

Pencegahan Keruntuhan Progresif pada Struktur Jembatan Tinjomoyo dari Analisis Hidrologi dan Geoteknik

Nugroho Sungkono Udayanto, Agus Sulaeman, dan Roni Farfian

¹Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jendral Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

nugroho.s.udayanto@gmail.com, agussulaeman@lecture.unjani.ac.id, roni.farfian@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis upaya pencegahan keruntuhan progresif pada Jembatan Tinjomoyo, Semarang, melalui pendekatan hidrologi dan geoteknik sebagai studi kasus. Studi ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif untuk mengevaluasi masalah yang terjadi di lapangan. Penelitian meliputi analisis dampak penambahan krib pada lereng sungai terhadap gerusan aliran air serta desain ulang struktur pondasi pilar jembatan berdasarkan data investigasi tanah dan beban kerja. Analisis hidrologi menunjukkan bahwa kemiringan hilir bendung sebesar 20% dapat mengarahkan aliran air sehingga tidak merusak lereng maupun pilar jembatan. Simulasi dengan Plaxis 8.2 mengungkapkan bahwa pemasangan krib di lereng sungai mampu mengurangi displacement memanjang sebesar 269,07 mm. Selain itu, faktor keamanan struktur meningkat dari 10,774 (kondisi awal) menjadi 12,024 (kondisi rekayasa). Dari segi geoteknik, desain ulang pondasi pilar dengan bored pile berdiameter 1 meter yang terdiri dari 12 kelompok tiang terbukti efektif menopang beban kerja. Berdasarkan hasil analisis, desain krib dan pondasi tersebut direkomendasikan sebagai solusi untuk mencegah terjadinya keruntuhan progresif pada Jembatan Tinjomoyo. Solusi ini diharapkan memberikan keamanan dan stabilitas jangka panjang bagi struktur jembatan.

Kata kunci: Jembatan, Gerusan, Keruntuhan Progresif

Abstract

This study aims to analyze measures to prevent progressive collapse of the Tinjomoyo Bridge in Semarang through hydrological and geotechnical approaches. The research employs a quantitative method with a descriptive approach to evaluate issues encountered in the field. The study includes an analysis of the impact of adding crib structures on riverbank slopes to mitigate scouring caused by water flow and redesigning the bridge pier foundation structure based on soil investigation data and loading conditions. Hydrological analysis indicates that a downstream weir slope of 20% effectively directs water flow to prevent damage to the slopes and bridge piers. Simulations using Plaxis 8.2 reveal that adding crib structures to the riverbank reduces longitudinal displacement by 269.07 mm. Furthermore, the structural safety factor increases from 10.774 (initial condition) to 12.024 (engineered condition). From a geotechnical perspective, redesigning the pier foundation using bored piles with a diameter of 1 meter and 12 pile groups effectively supports the applied loads. Based on the analysis, the proposed crib and foundation design are recommended as solutions to prevent progressive collapse of the Tinjomoyo Bridge. This solution is expected to provide long-term safety and stability for the bridge structure.

Keywords: Bridge, Scour, Progressive Collapse

1. Pendahuluan

Indonesia disebut juga sebagai negara maritim atau negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki berbagai macam ragam bentuk muka bumi yaitu daratan dan perairan. Bentuk rupa bumi perairan terdiri dari danau, sungai dan lautan. Aksesibilitas antar daerah yang dipisahkan dengan sungai sangat penting, salah satunya dengan konstruksi jembatan.

Kekuatan konstruksi jembatan harus mempertimbangkan beberapa hal seperti debit air sungai saat banjir, penggerusan, kesalahan konstruksi, tabrakan/benturan, kelebihan muatan, kebakaran, gempa bumi dan lain-lain untuk menghindari keruntuhan progresif. Keruntuhan yang dikenal sebagai keruntuhan progresif terjadi ketika satu atau lebih elemen struktur runtuh, mengakibatkan keruntuhan berturut-turut dari elemen yang berdekatan yang meruntuhkan struktur secara keseluruhan atau bagian yang tidak proporsional (Rakhshith, dan Radhakrishna. 2013).

Namun, di sisi lain, sudah banyak kasus terjadinya keruntuhan jembatan di Indonesia. Salah satunya, melalui penelitian penyebab keruntuhan jembatan Widang-Babat diakibatkan oleh struktur jembatan tidak mampu melayani beban lalu lintas yang bekerja sesuai umur rencana jembatan (Suprpto, 2019). Akumulasi beban lalu lintas yang bekerja mengakibatkan kegagalan pada sambungan jembatan Widang-Babat.

