmodjo, 2008).

$$\text{Log}X_T = \overline{\text{Log} X} + z \cdot S_{\text{log}}$$

Keterangan:

$\text{Log} X_T$  = Logaritmik curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang  
T tahun (mm/hari)

$\overline{\text{Log} X}$  = Logaritmik curah hujan rata-rata (mm/hari)

$z$  = Faktor frekuensi

$S$  = Standar deviasi

- Distribusi Gumbell

Distribusi jenis ini banyak digunakan untuk analisis data maksimum, seperti untuk analisis frekuensi banjir (Triatmodjo, 2008). Berikut formula yang digunakan:

$$X_T = \bar{X} + S \cdot K$$

dengan nilai  $K$  (faktor frekuensi) diperoleh dari persamaan (Upomo dan Kusumawardani, 2016) :

$$K = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n}$$

Untuk nilai  $Y_{Tr}$  (*reduced variate*) dinyatakan dengan rumus (Upomo dan Kusumawardani, 2016) :

$$Y_{Tr} = -\ln \left\{ -\ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right\}$$

Keterangan:

$X_T$  = Curah hujan rencana pada periode ulang  $T$  tahun (mm/hari)

$\bar{X}$  = Curah hujan rata-rata (mm/hari)

$K$  = Faktor frekuensi

$S$  = Standar deviasi

$Y_n$  = *Reduced mean* (Tabel 3)

$S_n$  = *Reduced standard deviation* (Tabel 3)

$Y_{Tr}$  = *Reduced variate* (Tabel 4)

**Tabel 4.** Koefisien  $Y_n$  dan  $S_n$ 

<b>n</b>	<b>yn</b>	<b>Sn</b>	<b>n</b>	<b>yn</b>	<b>sn</b>	<b>n</b>	<b>yn</b>	<b>sn</b>
8	0,4843	0,9043	39	0,5430	1,1388	70	0,5548	1,1854
9	0,4902	0,9288	40	0,5436	1,1413	71	0,5550	1,1863
10	0,4952	0,9497	41	0,5442	1,1436	72	0,5552	1,1873
11	0,4996	0,9676	42	0,5448	1,1458	73	0,5555	1,1881
12	0,5053	0,9833	43	0,5453	1,1480	74	0,5557	1,1890
13	0,5070	0,9972	44	0,5258	1,1490	75	0,5559	1,1898
14	0,5100	1,0098	45	0,5463	1,1518	76	0,5561	1,1906
15	0,5128	1,0206	46	0,5468	1,1538	77	0,5563	1,1915
16	0,5157	1,0316	47	0,5473	1,1557	78	0,5565	1,1923
17	0,5181	1,0411	48	0,5447	1,1574	79	0,5567	1,1930
18	0,5202	1,0493	49	0,5481	1,1590	80	0,5569	1,1938
19	0,5220	1,0566	50	0,5485	1,1607	81	0,5570	1,1945
20	0,5235	1,0629	51	0,5489	1,1623	82	0,5572	1,1953
21	0,5252	1,0696	52	0,5493	1,1638	83	0,5574	1,1959
22	0,5268	1,0754	53	0,5497	1,1653	84	0,5576	1,1967
23	0,5283	1,0811	54	0,5501	1,1667	85	0,5578	1,1973
24	0,5296	1,0864	55	0,5504	1,1681	86	0,5580	1,1980
25	0,5309	1,0914	56	0,5508	1,1696	87	0,5581	1,1987
26	0,5320	1,0961	57	0,5511	1,1708	88	0,5583	1,1994
27	0,5332	1,1004	58	0,5515	1,1721	89	0,5585	1,2001
28	0,5343	1,1047	59	0,5518	1,1734	90	0,5586	1,2007
29	0,5353	1,1086	60	0,5521	1,1747	91	0,5587	1,2013
30	0,5362	1,1124	61	0,5524	1,1759	92	0,5589	1,2020
31	0,5371	1,1159	62	0,5527	1,1770	93	0,5591	1,2026
32	0,5380	1,1193	63	0,5530	1,1782	94	0,5592	1,2032
33	0,5388	1,1226	64	0,5533	1,1793	95	0,5593	1,2038
34	0,5396	1,1255	65	0,5535	1,1803	96	0,5595	1,2044
35	0,5403	1,1285	66	0,5538	1,1814	97	0,5596	1,2049



n	yn	Sn	n	yn	sn	n	yn	sn
36	0,5410	1,1313	67	0,5540	1,1824	98	0,5598	1,2055
37	0,5418	1,1339	68	0,5543	1,1834	99	0,5599	1,2060
38	0,5424	1,1363	69	0,5545	1,1844	100	0,5600	1,2065

(Sumber: Triatmodjo, 2008).

**Tabel 5.** Hubungan Antara Nilai Reduced Variate  $Y_T$  dengan Periode Ulang

Periode Ulang (Tahun)	Reduced Variate (YT)	Periode Ulang (Tahun)	Reduced Variate (YT)
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2926
10	2,2510	250	5,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188
75	4,3117	10000	9,02121

(Sumber: Suripin, 2004).

- Distribusi Log Pearson III

Distribusi ini merupakan hasil transformasi dari distribusi Pearson III dengan transformasi variat menjadi nilai log (Triatmodjo, 2008).

$$\mathbf{Log X_T = Log \bar{X} + K \cdot S}$$

$$\mathbf{X_T = 10^{(Log Y)}}$$

Keterangan:

$X_T$  = Curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun  
(mm/hari)

$Log \bar{X}$  = Curah hujan rata-rata logaritmik (mm/hari)

K = Variabel standar berdasarkan nilai  $C_s$

S = Standar deviasi

**Tabel 6.** Nilai K untuk Kemencengan Positif

<i>Skew Coefficien Cs or Cw</i>	<i>Return Period in Years</i>						
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
	<i>Exceedence Probability</i>						
	<b>0.50</b>	<b>0.20</b>	<b>0.10</b>	<b>0.04</b>	<b>0.02</b>	<b>0.01</b>	<b>0.005</b>
3.0	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970
2.9	-0.390	0.440	1.195	2.277	3.134	4.013	4.909
2.8	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973	4.847
2.7	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.093	3.932	4.783
2.6	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718
2.5	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652
2.4	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800	4.584
2.3	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515
2.2	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444
2.1	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656	4.372
2.0	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.9	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.881	3.553	4.223
1.8	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.7	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069
1.6	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990
1.5	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.743	3.330	3.910
1.4	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.3	-0.210	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745
1.2	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661
1.1	-0.180	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575
1.0	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223
0.6	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041
0.4	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949
0.3	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670
0.0	0	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576

(Sumber: Triatmodjo, 2008).

**Tabel 7.** Nilai K untuk Kemencengan Negatif

<i>Skew Coefficien Cs or Cw</i>	<i>Return Period in Years</i>						
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
	<i>Exceedence Probability</i>						
	<b>0.50</b>	<b>0.20</b>	<b>0.10</b>	<b>0.04</b>	<b>0.02</b>	<b>0.01</b>	<b>0.005</b>
-0.10	0.017	0.846	1.270	0.716	2.000	2.252	2.482
-0.20	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388
-0.30	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294
-0.40	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201
-0.50	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108
-0.60	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016
-0.70	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926
-0.80	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837
-0.90	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749
-1.00	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664
-1.10	0.180	0.848	1.107	1.324	1.435	1.518	1.851
-1.20	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501
-1.30	0.210	0.838	1.064	1.240	1.324	1.383	1.424
-1.40	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351
-1.50	0.240	0.825	1.018	1.157	1.217	1.256	1.282
-1.60	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197	1.216
-1.70	0.268	0.808	0.970	1.075	1.116	1.140	1.155
-1.80	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097
-1.90	0.294	0.788	0.920	0.996	1.023	1.037	1.044
-2.00	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	0.995
-2.10	0.319	0.765	0.869	0.923	0.939	0.946	0.949
-2.20	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907
-2.30	0.341	0.739	0.819	0.855	0.864	0.867	0.869
-2.40	0.351	0.725	0.795	0.823	0.830	0.832	0.833
-2.50	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800
-2.60	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769	0.769
-2.70	0.376	0.681	0.724	0.738	0.740	0.740	0.741
-2.80	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714	0.714
-2.90	0.390	0.651	0.681	0.683	0.689	0.690	0.690
-3.00	0.396	0.636	0.666	0.666	0.666	0.667	0.667

(Sumber:Triatmodjo 2008).

#### 2.4.6. Pengujian Distribusi Frekuensi

Triatmodjo (2008) dalam bukunya yang berjudul *Hidrologi Terapan* menjelaskan bahwa, terdapat dua cara yang dapat digunakan untuk menguji apakah jenis distribusi yang dipilih sesuai dengan data yang ada yaitu:

- Uji Chi-Kuadrat

Pengujian ini menggunakan nilai  $X^2$  yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Upomo dan Kusumawardani, 2016) :

Nilai  $X^2$  yang diperoleh harus lebih kecil dari nilai  $X_{cr}^2$  (Chi-Kuadrat kritik pada Tabel 7), untuk suatu derajat nyata tertentu yang sering diambil 5% (Triatmodjo, 2008). Derajat kebebasan dihitung menggunakan persamaan:

$$DK = K - (\alpha + 1)$$

$$K = 1 + 3,3 \log n$$

Keterangan:

