

Analisis Hidrolika dan Tinggi Jagaan (*Freeboard*) Jembatan Kereta Api (BH-102 KM.53+778) pada Sungai Way Tipo Bekri Kabupaten Lampung Tengah

Maharani Elvida¹⁾

Nur Arifaini²⁾

Subuh Tugiono³⁾

Ahmad Zakaria³⁾

Abstract

*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.*

Key words : railway bridge, hydrology, hydraulics, HSS Nakayasu, HEC-RAS.

Abstrak

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.

¹⁾ Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
Surel: elvidamhr@gmail.com

²⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 . Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

I. PENDAHULUAN

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. Batubara yang melimpah tersebut diangkut ke Pelabuhan Tarahan menggunakan kereta api karena dianggap sebagai moda transportasi yang paling efisien bagi angkutan barang maupun manusia (Ihlas, 2017). 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.

Dalam merencanakan jembatan kereta api di atas sungai, faktor hidrolika pada sungai ikut dianalisa ke dalam tahapan perencanaan jembatan guna memperhitungkan level muka air banjir dan tinggi jagaan (*freeboard*) agar konstruksi jembatan yang dibangun tetap aman. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012 (Menteri Perhubungan, 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.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi ialah salah satu bagian dari analisis awal untuk merancang struktur hidrolik. Analisis hidrologi diperlukan untuk menentukan karakteristik hidrologi dari suatu daerah aliran sungai (DAS) juga digunakan untuk menentukan volume debit banjir yang dirancang (Prastica dkk., 2018).

2.1.1. Parameter Statistik

Dalam statistik dikenal beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data meliputi rata-rata ($\bar{R}$), simpangan baku (S), koefisien *skewness* (Cs), koefisien kurtosis (Ck), dan koefisien variasi (Cv) (Tommy dkk., 2015).

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum Ri \quad (1)$$

$$S = \sqrt{\left[\frac{1}{n} \sum (Ri - \bar{R})^2 \right]} \quad (2)$$

$$Cs = \frac{n \sum (Ri - \bar{R})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \quad (3)$$

$$Ck = \frac{n^2 \sum (Ri - \bar{R})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \quad (4)$$

$$Cv = \frac{S}{\bar{R}} \quad (5)$$

2.1.2. Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi dapat diterapkan untuk dua data yaitu data debit sungai atau data hujan. Distribusi yang digunakan untuk analisis frekuensi dalam ilmu hidrologi yaitu (1) Distribusi Normal, (2) Distribusi Log Normal, (3) Distribusi Gumbel, dan (4) Distribusi Log Pearson III, dengan persamaan yang disajikan secara berurut di bawah ini.

$$R_T = \bar{R} + K_T \cdot S \quad (6)$$

$$\log R_T = \log \bar{R} + K_T \cdot S_{\log} \quad (7)$$

$$R_T = \bar{R} + K_T \cdot S \quad (8)$$

$$\log R_T = \log \bar{R} + K_T \cdot S \quad (9)$$

dengan $\bar{R}$ adalah curah hujan rata-rata, K_T adalah faktor frekuensi, dan S adalah standar deviasi, $\log \bar{R}$ adalah logaritmik curah hujan rata-rata, dan $S_{\log}$ adalah nilai logaritmik dari standar deviasi.

2.1.3. Koefisien Limpasan Permukaan

Untuk mengukur besarnya koefisien aliran (C) dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pendekatan karakteristik fisik yang menghasilkan aliran (Metode Bridge-Branch dan Cook), dan juga menggunakan perhitungan aliran secara langsung atau perhitungan debit.

2.1.4. Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu

Hidrograf satuan ialah hidrograf limpasan langsung (limpasan permukaan) yang dihasilkan oleh hujan satuan yang menyajikan hubungan antara unsur aliran seperti misalnya debit (Q) terhadap waktu (t) (Rahmawati dan Aritonang, 2016). Berikut merupakan persamaan debit puncak banjir dengan metode Nakayasu.

$$Q_p = \frac{C}{3,6} \times \left[\frac{A \times R_0}{(0,3 T_p + T_{0,3})} \right] \quad (10)$$

dengan Q_p adalah debit puncak banjir, C adalah koefisien limpasan permukaan, A merupakan luas daerah pengaliran sungai, R_0 adalah curah hujan efektif, T_p adalah waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir, $T_{0,3}$ adalah waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak.

