

**ANALISIS HIDROLIKA DAN PERENCANAAN TINGGI JAGAAN
(FREEBOARD) JEMBATAN KERETA API (BH-102 KM. 53 + 778) PADA
SUNGAI WAY TIPO BEKRI KABUPATEN LAMPUNG TENGAH**

(Skripsi)

Oleh

**MAHARANI ELVIDA
NPM 1815011005**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**ANALISIS HIDROLIKA DAN PERENCANAAN TINGGI JAGAAN
(FREEBOARD) JEMBATAN KERETA API (BH-102 KM. 53 + 778) PADA
SUNGAI WAY TIPO BEKRI KABUPATEN LAMPUNG TENGAH**

Oleh

MAHARANI ELVIDA

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 KERETA API (BH-102 KM. 53 + 778) PADA SUNGAI WAY TIPO BEKRI KABUPATEN LAMPUNG TENGAH

Oleh

MAHARANI ELVIDA

Perencanaan jembatan kereta api di atas sungai dilakukan dengan menganalisa faktor hidrolika pada sungai sesuai dengan PM No.60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. Analisis hidrologi dan hidrolika dilakukan menggunakan metode HSS Nakayasu dan program aplikasi HEC-RAS v5.0.7. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tinggi muka air banjir berdasarkan faktor hidrolika pada Sungai Way Tipo serta merancang batas tinggi jagaan (*freeboard*) jembatan kereta api berdasarkan hasil elevasi muka air yang telah dihitung sebelumnya. Analisis hidrolika dan perancangan tinggi jagaan (*freeboard*) jembatan kereta api (BH-102 KM. 53 + 778) pada Sungai Way Tipo Bekri Kabupaten Lampung Tengah menghasilkan nilai debit banjir untuk kala ulang 50 dan 100 tahun masing-masing sebesar 742,281 m³/s dan 854,431 m³/s, elevasi muka air banjir (MAB) sebesar +45,38 m dan +45,51 m, serta nilai *freeboard* jembatan adalah 1,32 m untuk kala ulang 50 tahun dan 1,19 m untuk kala ulang 100 tahun ditinjau dari selisih antara elevasi muka air banjir dengan gelagar terbawah jembatan. Disimpulkan bahwa *freeboard* jembatan kereta api yang diperoleh sudah memenuhi kriteria perencanaan yaitu minimal 1 meter dari gelagar terbawah jembatan terhadap muka air banjir.

Kata kunci: Jembatan Kereta Api, Hidrologi, Hidrolika, Tinggi Jagaan, HSS Nakayasu, HEC-RAS

ABSTRACT

ANALISIS HIDROLIKA DAN PERENCANAAN TINGGI JAGAAN (FREEBOARD) JEMBATAN KERETA API (BH-102 KM. 53 + 778) PADA SUNGAI WAY TIPO BEKRI KABUPATEN LAMPUNG TENGAH

By

Maharani Elvida

The planning of a railway bridge over the river is carried out by analyzing the hydraulic factors on the river in accordance with PM No. 60 of 2012 concerning Technical Requirements for Railway Lines. Hydrological and hydraulics analysis was carried out using the HSS Nakayasu method and the HEC-RAS v5.0.7 application program. This study aims to analyze the height of the flood water level based on hydraulic factors on the Way Tipo River and to design a guard height limit (freeboard) railway bridge based on the previously calculated water surface elevation results. Hydraulic analysis and high maintenance planning (freeboard) railway bridge (BH-102 KM. 53 + 778) on the Way Tipo Bekri River, Central Lampung Regency, resulting in flood discharge values for 50 and 100 year return periods of 742,281 m³/s and 854,431 m³/s, the flood water level (MAB) is +45,38 m and +45,51 m, as well as the freeboard the length of the bridge is 1,32 m for the 50 year return period and 1,19 m for the 100 year return period in terms of the difference between the flood water level and the bottom girder of the bridge. It was concluded that freeboard the obtained railroad bridge meets the planning criteria, namely at least 1 meters from the bottom girder of the bridge to the flood water level.

Keywords: Railway Bridge, Hydrology, Hydraulics, Freeboard, HSS Nakayasu, HEC-RAS

Judul Skripsi

: **ANALISIS HIDROLIKA DAN PERENCANAAN
TINGGI JAGAAN (*FREEBOARD*) JEMBATAN
KERETA API (BH-102 KM. 53 + 778) PADA
SUNGAI WAY TIPO BEKRI KABUPATEN
LAMPUNG TENGAH**

Nama Mahasiswa

: **Maharani Elvida**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1815011005

Program Studi

: Teknik Sipil

Fakultas

: Teknik



1. Komisi Pembimbing

Ir. Nur Arifaini, M.S.

NIP 19620218 199303 1 001

Subuh Pugiono, S.T., M.T.

NIP 19730407 200012 1 001

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

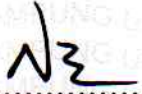
Ir. Laksmi Irianti, M.T.

NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



.....

Sekretaris : **Subuh Tugiono, S.T., M.T.**



.....

Penguji
Bukan Pembimbing : **Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D.**



.....

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **17 Februari 2023**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, adalah:

Nama : Maharani Elvida
NPM : 1815011005
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, 21 Maret 2023



Maharani Elvida

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Agung, Tanggamus, Provinsi Lampung pada tanggal 15 Mei 2000 sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari Bapak Muh. Yusup (alm) dan Ibu Elidiana.

Pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Beringin Raya yang diselesaikan pada tahun 2006, Sekolah Dasar di SD Negeri 7 Metro Timur yang diselesaikan pada tahun 2012, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 2 Metro yang diselesaikan pada tahun 2015, dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Metro yang diselesaikan pada tahun 2018.

Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Pada tahun 2019 sampai 2020 penulis tercatat sebagai anggota muda Departemen Advokasi pada Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) Universitas Lampung. Kemudian pada tahun 2021, penulis tercatat sebagai Sekretaris Departemen Advokasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS). Selama masa perkuliahan, penulis pernah diamanahkan menjadi Asisten Mata Kuliah Balok Beton Bertulang pada periode 2019/2020 serta menjadi Asisten Mata Kuliah Hidrologi pada tahun ajaran 2020/2021. Penulis telah melaksanakan Kerja Praktik (KP) selama 3 bulan pada bulan Agustus hingga November tahun 2021 di Proyek Pembangunan Gedung Perawatan Neurologi RSUD Dr. H. Abdul Moeloek Provinsi Lampung.

Persembahan

Alhamdulillahirabbilalamin, puji syukur kepada Allah SWT atas ridha dan karunia-Nya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik tanpa adanya halangan yang berarti. Saya persembahkan skripsi ini untuk:

Ibunda, adik, serta keluarga besar yang selalu memberikan dukungan moral, materiil, serta doa untuk penulis juga kepada ayahanda (alm) yang walaupun raganya sudah tidak berada disamping penulis, namun jiwanya tetap melekat dan abadi di hati. Terima kasih atas dukungan dan kepercayaan yang telah diberikan kepada penulis, semoga semua yang terlibat dalam skripsi ini diberikan keberkahan dan perlindungan oleh Allah SWT.

Dosen Pembimbing dan Penguji yang sangat berjasa dan selalu memberikan bimbingan, saran, masukan, serta motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.

Sahabat dan saudara-saudaraku yang selalu mendukung, mendoakan, dan berjuang bersama penulis sampai dengan terselesaikannya skripsi ini.

Semua dosen yang telah mengajarkan banyak hal. Terima kasih atas ilmu, pengetahuan, dan pelajaran hidup yang telah diberikan.

Keluarga Besar Teknik Sipil Angkatan 2018 yang selalu menemani dan memberikan dukungan kepada penulis serta menjadi saksi atas perjuangan akan masa-masa sulit perkuliahan yang telah terlewati. *Thankyou for all good memories that we've been through together.*

Motto

"... Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu; Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui"

(Q.S. Al-Baqarah:216)

"Apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirmu, dan apa yang ditakdirkan untukmu tidak akan pernah melewatkanmu"

(Umar bin Khattab)

"Learn to stand on your own two feet. Everyone lives their own lives. You can't expect anyone to solve your problem"

(Weightlifting Fairy Kim Bok Joo)

"It's okay to be glowstick; Sometimes we have to break before we shine"

(Jadah Sellner)

"Start now. Start where you are. Start with fear. Start with pain. Start with doubt. Start with hands shaking. Start with voice trembling, but start. Start and don't stop. Start where you are, with what you have. Just start"

(Ijeoma Umebinyuo)

SANWACANA

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Analisis Hidrolika dan Perencanaan Tinggi Jagaan (*Freeboard*) Jembatan Kereta Api (BH-102 KM. 53 + 778) Pada Sungai Way Tipo Bekri Kabupaten Lampung Tengah”** dengan lancar tanpa suatu hambatan.

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya skripsi ini juga tak lepas dari dukungan dan kontribusi dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terimakasih kepada:

1. Orang tua, Muh. Yusup (alm) dan Elidiana serta Mahardika Yudha Aditiatama selaku adik laki-laki satu-satunya dan juga seluruh keluarga besar. Terimakasih karena selalu ada walaupun tak selalu bersama dan bertatap muka, senantiasa mendoakan untuk apapun yang saya jalani sampai hari ini, terimakasih atas semangat dan dukungan baik moril maupun materiil dalam menyelesaikan tulisan ini.
2. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
4. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Lampung.
5. Ibu Vera Agustriana Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik.
6. Bapak Ir. Nur Arifaini, M.S., selaku Dosen Pembimbing 1.
7. Bapak Subuh Tugiono, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing 2.
8. Bapak Ir. Ahmad Zakaria, M.T., Ph.D., selaku Dosen Penguji.

9. Seluruh dosen dan staff di lingkungan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
10. Arisa Ayu Andita, S.P., dan Dyah Elvina Margareta, S.IKom., sepupu yang selalu ada pada saat sulit maupun senang. Terimakasih karena sudah selalu ada dan memberikan dukungan, motivasi, serta semangat untuk mengerjakan skripsi kepada penulis selama ini.
11. Teman-teman '*great people*' yaitu Reta Mayola Juwindi, Windi Retno Asih, Farah Diba Arief, Alka Dinda Shafa Nabila, Enggar Alviani, Bunga Shinta Nabilla, Alda Alfiah Dzakiroh, Berti Maretha, serta Reni Anjar Wati. Terimakasih untuk kenangan indahnyanya selama ini, terimakasih untuk semangat dan energi positifnya, terimakasih juga karena sudah bersedia menjadi saksi perjalanan hidup perkuliahan yang sulit ini. *Up and down* telah dilalui bersama, maaf jika ucapan singkat ini tak cukup untuk mewakili rentetan cerita indah yang telah direkam baik oleh memori.
12. Mellynia Saputri dan Agnes Regina Prangesty, dua orang baik lainnya di hidup penulis. Terimakasih karena sudah bersedia menjadi *my life saver* selama di perkuliahan, selalu mendengarkan segala keluh kesah duniawi dan selalu sabar dengan segala tingkah laku yang mungkin menyinggung dan menyakiti hati. Maaf jika tulisan ini tidak cukup menjadi sebuah penghargaan untuk semua hal baik dan hari-hari menyenangkan yang telah dilalui bersama sejak hari pertama berada dalam sebuah keluarga baru.
13. Teman satu *team* penelitian, Muhammad Hafidh Hibatulloh. Terimakasih sudah banyak memberikan *support* dan *effort* kepada penulis dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
14. Seluruh rekan-rekan Teknik Sipil Unila angkatan 2018 yang telah banyak membantu dalam proses penulisan dan penyelesaian tugas akhir. Terimakasih atas begitu banyaknya kenangan dan perjuangan yang telah dilalui bersama dari awal hidup di kampus sampai dengan sejauh ini. Terimakasih teman-teman, mungkin kata terimakasih tidak cukup mewakili perasaan yang haru ini *but once again I wanna say thankyou to all member of L18AS. I'm nothing without you'all.*