$X^2$  = Nilai Chi-Kuadrat terhitung

$E_f$  = Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelas

$O_f$  = Frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

$n$  = Jumlah data

$DK$  = Derajat kebebasan

$K$  = Banyak kelas

$\alpha$  = Banyaknya keterikatan (parameter), untuk uji Chi-Kuadrat adalah 2

**Tabel 8.** Nilai  $X_{\alpha}^2$ 

DK	Distribusi $X^2$											
	0.99	0.95	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.20	0.10	0.05	0.01	0.001
1	0.000	0.004	0.016	0.004	0.148	0.455	1.074	1.642	2.706	3.841	6.635	10.827
2	0.020	0.103	0.211	0.446	0.713	1.386	2.408	3.219	4.605	5.991	9.210	13.815
3	0.115	0.552	0.584	1.005	1.424	2.366	3.665	4.642	6.251	7.815	11.345	16.268
4	0.297	0.711	1.064	1.649	2.195	3.357	4.878	5.989	7.779	9.488	13.277	18.465
5	0.554	1.145	1.610	2.343	3.000	4.351	6.064	7.289	9.236	11.070	15.086	20.517
6	0.872	1.635	2.204	1.070	3.828	5.348	7.231	8.558	10.645	12.592	16.812	22.457
7	1.239	2.167	2.833	3.822	4.671	6.346	8.383	9.803	12.017	14.067	18.475	24.322
8	1.646	2.733	3.890	4.594	5.527	7.344	9.524	11.030	13.362	15.507	20.090	26.425
9	2.088	3.324	4.168	5.380	6.393	8.343	10.656	12.242	14.684	16.919	21.666	27.877
10	2.558	3.940	6.179	6.179	7.267	9.342	11.781	13.442	15.987	18.307	23.209	29.588
11	3.053	4.575	5.578	6.989	8.148	10.341	12.899	14.631	17.275	19.675	24.725	31.264
12	3.571	5.226	6.364	7.807	9.034	11.340	14.011	15.812	18.549	21.026	26.217	32.909
13	4.107	5.892	7.042	8.634	9.926	12.340	15.119	16.985	19.812	22.362	27.688	34.528
14	4.660	6.571	7.790	9.467	10.821	13.339	16.222	18.151	21.064	23.685	29.141	36.123
15	5.229	7.261	8.547	10.307	11.721	14.339	17.322	19.311	22.307	24.996	30.578	37.697
16	5.812	7.962	9.312	11.152	12.624	15.338	18.418	20.465	23.542	26.296	32.000	39.252
17	6.408	8.672	10.085	12.002	13.531	16.338	19.511	21.615	24.769	27.587	33.409	40.790
18	7.015	9.390	10.865	12.857	14.440	17.338	20.601	22.760	25.989	28.869	34.805	42.312
19	7.633	10.117	11.651	13.716	15.352	18.338	21.689	23.900	27.204	30.144	36.191	43.820
20	8.260	10.851	12.443	14.578	16.266	19.377	22.775	25.038	28.412	31.410	37.566	45.315
21	8.897	11.501	13.240	15.445	17.182	20.377	23.858	26.171	29.615	32.671	38.932	46.797
22	9.542	12.338	14.041	16.314	18.101	21.337	24.939	27.301	30.813	33.924	40.289	48.268
23	10.196	13.001	14.848	17.187	19.021	22.337	26.018	28.429	32.007	35.172	41.638	49.729
24	10.856	13.848	15.659	18.062	19.943	23.337	27.096	29.553	33.196	36.415	42.980	51.179
25	11.524	14.611	16.473	18.940	20.867	24.337	28.172	30.675	34.382	37.652	44.314	52.620
26	12.198	15.379	17.292	19.820	21.792	25.336	29.246	31.795	35.563	38.886	45.642	54.052
27	12.879	16.151	18.114	20.703	22.719	26.336	30.319	32.912	36.741	40.113	46.963	55.476
28	13.565	16.928	18.939	21.588	23.647	27.336	31.391	34.027	37.916	41.337	48.278	56.893
29	14.256	17.708	19.768	22.475	24.577	28.336	32.461	35.139	39.087	42.557	49.588	58.302
30	14.953	18.493	20.599	23.364	25.508	29.336	33.530	36.250	40.256	43.773	50.892	59.703

(Sumber: Triatmodjo, 2008).

- Uji Smirnov-Kolmogorov

Pengujian ini disebut juga sebagai uji kecocokan non parametrik karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu, namun dengan memperhatikan kurva dan penggambaran data pada kertas probabilitas (Triatmodjo, 2008). Dari gambar dapat diketahui jarak penyimpangan setiap titik data terhadap kurva. Jarak penyimpangan terbesar merupakan nilai  $\Delta_{\text{maks}}$  dengan kemungkinan didapat nilai yang lebih kecil dari nilai  $\Delta_{\text{kritik}}$  (Tabel 8), maka distribusi yang dipilih dapat digunakan.

**Tabel 9.** Nilai  $\Delta_{\text{kritik}}$ 

n	$\alpha$			
	0.20	0.10	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.3	0.34	0.4
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.20	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.18	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
n > 50	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$

(Sumber:Triatmodjo, 2008)

#### 2.4.7. Intensitas Curah Hujan Jam-Jaman

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan persatuan waktu. Besarnya hujan dan lama hujan mempengaruhi intensitas hujan. Jika hujan berlangsung lama maka intensitasnya akan semakin tinggi (Hendri, 2016). Pada perhitungan untuk mendapat hidrograf banjir dibutuhkan selang waktu antara 5-7 jam (Syamsuddin dkk., 2022) . Persamaan yang digunakan yaitu (Andayani dan Umari, 2022) :

$$I_T = T \times R_t - [(T-1) \times R_{(T-1)}]$$

$$R_t = \left( \frac{R_{24}}{t} \right) \left( \frac{t}{T} \right)^{2/3}$$

Keterangan:

$I_T$  = Intensitas curah hujan pada jam ke-T

T = Durasi hujan dari jam ke-1 sampai jam ke 5-7

$R_{(T-1)}$  = Rerata hujan dari awal sampai dengan jam ke (T-1)

$R_t$  = Intensitas hujan rerata sampai dengan jam ke-T (mm/jam)

$R_{24}$  = Curah hujan maksimum dalam waktu 24 jam (mm)

t = Durasi hujan (jam), untuk Indonesia antara 5-7 jam

### 2.4.8. Koefisien Limpasan Permukaan

Koefisien Limpasan diperoleh melalui beberapa karakteristik fisik DAS yang terdiri dari topografi, infiltrasi tanah, vegetasi dan simpanan permukaan. Setiap karakteristik memiliki bobot yang berbeda seperti pada Tabel 10.

**Tabel 10.** Karakteristik DAS pada Metode Cook

Karakteristik DAS	Karakteristik yang Menghasilkan Aliran			
	Ekstrim (100)	Tinggi (75)	Sedang (50)	Rendah (25)
Topografi	Curam (> 40%)	Berbukit (10-30%)	Bergelombang (5-10%)	Datar (0-5%)
Bobot	40	30	20	10
Infiltrasi Tanah	Batuan yang tertutup lapisan tanah tipis	Lempung	Geluh Berpasir, Geluh Berdebu, Geluh, Geluh Berlempung	Pasir, Pasir Bergeluh
Bobot	20	15	10	5
Vegetasi Penutup	Permukiman, lahan kosong	Sawah irigasi, sawah tadah hujan, dan tegalan	Kebun campuran, hutan kurang rapat	Hutan rapat
Bobot	20	15	10	5
Simpanan Permukaan	Dapat diabaikan, pengatusan kuat, saluran curam, tidak ada danau	Sedikit, pengatusan baik, tidak ada danau	Sedang, pengatusan baik-sedang, 2% luas daerah berupa danau	Banyak, pengatusan kurang, banyak danau
Bobot	20	15	10	5

(Sumber :Chow dkk., 1988)

Pada masing-masing parameter terdiri dari beberapa klasifikasi selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C_{DAS} = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + C_nA_n}{A_1 + A_2 + A_n}$$

Dimana :

C : koefisien limpasan

C<sub>1, 2, n</sub> : koefisien aliran parameter

A<sub>1, 2, n</sub> : luas parameter

### 2.4.9. Debit Rencana

Debit banjir didefinisikan sebagai debit maksimum yang mungkin terjadi pada suatu sungai dengan periode ulang tertentu (Mananoma dan Tanudjaja, 2015). Metode yang digunakan pada suatu lokasi umumnya ditentukan oleh tersedianya data atau tidak. Metode yang digunakan dalam menghitung debit banjir adalah metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu.

### 2.4.10. Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu

Hidrograf dimaksudkan sebagai penyajian secara grafis hubungan antar unsur aliran seperti misalnya debit ( $Q$ ) terhadap waktu ( $t$ ), sedangkan hidrograf satuan ialah hidrograf limpasan langsung (limpasan permukaan) yang dihasilkan oleh hujan satuan (Rahmawati, 2016). Berikut merupakan persamaan debit puncak banjir dengan metode Nakayasu (Widiarsini dkk., 2021).

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \left( \frac{A \cdot R_o}{0,3 T_p + T_{0,3}} \right)$$

$$T_p = t_g + 0,8 T_r$$

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

$$t_g = 0,21 L^{0,7} \quad (\text{untuk } L < 15 \text{ km})$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g$$

$$t_r = 0,5 t_g \text{ sampai } t_g$$

Keterangan:

$$Q_p = \text{Debit puncak banjir (m}^3/\text{s)}$$

$$A = \text{Luas DAS (km}^2\text{)}$$

$$L = \text{Panjang sungai utama (km)}$$

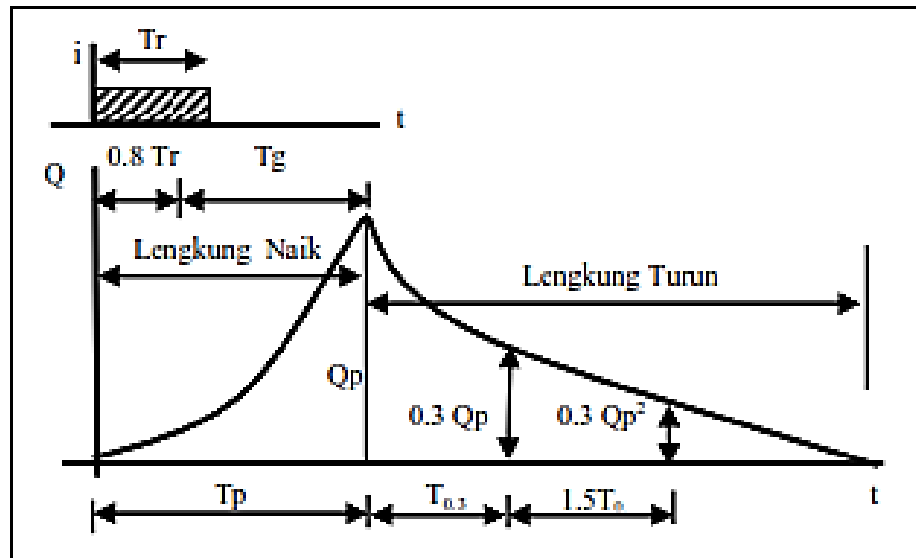
$$R_o = \text{Curah hujan efektif (mm)}$$

$$T_p = \text{Waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)}$$

$$T_{0,3} = \text{Waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak (jam)}$$



- $t_g$  = Waktu konsentrasi (jam)  
 $t_r$  = Satuan waktu curah hujan (jam)  
 $\alpha$  = Koefisien karakteristik DAS, diambil nilai 2 (Triatmodjo, 2008a)



(Sumber: Triatmodjo, 2008)

Gambar 4. Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Desa Fajar Bulan Seputih Agung, Kabupaten Lampung Tengah. Jembatan ini terletak di Km. 63+317 antara Haji Pemanggilan – Selusuban dengan koordinat garis lintang  $4^{\circ}59'54,78''S$  dan  $105^{\circ}06'20,54''E$ . Sungai yang melintasi jembatan ini adalah Way Seputih. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 5 dan visual jembatan pada Gambar 6.