Kegagalan konstruksi jembatan juga pernah terjadi di Jembatan Tinjomoyo di kota Semarang pada tahun 2004 akibat banjir. Aliran debit banjir mengakibatkan gerusan pada struktur pilar jembatan Tinjomoyo. Hal ini bersesuaian dengan data Laporan Pemeriksaan Dinas PU Kota Semarang

Info Makalah:

Dikirim : 02-19-23;
Revisi 1 : 06-06-23;
Revisi 2 : 09-19-23;
Revisi 3 : 11-03-24;
Revisi 4 : 11-04-24;
Diterima : 12-08-24.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-822-40972012
e-mail : nugroho.s.udayanto@gmail.com

Kondisi Jembatan, 2017. Faktor utama yang mengakibatkan keruntuhan jembatan adalah banjir dan penggerusan. Namun, di sisi lain perlu juga dianalisis mengenai kekuatan konstruksi *existing* dan beban jembatan Tinjomoyo selama operasional. Sehingga dapat disimpulkan penyebab terjadinya keruntuhan Jembatan Tinjomoyo pada tahun 2004 silam.

Berkaca pada uraian di atas, perlu adanya penelitian secara mendalam untuk menganalisis terkait pencegahan keruntuhan progresif yang dapat terjadi di Jembatan Tinjomoyo dari segi hidrologi dan segi geoteknik.

2. Metode

Perencanaan ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan deskriptif untuk menganalisis permasalahan yang muncul di lapangan. Peneliti menggunakan teknik analisis data yaitu mengklasifikasikan data yang telah diperoleh, kemudian menyusun dan menganalisis apakah ada hubungan antara satu data dengan data lainnya. sesuai dengan fenomena yang diteliti (Creswell, 2010).

Data – data yang dikumpulkan seperti intensitas curah hujan dan kondisi sungai Kalijaga sebagai acuan dilakukan analisis hidrologi untuk mendapatkan debit aliran serta muka air banjir. Data tersebut merupakan data sekunder. Data tersebut digunakan untuk mengetahui debit air muka normal dan banjir sungai Kalijaga. Nilai debit muka air banjir ini diperhitungkan pada stabilitas lereng sungai dan pilar jembatan Tinjomoyo. Pengolahan data menggunakan bantuan aplikasi HEC-RAS 6.0.7.

Data selanjutnya yang dikumpulkan adalah *soil investigation* sungai Tinjomoyo dan data teknis jembatan Tinjomoyo. Data tersebut merupakan data sekunder. Selanjutnya melakukan analisis geoteknik untuk mengetahui kekuatan struktur jembatan khususnya struktur pondasi saat kondisi layan dan kondisi lereng sungai akibat pengaruh debit aliran sungai. Pengolahan data menggunakan bantuan aplikasi SAP 2000 dan Plaxis 8.2.

Berdasarkan analisis dan pengumpulan data, didapatkan beberapa pencegahan keruntuhan progresif pada Jembatan Tinjomoyo. Dari segi hidrologi, perlu adanya bangunan air *krib* dan *ground sill* untuk memperkecil muka air banjir dan debit aliran sungai di daerah hilir sebelum struktur pilar jembatan. Dari segi geoteknik, pada struktur pondasi jembatan, mendesain kembali pondasi pilar jembatan menggunakan *bored pile* dengan *system full casing* sampai kedalaman tanah keras dengan mempertimbangkan kondisi beban layan yang bekerja. Kedua kondisi tersebut akan dianalisis dan dibandingkan analisis *safety factor* dan ditarik kesimpulan.

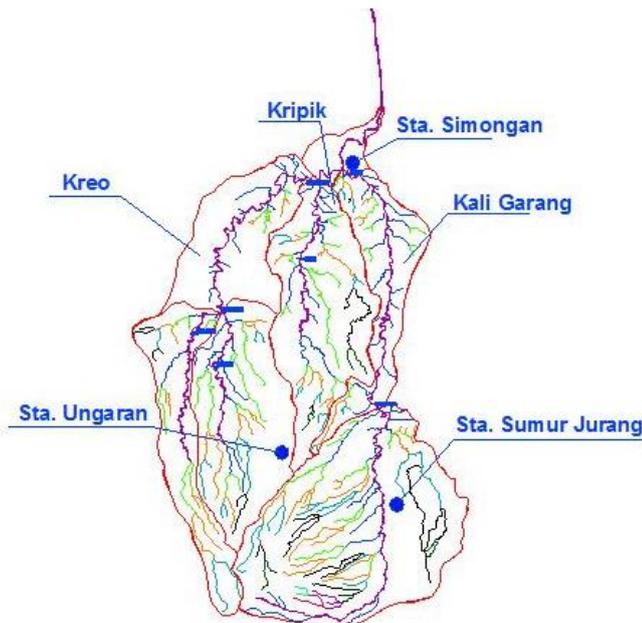
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Hidrologi