Penulis menyadari bahwa terdapat keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki sehingga masih banyak kekurangan dalam penulisan proposal tugas akhir ini. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak yang berkepentingan sehingga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Bandar Lampung, 2023

Penulis

Maharani Elvida

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	I
DAFTAR GAMBAR.....	III
DAFTAR TABEL	VI
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Waktu dan Lokasi Penelitian	3
1.3. Rumusan Masalah.....	3
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Tujuan Penelitian	4
1.6. Manfaat Penelitian	4
1.7. Sistematika Penulisan	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Analisis Hidrologi.....	7
2.1.1. Sikulus Hidrologi.....	7
2.1.2. Daerah Aliran Sungai (DAS).....	8
2.1.3. Hujan Rencana dan Debit Rencana	8
2.1.4. Parameter Statistik.....	8
2.1.5. Analisis Frekuensi	9
2.1.6. Pengujian Hasil Analisis Frekuensi.....	17
2.1.7. Waktu Konsentrasi.....	19
2.1.8. Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF).....	19
2.1.9. Intensitas Hujan Jam-Jaman	20
2.1.10. Koefisien Limpasan Permukaan	20
2.1.11. Curah Hujan Efektif.....	22
2.1.12. Metode Rasional	22
2.1.13. Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu	23
2.2. Analisis Hidrolika	24
2.2.1. Persamaan Kontinuitas	25
2.2.2. Persamaan Energi	26
2.2.3. Persamaan Keseimbangan Momentum	27
2.2.4. Elemen Geometri.....	28
2.2.5. Debit Aliran	30
2.2.6. Kriteria Aliran	31
2.2.7. Kalibrasi Angka Manning (n).....	31

2.2.8. Tinggi Jagaan (<i>Freeboard</i>).....	32
2.3. Aplikasi Program <i>HEC-RAS</i>	32
III. METODE PENELITIAN	34
3.1. Tahapan Penelitian.....	34
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Analisis Hidrologi.....	37
4.1.1. Analisis Data Curah Hujan Kawasan	39
4.1.2. Perhitungan Parameter Statistik	45
4.1.2.1. Pemilihan Jenis Distribusi berdasarkan Parameter Statistik	46
4.1.3. Analisis Frekuensi Curah Hujan.....	47
4.1.3.1. Perhitungan Curah Hujan Rencana	48
4.1.4. Pengujian Kecocokan Distribusi	50
4.1.5. Perhitungan Intensitas Hujan.....	53
4.1.6. Analisis Koefisien Limpasan Permukaan.....	55
4.1.7. Analisis Debit Banjir	57
4.2. Kalibrasi Angka Manning (n)	67
4.3. Analisis Hidrolika	68
4.3.1. Membuat File <i>HEC-RAS</i> Baru.....	68
4.3.2. Menginput Data Geometri Sungai.....	71
4.3.3. Menginput Data Aliran (<i>Steady Flow Analysis</i>).....	76
4.3.4. Melakukan Analisis Hidrolika (<i>Running Simulation</i>)	77
4.3.5. Mempresentasikan Hasil Pemodelan.....	79
4.4. Perencanaan Tinggi Jagaan (<i>Freeboard</i>) Jembatan	95
V. KESIMPULAN DAN SARAN	99
5.1. Kesimpulan	99
5.2. Saran	99
DAFTAR PUSTAKA	101
LAMPIRAN.....	104

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Ilustrasi tinggi jagaan (<i>freeboard</i>) pada ketinggian minimal.....	2
2. Peta lokasi penelitian (Peta Infrastruktur).....	3
3. Siklus hidrologi.....	7
4. Ilustrasi batas DAS.....	8
5. Hidrograf satuan sintetis Nakayasu.....	24
6. Keseimbangan zat cair pada saluran terbuka.....	25
7. Sketsa persamaan energi aliran pada saluran terbuka.....	26
8. Prinsip keseimbangan momentum.....	28
9. Diagram alir penelitian.....	36
10. Peta RTRW Kabupaten Lampung Tengah Tahun 2011-2031.....	40
11. Peta Sub DAS Way Tipe Kabupaten Lampung Tengah.....	41
12. Kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF).....	54
13. Peta kemiringan lereng/relief Sub DAS Way Tipe.....	55
14. Peta penggunaan lahan Sub DAS Way Tipe.....	56
15. Hidrograf satuan debit rancangan metode nakayasu.....	67
16. Tampilan awal program HEC-RAS.....	69
17. Membuat <i>project</i> baru.....	69
18. Membuat dan memberi nama folder baru.....	69
19. Memberi nama pada judul dan file <i>project</i>	70
20. Tampilan layar konfirmasi pada HEC-RAS.....	70
21. Mengubah sistem satuan pada HEC-RAS.....	70
22. Memilih sistem satuan yang digunakan.....	71
23. Membuat <i>terrain</i> baru pada <i>RAS Mapper</i>	71
24. Menginput file <i>project</i> baru.....	72
25. Menginput data <i>terrain</i>	72
26. Memilih map layer yang digunakan.....	73
27. Membuat dan memberi nama pada file geometri baru.....	73

28. Membuat alur sungai pada <i>RAS Mapper</i>	74
29. Input data bagian hilir.	74
30. Input data bagian hulu.....	75
31. Interpolasi tampang melintang.....	75
32. Geometri sungai yang dikaji.	76
33. Memasukkan data debit.	77
34. Memasukkan nilai batas pada bagian hilir sungai.....	77
35. Menyimpan dan memberi nama pada file <i>plan</i>	78
36. Memasukkan <i>short ID</i> dan tampilan akhir layar <i>plan</i>	78
37. Layar hitungan hidrolika setelah proses <i>running</i>	79
38. Tampilan utama HEC-RAS setelah selesai proses <i>running</i>	79
39. <i>Cross section</i> RS 2.	81
40. <i>Cross section</i> RS 88,89.	81
41. <i>Cross section</i> RS 184,76.	82
42. <i>Cross section</i> RS 257.	82
43. <i>Cross section</i> RS 275.	83
44. <i>Cross section</i> RS 330 <i>downstream</i>	83
45. <i>Cross section</i> RS 330 <i>upstream</i>	84
46. <i>Cross section</i> RS 430,43.	84
47. <i>Cross section</i> RS 470,38.	85
48. <i>Cross section</i> RS 530,30.	85
49. <i>Cross section</i> RS 568,25.	86
50. <i>Cross section</i> RS 630,16.	86
51. <i>Cross section</i> RS 730,03.	87
52. <i>Cross section</i> RS 753.	87
53. <i>Long section</i> sungai kajian.	88
54. Tampilan 3D seluruh <i>cross section</i>	88
55. Kecepatan aliran (<i>velocities</i>).	89
56. <i>Rating curve</i> RS 2.	89
57. <i>Rating curve</i> RS 88,89.	90
58. <i>Rating curve</i> RS 184,76.	90
59. <i>Rating curve</i> RS 257.	90

60. <i>Rating curve</i> RS 275.	91
61. <i>Rating curve</i> RS 330 <i>downstream</i>	91
62. <i>Rating curve</i> RS 330 <i>upstream</i>	91
63. <i>Rating curve</i> RS 430,43.	92
64. <i>Rating curve</i> RS 470,38.	92
65. <i>Rating curve</i> RS 530,30.	92
66. <i>Rating curve</i> RS 630,16.	93
67. <i>Rating curve</i> RS 730,03.	93
68. <i>Rating curve</i> RS 753.	93
69. Standar tabel 1.	94
70. Standar tabel 2.	95
71. Standar tabel untuk jembatan.	95
72. Lengkung aliran debit (<i>discharge rating curve</i>).	97
73. Skema elevasi muka air banjir terhadap jembatan.	98

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nilai Variabel Reduksi <i>Gauss</i>	10
2. Nilai Koefisien Y_n dan S_n	12
3. <i>Reduced Variate</i> Y_T sebagai Fungsi Periode Ulang.....	14
4. Faktor K untuk Kemencengan Positif	15
5. Faktor K untuk Kemencengan Negatif	16
6. Parameter Statistik untuk Menentukan Jenis Distribusi	17
7. Nilai Chi-Kuadrat Kritik (X^2_{cr})	18
8. Nilai Δ_{kritik} Uji Smirnov-Kolmogorov	19
9. Karakteristik Fisik DAS Metode Cook	21
10. Nilai Koefisien Manning (n)	29
11. Nilai Tinggi Jagaan (<i>Freeboard</i>) untuk Beberapa Debit Rancangan.....	32
12. Data Sungai di Kabupaten Lampung Tengah	37
13. Luas Daerah Tangkapan Hujan	42
14. Curah Hujan Harian Maksimum	43
15. Curah Hujan Rata-rata.....	44
16. Curah Hujan Rata-rata Terurut.....	44
17. Perhitungan Distribusi Non-Logaritmik	45
18. Penentuan Jenis Distribusi	46
19. Analisis Frekuensi Metode Log Pearson III.....	47
20. Rekap Hasil Perhitungan Hujan Rancangan	49
21. Data Curah Hujan Maksimum Terurut	50
22. Uji Chi-Kuadrat Log Pearson III	51
23. Perhitungan Nilai X^2	52
24. Hasil Uji Distribusi Log Pearson III	52
25. Data Intensitas Hujan dengan Periode Ulang.....	53
26. Intensitas Hujan dengan Metode Mononobe.....	54
27. Kemiringan Lereng	56

28. Penggunaan Lahan	57
29. Curah Hujan Jam-Jaman	58
30. Rekapitulasi Nilai Hujan Efektif	59
31. Distribusi Hujan Jam-Jaman	59
32. Hasil Perhitungan Ordinat Hidrograf	60
33. Hidrograf Satuan Debit Rancangan Periode 5 Tahun	61
34. Hidrograf Satuan Debit Rancangan Periode 10 Tahun	62
35. Hidrograf Satuan Debit Rancangan Periode 25 Tahun	63
36. Hidrograf Satuan Debit Rancangan Periode 50 Tahun	64
37. Hidrograf Satuan Debit Rancangan Periode 100 Tahun	65
38. Rekapitulasi Hasil Perhitungan	66
39. Uji Kalibrasi Angka Manning (n)	66

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

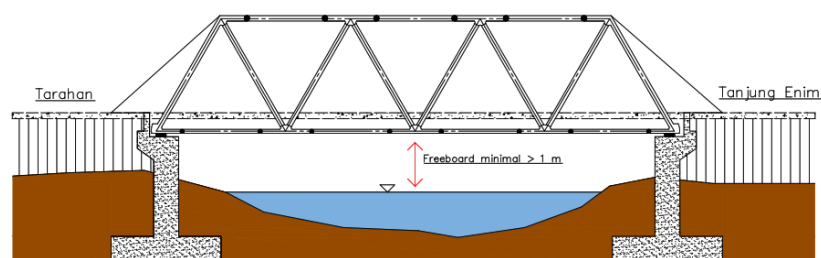
Indonesia terkenal akan sumber daya alamnya yang melimpah tidak terkecuali dengan batubara. Tambang batubara tersebar di beberapa daerah di Indonesia salah satunya berlokasi di Tanjung Enim, Sumatera Selatan (Amijaya and Littke, 2005). Cadangan batubara yang dimiliki oleh pertambangan yang ada di Tanjung Enim ini keseluruhan mencapai 6,36 miliar ton. Batubara yang melimpah tersebut diangkut ke Pelabuhan Tarahan menggunakan kereta api sepanjang 60 gerbong untuk setiap rangkaian dan masing-masing gerbong memuat 50 ton batubara (Wahyuddin dkk., 2019 ; Sulistyorini, 2015).