Gambar 5. Foto Satelit Jembatan KA BH.116 Km. 63+317.



Gambar 6. Foto Visual Jembatan KA BH.116 Km 63+317

## 3.2. Metodologi Penelitian

### 3.2.1. Pengumpulan Data

Data-data yang akan digunakan dalam tugas akhir ini adalah data terkait dengan proyek pembangunan jembatan kereta api jalur ganda di Way Seputih. Data yang dibutuhkan antara lain:

a. Data primer :

- Kondisi sungai dan keadaan lingkungan lokasi penelitian.

b. Data sekunder :

- Data hidrologi didapatkan dari data curah hujan harian sepanjang 2005-2021 untuk Kawasan Sub DAS Sungai Way Seputih dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Mesuji Sekampung.
- Data Peta digital tata guna lahan dan Peta topografi DEMNAS (*Digital Elevation Model* Nasional) didapatkan dari Ina Geoportal (Badan Informasi Geospasial). Sistem Koordinat menggunakan WGS (*World Geodetic System*) 1984.

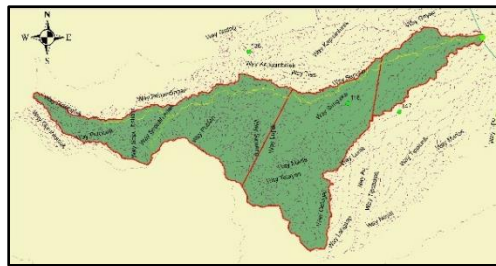
### 3.3. Analisis Data

#### 3.3.1. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi bertujuan untuk mendapatkan data debit banjir rencana. Pada perhitungan tersebut dilakukan langkah-langkah yang harus dipenuhi yaitu Delineasi Daerah Aliran Sungai (DAS) dan Karakteristik DAS, Analisis Frekuensi, dan Hidrograf Banjir Rencana Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu.

##### 3.3.1.1. Delineasi Daerah Aliran Sungai dan Karakteristik DAS

Delineasi daerah aliran sungai adalah penentuan sebuah area yang berkontribusi mengalirkan curah hujan (input) menjadi aliran permukaan pada satu titik luaran (outlet). Proses delineasi atau gambaran dimulai dari pengolahan data mentah DEM Nasional (DEMNAS). Data DEMNAS adalah data mentah topografi untuk menghasilkan gambaran DAS. Dalam prosesnya, peta tersebut dilakukan dengan aplikasi berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Dengan bantuan aplikasi berbasis SIG maka karakteristik dari tiap peta dapat diketahui seperti luas das dan panjang sungai utama. Peta Gambaran DAS dapat dilihat pada Gambar 7.



Karakteristik	Nilai
A: Luas DAS (km <sup>2</sup> )	502,64
L : Panjang Sungai Utama (km)	77,26

Gambar 7. Gambaran Daerah Aliran Sungai dan Karakteristik DAS

### 3.3.1.2. Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi dalam penelitian ini dilakukan dengan menganalisis curah hujan yang didapatkan di stasiun 118 Padang Ratu-Tanjung Rejo, 136 Negeri Agung-Gedong Harta, dan 147 Padang Ratu dengan periode 2005 s/d 2021. Langkah-langkah dalam menganalisis frekuensi untuk mendapatkan harga curah hujan rencana yaitu menganalisis curah hujan kawasan dengan metode *Polygon Thiessen* kemudian analisis frekuensi dengan metode sebaran Normal, Log Normal, Gumbel dan Log Pearson III dan curah hujan rencana. Harga curah hujan rencana yang didapatkan kemudian dianalisis untuk mendapatkan nilai debit banjir rencana.

### 3.3.1.3. Hidrograf Banjir Rencana

Dalam mengestimasi hidrograf banjir rencana bertujuan untuk memenuhi kebutuhan analisis jembatan eksisting terhadap tinggi muka air banjir di lokasi penelitian. Analisis debit banjir menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu dilakukan karena keterbatasan data yang dimiliki. Dalam menganalisis dengan metode tersebut dibutuhkan data-data seperti luas DAS, panjang sungai, koefisien pengaliran, dll. sehingga didapatkan debit banjir rencana untuk menjadi nilai input pada analisis hidraulika menggunakan program HEC-RAS.

### 3.3.2. Analisis Hidraulika dengan HEC-RAS

Analisis hidraulika pada HEC-RAS diawali dengan pemodelan geometrik pada saluran sungai maupun jembatan eksisting melalui fitur *RAS Mapper* pada aplikasi HEC-RAS. *RAS Mapper* adalah suatu fitur pada aplikasi HEC-RAS berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan berbagai fungsi salah satunya

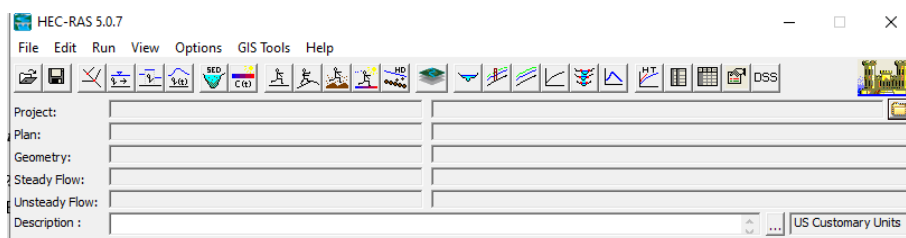
yaitu untuk mendapatkan informasi geometri sungai melalui data *terrain (Digital Elevation Model)*. Setelah informasi geometri sungai sudah dimodelkan maka pemodelan geometrik dapat dilakukan. Model jembatan eksisting yang diinput berupa struktur atas dan struktur bawah jalan KA seperti lantai jembatan, pilar, dll. Pemodelan hidraulika pada sungai seputih dikaji dengan sungai sepanjang 2,3 km dengan potongan melintang sebanyak 77 untuk mendapatkan hasil pemodelan yang mendekati akurat. Selanjutnya tahapan analisis hidraulika dengan aplikasi HEC-RAS V5.0.7 dijelaskan sebagai berikut:

1. Membuat file *project*
2. Membuat data geometri sungai pada RAS Mapper
3. Membuat data geometri jembatan eksisting
4. Menginput data steady flow analysis
5. Melakukan analisis hidraulika
6. Mempresentasikan hasil pemodelan

### 3.3.2.1. Membuat File *Project*

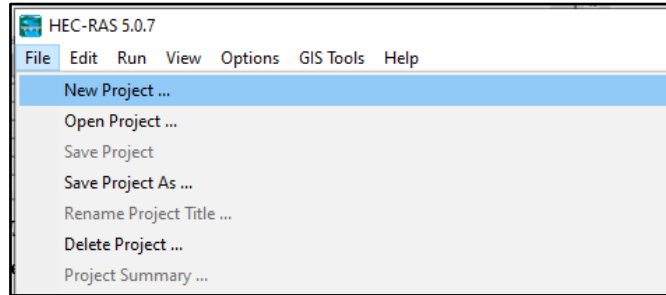
Tahapan dalam membuat *project* baru pada HEC-RAS yaitu:

1. Membuka *software* HEC-RAS



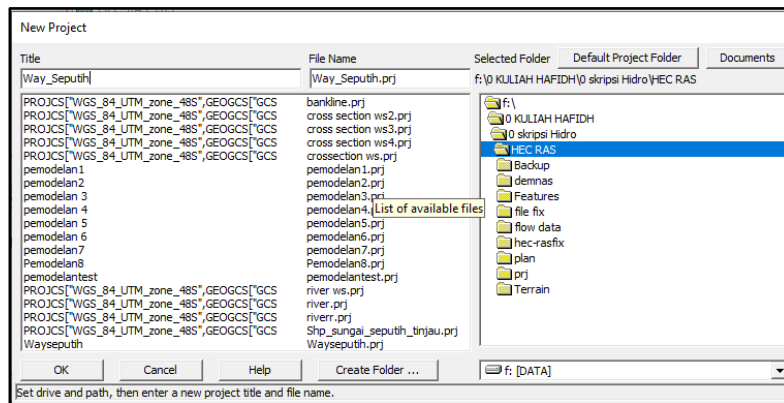
Gambar 8. *User interface* HEC-RAS.

2. Memilih menu **File > New Project**



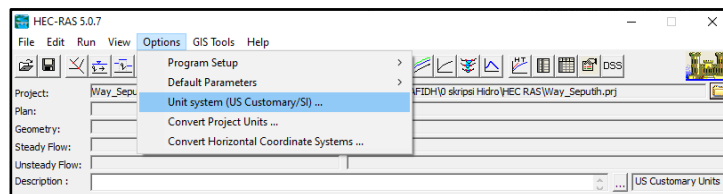
Gambar 9. Membuat project baru.