2.2. Analisis Hidrolika

Analisis ini dimaksudkan untuk menganalisa profil muka air banjir dengan berbagai kala ulang dari debit rencana (Syahputra, 2015).

2.2.1. Elemen Geometri

Jari-jari hidrolik (R) merupakan rasio luas basah dengan keliling basah suatu saluran (Kimi, 2015) dengan persamaan sebagai berikut:

$$R = \frac{A}{P} \quad (11)$$

Kemudian untuk menentukan kecepatan aliran air di dalam saluran, didasarkan pada kecepatan minimum yang diperbolehkan agar konstruksi saluran tetap aman. Persamaan yang digunakan dalam menghitung kecepatan pengaliran yaitu:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\left(\frac{2}{3}\right)} \times S^{\left(\frac{1}{2}\right)} \quad (12)$$

dengan V adalah kecepatan aliran, n adalah angka kekasaran Manning, R adalah jari-jari hidrolik, dan S adalah kemiringan sungai.

2.2.2. 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.

$$Q = A \times V \quad (13)$$

dengan Q adalah debit aliran, A adalah luas penampang, dan V adalah kecepatan aliran.

2.2.6. Kalibrasi Angka Manning

Kalibrasi model angka Manning (n) 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 (Hutagalung dan Lasminto, 2021). Berikut merupakan persamaan dari metode RMSE dengan syarat bahwa nilai perhitungan E mendekati 0 (S. Parulian dkk., 2015, Hutagalung dan Lasminto, 2021).

$$E = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_{obs} - H_{sims})^2} \quad (14)$$

dengan E merupakan error/kesesuaian data, n adalah jumlah data, H_{obs} adalah tinggi muka air hasil observasi, dan H_{sims} adalah tinggi muka air hasil simulasi pemodelan.

2.2.7. Tinggi Jagaan (*Freeboard*)

Menurut Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Kementerian PUPR dalam Modul 8 *Dasar-Dasar Perencanaan Alur dan Bangunan Sungai* dijelaskan bahwa, perencanaan *freeboard* pada sungai disesuaikan dengan nilai yang disajikan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Nilai Tinggi Jagaan (*Freeboard*) untuk Beberapa Debit Rancangan.

Debit Rancangan (m ³ /s)	Tinggi Jagaan (m)
< 200	0,60
200 - 500	0,80
500 – 2000	1,00
2000 – 5000	1,20
5000 – 10000	1,50

Sumber : (Kementerian PUPR, 2017).