Kereta api adalah jenis transportasi yang paling efisien untuk dikembangkan sebagai transportasi bagi angkutan barang maupun manusia (Ihlas, 2017). Dalam hal ini, kereta api digunakan untuk mengangkut barang berupa batubara dari lokasi pertambangan di Tanjung Enim Sumatera Selatan menuju ke Pelabuhan Tarahan di Bandar Lampung. Jauhnya lokasi penambangan dan tujuan penampungan (*stockpile*) sejalan dengan panjangnya jalur perlintasan kereta api yang harus dibangun (Wahyuddin dkk., 2019). Seperti halnya jalan raya, jalur perlintasan kereta api terkadang harus melewati medan ekstrim seperti lembah atau sungai. Dalam pembangunannya, jalur perlintasan kereta di Provinsi Lampung melewati wilayah Bekri, Lampung Tengah dimana memerlukan jembatan kereta api guna melintasi sungai yang ada di wilayah tersebut.

Jembatan kereta api yang dibangun harus direncanakan dengan baik mengingat pembangunan jembatan kereta api tidak sama dengan jembatan jalan raya, sebab dalam pembangunan jembatan kereta api tidak dapat dialihkan lintasannya sehingga meskipun dalam keadaan yang mendesak sekalipun arus lalu lintas kereta api harus tetap berjalan sebagaimana mestinya pada lintasan tersebut (Wahyuni dan Rusdi,

2002). Dalam merencanakan jembatan kereta api di atas sungai hal-hal yang dibahas tidak hanya mengenai perencanaan struktur jembatan dan daya dukung tanah saja, faktor hidrolika pada sungai juga harus dianalisa ke dalam tahapan perencanaan jembatan guna memperhitungkan level muka air banjir dan tinggi jagaan (*freeboard*) agar konstruksi jembatan yang dibangun tetap aman. Tinggi jagaan (*freeboard*) sendiri merupakan jarak vertikal dari permukaan air sampai ke tepi atas tebing atau sampai ke tepi bawah jembatan (Solomon *et al.*, 2014). *Freeboard* pada sungai berfungsi untuk menjaga saluran permukaan air pada kondisi rancang dan berfungsi untuk menjaga kenaikan muka air di atas tinggi muka air maksimum yang direncanakan untuk mencegah kerusakan badan saluran pada umumnya makin besar debit air yang diangkut makin besar pula jagaan yang harus disediakan (Fitrianto, 2020).

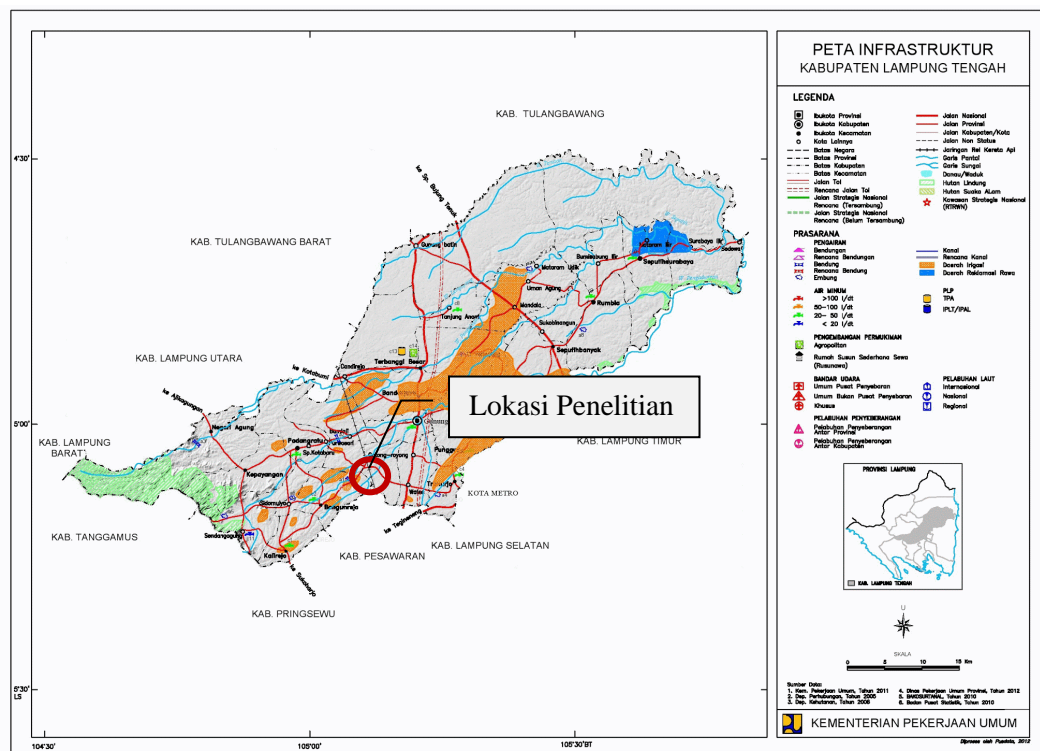
Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012 (PM No. 60 Tahun 2012) tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api Pasal 3.2.1.(i), ditetapkan batas tinggi jagaan (*freeboard*) untuk perencanaan jembatan kereta api yaitu minimal 1 meter dari gelagar terbawah jembatan terhadap muka air banjir. Oleh karena itu dalam perencanaannya, analisis hidrolika berperan penting untuk menentukan *freeboard* dari jembatan kereta api. Peran analisis hidrolika disini terletak pada peninjauan seberapa jauh pengaruh pengendalian banjir secara struktural terhadap tinggi muka air banjir dan luapan banjir yang terjadi. Struktur atas dari jembatan harus cukup tinggi sehingga gelagar dan lantai jembatan terhindar dari limpasan air banjir. Dalam penelitian tugas akhir ini, penulis melakukan analisis terhadap aspek-aspek hidrolika sungai dan perencanaan tinggi jagaan (*freeboard*) jembatan kereta api BH-102 KM. 53 + 778 di Sungai Way Tipo Kecamatan Bekri, Kabupaten Lampung Tengah.



Gambar 1. Ilustrasi tinggi jagaan (*freeboard*) pada ketinggian minimal.

1.2. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan setelah disetujuinya proposal penelitian yang diajukan yaitu pada bulan Juni 2022, kemudian untuk peninjauan langsung di lapangan telah dilakukan pada tanggal 25 Agustus 2021. Adapun lokasi yang dilakukan survey dalam penelitian ini yaitu Sungai Way Tipu yang merupakan bagian dari Sub DAS Sungai Way Seputih dengan titik koordinat $5^{\circ}04' S/105^{\circ}08' E$ dan terletak di Desa Sinar Banten, Kecamatan Bekri, Kabupaten Lampung Tengah.



Gambar 2. Peta lokasi penelitian (Peta Infrastruktur).

1.3. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian tugas akhir ini yaitu:

1. Menghitung tinggi muka air banjir dengan memperhatikan faktor hidrolika pada sungai yang ditinjau.
2. Merancang batas tinggi jagaan (*freeboard*) untuk konstruksi jembatan kereta api berdasarkan hasil elevasi muka air banjir yang telah dihitung sebelumnya.

1.4. Batasan Masalah

Permasalahan yang dibahas tentunya harus tepat sasaran dan tidak terlalu luas sehingga perlu adanya pembatasan masalah terhadap bagian-bagian yang akan dikaji dalam penelitian ini, yaitu:

1. Kajian terhadap morfologi sungai
2. Kajian terhadap perhitungan debit rencana
3. Kajian terhadap elevasi muka air banjir pada debit rencana
4. Kajian terhadap perancangan tinggi jagaan (*freeboard*) sesuai dengan Peraturan Menteri (PM) Perhubungan No.60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api dan berdasarkan elevasi muka air banjir yang telah dihitung

1.5. Tujuan Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan tentunya dengan maksud dan tujuan tertentu yang berorientasikan pada permasalahan yang akan dibahas di dalam tulisan ini. Berikut merupakan tujuan dari penelitian yang dilakukan:

1. Menganalisis tinggi muka air banjir dengan tetap memperhatikan faktor hidrolika pada sungai yang ditinjau.
2. Menganalisis batas tinggi jagaan (*freeboard*) untuk konstruksi jembatan kereta api berdasarkan hasil elevasi muka air banjir yang telah dihitung sebelumnya.

1.6. Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian tugas akhir ini diharapkan nantinya dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membaca tulisan ini dalam pengaplikasiannya. Berikut merupakan manfaat dari penelitian yang dilakukan antara lain:

1. Bagi penulis, penelitian tugas akhir ini bermanfaat sebagai salah satu syarat akademis guna menyelesaikan pendidikan program studi S1 Teknik Sipil Universitas Lampung.

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

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika atau kerangka penulisan yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir 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.

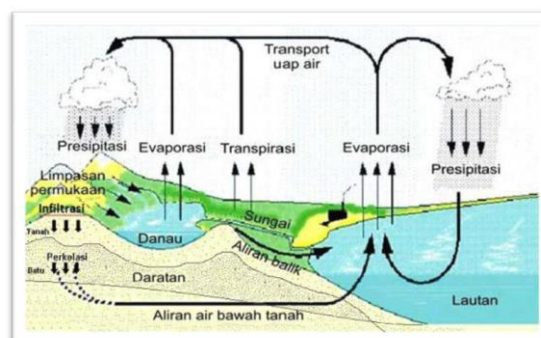
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Analisis Hidrologi

Hidrologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang seluk beluk dan perjalanan air di permukaan bumi (Yansyah dkk., 2015). Sedangkan analisis hidrologi sendiri ialah, salah satu bagian dari analisis awal untuk merancang struktur hidrolis. Analisis hidrologi diperlukan untuk menentukan karakteristik hidrologi dari suatu daerah aliran sungai (DAS) juga digunakan untuk menentukan volume debit banjir yang dirancang (Prastica *et al.*, 2018). Berikut merupakan aspek-aspek hidrologi yang akan dibahas:

2.1.1. Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan proses yang berkelanjutan dimana air bergerak dari bumi ke atmosfer kemudian kembali lagi ke bumi (Suadnya dkk., 2017). Siklus hidrologi mencakup proses hidrologi di semua skala dalam hidrosfer, dan didorong oleh radiasi matahari serta gravitasi. Siklus hidrologi dimanifestasikan dalam interaksi laut-atmosfer-darat dan pertukaran air dan energi (Kleidon and Renner, 2013 ; Yang *et al.*, 2021). Proses dari siklus hidrologi dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.

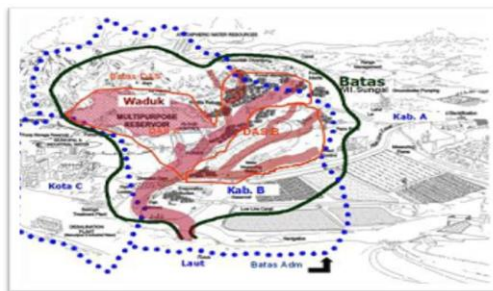


(Sumber: Hartini, 2017).

Gambar 3. Siklus hidrologi.