Dalam merencanakan bangunan pengamanan Jembatan Tinjomoyo diperlukan data curah hujan untuk perhitungan debit rancangan dengan kala ulang 50 tahun. Data hujan yang didapat adalah data hujan selama 16 tahun terakhir dan tercatat melalui stasiun hujan terdekat lokasi perencanaan, antara lain Sta. Simongan, Sta. Gunungpati, dan Sta. Sumurjurang. Data hujan yang telah didapatkan terlebih dahulu dianalisis untuk mendapatkan hujan kawasan atau hujan yang turun di sekitar lokasi perencanaan. Hujan kawasan diperoleh menggunakan metode *polygon thiessen* yang dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Daerah Tangkapan Air Hujan Kawasan

Daerah Tangkapan Air Hujan		
Simongan	9,26 km ²	12%
Ungaran	11,58 km ²	14%
Sumurjurang	59,58 km ²	74%
Ai	80,12 km ²	100%



Sumber: Peta Polygon Thiessen DAS Garang.

Gambar 2. Daerah Tangkapan Ari Hujan Sungai Garang

Perhitungan koefisien *Thiessen* (*C*) dapat dilakukan dengan membagi total luas daerah tangkapan air hujan dengan jumlah keseluruhan tangkapan air hujan (*A_i*).

- Sta. Simongan, $C = 9,26 / 80,12 = 12\%$;
 Sta. Ungaran, $C = 11,38 / 80,12 = 14\%$;
 Sta. Sumurjurang, $C = 59,58 / 80,12 = 74\%$.

3.2. Analisis Perencanaan *Krib*

Dalam perencanaan *krib* langkah pertama yang perlu dilakukan yaitu penentuan lokasi pemasangan. Pemasangan *krib* dimulai pada lokasi ketika aliran mulai menggerus tebing sisi luar belokan. Kemudian dilanjutkan dengan penentuan panjang dan jarak antar *krib*. Panjang *krib* diambil nilai 15% dari lebar sungai rata – rata saat debit maksimum. Rasio antara panjang dan jarak *krib* digunakan pedoman sesuai Tabel 2.

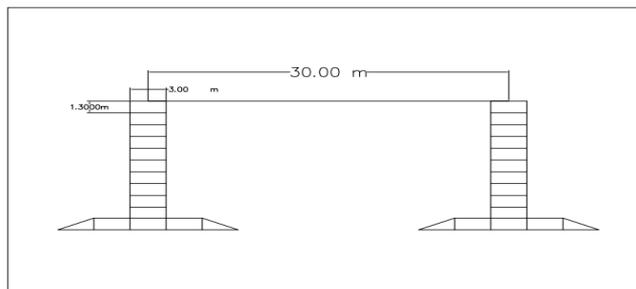
Tabel 2. Rasio antara Panjang dan Jarak *Krib*.

Lokasi Pembuatan <i>Krib</i> di Sungai	Hubungan Antara Interval (<i>D</i>) dan Panjang (<i>L</i>)
Bagian Lurus	$D = (1,7 - 2,3) L$
Bagian Luar	$D = (1,4 - 1,8) L$
Bagian Dalam	$D = (2,8 - 3,6) L$

Sehingga, diperoleh data perencanaan antara lain:

1. Lebar sungai pada saat debit maksimum 85 m
2. Panjang *Krib* (*L*) = $0,15 \times 85 + 12,75 \text{ m} \approx 13 \text{ m}$
3. Jarak interval antar *krib* (*D*) = $2,3 \times 13 = 29,9 \text{ m} \approx 30 \text{ m}$, maka diambil jarak 30 m
4. Jarak antar tiang pancang :
 - 1,3 m (pada bagian bantaran)
 - 1,3 m (pada bagian tengah sungai)
 - Diameter tiang pancang (*d*): 30 cm = 0,3 m
 - Tinggi mercu *krib* direncanakan 1 m dibawah elevasi MAB
 - Balok penyambung antar tiang pancang 30 cm × 30 m = 0,3 m

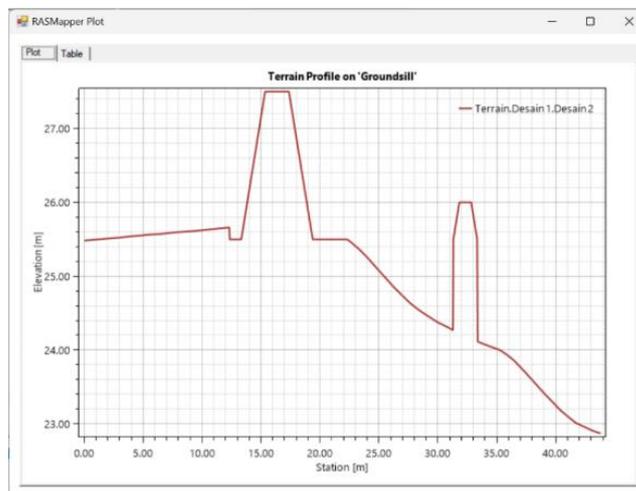
Dari atas di atas, ilustrasi struktur *krib* dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