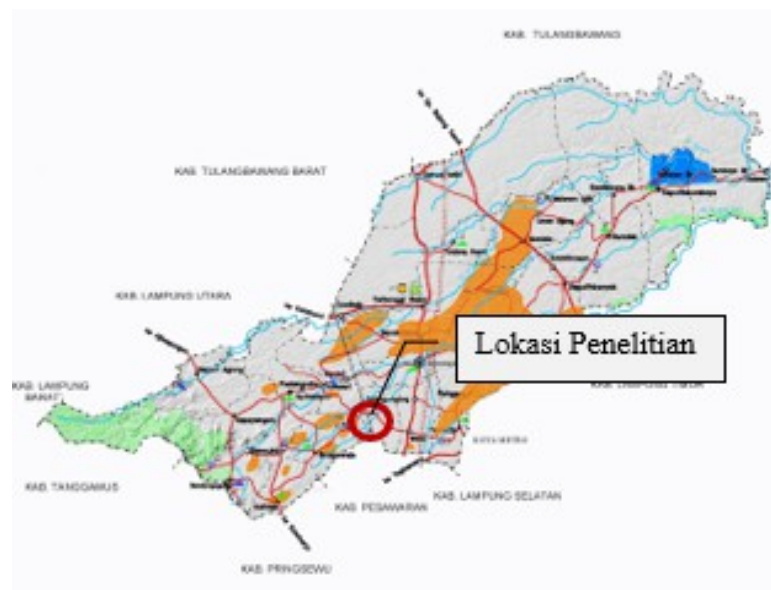
2.3. Aplikasi Program HEC-RAS

Menurut (Rahmawati dan Aritonang, 2016), *HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System)* merupakan aplikasi yang digunakan dalam menganalisis kapasitas debit banjir pada sungai maupun saluran drainase. 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.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang akan dianalisis yaitu Sungai Way Tipo yang merupakan bagian dari Sub DAS Sungai Way Seputih dengan titik koordinat 5°04' S/105°08' E dan terletak di Desa Sinar Banten, Kecamatan Bekri, Kabupaten Lampung Tengah.



Gambar 1. Lokasi peta penelitian.

3.2. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer, berupa data mengenai kondisi sungai dan keadaan sekitarnya seperti kecepatan aliran serta profil sungai. Kemudian selanjutnya data sekunder, yaitu data curah hujan harian periode 15 tahun pencatatan hujan dengan rentang tahun 2007-2021 untuk kawasan Sub DAS Sungai Way Seputih yang bersumber dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Mesuji-Sekampung.

3.3. Metode Pengolahan Data

Pengolahan data diawali oleh perhitungan hujan rencana dengan kala ulang 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun menggunakan metode Log Pearson III. Kemudian dihitung nilai intensitas hujan jam-jaman dengan durasi hujan 6 jam sehingga diperoleh nilai debit rencana pada tiap kala ulang menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintesis (HSS) Nakayasu. Debit yang diperoleh kemudian akan diinputkan ke dalam model saluran pada program aplikasi HEC-RAS sehingga diperoleh *output* berupa elevasi muka air banjir (MAB) pada sungai kajian yang digunakan sebagai acuan untuk merancang batas tinggi jagaan atau *freeboard* dari jembatan kereta api di atasnya.

4.1.2. Analisis Statistik

Perhitungan parameter statistik dilakukan menggunakan persamaan (1), persamaan (2), persamaan (3), persamaan (4), persamaan (5) diperoleh hasil yaitu, nilai rata-rata hitung ($\bar{R}$) sebesar 107,83 mm, nilai simpangan baku (S) sebesar 25,29 mm, nilai koefisien variasi (C_v) sebesar 0,23, nilai koefisien kemencengan (C_s) sebesar -0,13, dan nilai koefisien kurtosis (C_k) sebesar 3,04.

4.1.3. Curah Hujan Rencana

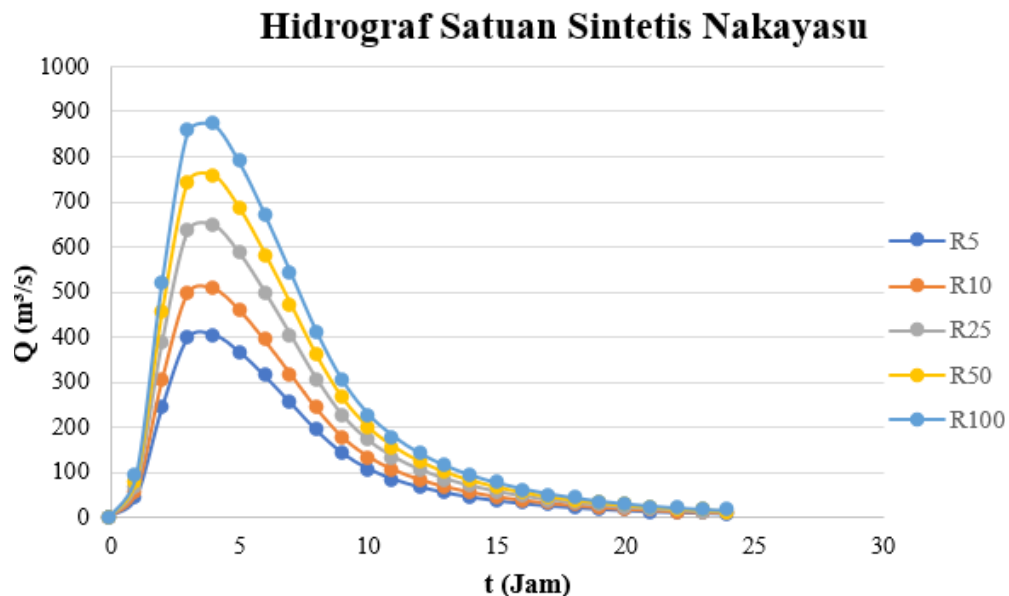
Dilakukan analisis terhadap data hujan yang diperoleh kemudian dihitung nilai parameter statistiknya lalu ditentukan berdasarkan syarat yang ada bahwa jenis distribusi yang sesuai ialah metode Log Pearson III sehingga diperoleh hujan rancangan sesuai dengan persamaan (9) untuk beberapa periode ulang yaitu 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun berturut-turut sebesar 130,15 mm, 145,84 mm, 164,67 mm, 178,10 mm, dan 191,09 mm.