2.1.2. Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai adalah satu kesatuan wilayah tata air yang terbentuk secara alamiah, dimana semua air hujan yang jatuh ke daerah ini akan mengalir melalui sungai dan anak sungai yang bersangkutan (Hartini, 2017). Daerah aliran sungai umumnya dibatasi oleh batas topografi yang artinya berdasarkan pada aliran permukaan bukan ditetapkan berdasar pada air bawah tanah (Talumepa dkk., 2017). Ilustrasi dari batas daerah aliran sungai (DAS) disajikan pada Gambar 3 di bawah.



(Sumber: Hartini, 2017)

Gambar 4. Ilustrasi batas DAS.

2.1.3. Hujan Rencana dan Debit Rencana

Menurut Hartini (2017), faktor utama penyebab besarnya debit sungai ialah hujan, intensitas hujan, luas daerah hujan, dan lama waktu hujan. Intensitas hujan berubah dengan lama waktu hujannya. Semakin lama waktu hujan maka akan semakin berkurang deras rata-rata hujannya.

Debit rencana adalah debit terbesar yang mungkin terjadi pada suatu daerah dengan peluang kejadian tertentu (Fitrianto, 2020). Debit rencana juga dapat diartikan sebagai debit maksimum dari suatu sungai yang besarnya didasarkan kala ulang ataupun periode tertentu (Syahputra, 2015). Debit rencana dapat dihitung berdasarkan kedalaman hujan titik dalam penggunaan metode rasional untuk menentukan debit puncak pada perencanaan drainase dan jembatan (Triatmodjo, 2008 ; Yansyah dkk., 2015).

2.1.4. Parameter Statistik

Dalam statistik dikenal beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data meliputi rata-rata (\bar{R}), simpangan baku (S), koefisien *skewness* (C_s), koefisien

kurtosis (Ck), dan koefisien variasi (Cv) (Tommy dkk., 2015). Formulasi yang digunakan untuk masing-masing parameter yaitu (Mustofa dkk., 2015):

1. $\bar{R} = \frac{1}{n} \sum R_i$
2. $S = \sqrt{\left[\frac{1}{n} \sum (R_i - \bar{R})^2 \right]}$
3. $C_s = \frac{n \sum (R_i - \bar{R})^3}{(n-1)(n-2) s^3}$
4. $C_k = \frac{n^2 \sum (R_i - \bar{R})^4}{(n-1)(n-2)(n-3) s^4}$
5. $C_v = \frac{S}{\bar{R}}$

Keterangan:

- \bar{R} = Nilai rata-rata
 n = Jumlah data
 s = Standar deviasi (simpangan baku)
 C_s = Koefisien *skewness*
 C_k = Koefisien kurtosis
 C_v = Koefisien variasi

2.1.5. Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi dapat diterapkan untuk dua data yaitu data debit sungai atau data hujan. Data yang digunakan ialah data debit atau hujan maksimum tahunan dengan data terbesar yang terjadi selama satu tahun yang terukur selama beberapa tahun (Tommy dkk., 2015). Dalam Modul 6 *Analisis Hidrologi* Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia (BPSDM, 2017) Kementerian PUPR dijelaskan bahwa analisis frekuensi dilakukan guna mencari distribusi dengan data yang tersedia dari pos-pos hujan yang ada. Distribusi yang digunakan untuk analisis frekuensi dalam ilmu hidrologi yaitu:

1. Distribusi Normal

Distribusi normal adalah simetris terhadap sumbu vertikal dan berbentuk seperti lonceng yang disebut juga dengan Distribusi *Gauss*. Distribusi normal memiliki persamaan sebagai berikut (Mustofa dkk., 2015):

$$R_T = \bar{R} + K_T \cdot S$$

Keterangan:

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

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

K_T = Faktor frekuensi

S = Standar deviasi

Untuk mempermudah perhitungan, nilai faktor frekuensi (K_T) disusun dalam Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Nilai Variabel Reduksi *Gauss*

No.	Periode Ulang T (Tahun)	Peluang	Nilai K_T
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).

2. Distribusi Log Normal

Distribusi log normal merupakan hasil transformasi dari distribusi normal, dengan mengubah nilai varian R menjadi nilai logaritmik dari varian R tersebut. Model matematik dari distribusi ini dapat dinyatakan dengan persamaan (Talumepa dkk., 2017):

$$\mathbf{LogR_T} = \overline{\mathbf{Log R}} + \mathbf{K_T} \cdot \mathbf{S_{log}}$$

Keterangan:

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

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

$\mathbf{K_T}$ = Faktor frekuensi

\mathbf{S} = Standar deviasi

Sri Harto (1993) memberikan sifat-sifat distribusi log normal sebagai berikut:

- Nilai kemencengan : $C_s = C_v^3 + 3C_v$
- Nilai kurtosis : $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$

3. Distribusi Gumbel

Model matematika yang digunakan untuk distribusi Gumbel dinyatakan dengan persamaan berikut (Suadnya dkk., 2017 ; Cahyadi dkk., 2020):

$$\mathbf{R_T} = \overline{\mathbf{R}} + \mathbf{K} \cdot \mathbf{S}$$

Keterangan:

$\mathbf{R_T}$ = Curah hujan rencana pada periode ulang T tahun (mm/hari)

$\overline{\mathbf{R}}$ = Curah hujan rata-rata (mm/hari)

\mathbf{K} = Faktor frekuensi

\mathbf{S} = Standar deviasi

Nilai faktor frekuensi (K) dinyatakan dengan persamaan berikut (Upomo dan Kusumawardani, 2016 ; Ardiansyah dkk., 2021):

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

Dimana:

Y_n = *Reduced mean* tergantung pada jumlah data

S_n = *Reduced standard deviation* tergantung pada jumlah data

Y_{Tr} = *Reduced variate*, dihitung menggunakan rumus (Prasetyo dkk., 2019):

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

Distribusi Gumbel mempunyai sifat bahwa koefisien *skewness* $C_s = 1,1396$ dan koefisien kurtosis $C_k = 5,4002$ (Harto, 1993). Kemudian disajikan nilai koefisien Y_n dan S_n untuk distribusi Gumbel serta hubungan antara *reduced variate* dengan periode pada Tabel 2 dan Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 2. Nilai Koefisien Y_n dan S_n

n	yn	sn	n	yn	sn	n	yn	sn
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
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 3. *Reduced Variate* Y_T sebagai Fungsi Periode Ulang

Periode Ulang (Tahun)	<i>Reduced Variate</i> (YT)	Periode Ulang (Tahun)	<i>Reduced Variate</i> (YT)
2	0.367	100	4.601
5	1.500	200	5.293
10	2.251	250	5.521
20	2.971	500	6.215
25	3.199	1000	6.909
50	3.903	5000	8.519
75	4.312	10000	9.212

(Sumber: Suripin, 2004).

4. Distribusi Log Pearson III

Perhitungan curah hujan rencana dengan distribusi Log Pearson III (Ardiansyah dkk., 2021):

$$\mathbf{Log R_T = Log \bar{R} + K \cdot S}$$

$$\mathbf{R_T = 10^{(Log R_T)}}$$

Keterangan:

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

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

K = Variabel standar berdasarkan nilai C_s

S = Standar deviasi

Tabel 4. Faktor K untuk Kemencengan Positif

<i>Skew Coefficient Cs or Cw</i>	<i>Return Period in Years</i>						
	2	5	10	25	50	100	200
	<i>Exceedance Probability</i>						
	0.50	0.20	0.10	0.04	0.02	0.01	0.005
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 5. Faktor K untuk Kemencengan Negatif

<i>Skew Coefficient Cs or Cw</i>	<i>Return Period in Years</i>						
	2	5	10	25	50	100	200
	<i>Exceedance Probability</i>						
	0.50	0.20	0.10	0.04	0.02	0.01	0.005
-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).

Dari yang telah dijabarkan di atas, dapat disimpulkan bahwa tiap metode atau distribusi dalam analisis frekuensi memiliki karakteristik dan syarat-syarat tertentu yang harus dipenuhi. Berikut merupakan rekapitulasi syarat parameter statistik

yang digunakan dalam perhitungan analisis frekuensi disajikan pada Tabel 6 di bawah.

Tabel 6. Parameter Statistik untuk Menentukan Jenis Distribusi

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

(Sumber: Triatmodjo, 2008 ; Gunawan dkk., 2020).

2.1.6. Pengujian Hasil Analisis Frekuensi

Terdapat dua cara yang dapat dilakukan untuk menguji apakah jenis distribusi yang dipilih sesuai dengan data yang ada, yaitu uji Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov (Gunawan dkk., 2020).

1. Uji Chi-Kuadrat

Uji chi-kuadrat merupakan pengujian terhadap perbedaan antara data sampel dan distribusi probabilitas (Upomo dan Kusumawardani, 2016). Pengujian ini dihitung dengan persamaan berikut:

$$X^2 = \sum_{i=0}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$$

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

Nilai X^2 yang diperoleh harus lebih kecil dari nilai X^2_{cr} atau Chi Kuadrat kritik (nilai X^2_{cr} diperoleh dari Tabel 7). Kemudian untuk nilai derajat nyata atau derajat kenyataan (α) tertentu yang biasa digunakan adalah sebesar 5% (Triatmodjo, 2008). Derajat kebebasan (DK) dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$DK = K - (P + 1)$$

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

Keterangan:

DK = Derajat kebebasan

K = Banyak kelas

P = Banyaknya keterikatan (parameter), untuk uji Chi-Kuadrat adalah 2

n = Banyak data

Tabel 7. Nilai Chi-Kuadrat Kritis (X^2_{cr})

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).

2. Uji Smirnov-Kolmogorov

Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan nilai $\Delta_{maksimum}$ dengan nilai Δ_{kritis} , yaitu selisih maksimum antara plot data dengan garis teoritis pada kertas probabilitas (Fauziyah dkk., 2013). Nilai Δ_{kritis} tergantung dari jumlah data (n) dan derajat kegagalan α , nilai Δ_{kritis} disajikan pada Tabel 8 berikut:

Tabel 8. Nilai Δ_{kritik} Uji Smirnov-Kolmogorov

n	α			
	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).

2.1.7. Waktu Konsentrasi

Suripin (2004) menjelaskan bahwa waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke *outlet* DAS (titik kontrol) setelah tanah menjadi jenuh. Rumus yang digunakan untuk menghitung waktu konsentrasi (t_c) adalah (Yansyah dkk., 2015):

$$t_c = \left[\frac{0.87 \times L^2}{1000 \times s} \right]^{0.385}$$

Keterangan:

- t_c = Waktu konsentrasi
- L = Panjang sungai
- s = Kemiringan sungai

2.1.8. Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF)

Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF) diberikan dalam bentuk kurva hubungan antara lamanya durasi hujan (t sebagai absis) dengan intensitas curah hujan (I sebagai ordinat) dan dinyatakan dalam bentuk lengkung intensitas hujan dalam kala ulang tertentu (Fauziyah dkk., 2013). Intensitas curah hujan ditentukan berdasarkan rumus *mononobe* (Cahyadi dkk., 2020). Rumus *mononobe* yang digunakan ialah sebagai berikut (Prasetyo dkk., 2019):

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

Keterangan:

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

R₂₄ = Curah hujan maksimum dalam waktu 24 jam (mm)

t = Lamanya hujan (jam)

2.1.9. Intensitas Hujan Jam-Jaman

Intensitas hujan ialah kedalaman atau tebal air hujan persatuan waktu (Krisnayanti dkk., 2020). Hidrograf banjir diperoleh dari hasil perhitungan hidrograf satuan sintetis yang mana diperlukan pembagian curah hujan yang terjadi dalam suatu selang waktu antara 5-7 jam (Rahmani dkk., 2016). 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)

R₂₄ = Curah hujan maksimum dalam waktu 24 jam (mm)

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

2.1.10. Koefisien Limpasan Permukaan

Koefisien limpasan didefinisikan sebagai angka yang menggambarkan persentase air yang mengalir dari berbagai macam permukaan akibat hujan (Krisnayanti dkk., 2020). Untuk mengukur besarnya koefisien aliran (C) dapat dilakukan dengan dua cara (Indriatmoko dan Wibowo, 2007):

1. Pendekatan karakteristik fisik yang menghasilkan aliran (Metode Bridge-Branch dan Cook).
2. Perhitungan aliran secara langsung atau perhitungan debit, baik dengan debit aliran tahunan, aliran sesaat, maupun laju aliran.