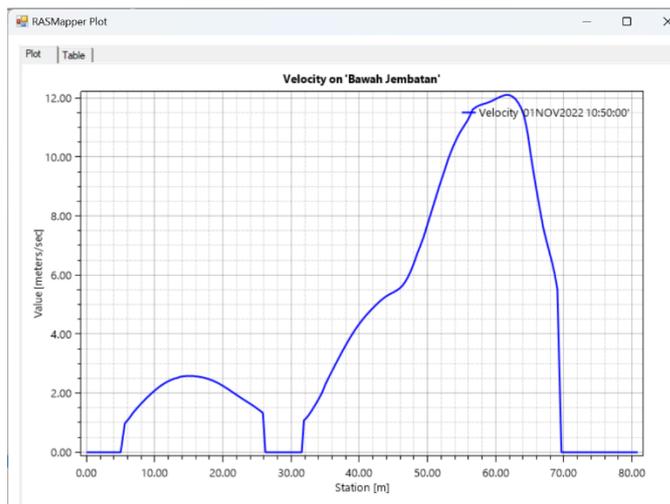
Gambar 2. Pemodelan Desain Krib

3.3. Simulasi Groundsill & Krib dengan Aplikasi HEC-RAS 6.0.7

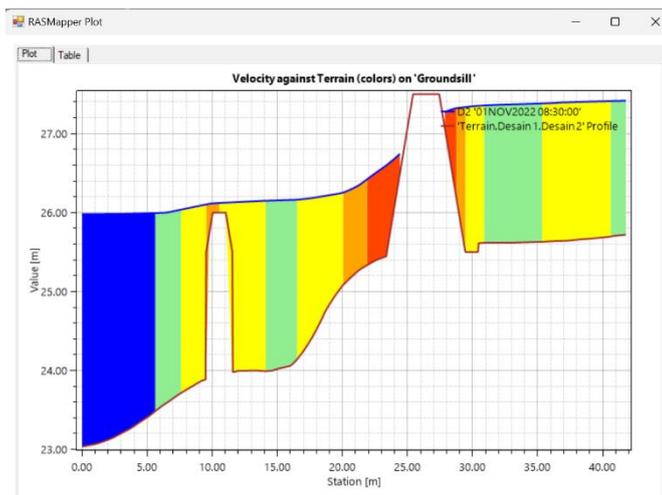
Simulasi *groundsill* dan *krib* dengan aplikasi HEC-RAS 6.0.7 dilakukan dengan tujuan mengetahui perbandingan kondisi *abutment* jembatan pada kondisi banjir apabila pada sungai ditambahkan *groundsill* dan *krib*. Pemodelan dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 secara berturut-turut yaitu potongan *groundsill*, kecepatan aliran sebelum rekayasa *groundsill*, ketinggian air pada *groundsill*, dan kondisi debit aliran sebelum dilakukan rekayasa *groundsill*.



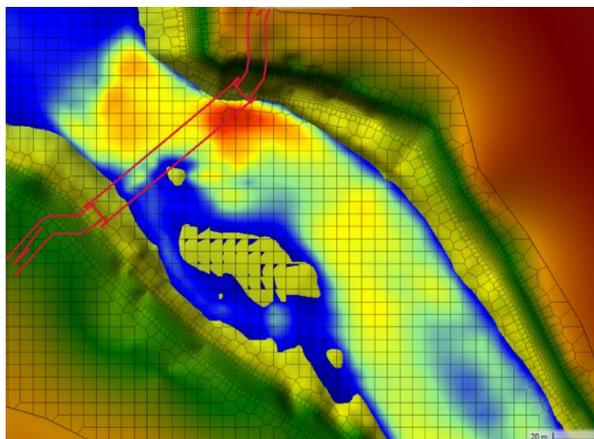
Gambar 3. Potongan Groundsill.



Gambar 4. Kecepatan Aliran sebelum Rekayasa Groundsill.