4.1.4. Koefisien Limpasan Permukaan

Diperoleh nilai koefisien limpasan permukaan berdasarkan parameter kemiringan lereng/relief dan penggunaan/tutupan lahan dari metode Bridge-Branch dan Cook sebesar 0,22.

4.1.5. Debit Banjir

Perhitungan debit banjir dilakukan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu dengan mempertimbangkan luas daerah aliran sungai (DAS). Metode ini digunakan untuk sungai dengan luas DAS > 300 ha.



Gambar 4. Grafik debit banjir HSS Nakayasu.

Berdasarkan hasil perhitungan dan grafik hidrograf Nakayasu pada Gambar 4 di atas, menunjukkan bahwa debit puncak terjadi pada jam ke-5 sebesar 742,281 m^3/s untuk kala ulang 50 tahun dan 854,431 m^3/s untuk kala ulang 100 tahun.

4.2. Analisis Hidrolika

4.2.1. Kalibrasi Angka Kekasaran Manning

Berikut disajikan tabel perhitungan kalibrasi angka Manning (n) dengan metode RMSE (Root Mean Square Errors):

Tabel 2. Uji Kalibrasi Angka Manning

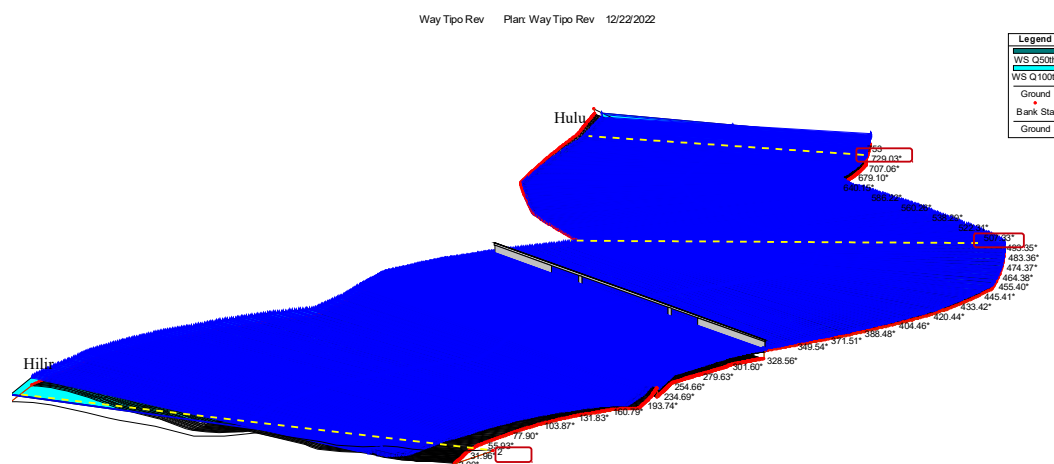
BM	Hobs (m)	Hsim			(Hsim-Hobs)			(Hsim-Hobs) ²		
		0,02	0,025	0,03						
I	1,67	1,45	1,45	1,46	-0,220	-0,220	-0,210	0,048	0,048	0,044
II	1,75	1,72	1,75	1,76	-0,030	0,000	0,010	0,001	0,000	0,000
III	1,70	1,87	1,89	1,90	0,170	0,190	0,200	0,029	0,036	0,040
IV	1,73	1,59	1,64	1,64	-0,140	-0,090	-0,090	0,020	0,008	0,008
V	1,76	1,70	1,72	1,73	-0,060	-0,040	-0,035	0,004	0,002	0,001
VI	1,75	1,60	1,63	1,63	-0,150	-0,120	-0,116	0,023	0,014	0,013
$\Sigma =$								0,124	0,109	0,107
E =								0,144	0,135	0,134