Pendekatan karakteristik fisik berdasarkan metode Bridge-Branch menggunakan tiga parameter fisik dan satu parameter meteorologi yang mempengaruhi besar kecilnya nilai koefisien aliran (Krisnayanti dkk., 2020). Parameter tersebut yaitu:

1. Intensitas hujan
2. Kemiringan lereng
3. Kapasitas penampungan
4. Karakteristik dan tutupan lahan

Metode Bridge-Branch digunakan untuk DAS dengan luas area yang kurang dari 50 km². Model pendekatan lainnya yaitu Metode Cook (Krisnayanti dkk., 2020):

1. Relief/kemiringan lereng
2. Penggunaan lahan
3. Infiltrasi tanah

Acuan nilai koefisien limpasan permukaan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 9. Nilai-nilai yang tertera merupakan spesifikasi berdasarkan metode Cook.

Tabel 9. Karakteristik Fisik DAS Metode Cook

Karakteristik Fisik DAS	Karakteristik yang Menghasilkan Aliran			
	Ekstrem (100)	Tinggi (75)	Sedang (50)	Rendah (25)
Kemiringan lereng	Curam (>30%)	Berbukit (10%-30%)	Sedang (5%-10%)	Datar (0%-5%)
Bobot	40	30	20	10
Infiltrasi tanah	Tidak ada penutup tanah efektif, lapisan tanah tipis, kapasitas infiltrasi diabaikan	Lambat menyerap air, material liat atau tanah lain dengan kapasitas infiltrasi rendah	Lempung dengan infiltrasi kira-kira setipe dengan tanah-tanah prairic	Pasir dalam atau tanah lain yang mampu menyerap air cepat
Bobot	20	15	10	5
Vegetasi penutup	Pemukiman, lahan kosong	Sawah irigasi, sawah tadah hujan, tegalan	Kebun campuran, hutan kurang rapat	Hutan rapat
Bobot	20	15	10	5

(Sumber: Fatahillah dkk., 2022).

Persamaan untuk total nilai koefisien limpasan permukaan pada tiap satuan pemetaan ialah sebagai berikut (Fatahillah dkk., 2022 ; Suripin, 2004):

$$C_{total} = C_k + C_t + C_p$$

Keterangan:

C_{total} = Total nilai koef.aliran tiap satuan pemetaan

C_k = Nilai C kemiringan lereng

C_t = Nilai C infiltrasi tanah

C_p = Nilai C penggunaan lahan

2.1.11. Curah Hujan Efektif

Perhitungan curah hujan efektif merupakan proses transformasi hujan menjadi limpasan langsung dengan mengikuti proses linear dan tidak dipengaruhi oleh waktu, yang dinyatakan dengan persamaan berikut (Andayani dan Umari, 2022):

$$R_n = C \times R$$

Keterangan:

R_n = Curah hujan efektif (mm)

C = Koefisien pengaliran

R = Curah hujan rencana (mm)

Curah hujan efektif yang sebelumnya telah dihitung kemudian ditransformasi menjadi distribusi hujan efektif dengan formula sebagai berikut:

$$R_T = I_T \times R_n$$

Keterangan:

R_T = Distribusi hujan efektif

I_T = Intensitas curah hujan sampai jam ke-T (mm/jam)

R_n = Curah hujan efektif (mm)

2.1.12. Metode Rasional

Metode rasional digunakan terbatas pada DAS-DAS dengan ukuran kecil, yaitu kurang dari 300 ha (Prasetyo dkk., 2019). Persamaan matematik untuk metode rasional (Lubis, 2016 ; Ardian dkk., 2016) adalah:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

Keterangan:

Q = Debit (m³/s)

0,278 = Konstanta (jika satuan luas daerah menggunakan km²)

C = Koefisien aliran

I = Intensitas curah hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)

A = Luas daerah aliran (km²)

2.1.13. 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 dan Aritonang, 2016). Berikut merupakan persamaan debit puncak banjir dengan metode Nakayasu (Widiarsini dkk., 2021):

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

$T_p = t_g + 0,8 T_r$

$t_g = 0,4 + 0,058 L$ (untuk $L > 15$ km)

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

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

$t_r = 0,5 t_g$ sampai t_g

Keterangan:

Q_p = Debit puncak banjir (m³/s)

A = Luas DAS (km²)

L = Panjang sungai utama (km)

R_o = Curah hujan efektif (mm)

T_p = Waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

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

t_g = Waktu konsentrasi (jam)

t_r = Satuan waktu curah hujan (jam)

α = Koefisien karakteristik DAS, diambil nilai 2 (Triatmodjo, 2008)

Berikut merupakan persamaan hidrograf satuan yang digunakan dalam metode Nakayasu (Sihotang dkk., 2019):

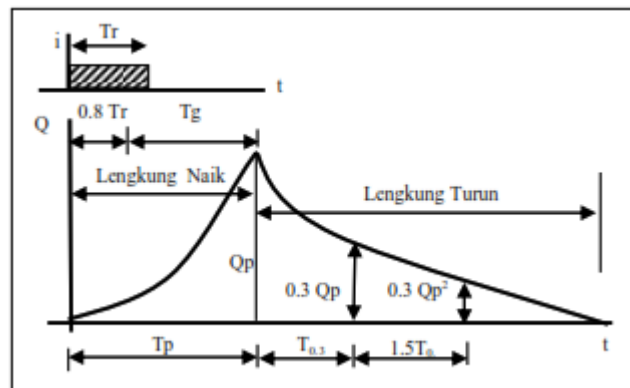
- Kurva naik [$0 < t < T_p$]

$$Q_t = Q_p \times \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4}$$
- Kurva turun [$T_p < t < (T_p + T_{0,3})$]

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t-T_p)/T_{0,3}]}$$
- Kurva turun [$(T_p + T_{0,3}) < t < (T_p + T_{0,3} + 1,5 \cdot T_{0,3})$]

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t-T_p) + 0,5 \cdot T_{0,3})/1,5 \cdot T_{0,3}]}$$
- Kurva turun [$t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 \cdot T_{0,3})$]

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t-T_p) + 1,5 \cdot T_{0,3})/2 \cdot T_{0,3}]}$$



(Sumber: Triatmodjo, 2008).

Gambar 5. Hidrograf satuan sintetis Nakayasu.

2.2. Analisis Hidrolika

Analisis hidrolika dilakukan untuk mencari dimensi hidrolis dari penampang alami di sungai ataupun pada saluran seperti drainase dan bangunan-bangunan pelengkapannya (Nurhamidin dkk., 2015). Analisis ini juga dimaksudkan untuk menganalisa profil muka air banjir dengan berbagai kala ulang dari debit rencana (Syahputra, 2015). Pada analisis hidrolika akan dihitung seberapa jauh pengaruh pengendalian banjir secara struktural terhadap tinggi muka air banjir dan luapan banjir yang terjadi. Dalam menganalisa faktor hidrolika sungai, secara umum

dilakukan perhitungan berdasarkan tiga persamaan dasar yaitu persamaan kontinuitas, persamaan energi, dan persamaan keseimbangan momentum. Ketiga perhitungan tersebut menggunakan pendekatan yang didasarkan pada persamaan aliran seragam (*uniform*) dengan memperhitungkan nilai kekasaran saluran, yang nantinya dirangkum dan dimodelkan dalam *software* HEC-RAS menggunakan prinsip *standard step* untuk aliran 1D.

2.2.1. Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas diperoleh dari hasil menguraikan debit sebagai perkalian luas (A) dan kecepatan rata-rata yang dinyatakan menjadi (Wahono, 2010):

$$\frac{\partial}{\partial t} (AU) + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

Keterangan:

Q = Debit aliran (m^3/s)

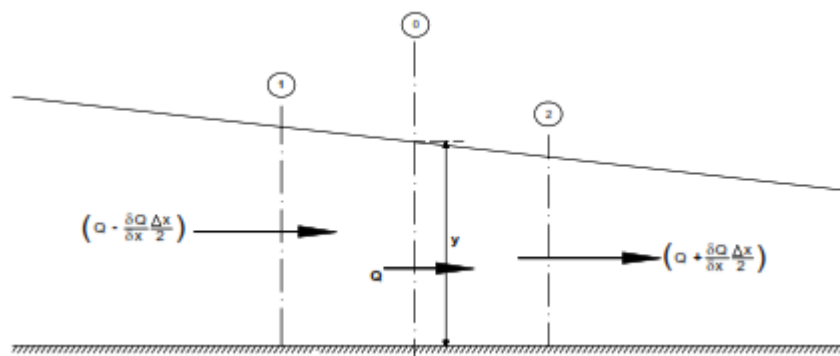
y = Kedalaman aliran (m)

U = Kecepatan rata-rata aliran arah x (m/s)

A = Luas penampang saluran (m^2)

T = Waktu (s)

Persamaan kontinuitas ditunjukkan dalam bentuk sketsa suatu keseimbangan aliran massa zat cair seperti terlihat pada Gambar 6.



(Sumber: Wahono, 2010).

Gambar 6. Keseimbangan zat cair pada saluran terbuka.

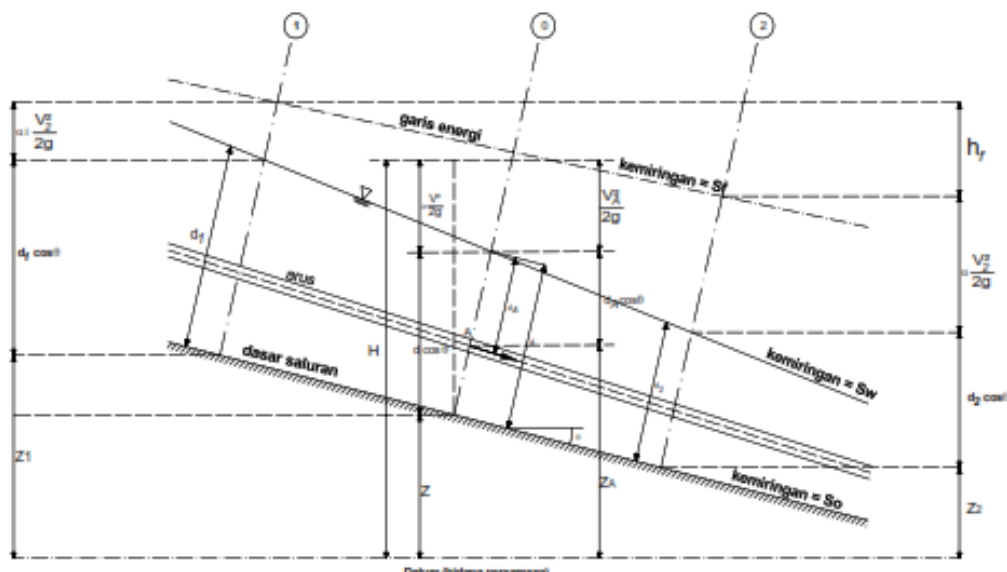
2.2.2. Persamaan Energi

Menurut teori kekekalan energi, jumlah tinggi energi pada penampang 1 di hulu akan sama dengan jumlah energi pada penampang 2 di hilir dan akan sama dengan jumlah tinggi (h_f) antar kedua penampang seperti terlihat pada Gambar 7. Berikut merupakan bentuk dari persamaan energi (Wahono, 2010):

$$Z_1 + d_1 \cos \theta + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + d_2 \cos \theta + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_f$$

Keterangan:

Z_1, Z_2	= Elevasi dasar saluran utama penampang 1 dan 2 (m)
$d_1 \cos \theta, d_2 \cos \theta$	= Kedalaman air penampang 1 dan 2 (m)
V_1, V_2	= Kecepatan rata-rata penampang 1 dan 2 (m/s)
α_1, α_2	= Faktor koreksi energi kinetik penampang 1 dan 2
g	= Percepatan gravitasi (m/s^2)



(Sumber: Wahono, 2010).