3. Menuliskan “**Way\_Seputih**” pada **Project Title** dan **File Name**. Setelah itu, mengklik tombol **OK** di sisi kiri bawah layer.

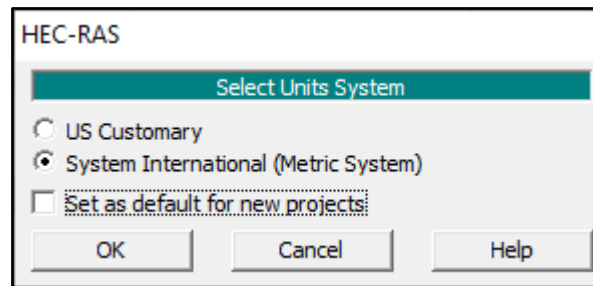


Gambar 10. Memberi nama pada project title dan file name.

4. Memilih menu **Option > Unit System (US Customary/System International) > System International (Metric System)** sebagai sistem satuan yang akan digunakan.



Gambar 11. Mengubah sistem satuan pada HEC-RAS.

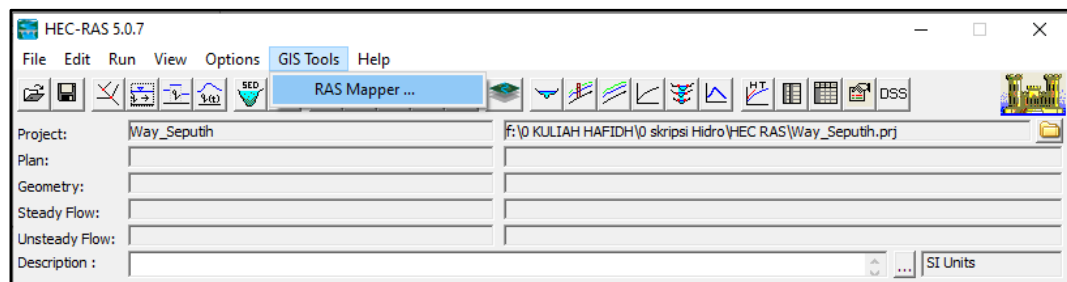


Gambar 12. Memilih sistem satuan yang digunakan.

### 3.3.2.2. Membuat Data Geometri Sungai

Selanjutnya pada proses pemodelan HEC-RAS yaitu dilakukan membuat geometri sungai dengan fitur *RAS Mapper* pada HEC-RAS dengan input data *terrain* yang sudah di *clip* dari data DEMNAS menggunakan *software Geographic Information System (GIS)*. Berikut dijelaskan tahapan dalam pemodelan geometri sungai:

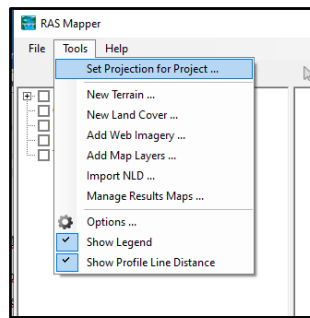
1. Memilih menu **GIS Tools**, kemudian mengklik menu **RAS Mapper**.



Gambar 13. Membuka menu RAS Mapper.

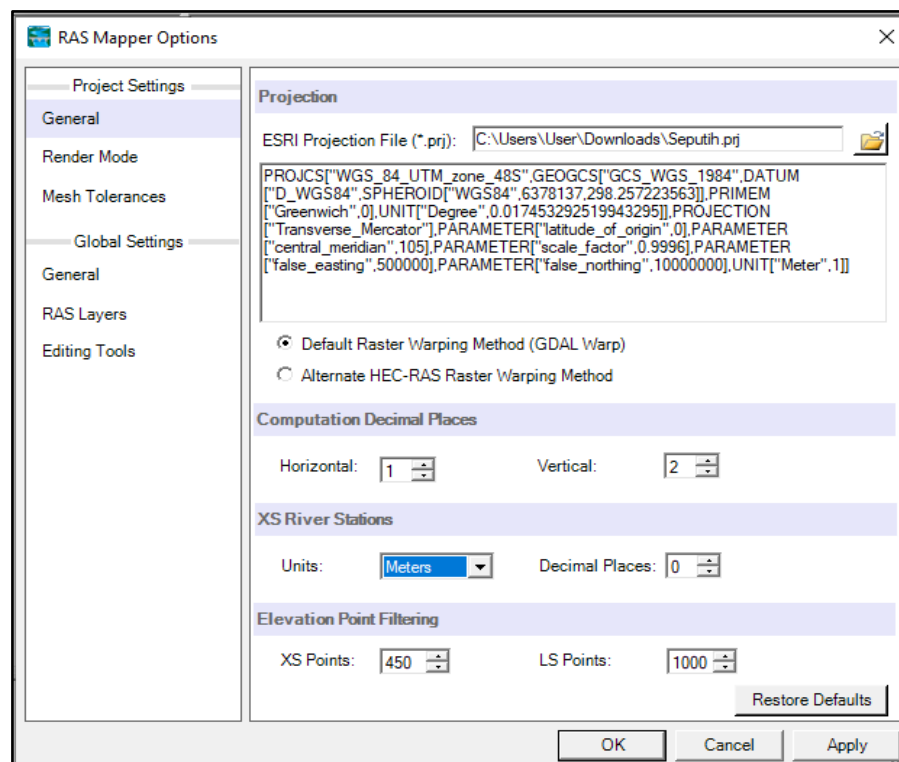
2. Memilih menu **Tools**, kemudian mengklik pada menu **Set Projection for Project**.





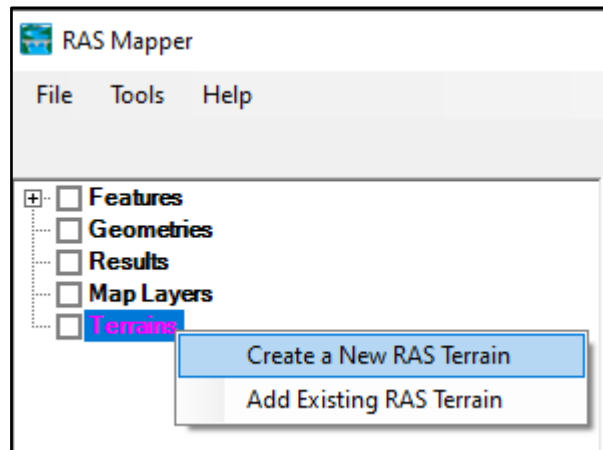
Gambar 14. Menu *Set Projection for Project*.

- Memasukkan data koordinat wilayah penelitian pada **Set Projection for Project** dengan format **.prj**. Kemudian mengubah satuan menjadi satuan meter pada pemilihan XS River Station.

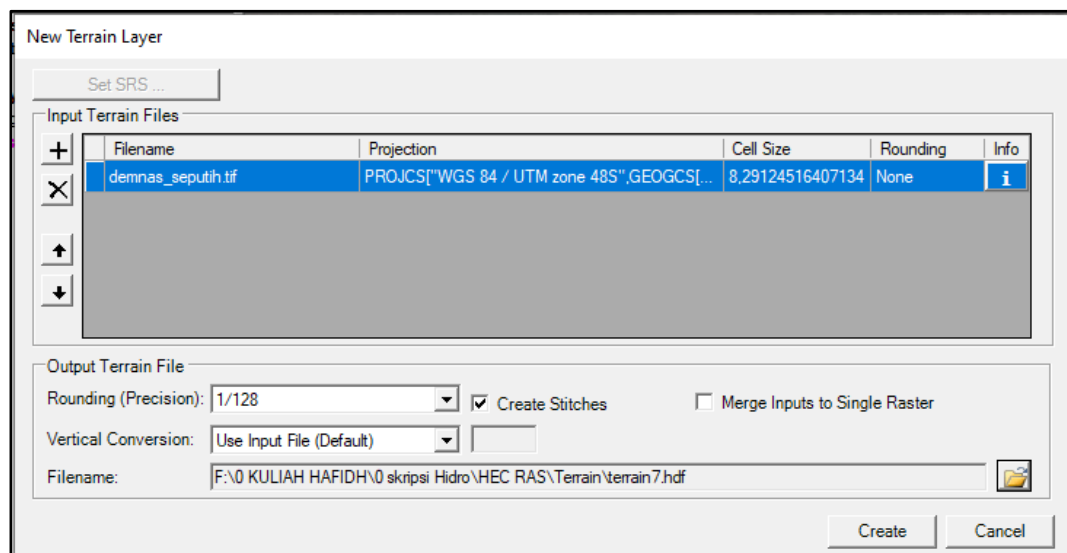


Gambar 15. Memasukkan data *projection*.

4. Memasukkan data *terrain* penelitian dengan cara mengklik kanan pada menu **Terrain** lalu memilih **Create a New Ras Terrain**, kemudian menginput data *terrain* dari *software* SIG.