Sumber : Hasil analisis.

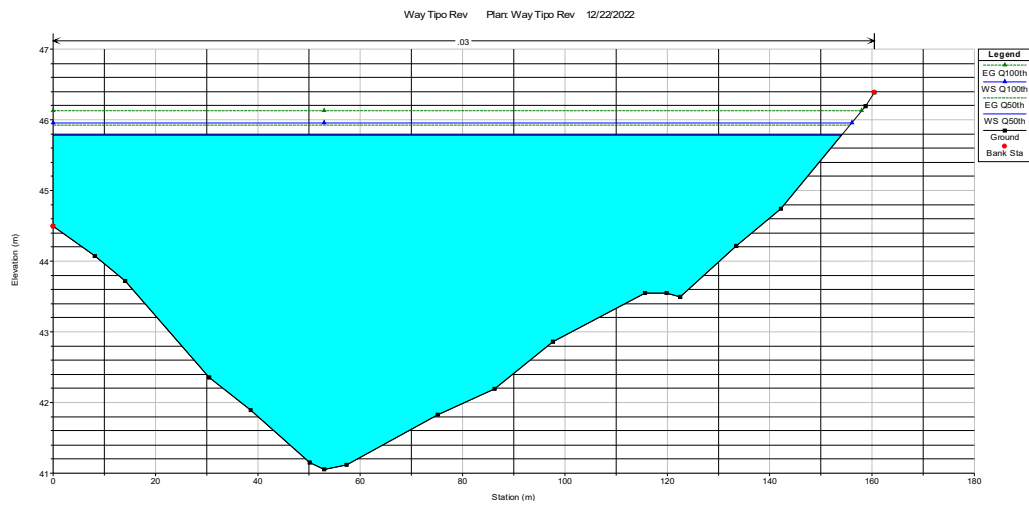
Nilai E dihitung sesuai dengan persamaan (14) dan dari Tabel 2 terlihat bahwa hasil uji RMSE untuk $n = 0,030$ merupakan angka Manning yang hasilnya paling mendekati kondisi aktual di lapangan dengan nilai E sebesar 0,134. Lalu selanjutnya dilakukan *modelling* pada *software* menggunakan angka Manning (n) = 0,030.