Gambar 7. Sketsa persamaan energi aliran pada saluran terbuka.

kemudian akibat dari adanya gesekan dan peralihan seperti penyempitan atau pelebaran aliran antar dua penampang aliran disebut sebagai tinggi kehilangan energi (h_f) yang dinyatakan dengan persamaan berikut (Wahono, 2010):

$$h_f = LSf + k \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

Keterangan:

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 \text{ dengan } K = \frac{1}{n} AR^{2/3}$$

k = Koefisien kontraksi akibat penyempitan dan pelebaran aliran

S_f = Kemiringan garis energi

K = Hantaran (*conveyance*) penampang saluran

n = Koefisien kekasaran Manning

A = Luas penampang (m^2)

R = Jari-jari hidrolis penampang (m)

L = Panjang jarak antar penampang melintang sungai (m), dihitung sebagai:

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

Dimana:

L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} = Panjang jarak antar penampang melintang untuk aliran di bantaran kiri, saluran utama, dan bantaran kanan (m).

\bar{Q}_{lob} , \bar{Q}_{ch} , \bar{Q}_{rob} = Debit rata-rata aliran antar penampang melintang di bantaran kiri, saluran utama, dan bantaran kanan (m^3/s).

2.2.3. Persamaan Keseimbangan Momentum

Persamaan ini didasarkan pada aplikasi hukum Newton II untuk gerakan massa air pada tampang yang dibatasi oleh dua penampang melintang yaitu 1 dan 2 seperti terlihat pada Gambar 8. Bentuk dari persamaan momentum dapat ditulis sebagai berikut (Wahono, 2010):

$$P_1 - P_2 + W \sin \theta - F_1 = \frac{Q\omega}{g} (\beta_2 V_2 - \beta_1 V_1)$$

Keterangan:

P_1 , P_2 = Tekanan yang bekerja pada penampang 1 dan 2 (N/m^2)

W = Berat zat cair diantara kedua penampang (gr/cm^3)

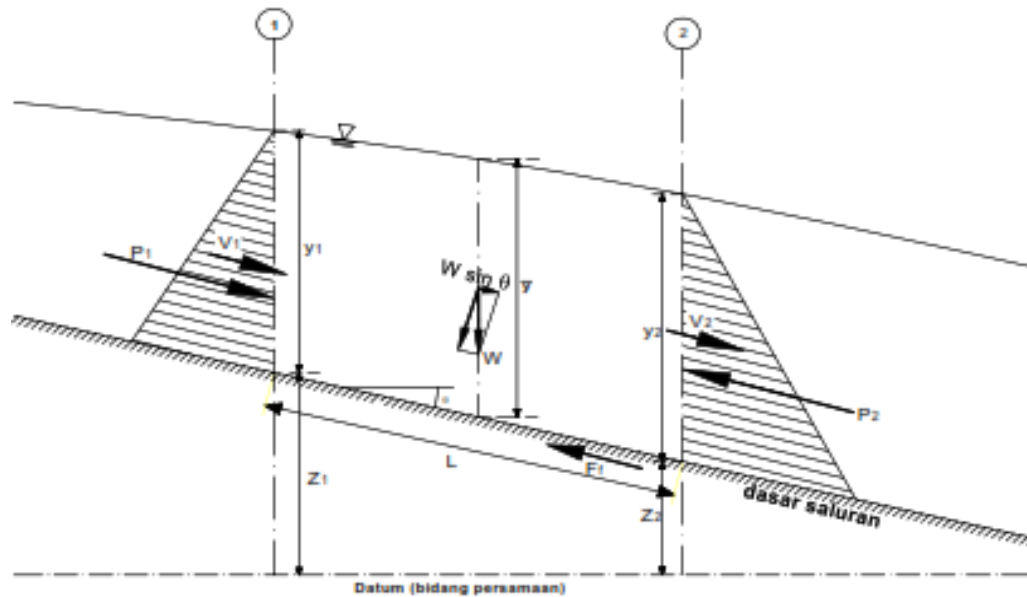
F_f = Jumlah gaya luar akibat gesekan dan tahanan sepanjang L (N)

Q = Debit aliran (m^3/s)

β = Koefisien momentum

ω = Berat satuan air (gr/cm^3)

V_1, V_2 = Kecepatan rata-rata penampang 1 dan 2 (m/s)
 g = Percepatan gravitasi (m/s^2)



(Sumber: Wahono, 2010).

Gambar 8. Prinsip keseimbangan momentum.

2.2.4. Elemen Geometri

Elemen geometri yang dimaksudkan di dalam tulisan ini antara lain jari-jari hidrolis (R) dan kecepatan pengaliran. Jari-jari hidrolis (R) merupakan rasio luas basah dengan keliling basah suatu saluran (Kimi, 2015) dengan persamaan sebagai berikut (Kamiana dan Jaya, 2019):

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

Keterangan:

R = Jari-jari hidrolis (m)

A = Luas penampang (m^2)

P = Keliling basah (m)

Kemudian untuk menentukan kecepatan aliran air di dalam saluran, didasarkan pada kecepatan minimum yang diperbolehkan agar konstruksi saluran tetap aman (Nurhamidin dkk., 2015). Persamaan yang digunakan dalam menghitung kecepatan pengaliran ialah (Putro dan Hadihardaja, 2013 ; Tahir dan Musa, 2020):

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

Keterangan:

V = Kecepatan pengaliran (m/s)

n = Koefisien kekasaran Manning (Tabel 9)

S = Kemiringan memanjang saluran

Tabel 10. Nilai Koefisien Manning (n)

Tipe Saluran dan Deskripsinya	Min.	Normal	Maks.
Sungai Alami			
1. Saluran Utama			
a. Bersih lurus, penuh, tanpa rekahan atau ceruk dalam	0.025	0.030	0.033
b. Sama dengan atas, banyak batuan dan tanaman pengganggu	0.030	0.035	0.040
c. Bersih, berliku, berceruk, bertebing	0.033	0.040	0.045
d. Sama dengan atas, dengan tanaman pengganggu dan bebatuan	0.035	0.045	0.050
e. Sama dengan atas, tidak terisi penuh banyak kemiringan dan penampang tidak beraturan	0.040	0.048	0.055
f. Sama dengan atas poin "d", berbatu banyak	0.045	0.050	0.060
g. Tenang pada bagian lurus, tanaman pengganggu, ceruk dalam	0.050	0.070	0.080
h. Banyak tanaman pengganggu, ceruk dalam, saluran air penuh tumbuhan kayu, ranting	0.070	0.100	0.150
2. Sempadan Sungai			
a. Padang rumput tanpa belukar			
1. Rumput pendek	0.025	0.030	0.035
2. Rumput tinggi	0.030	0.035	0.050
b. Areal pertanian			
1. Tanpa tanaman	0.020	0.030	0.040
2. Tanaman dibariskan	0.025	0.035	0.045
3. Tanaman tidak dibariskan	0.030	0.040	0.050
c. Belukar			
1. Belukar tersebar, banyak tanaman pengganggu	0.035	0.050	0.070

2. Belukar jarang dan berpohon, musim dingin	0.035	0.050	0.060
3. Belukar jarang dan berpohon, musim semi	0.040	0.060	0.080
4. Belukar sedang sampai rapat, musim dingin	0.045	0.070	0.110
5. Ber belukar sedang sampai rapat, musim semi	0.070	0.100	0.160
d. Pepohonan			
1. Tanah telah dibersihkan, tunggul pohon, tidak bertunas	0.030	0.040	0.050
2. Sama dengan atas, dengan tunas lebat	0.050	0.060	0.080
3. Banyak batang kayu, beberapa tumbang, ranting-ranting, taraf banjir di bawah cabang pohon	0.080	0.100	0.120
4. Sama dengan atas, taraf banjir mencapai cabang pohon	0.100	0.120	0.160
5. Willow rapat, musim semi, dan lurus	0.110	0.150	0.200
3. Saluran di pegunungan, tanpa tetumbuhan di saluran, tebing umumnya curam, dengan pepohonan dan berbelukar di bawah muka air			
a. Dasar: kerikil, kerakal, dan sedikit batu besar	0.030	0.040	0.050
b. Dasar: kerakal dengan batu besar	0.040	0.050	0.070

(Sumber: Wahono, 2010).

2.2.5. Debit Aliran

Debit aliran merupakan fungsi dari kecepatan dan luas penampang basah (A), dapat dinyatakan dengan volume per satuan waktu atau jumlah zat cair yang mengalir melalui tampang lintang aliran tiap satu satuan waktu (Saputra dkk., 2021). Debit aliran dapat dihitung dengan rumus kontinuitas (Kamiana dan Jaya, 2019) sebagai berikut:

$$Q = V \times A$$

Keterangan:

Q = Debit aliran (m³/s)

V = Kecepatan pengaliran (m/s)

A = Luas penampang basah (m²)

2.2.6. Kriteria Aliran

Klasifikasi jenis aliran menurut kedalaman dan waktu dalam saluran terbuka terbagi menjadi 2 yaitu aliran tetap (*steady flow*) dan aliran tidak tetap (*unsteady flow*) (Wesli, 2008 ; Rahmawati dan Aritonang, 2016). Suatu aliran dikatakan tetap apabila variabel aliran (seperti kecepatan V , tekanan p , rapat massa r , tampang aliran A , debit Q , dan sebagainya) di sembarang titik pada zat cair tidak berubah menurut waktu. Sebaliknya, apabila variabel-variabel aliran air berubah menurut waktu maka disebut sebagai aliran tidak tetap (Mustofa dkk., 2015).

Kriteria aliran lainnya yaitu aliran seragam (*uniform flow*) dan aliran tidak seragam (*un-uniform flow*). Aliran seragam ditunjukkan dengan kecepatan aliran di sepanjang saluran adalah tetap, dalam hal ini kecepatan aliran tidak tergantung pada tempat atau tidak berubah menurut tempatnya $\frac{\partial v}{\partial s} = 0$. Sedangkan aliran tidak seragam kecepatannya berubah terhadap tempat atau posisi $\frac{\partial v}{\partial s} \neq 0$ (Yansyah dkk., 2015).