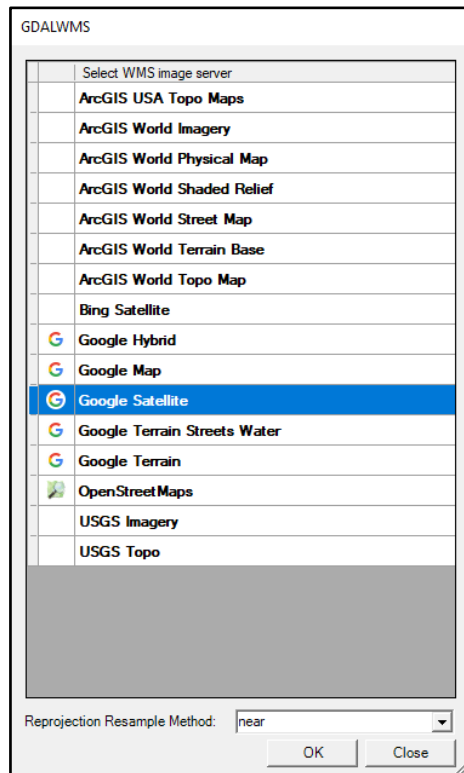


Gambar 16. *Create a New Ras Terrain.*

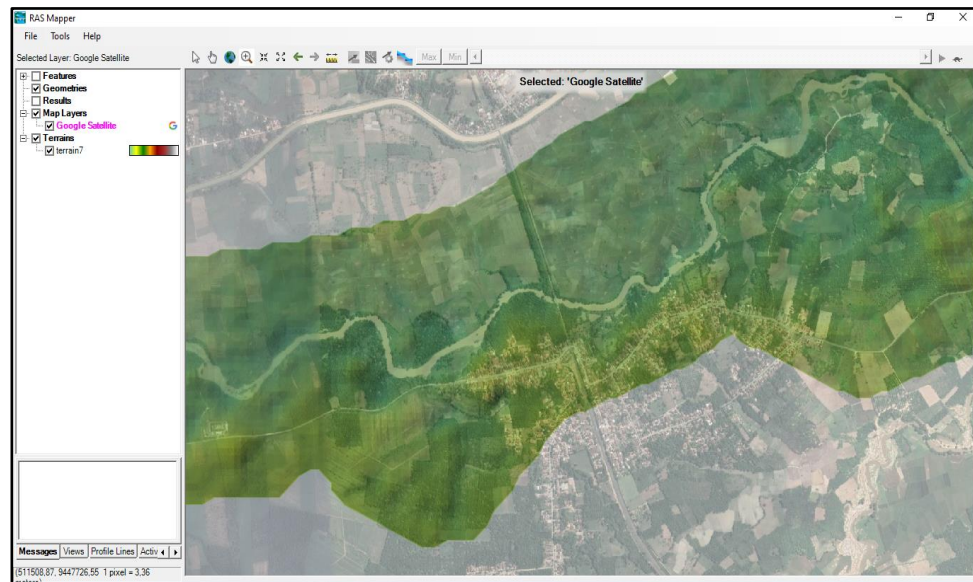


Gambar 17. Memasukkan data terrain.

5. Memilih menu **Map Layers**, kemudian Memilih **Add Web Imagery Layer** dan Memilih **Google Satellite** sebagai *map layers* untuk memberi visual peta dan dikombinasikan dengan data *terrain*.

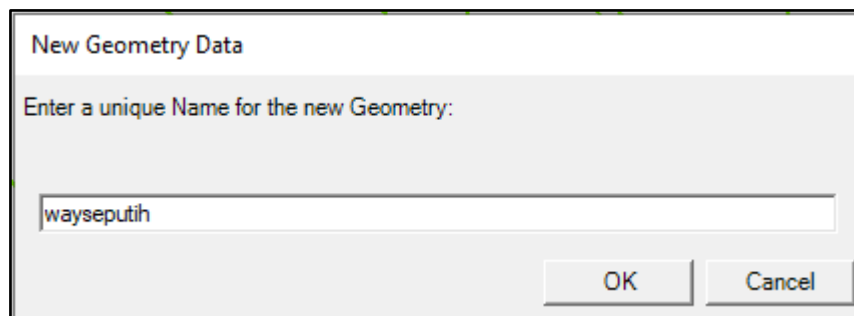


Gambar 18. Memasukkan map layers pada project.



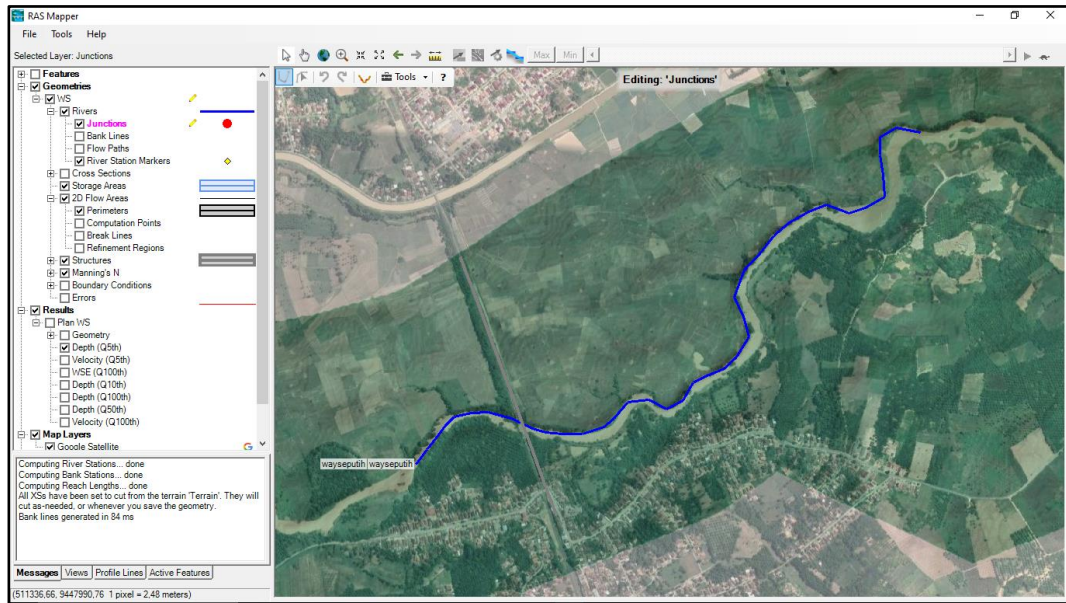
Gambar 19. Kombinasi *terrain* dan *map layers*.

6. Selanjutnya mengklik menu **Geometry** pada **RAS Mapper**, lalu mengklik kanan memilih **Add New Geometry** dan memberi nama “**wayseputih**” pada file tersebut.



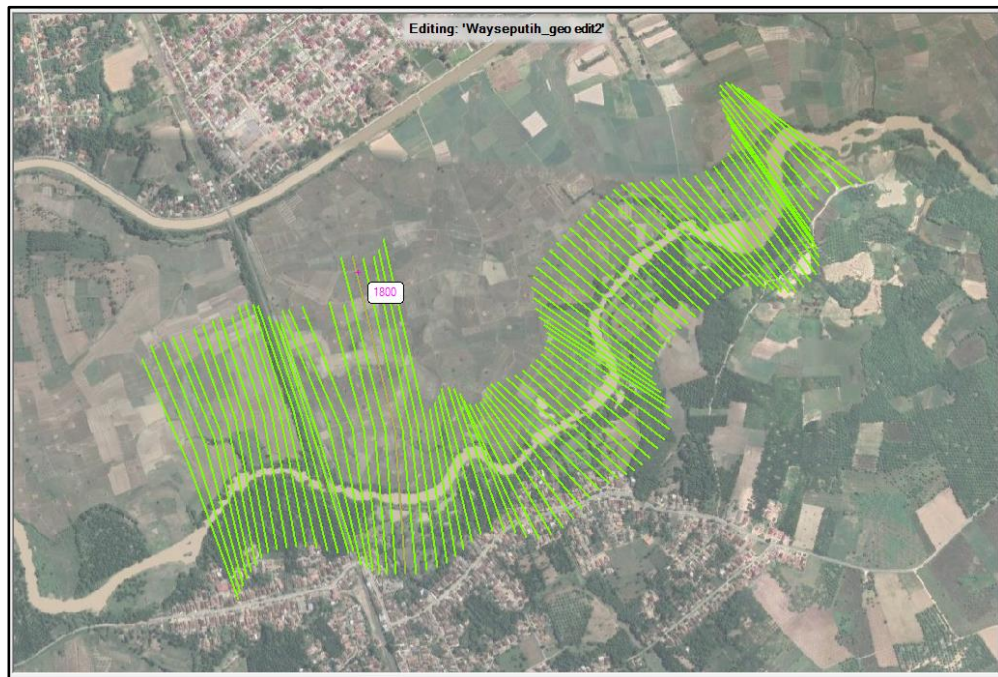
Gambar 20. Membuat dan memberi nama pada file geometri.

7. Membuat alur sungai yang akan dikaji sesuai dengan data *terrain* dengan mengklik menu **River > Edit Geometry**.



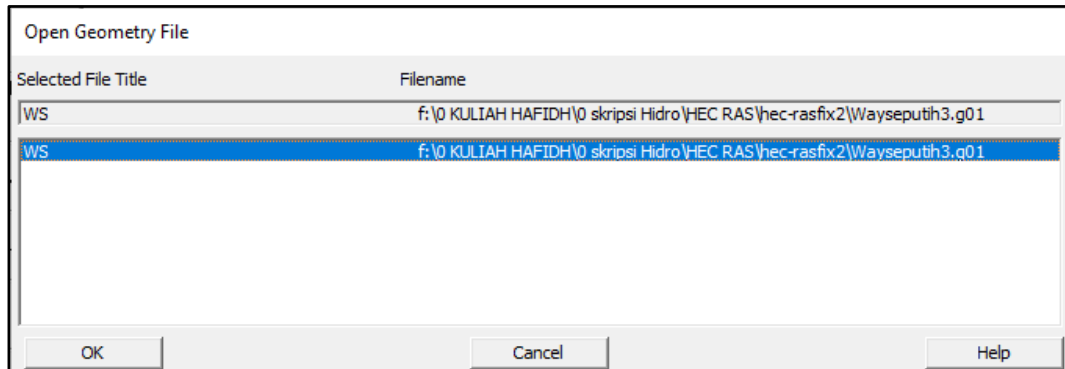
Gambar 21. Membuat alur sungai.