4.2.2. Pemodelan Sungai pada Program HEC-RAS

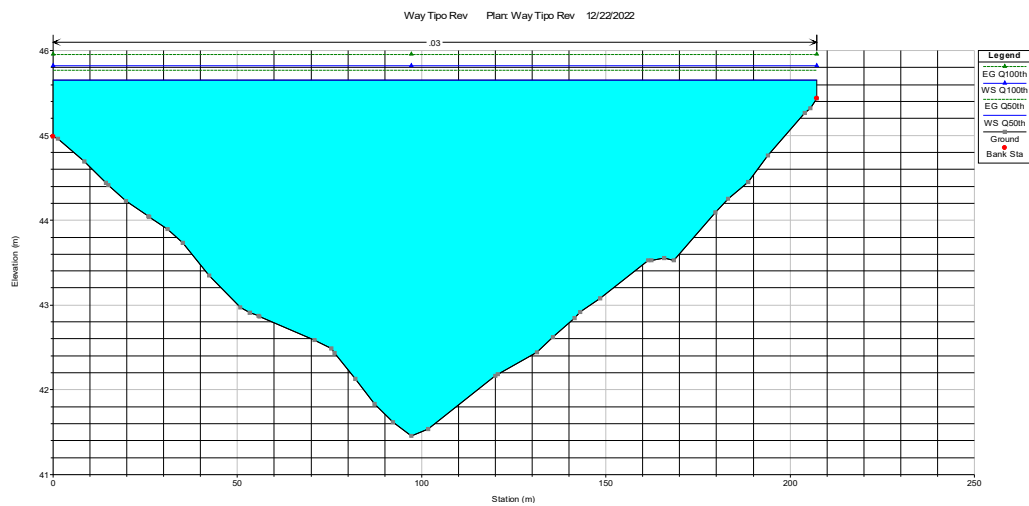
Proses *modelling* dilakukan dengan membuat dua model yaitu model sungai kala ulang 50 tahun dan model sungai kala ulang 100 tahun. Pemodelan ini dibuat sepanjang 800 meter alur sungai dengan titik acuan berada di bawah jembatan kereta api kemudian sejauh 450 meter ke arah Hulu sungai dan 350 meter ke arah Hilir sungai dengan arah aliran dari *river station* (RS) 753 sampai RS 2 yaitu dari hulu ke hilir. Dari hasil pemodelan diperoleh hasil bahwa pada kala ulang 50 tahun muka air banjir berada di elevasi +45,38 m lalu untuk kala ulang 100 tahun diperoleh elevasi muka air banjir pada +45,51 m untuk titik acuan yang berada tepat di bawah jembatan atau *river station* 330.



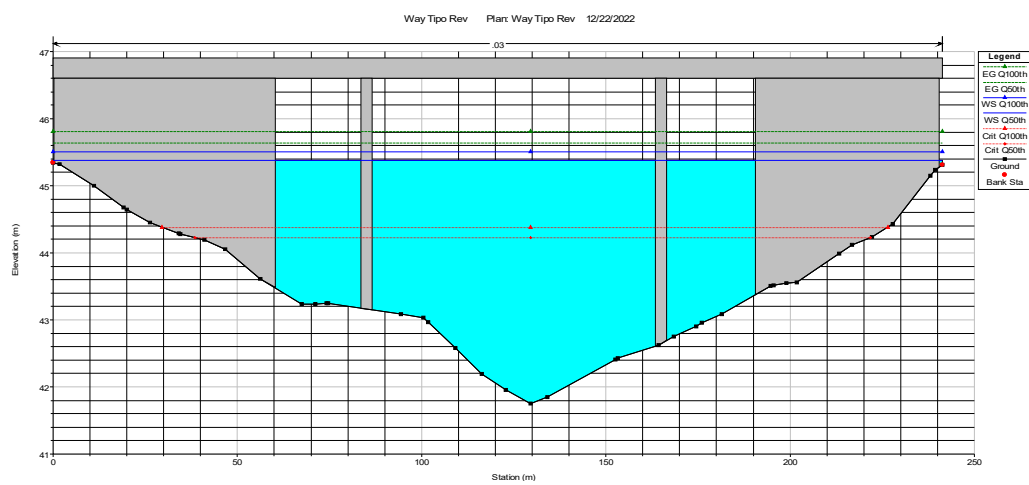
Gambar 5. Perspektif X-Y-Z sungai.