2.2.7. Kalibrasi Angka Manning (n)

Kalibrasi model angka Manning (n) dilakukan dengan tujuan untuk menyesuaikan elevasi muka air sungai pada simulasi HEC-RAS dengan kondisi aktual hasil pengukuran di lapangan. Penyesuaian ini dilakukan dengan memberikan variasi nilai koefisien Manning (n) terhadap nilai koefisien yang diizinkan pada Tabel 10 (Parulian dkk., 2015). Kalibrasi angka Manning (n) pada tugas akhir ini dilakukan menggunakan metode *Root Mean Square Errors* (RMSE). Metode RMSE digunakan dalam perhitungan nilai rata-rata selisih kuadrat simpangan antara hasil *modelling software* dengan nilai pengukuran di lapangan (Fildzah Tasya dan Lasminto, 2021). Berikut merupakan persamaan dari metode RMSE dengan syarat bahwa nilai perhitungan RMSE mendekati 0 (Parulian dkk., 2015 ; Fildzah Tasya dan Lasminto, 2021):

$$E = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_{\text{obs}} - H_{\text{sim}})^2}$$

Keterangan:

E = Error/kesesuaian

n = Jumlah data

H_{obs} = Tinggi muka air hasil observasi

H_{sim} = Tinggi muka air hasil simulasi pemodelan

2.2.8. Tinggi Jagaan (*Freeboard*)

Menurut Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia (BPSDM, 2017) Kementerian PUPR dalam Modul 8 *Dasar-Dasar Perencanaan Alur dan Bangunan Sungai* dijelaskan bahwa, perencanaan tinggi jagaan (*freeboard*) pada sungai disesuaikan dengan nilai yang disajikan pada Tabel 11 di bawah ini.

Tabel 11. Nilai Tinggi Jagaan (*Freeboard*) untuk Beberapa Debit Rancangan

Debit Rancangan (m ³ /detik)	Tinggi Jagaan (m)
< 200	0,60
200 - 500	0,80
500 - 2.000	1,00
2.000 - 5.000	1,20
5.000 - 10.000	1,50

(Sumber: BPSDM PUPR, 2017).

2.3. Aplikasi Program *HEC-RAS*

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System) merupakan aplikasi yang digunakan dalam menganalisis kapasitas debit banjir pada sungai maupun saluran drainase (Rahmawati dan Aritonang, 2016) yang dikembangkan oleh *Waterway Experimental Station, US Army Corps of Engineers*. Lebih lanjut dijelaskan, *software* ini digunakan dalam pemodelan aliran di sungai dengan model 1D aliran tetap maupun tak tetap dengan mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik, serta pelaporan (Wigati dkk., 2016 ; Widiarsini dkk., 2021). Prosedur dalam menggunakan program *HEC-RAS* yaitu (a) memasukkan data geometri sungai, (b) memasukkan data aliran tetap/tidak tetap, (c) memasukkan data debit dengan kala ulang yang direncanakan (Prastica *et al.*, 2018). Data-data yang diperlukan dalam menganalisis penampang sungai dengan menggunakan *software HEC-RAS* adalah (Widiarsini dkk., 2021):

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

Berikut dijabarkan mengenai tahapan dalam pemodelan HEC-RAS (Istiarto, 2014):

- a. Tahapan pemasukan data geometri

Pada tahap ini dibutuhkan *input* data seperti potongan melintang sungai (*cross section*) serta data struktur hidrolis lainnya

- b. Tahapan pemasukan data aliran dan kondisi batas

Kondisi batas yang dimaksud haruslah sesuai dengan analisa hidrolis yang akan dilakukan, apakah dengan aliran subkritis, superkritis, ataupun campuran. Dalam tugas akhir ini dilakukan menggunakan aliran campuran dengan kondisi batas sebagai berikut:

- Kondisi batas hilir berupa kedalaman kritis (*critical depth*).
- Kondisi batas hulu berupa debit yang telah dihitung pada analisis hidrologi.
- Tahapan perhitungan hidraulik.

- c. Tahapan penyusunan *output* program

Output yang dihasilkan dari tahap perhitungan hidraulik yaitu:

- Plot muka air (*water surface*) pada setiap potongan melintang (*cross section*) serta plot profil memanjang sungai.
- Tabel-tabel yang memberikan informasi yang lebih rinci dari pemodelan.

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini ialah kuantitatif deskriptif, yaitu perhitungan data lalu kemudian dijabarkan atau dijelaskan. Metode ini berupa pengumpulan data, analisis data, dan interpretasi hasil analisis untuk mendapatkan informasi guna pengambilan keputusan kesimpulan. Data-data penelitian yang dibutuhkan adalah data primer yang diperoleh melalui peninjauan langsung di lapangan dan data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait seperti Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Mesuji Sekampung dan instansi terkait lainnya yang disesuaikan dengan kebutuhan data seiring dengan pelaksanaan penelitian tugas akhir ini.

3.1. Tahapan Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu:

1. Studi literatur

Membaca, memahami, serta mempelajari rumusan-rumusan teoritis maupun pengaplikasian yang terkait dengan tugas akhir ini. Rumusan-rumusan tersebut diperoleh dari literatur atau referensi seperti jurnal, buku, artikel, maupun penelitian terdahulu.

2. Peninjauan lokasi

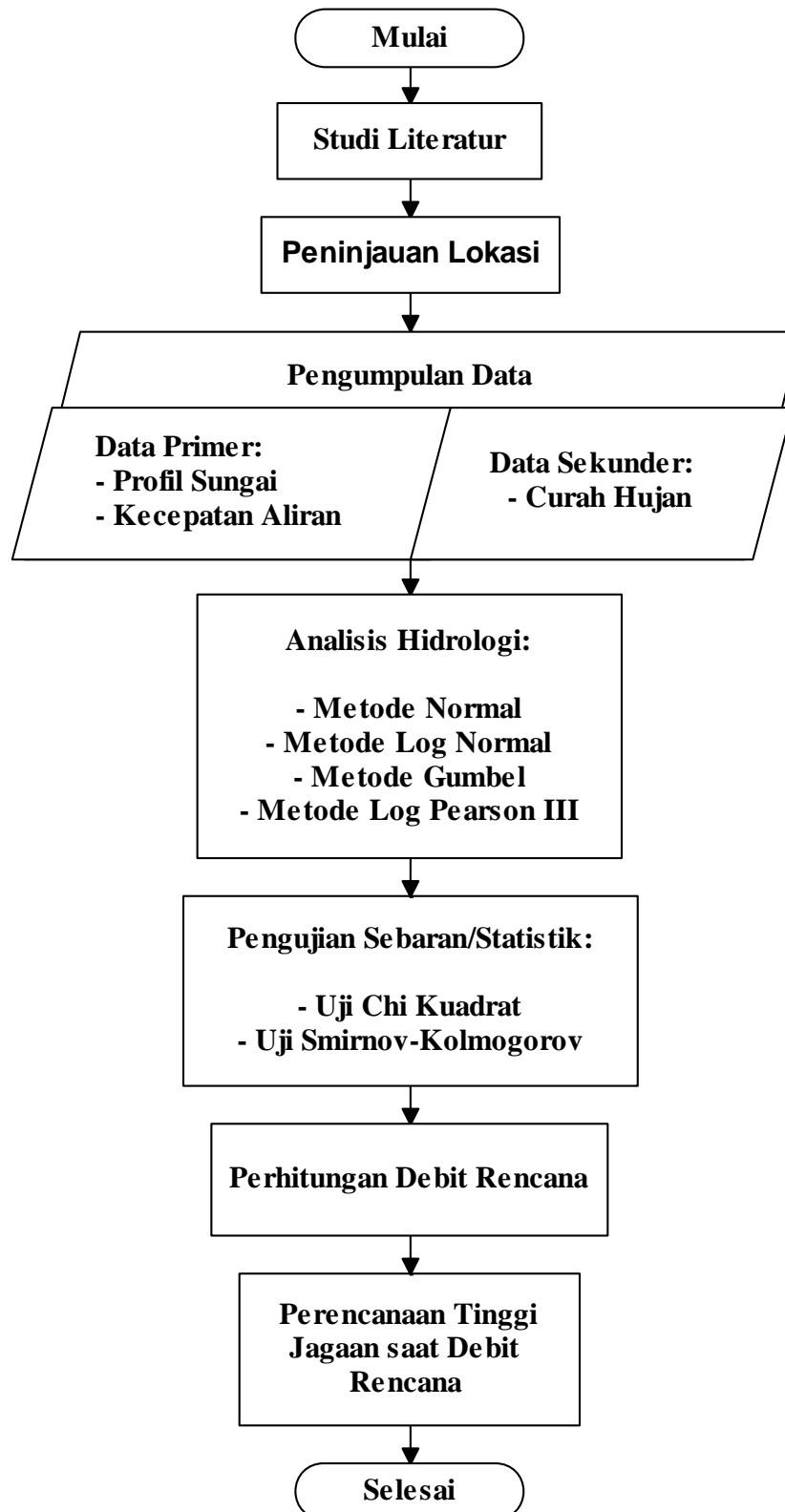
Survey lapangan sangat penting dilakukan untuk menunjang penelitian dengan begitu penulis dapat mengetahui kondisi eksisting dengan memahami kondisi *real* di lokasi. Selain itu, peninjauan lokasi ini juga dilakukan untuk mengumpulkan data-data primer yang dibutuhkan untuk penelitian. Hasil dari peninjauan lokasi yang dilakukan ialah data tentang profil sungai dan kecepatan aliran sungai.

3. Pengumpulan data

Data-data penting yang harus dikumpulkan yaitu:

- a. Data primer, yaitu data mengenai kondisi sungai dan keadaan sekitarnya seperti kecepatan aliran serta profil sungai. Setelah itu diperoleh debit aliran dari sungai tersebut.
 - b. Data sekunder, yaitu data mengenai keadaan topografi dan data hidrologi. Data hidrologi yang dimaksud ialah data curah hujan untuk kawasan Sub DAS Sungai Way Seputih yang bersumber dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Mesuji Sekampung, Kementerian PUPR Direktorat Jenderal Sumber Daya Air (SDA).
4. Analisis data
- Analisis data yang dilakukan berdasarkan pada perumusan dan pembatasan masalah yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya yaitu:
- a. Analisis data curah hujan
 - b. Analisis intensitas curah hujan
 - c. Analisis debit rencana, Q_T
 - d. Analisis tinggi jagaan (*freeboard*) pada saat Q_T

Tahapan penelitian yang telah dijabarkan di atas, digambarkan dalam bentuk diagram alir seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. 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 50 dan 100 tahun masing-masing sebesar 742,281 m³/s dan 854,431 m³/s.
2. Diperoleh nilai elevasi muka air banjir (MAB) dari hasil *modelling* adalah +45,38 m untuk kala ulang 50 tahun dan +45,51 m untuk kala ulang 100 tahun.
3. Diperoleh nilai angka kekasaran Manning (n) sebesar 0,030 dari hasil kalibrasi menggunakan metode *Root Mean Square Errors* (RMSE).
4. Direncanakan nilai tinggi jagaan (*freeboard*) jembatan yang digunakan masing-masing sebesar 1,32 m dan 1,19 m untuk kala ulang 50 tahun dan 100 tahun ditinjau dari besarnya nilai debit rancangan yang telah dihitung serta dari selisih antara muka air banjir dengan gelagar terbawah jembatan.
5. Dari hasil tinggi jagaan yang telah direncanakan dan disesuaikan dengan ketentuan yang ada pada PM No.60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api Pasal 3.2.1.(i), *freeboard* jembatan kereta api yang diperoleh sudah memenuhi kriteria perencanaan yaitu minimal 1 meter dari gelagar terbawah jembatan terhadap muka air banjir.