8. Membuat potongan melintang penampang sungai dengan cara mengeklik menu **Cross Section > Edit Geometry**.

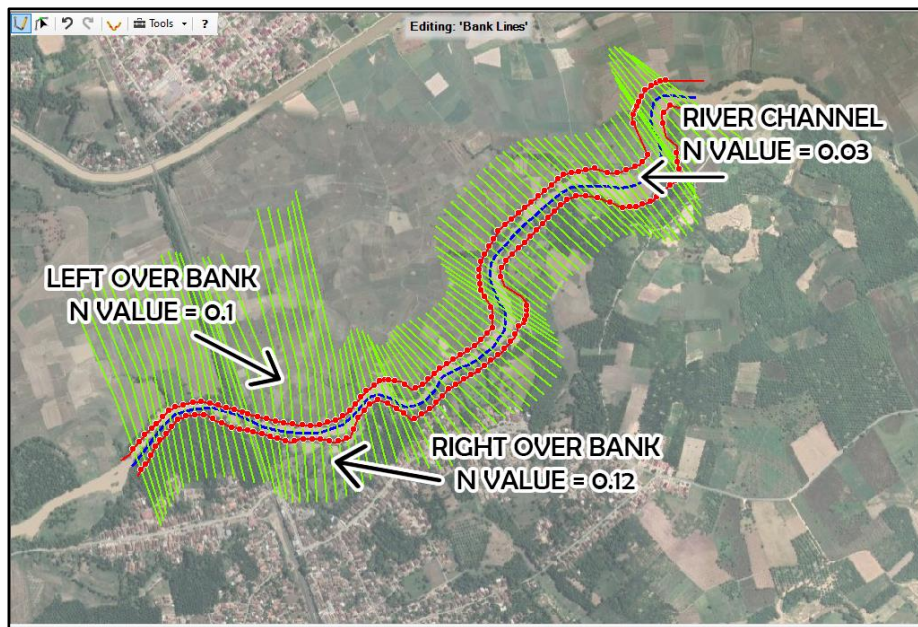


Gambar 22. Membuat potongan melintang pada sungai.

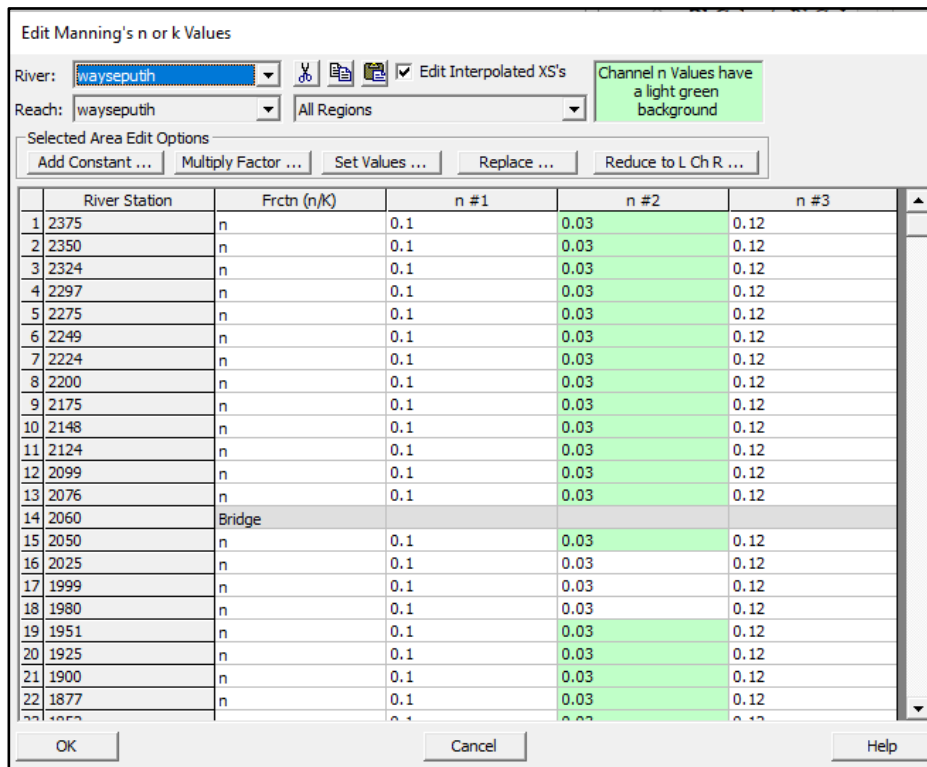
9. Kembali ke tampilan utama HEC-RAS. Selanjutnya ke menu **Geometry Data > File > Open Geometry File** untuk *import* file geometri yang sudah dibuat di *RAS Mapper*. Setelah itu mengklik menu **Tables > Manning's n or k Values** untuk memasukkan nilai koefisien Manning (n) lalu mengklik *set values* dan isikan n = 0,03 untuk seluruh *station* dan mengklik **OK**.



Gambar 23. Memasukkan data geometri sungai.

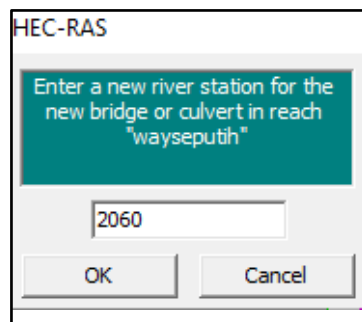


Gambar 24. Geometri sungai Way Seputih.



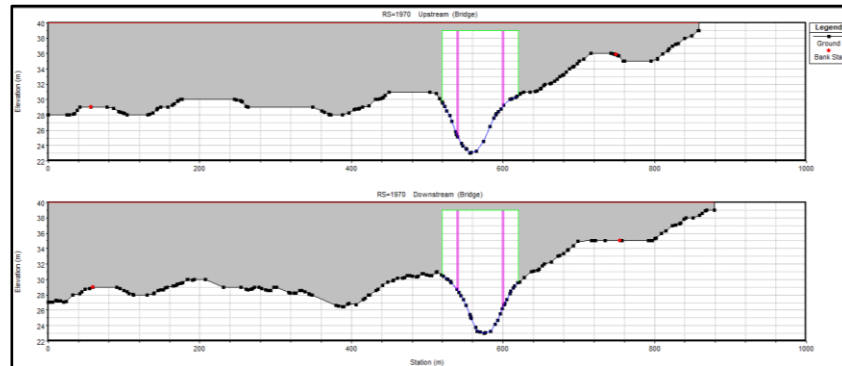
Gambar 25. Memasukkan nilai Manning (n).

10. Kembali ke tampilan utama Geometric Data, kemudian memilih menu Bridge/Culvert > Option > Add Bridge/Culvert. Lalu memasukkan *station* sungai yang ingin diberi jembatan.



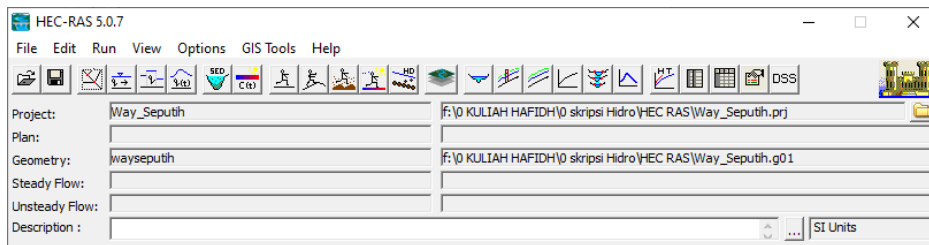
Gambar 26. Memasukkan *station* untuk jembatan baru.

11. Kemudian masukkan data dimensi jembatan dan *pier*.



Gambar 27. Setelah memasukkan data jembatan.

12. Membuka Kembali tampilan utama HEC-RAS.



Gambar 28. Tampilan utama HEC-RAS setelah diinput data geometri.



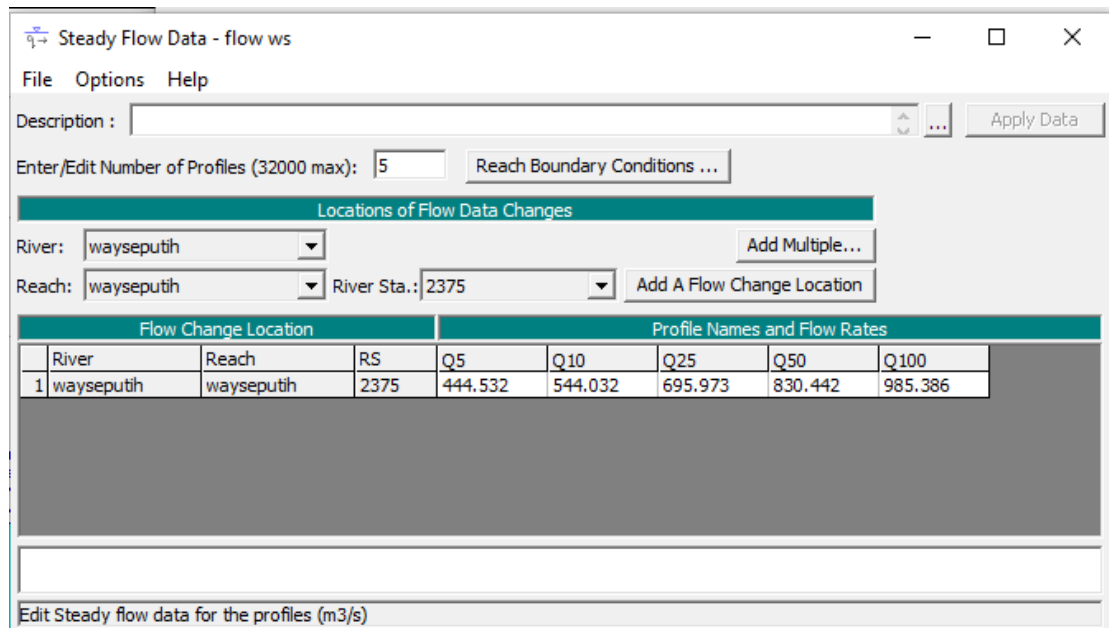
### 3.3.2.3. Menginput Data Aliran (*Steady Flow Analysis*)

Jenis aliran yang digunakan dalam simulasi ini yaitu aliran tetap/permanen (*steady flow*) berdasarkan tujuan dilakukannya analisis yaitu mengestimasi muka air banjir (MAB) di sepanjang sungai (Istiarto, 2014). Analisis aliran tetap/permanen dilakukan dengan memasukkan data-data sebagai berikut:

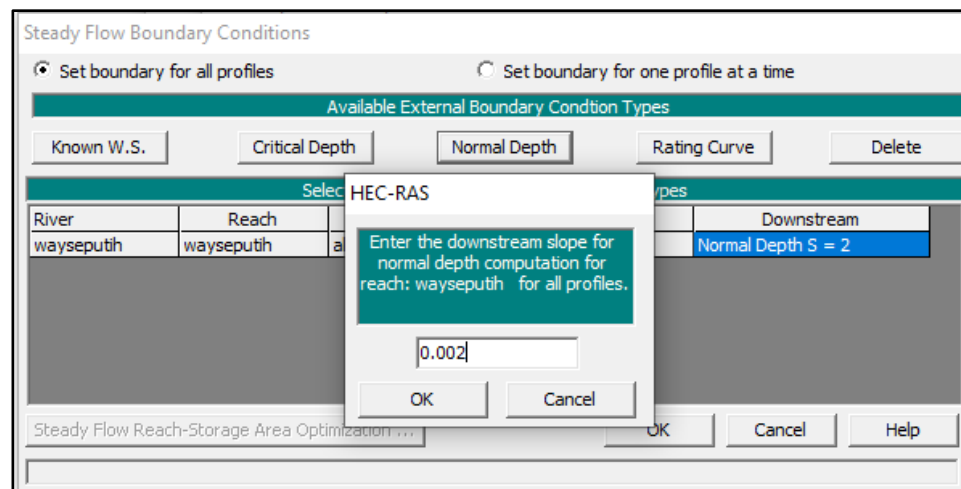
1. Memilih menu **View/Edit Steady Flow Data**, kemudian diisi data-data di bawah ini:

- *Enter/Edit Number of Profile* = 1 (digunakan 1 profil muka air)
- *Profile Name and Flow Rates* = Diisi besaran debit di batas hulu (RS 2375) dengan rincian seperti terlihat pada Gambar 29.
- *Reach Boundary Conditions* = Pada bagian *downstream* kemudian dipilih **Normal Depth** dan diisi 0,002 (kemiringan sungai) mengeklik **OK**.

Selanjutnya, menyimpan data analisis aliran tetap yang sudah diinput dengan mengeklik menu **File > Save Flow Data**, lalu diisi “**flow ws**” pada judul file.



Gambar 29. Memasukkan data debit.

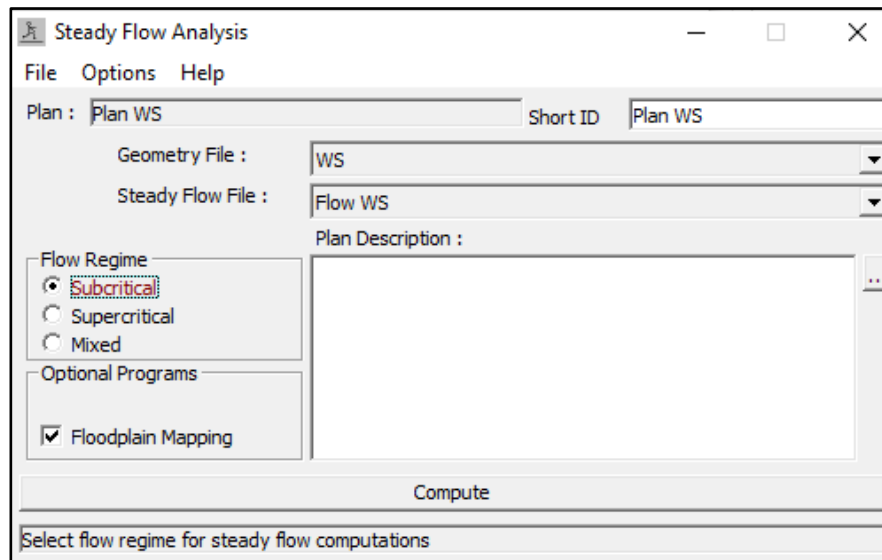


Gambar 30. Memasukkan nilai batas pada bagian hilir sungai.

### 3.3.2.4. Melakukan Analisis Hidraulika (*Running Simulation*)

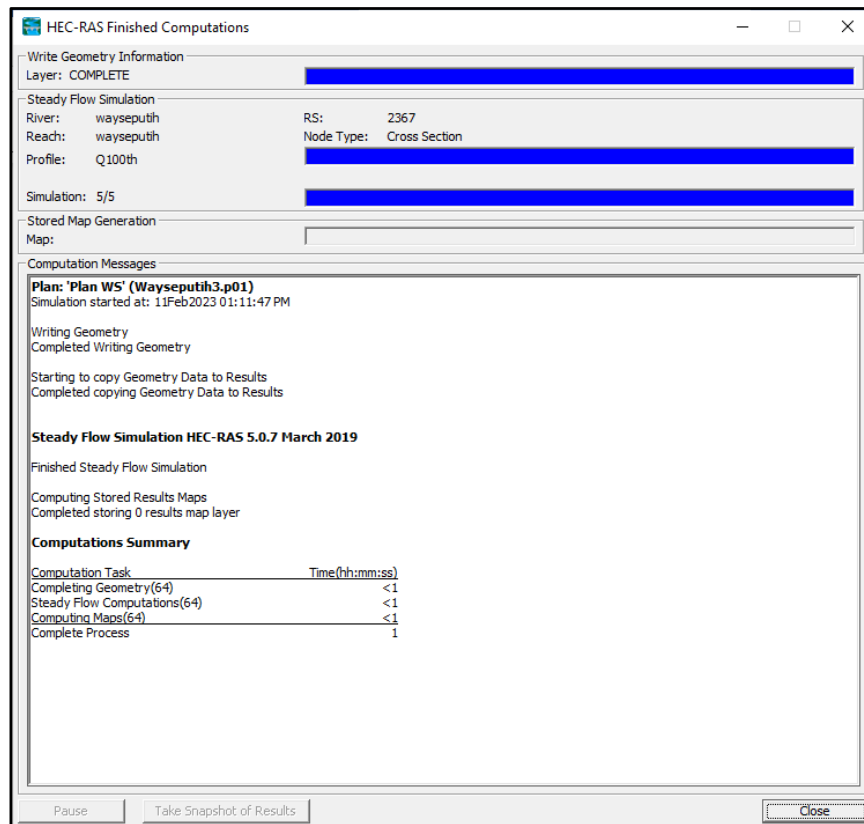
Tahap akhir di dalam pemodelan muka air banjir di sungai ialah menjalankan program (*running*) dengan data-data yang sebelumnya telah dimasukkan, berikut merupakan langkah-langkah dalam menjalankan simulasi:

1. Pada tahap pertama yaitu mengeklik menu **Perform A Steady Flow Simulation** > **File** > **Save Plan** kemudian memberi nama “WS” dengan “**Plan WS**” sebagai *short ID*. Kemudian memilih *flow regime* pada simulasi yaitu *subcritical*. Selanjutnya mengeklik **Compute** untuk *running* analisis.

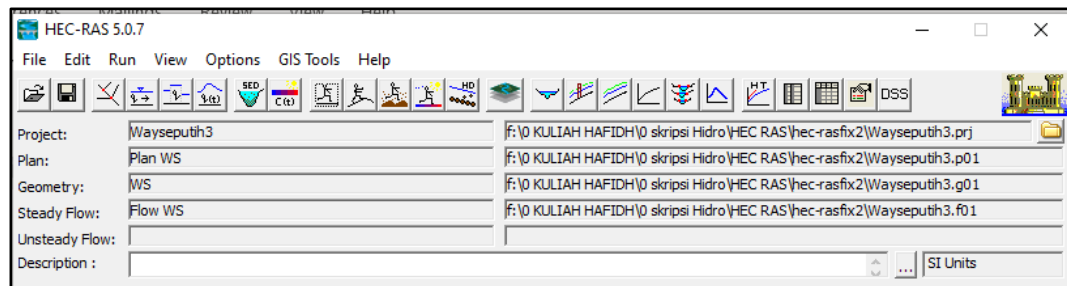


Gambar 31. Input *steady flow analysis*.

2. Setelah di **Compute**, maka akan muncul layer hitungan yang menunjukkan proses *running* dan menunggu hingga selesai, kemudian mengeklik **Close**.