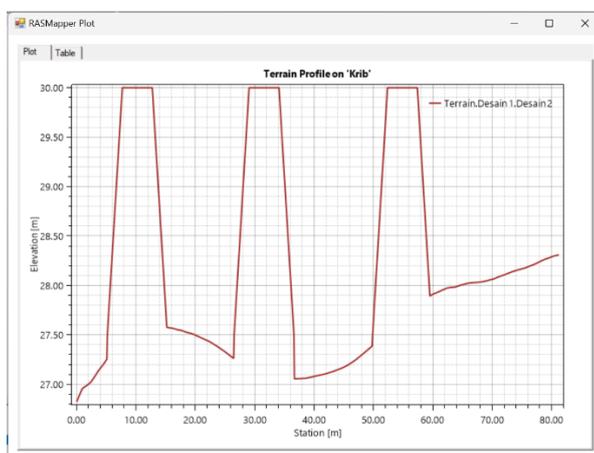
Gambar 5. Ketinggian Air pada *Groundsill*.



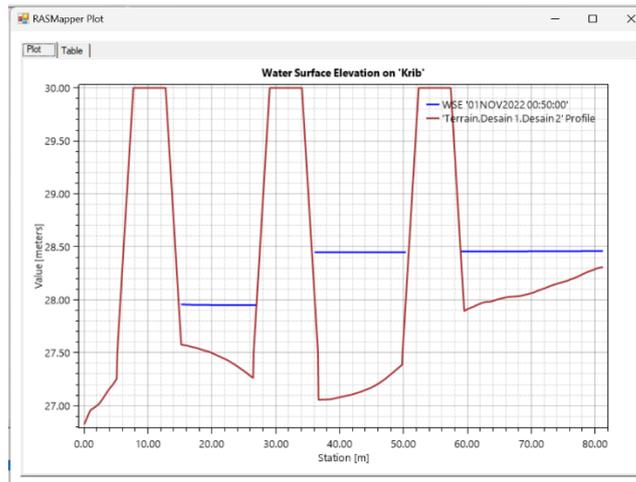
Gambar 6. Kondisi Aliran Sungai sebelum Rekayasa *Groundsill* dan *Krib*,

Gambar 6 menunjukkan bahwa kecepatan debit air sungai *existing* di daerah lereng berkisar 4-6 m/s² (ditunjukkan dengan warna biru muda hingga putih), dan debit air di daerah pilar jembatan berkisar 15 m/s² (ditunjukkan dengan warna merah). Hal ini mengindikasikan pengaruh gerusan air sungai cukup besar pada lereng dan pilar jembatan.

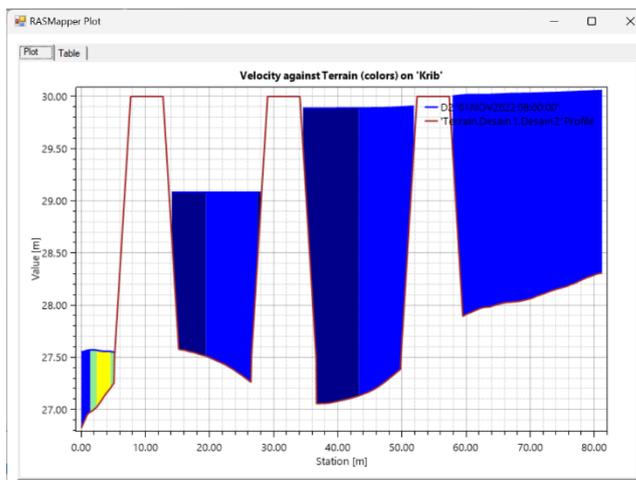
Maka dari itu, bagian lereng sungai akan direkayasa dengan penambahan bangunan *krib* dengan tujuan mengurangi debit aliran air sungai. Pemodelan kembali menggunakan bantuan *software* HEC-RAS 6.0.7 yang dapat dilihat pada Gambar 7 yang menunjukkan gambar potongan *krib*, Gambar 8 yang menunjukkan ketinggian air pada *krib*, Gambar 9 yang menunjukkan ketinggian air pada *krib* saat banjir, Gambar 10 yang menunjukkan kecepatan aliran setelah rekayasa, dan Gambar 11 yang menunjukkan keadaan aliran setelah rekayasa *groundsill* dan *krib*.



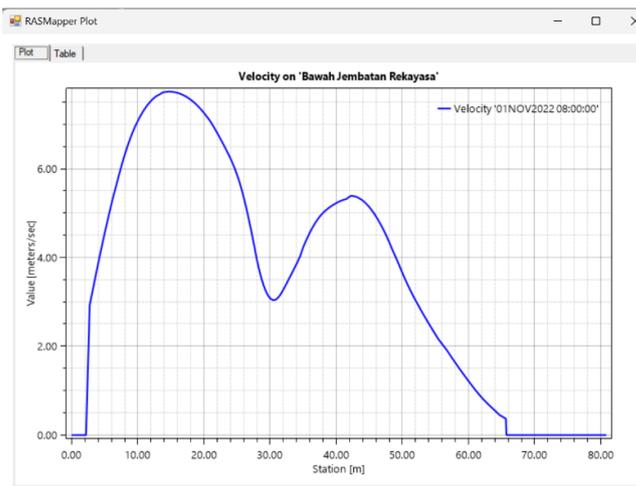
Gambar 7. Potongan Krib.