5.2. Saran

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

1. Diperlukan survey lapangan dengan alat-alat survey yang lebih mendukung seperti misalnya menggunakan *current meter* untuk mengukur kecepatan aliran air dibandingkan dengan alat ukur manual seperti menggunakan pelampung

dan *stopwatch*. Pengukuran yang menggunakan alat-alat modern dan otomatis seperti itu akan memberikan hasil/*output* survey yang lebih akurat serta teliti jika dibandingkan dengan alat manual dan sederhana.

2. Pada analisis koefisien limpasan permukaan (C) perlu ditambahkan satu variabel pendukung lainnya yaitu infiltrasi/tekstur tanah yang ada di lokasi penelitian yang dapat diperoleh dari hasil survey lapangan, agar hasil perhitungan yang dihasilkan menjadi lebih sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Amijaya, H., Littke, R., 2005. Microfacies and Depositional Environment of Tertiary Tanjung Enim Low Rank Coal, South Sumatra Basin, Indonesia. *International Journal of Coal Geology*, 61 (3), 197–221.
- Andayani, R., Umari, Z.F., 2022. Debit Banjir Rancangan DAS Selabung dengan HSS Nakayasu. *Jurnal Deformasi*, 7 (1), 21–31.
- Ardian, R.B., Zakaria, A., Susilo, G.E., 2016. Study System Drainase di Fakultas Teknik Universitas Lampung. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 4 (3), 503–512.
- Ardiansyah, M., Suyono, Titisariwati, I., Cahyadi, T.A., Kresno, 2021. Analisis Perbandingan Perhitungan Curah Hujan Rencana Berdasarkan Periode Ulang Hujan dengan Metode Gumbell, Metode Log Pearson III, Metode Iway Kadoya Studi Kasus Tambang Andesit. *Jurnal Inovasi Pertambangan dan Lingkungan*, 1 (2), 52–58.
- Cahyadi, T.A., Dinata, D.C., Haryanto, D., Hartono, Titisariwati, I., Fahlevi, R., 2020. Evaluasi Saluran Terbuka dengan Menggunakan Distribusi Gumbell dan Model Thomas Fiering. *Jurnal KURVATEK*, 5 (1), 29–36.
- Fatahillah, A.W., Suyarto, R., Wiyanti, 2022. Analisis Spasial Koefisien Limpasan Permukaan untuk Estimasi Luapan Banjir di DAS Tukad Buleleng Provinsi Bali. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 11 (1), 30–40.
- Fauziah, S., Sobriyah, Susilowati, 2013. Analisis Karakteristik dan Intensitas Hujan Kota Surakarta. *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 1 (2), 1–8.
- Fildzah Tasya, N.H., Lasminto, U., 2021. Kalibrasi Model Numerik Sungai Bengawan Solo untuk Pembangunan Bendung Gerak Karangnongko dengan Parameter Nilai Kekasaran Manning Menggunakan Program Bantu HEC-RAS. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 19 (4), 379–386.
- Fitrianto, A., 2022. Studi Perhitungan Kapasitas Drainase pada Jalan Letjen Suprpto Kota Balikpapan Kalimantan Timur, 12 (2), 199–206.
- Gunawan, G., Besperi, 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.
- Hartini, E., 2017. *Hidrologi dan Hidrolika Terapan*. Universitas Dian Nuswantoro. Semarang.

- Harto, S., 1993. *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Ihlas, A., 2017. Analisis Kerusakan Rel Kereta Api Angkutan Batubara. *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*, 7 (1), 7–16.
- Indriatmoko, R.H., Wibowo, V.E., 2007. Aplikasi Sistem Informasi Geografi untuk Perhitungan Koefisien Aliran Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung. *Jurnal Teknik Sipil*, 182–190.
- Istiarto, 2014. *HEC-RAS Dasar Simple Geometry River*. Yogyakarta.
- Kamiana, I.M., Jaya, A.R., 2019. Koefisien Manning Saluran Drainase di Ruas Jalan Bapuyu dan Jalan Lele Kota Palangkaraya. *In: Prosiding SNST Fakultas Teknik*. Palangkaraya: Fakultas Teknik Universitas Palangkaraya, 37–42.
- Kementerian PUPR, Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017. *Modul 6 tentang Analisis Hidrologi*. Bandung.
- Kementerian PUPR, Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017. *Modul 8 tentang Dasar-Dasar Perencanaan Alur dan Bangunan Sungai*. Bandung.
- Kementerian Perhubungan RI, Direktorat Jenderal Perhubungan. *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*. Jakarta.
- Kimi, S., 2015. Pengaruh Jenis dan Kemiringan Dasar Saluran Terhadap Nilai Koefisien C dengan Persamaan Manning Berdasarkan Hasil Uji Laboratorium. *Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*, 4 (1), 1–4.
- Kleidon, A., Renner, M., 2013. Thermodynamic Limits of Hydrologic Cycling Within the Earth System: Concepts, Estimates and Implications. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, 17 (7), 2873–2892.
- Krisnayanti, D.S., Hunggurami, E., Heo, R.S., 2020. Perbandingan Debit Banjir Rancangan dengan Metode HSS Nakayasu, Gama I dan Limantara pada DAS Raknamo. *Jurnal Teknik Sipil*, IX (1), 1–14.
- Lubis, F., 2016. Analisa Frekuensi Curah Hujan Terhadap Kemampuan Drainase Pemukiman di Kecamatan Kandis. *Jurnal Teknik Sipil Siklus*, 2 (1), 34–46.
- Mustofa, M.J., Kusumastuti, D.I., Romdania, Y., 2015. Analisis Hidrologi dan Hidrolika pada Saluran Drainase Ramanuju Hilir Kotabumi (Menggunakan Program HEC-RAS). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 3 (2), 303–312.
- Nurhamidin, A.E., Jasin, M.I., Halim, F., 2015. Analisis Sistem Drainase Kota Tondano (Studi Kasus Kompleks Kantor Bupati Minahasa). *Jurnal Sipil Statik*, 3 (9), 599–612.

- Parulian, R.S., Bisri, M.H., Sholichin, M., 2015. Analisis Profil Muka Air dan Luasan Genangan di Lahan Akibat Variasi Posisi Sudetan Sungai Ciliwung. *Jurnal Teknik Pengairan*, 6 (2), 251–262.
- Prasetyo, R.D., Cahyo, Y., Ridwan, A., 2019. Analisa Perencanaan Sistem Drainase Dalam Upaya Penanggulangan Banjir di Kecamatan Gandusari Kabupaten Trenggalek. *JURMATEKS*, 2 (1), 132–143.
- Prastica, R.M.S., Maitri, C., Hermawan, A., Nugroho, P.C., Sutjiningsih, D., Anggraheni, E., 2018. Estimating Design Flood and HEC-RAS Modelling Approach for Flood Analysis in Bojonegoro City. *In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Depok: Institute of Physics Publishing, 1–8.
- Putro, H., Hadihardaja, J., 2013. Variasi Koefisien Kekasaran Manning (n) pada Flume Akrilik pada Variasi Kemiringan Saluran dan Debit Aliran. *Jurnal Ilmu dan Terapan Bidang Teknik Sipil*, 19 (2), 141–146.
- Rahmani, R.N., Sobriyah, Wahyudi, A.H., 2016. Transformasi Hujan HARIan ke Hujan Jam-Jaman Menggunakan Metode Mononobe dan Pengalihragaman Hujan Aliran (Studi Kasus di DAS Tirtomoyo). *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 176–185.
- Rahmawati, E., Aritonang, N., 2016. Analisa Kapasitas Tampungan pada Sungai Pucang Kabupaten Sidoarjo dalam Menampung Debit Banjir. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 2 (2), 84–92.
- Saputra, E.A., Wahono, E.P., Zakaria, A., 2021. Analisis Perbandingan Kedalaman Gerusan Lokal (Local Scouring) di Hilir Bangunan Pelimpah (Ogee and Stepped Spillway) dengan Model Fisik 2D. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 9 (3), 523–532.
- Solomon, L., Warwick, D.J., Nayagam, S., 2014. *Swiss Competences in River Engineering and Restoration*. 4th ed. London: CRC Press/Balkema.
- Suadnya, D.P., Sumarauw, J.S.F., Mananoma, T., 2017. Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Banjir Sungai Sario di Titik Kawasan Citraland. *Jurnal Sipil Statik*, 5 (3), 143–150.
- Sulistiyorini, R., 2015. Potensi Kereta Api Sebagai Angkutan Barang di Provinsi Lampung. *Jurnal Kelitbangan*, 3 (1), 1–15.
- Suripin, 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi Offset. Yogyakarta
- Syahputra, I., 2015. Kajian Hidrologi dan Analisa Kapasitas Tampang Sungai Krueng Langsa Berbasis HEC-HMS dan HEC-RAS. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 1 (1), 15–28.

- Tahir, M., Musa, R., 2020. Kajian Koefisien Kekasaran Manning (n) Pasangan Batu dan Beton Berdasarkan Kuantifikasi Kekasaran Hidrolis (Studi Kasus Daerah Irigasi Wawotobi Kab. Konawe Sultra). *Jurnal Teknik Sipil*, 5 (2), 101–115.
- Talumepa, M.Y., Lambertus Tanudjaja, Sumarauw, J.S.F., 2017. Analisis Debit Banjir dan tinggi Muka Air Sungai Sangkub Kabupaten Bolaang Mongondow Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 5 (10), 699–710.
- Tommy, Mananoma, T., Tanudjaja, L., 2015. Analisis Debit Banjir di Sungai Tondano Berdasarkan Simulasi Curah Hujan Rencana. *Jurnal TEKNO*, 13 (63), 52–59.
- Triatmodjo, B., 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Upomo, T.C., Kusumawardani, R., 2016. Pemilihan Distribusi Probabilitas pada Analisa Hujan dengan Metode Goodness of Fit Test. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 18 (2), 139–148.
- Wahono, E.P., 2010. *Kursus Dasar HEC-RAS*. Bandar Lampung.
- Wahyuddin, M., Siregar, A.M., Afriani, L., 2019. Analisis dan Perencanaan Pondasi Tiang Bored Pile pada Jembatan Jalur Ganda Kereta Api Bekri Kabupaten Lampung Tengah. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 7 (3), 495–504.
- Wahyuni, Y.T., Rusdi, A.H., 2002. Perencanaan Jembatan Kereta Api BH-200 Glenmore Banyuwangi. Universitas Jember, Banyuwangi.
- Wesli, 2008. *Drainase Perkotaan*. Graha Ilmu. Yogyakarta
- Widiarsini, P.G., Suryantara Pariartha, G., Infantri Yekti, M., 2021. Analisis Hidrolika Penampang Alami di Sungai Unda Hilir. *Jurnal SPEKTRAN*, 9 (1), 85.
- Wigati, R., Soedarsono, Pribadi, 2016. Normalisasi Sungai Ciliwung Menggunakan Program HEC-RAS 4.1 (Studi Kasus Cililitan-Bidara Cina). *Jurnal Fondasi*, 5 (1), 1–12.
- Yang, D., Yang, Y., Xia, J., 2021. Hydrological Cycle and Water Resources in A Changing World: A Review. *Journal of Geography and Sustainability*.
- Yansyah, R.A., Kusumastuti, D.I., Tugiono, S., 2015. Analisa Hidrologi dan Hidrolika Saluran Drainase Box Culvert di Jalan Antasari Bandar Lampung Menggunakan Program HEC-RAS. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 3 (1), 1–12.