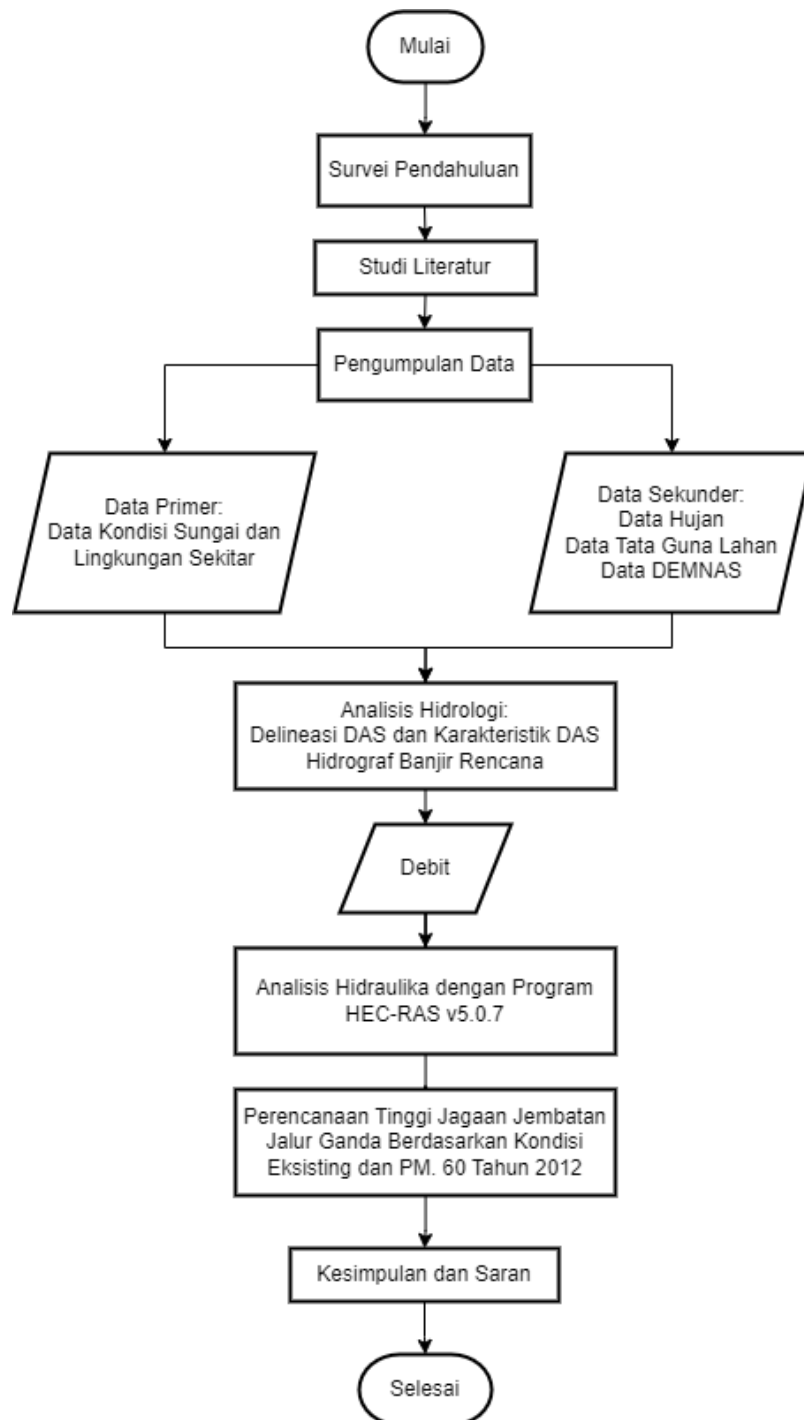


Gambar 32. Layar hitungan hidraulika setelah proses *running*.



Gambar 33. Tampilan utama HEC-RAS setelah proses *running*.

### 3.4. Diagram Alir Penelitian



Gambar 34. Diagram Alir Penelitian.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pemodelan yang dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Diperoleh nilai debit banjir untuk kala ulang 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun masing-masing sebesar 444.532 m<sup>3</sup>/s, 544.032 m<sup>3</sup>/s, 695.973 m<sup>3</sup>/s, 830.442 m<sup>3</sup>/s dan 985.386 m<sup>3</sup>/s.
2. Diperoleh nilai elevasi muka air banjir (MAB) dari hasil analisis hidraulika menggunakan aplikasi HEC-RAS V5.0.7 pada kala ulang 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun yaitu +28.44 m, +29.00 m, +29.66 m, +30.16 m dan +30.71 m.
3. Diperoleh tinggi jagaan berdasarkan elevasi muka air banjir (MAB) dari hasil analisis hidraulika menggunakan aplikasi HEC-RAS V5.0.7 pada kala ulang 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun yaitu 11.56 m, 11.00 m, 10.76 m, 9.84 m dan 9.29 m.
4. Diperoleh hasil dari analisis tinggi jagaan jembatan eksisting BH-116 KM. 63+317 berdasarkan PM No.60 Tahun 2012 yaitu memenuhi kriteria dan aman terhadap kala ulang 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun bahwa jembatan kereta api harus memiliki ruang bebas vertical (*freeboard*) minimal 1 meter dari elevasi gelagar terbawah jembatan.
5. Direncanakan elevasi gelagar terbawah jembatan jalur ganda kereta api yaitu pada elevasi +40 m sejajar dengan gelagar terbawah jembatan eksisting dengan merujuk pada PM No.60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api Pasal 3.2.1.(i) yaitu jembatan kereta api harus memiliki ruang bebas vertikal (*freeboard*) minimal 1 meter dari elevasi gelagar terbawah jembatan dari muka air banjir rencana.

## 5.2. Saran

Saran yang dapat penulis berikan dan dianggap perlu untuk disampaikan setelah melaksanakan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Disarankan menggunakan data topografi/Digital Elevation Model (DEM) yang memiliki resolusi lebih rapat agar mendapatkan geometri sungai yang lebih detail untuk perencanaan jembatan yang lebih akurat.
2. Pada koefisien limpasan permukaan (C), perlu ditambahkan variabel pendukung lain yaitu infiltrasi/tekstur tanah di lokasi penelitian yang dapat diperoleh dari hasil survei lapangan, sehingga hasil perhitungan menjadi lebih sempurna.
3. Pada koefisien limpasan permukaan (C), perlu dipertimbangkan nilai (C) saat perencanaan jembatan rencana untuk memenuhi kriteria keamanan terhadap banjir di masa yang akan datang karena di masa depan ada perubahan faktor tata guna lahan, dll.
4. Disarankan pada penelitian selanjutnya untuk melakukan analisis 2D pada *software* HEC-RAS v5.0.7 atau HEC-RAS versi terbaru untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.
5. Disarankan pada penelitian selanjutnya untuk memeriksa pengaturan desimal pada perangkat komputer karena program HEC-RAS menggunakan desimal dengan tipe dot (.).
6. Disarankan pada penelitian selanjutnya pada estimasi debit banjir dapat ditambahkan variable kala ulang tertinggi dengan tambahan 20% untuk mengcover kesalahan pada perhitungan dan analisis agar evaluasi semakin akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andayani, R., dan Umari, Z. F. (2022): Debit Banjir Rancangan DAS Selabung dengan HSS Nakayasu, *Jurnal Deformasi*, **7**(1), 21–31.
- Chow, V. Te, Maidment, D. R., dan Larry, W. (1988): Mays. Applied Hydrology, *International edition, MacGraw-Hill, Inc*, **149**.
- Dalrino, D., Sadtim, S., Hartati, H., dan Agus, I. (2018): Analisis Kapasitas Penampang Sungai Batang Mahat Terhadap Besaran Debit Banjir Menggunakan Pendekatan Model Matematik, *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, **15**(2), 53–63.
- Gunawan, G. G., Besperi, B., dan Purnama, L. (2020): Analisis Debit Banjir Rancangan Sub DAS Air Bengkulu Menggunakan Analisis Frekuensi dan Metode Distribusi, *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, **17**(1), 1–9.
- Hendri, A. (2016): Analisis Metode Intensitas Hujan Pada Stasiun Hujan Pasar Kampar Kabupaten Kampar, *Proceedings ACES (Annual Civil Engineering Seminar)*, **1**, 297–304.
- Istianto, M. P. (2014): Simulasi Aliran 1 Dimensi dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS, *Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*.
- Mananoma, T., dan Tanudjaja, L. (2015): Analisis Debit Banjir Di Sungai Tondano Berdasarkan Simulasi Curah Hujan Rencana, *TEKNO*, **13**(63).
- Meris, A. (2020): Aplikasi HEC-RAS dalam Pengendalian Banjir Sungai Way Kandis-Lampung Selatan, *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang*, **7**(1), 1–8.
- Pasaribu, M. J. (2017): Evaluasi Kondisi Tinggi Jagaan (Freeboard) Jembatan Kereta Api pada Sungai Batang Serangan, *Jurnal Teknik Sipil USU*, **6**(1).
- Patra, J. P., Kumar, R., dan Mani, P. (2022): Hydrologic and Hydraulic Modelling of a Bridge, 317–326 *dalam Hydrological Modeling*, Springer.
- Perhubungan, M. (2012): Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, *PM. No. 60 Tahun 2012*, 7–57.
- Prahasta, E. (2009): Sistem informasi geografis konsep-konsep dasar, *Bandung: Informatika Bandung*.
- PUPR, K. (2015): Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan, *Surat Edaran Menteri PUPR No. 07/SE/M/2015*, 1–28.



- Rahmawati, E. (2016): Analisa Kapasitas Tampung pada Sungai Pucang Kabupaten Sidoarjo dalam Menampung Debit banjir, *Rekayasa Teknik Sipil*, **2**(2/REKAT/16).
- Rauf, S., Runtulalo, D., dan Ode, C. R. (2017): Analisis Tata Guna Lahan Berbasis GIS Menggunakan Citra Landsat 8 di Kabupaten Enrekang, *Skripsi, Universitas Hasanuddin*.
- Suadnya, D. P., Sumarauw, J. S. F., dan Mananoma, T. (2017): Analisis debit banjir dan tinggi muka air banjir sungai sario di titik kawasan citraland, *Jurnal Sipil Statik*, **5**(3).
- Suripin (2004): *Sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan*, Andi.
- Syamsuddin, A. P., Musa, R., dan Ashad, H. (2022): Kajian Pengaruh Parameter Hidrograf Satuan Sintetik Berdasarkan Karakteristik Daerah Aliran Sungai, *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, **7**(1), 50–56.
- Talumepa, M. Y., Tanudjaja, L., dan Sumarauw, J. S. F. (2017): Analisis debit banjir dan tinggi muka air sungai Sangkub Kabupaten Bolaang Mongondow Utara, *Jurnal Sipil Statik*, **5**(10).
- Triadmodjo, B. (1993): *Hidrolika II*, Yogyakarta: *Beta Offset*.
- Triatmodjo, B. (2008): Hidrologi terapan, *Beta Offset, Yogyakarta*, **59**, 50.
- Upomo, T. C., dan Kusumawardani, R. (2016): Pemilihan distribusi probabilitas pada analisa hujan dengan metode goodness of fit test, *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, **18**(2), 139–148.
- Widiarsini, P. G., Pariartha, I. P. G. S., dan Yekti, M. I. (2021): Analisis Hidrolika Penampang Alami di Sungai Unda Hilir, *Jurnal Spektran*, **9**(1), 85–94.
- Wigati, R., dan Soedarsono, S. (2016): Normalisasi Sungai Ciliwung Menggunakan Program HEC-RAS 4.1 (Studi Kasus Cililitan-Bidara Cina), *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, **5**(1).