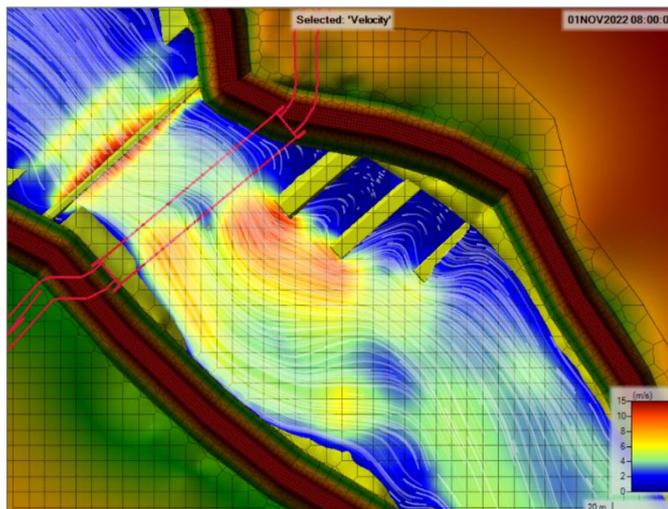
Gambar 8. Ketinggian Air pada Krib.



Gambar 9. Ketinggian Air pada Krib saat Banjir.



Gambar 10. Kecepatan Aliran setelah ReKayasa *Groundsill* dan Krib.



Gambar 11. Aliran Air setelah Rekayasa *Groundsill* dan Krib.

Gambar 11 menunjukkan bahwa kecepatan debit air sungai setelah rekayasa dengan penambahan bangunan *krib* di daerah lereng menjadi berkisar 0-2 m/s² (ditunjukkan dengan warna biru tua), dan debit air di daerah pilar jembatan berkisar 2-4 m/s² (ditunjukkan dengan warna biru tua-muda). Hal ini mengindikasikan pengaruh gerusan air sungai cukup besar pada lereng dan pilar jembatan.

3.4. Analisis Geoteknik

Data tanah diambil dari penyelidikan tanah dari Laboratorium Universitas Islam Sultan Agung, Semarang tahun 2019. Dengan pengujian *bored-log* sebagai berikut:

LABORATORIUM MELAKLA TARAZI FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG		PROJECT : PEMBANGUNAN JALAN TINJOMOYO	DESCRIPTION BY : Ir. H. DJOKO SUSILO ADHY, MT								
SAMPLE TYPE : UDS & DS		LOCATION : SEMARANG	ELEVATION EXISTING : -1.20								
BACKFILL TYPE :		DATE START : 25 NOVEMBER 2019	DATE FINISH : 27 NOVEMBER 2019								
		MASTER BOR : BUDIONO	DEPT OF GWL : -								
		DEPT OF BOR : 15,0 m (0 - 15m)	TYPE OF HAMMER : Automatic Hammer								
Note : Pengambilan GWL Saat Pelaksanaan Pengambilan											
Depth (m)	SPT (N)				STANDARD PENETRATION (N)		USC	% of Core	SOIL SYMBOL	SOIL DESCRIPTION	ELEVATION (m)
	Depth of GWL	N ₁	N ₂	N ₃	N						
0											-1.2
1										LEMPUNG KELANAUAN COKLAT GELAP KEHITAMAN, LUNAK	-2.2
2										LEMPUNG KELANAUAN COKLAT TERANG SEDIKIT ABU - ABU LUNAK	-3.2
3	6	9	10	19						LEMPUNG PADAT COKLAT GELAP SEDIKIT KUNING, AGAK KERAS	-4.2
4											-5.2
5	15	20	23	43						LEMPUNG PADAT COKLAT TERANG KEKUNINGAN, KERAS	-6.2
6											-7.2
7	18	26	30	56							-8.2
8											-9.2
9											-10.2
10	24	29	30	59							-11.2
11										LEMPUNG PADAT ABU - ABU KECOKLATAN SEDIKIT KUNING, KERAS	-12.2
12	28	29	30	59							-13.2
13											-14.2
14											-15.2
15	23	30	30	60						LEMPUNG PADAT COKLAT GELAP KEKUNINGAN SEDIKIT BINTIK HITAM, KERAS	-16.2
End of this boring, casing down to 15.0 meter											