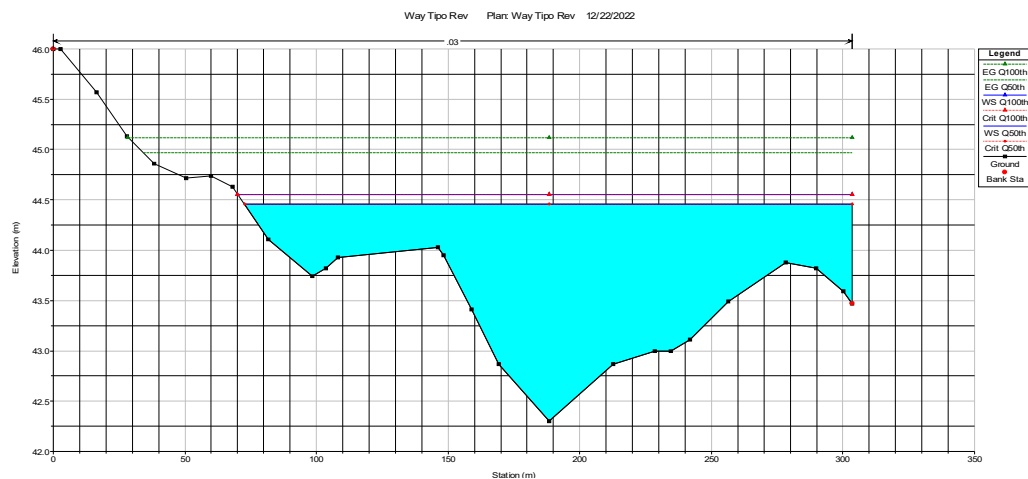
Gambar 6. Potongan melintang RS 753.



Gambar 7. Potongan melintang RS 507,33.



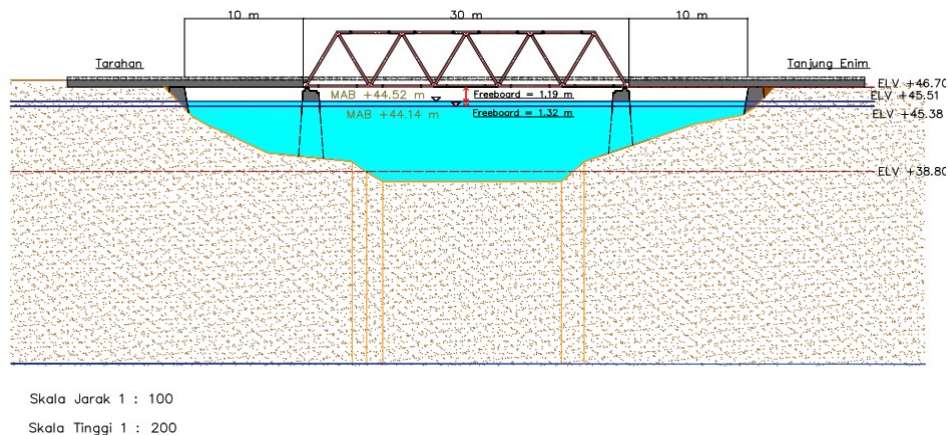
Gambar 8. Potongan melintang RS 330.



Gambar 9. Potongan melintang RS 2.

4.2.3. Tinggi Jagaan (Freeboard) Jembatan

Nilai *freeboard* dianalisis berdasarkan besaran debit rancangan yang diperoleh dari hasil analisis hidrologi di awal perencanaan yang kemudian disesuaikan dengan peraturan terkait tinggi minimum *freeboard* jembatan kereta api dari berbagai instansi terkait.



Gambar 10. Skematisasi elevasi muka air banjir terhadap *freeboard* jembatan.

4.3. Pembahasan

Pada penelitian tugas akhir ini, analisis hidrolika dan tinggi jagaan jembatan kereta api dilakukan dengan memperhitungkan debit banjir untuk periode ulang 50 dan 100 tahun menggunakan metode Log Pearson III dan *software* HEC-RAS v5.0.7 yang kemudian menghasilkan nilai debit 10x lebih besar dari hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Arifaini dkk., 2021). Hal ini disebabkan oleh nilai intensitas hujan jam-jaman yang tercatat dan terhitung pada penelitian ini lebih besar daripada penelitian sebelumnya. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Arifaini dkk., (2021) dalam penelitiannya yang berjudul “Kajian Pemilihan Tipe Struktur Bangunan Atas Jembatan Kereta Api BH. 109 Km. 58+171 Ditinjau Dari Level Muka Air Banjir Way Komering Kabupaten Lampung Tengah” hanya memperhitungkan debit banjir untuk periode ulang 50 tahun dan menggunakan *software* HEC-RAS v4.0.

Lalu pada penelitian tugas akhir ini, hanya dilakukan analisis terhadap hidrolika sungai dan *freeboard* jembatan kereta api tanpa adanya skema normalisasi sungai akibat limpasan air dikarenakan hasil *modelling software* menunjukkan bahwa tinggi jagaan jembatan masih sesuai dengan kriteria perencanaan pada peraturan yang terkait sehingga tidak terjadi limpasan di sungai yang ditinjau. Sedangkan pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Pasaribu, (2017) dalam penelitiannya yang berjudul “*Evaluasi Kondisi Tinggi Jagaan (Freeboard) Jembatan Kereta Api Pada Sungai Batang Serangan*” dilakukan menggunakan metode Gumbel dan *software* HEC-RAS v4.0 dengan hasil muka air banjir yang mengalami kenaikan elevasi dari muka air normal sehingga terjadi limpasan air dan diperlukan normalisasi sungai dikarenakan nilai tinggi jagaan yang sudah tidak relevan untuk debit banjir dengan periode ulang 25 tahun.

V. KESIMPULAN

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

1. Nilai debit banjir untuk kala ulang 50 dan 100 tahun masing-masing sebesar 742,281 m³/s dan 854,431 m³/s, dengan angka kekasaran Manning (n) sebesar 0,030 dari hasil kalibrasi didapatkan nilai elevasi muka air banjir (MAB) hasil *modelling* adalah +45,38 m untuk kala ulang 50 tahun dan +45,51 m untuk kala ulang 100 tahun.
2. Dengan elevasi gelagar terbawah jembatan yaitu +46,70 m diperoleh nilai tinggi jagaan (*freeboard*) jembatan masing-masing sebesar 1,32 m dan 1,19 m untuk kala ulang 50 dan 100 tahun ditinjau dari selisih antara elevasi gelagar terbawah jembatan dengan muka air banjir.
3. Hasil tinggi jagaan yang diperoleh sudah memenuhi kriteria perencanaan yaitu minimal 1 meter dari gelagar terbawah jembatan terhadap muka air banjir sesuai dengan ketentuan yang tercantum di dalam PM No.60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifaini, N., Tugiono, S., and Karami, M., 2021. *Kajian Pemeliharaan Tipe Struktur Bangunan Atas Jembatan Kereta Api BH. 109 Km. 58+171 Ditinjau dari Level Muka Air Banjir Way Komering Kabupaten Lampung Tengah*. Bandar Lampung.
- Hutagalung, N.F.T. dan Lasmino, 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.
- Ihlas, A., 2017. Analisis Kerusakan Rel Kereta Api Angkutan Batubara. *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*, 7 (1), 7–16.
- Kementerian PUPR, 2017. Modul 8 tentang Dasar-Dasar Perencanaan Alur dan Bangunan Sungai.
- 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.
- Menteri Perhubungan, 2012. Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. *PM. No. 60 Tahun 2012*, 1–57.

- Parulian, R.S., Bisri, M.H., dan 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.
- Pasaribu, M.J., 2017. Evaluasi Kondisi Tinggi Jagaan (Freeboard) Jembatan Kereta Api pada Sungai Batang Serangan. *Jurnal Teknik Sipil*, 1 (1), 1–14.
- Prastica, R.M.S., Maitri, C., Hermawan, A., Nugroho, P.C., Sutjiningsih, D., dan 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.
- Rahmawati, E. dan Aritonang, N., 2016. Analisa Kapasitas Tampungan pada Sungai Pucang Kabupaten Sidoarjo dalam Menampung Debit Banjir. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 2 (2), 84–92.
- 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.
- Tommy, Mananoma, T., dan Tanudjaja, L., 2015. Analisis Debit Banjir di Sungai Tondano Berdasarkan Simulasi Curah Hujan Rencana. *Jurnal TEKNO*, 13 (63), 52–59.