Gambar 12. Data *Borelog* Tanah Sungai Kalijaga

Sumber: Data penyelidikan tanah dari Laboratorium Universitas Islam Sultan Agung, Semarang tahun 2019

Dari data pada Gambar 12, dilakukan pengolahan data tanah untuk mengetahui parameter-parameter tanah. Hasil korelasi N-SPT dengan metode interpolasi didapatkan nilai-nilai parameter-parameter tanah sebagai berikut:

Tabel 3. Data Parameter-Parameter Fisik Tanah Hasil Pengolahan

No Layer	Karakteristik Tanah	N-SPT	Konsistensi Tanah	Berat Jenis Tidak Jenuh γ (kN/m ³)	Berat Jenis Jenuh γ_{sat} (kN/m ³)	Koefisien Permeabilitas k_x, k_y (cm/dtk)	Modulus Young E (Kpa)	Poisson's Ratio ν	Kohesi C_u (kN/m ²)	Sudut Geser ϕ (°)
1	Silty Clay (Lempung - Lanau, Coklat terang)	19	Very Stiff	17,33	19,33	10^{-5}	2640	0.45	9,5	28,00
2	Clay (Lempung, keras, Coklat terang)	43	Hard	18,21	20,20	10^{-7}	3000	0.35	40	24,50
3	Clay (Lempung, keras, Coklat terang)	56	Hard	16,60	19,79	10^{-7}	4500	0.373	45	21,00
4	Clay (Lempung, keras, Coklat abu)	59	Hard	14,98	19,38	10^{-7}	4780	0.396	50	20,5
5	Clay (Lempung, keras, Coklat abu)	59	Hard	15,25	19,46	10^{-7}	4780	0.386	50	20,5
6	Clay (Lempung, keras, Coklat gelap)	60	Hard	15,52	19,53	10^{-7}	4860	0.375	50	20

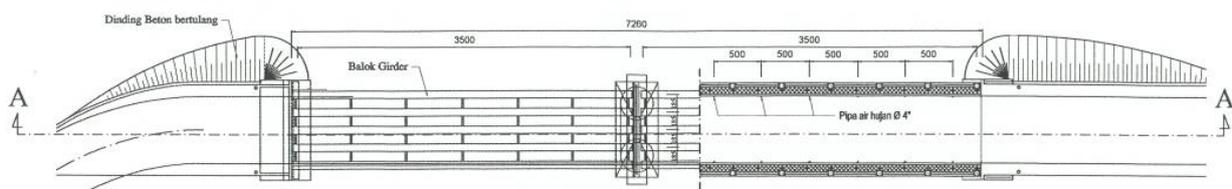
3.5. Analisis Komponen Struktur

Data-data komponen struktur Jembatan Tinjomoyo dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini:

Tabel 4. Data Struktur Jembatan Tinjomoyo

Elemen	Material/Bahan
Struktur Atas <i>Pretensioned Precast Concrete Girder</i> Bentuk I	Beton K-350 Besi beton U.24 <i>Ultimit strand</i> baja prategang O1/2" = 189,8 kg/cm ² (270 ksi) Jumlah gelagar 5
Struktur Bawah	Kolom Tunggal Beton K-400 Besi beton U.24
	Bentuk <i>counterweight</i> Beton K-300 Besi beton U.24
	Pondasi <i>Pile (group)</i> Beton K-300

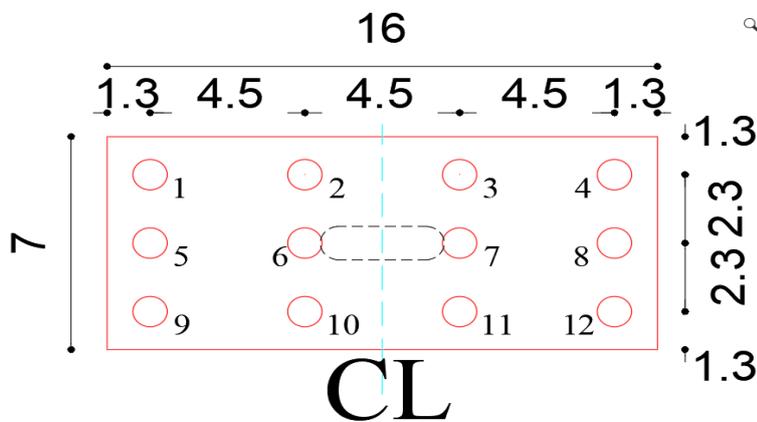
Berdasarkan data dari Dinas Bina Marga Pemerintah Kota Semarang, gambar struktur Jembatan Tinjomoyo dapat dilihat pada Gambar 13, Gambar 14, dan Gambar 15 berikut:



Gambar 13. Denah Struktur Jembatan Tinjomoyo

Sumber: Dinas Bina Marga Pemerintah Kota Semarang

Selanjutnya dilakukan perhitungan pondasi pilar dari, direncanakan pondasi *bored pile* dengan diameter 1 m dan kedalaman tanah keras 12 m. Sehingga didapatkan pondasi pilar menggunakan kelompok tiang 12D1 dan untuk pondasi abutment menggunakan kelompok tiang 6D1. Konfigurasi kelompok tiang pondasi pilar dapat dilihat pada Gambar 13 di bawah ini:

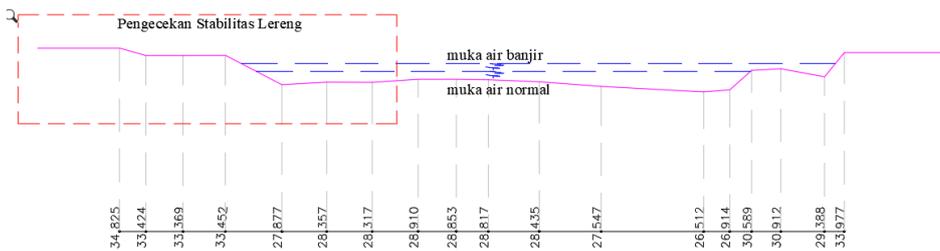


Gambar 16. Sketsa Perencanaan Pondasi Pilar

3.5. Analisis Lereng Sungai Kalijaga

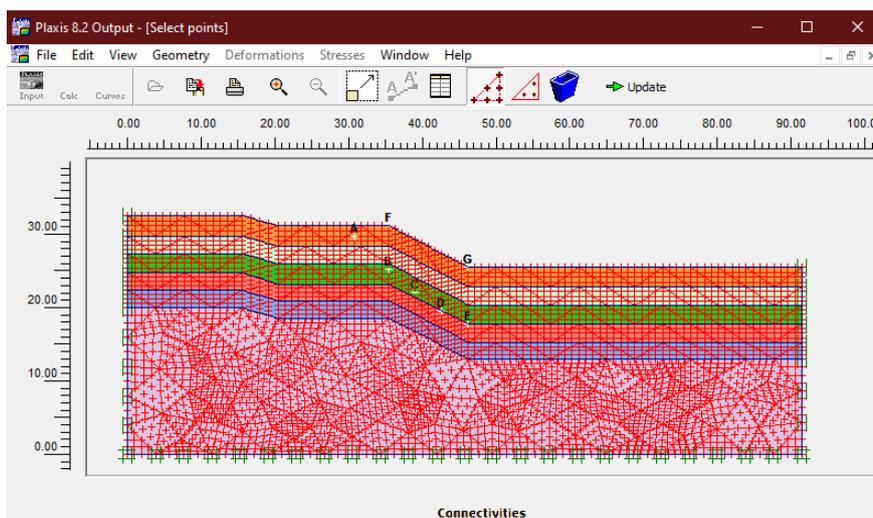
Komponen yang dianalisis selanjutnya adalah kondisi lereng sungai Kalijaga, analisis dilakukan dua kondisi yaitu, kondisi *existing* dan kondisi rekayasa. Analisis pertama sebagai berikut menggunakan Plaxis 8.2.

1. Sketsa kondisi penampang sungai Kalijaga *existing*



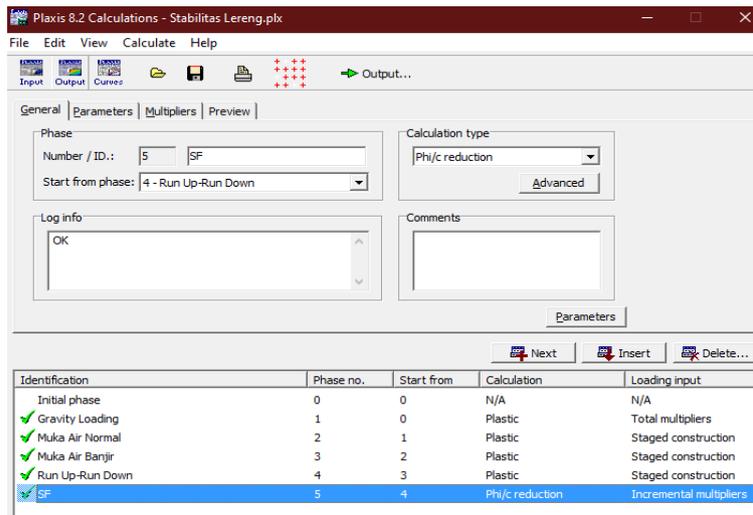
Gambar 17. Sketsa Penampang Sungai Kalijaga Kondisi *Existing*.

2. Pemodelan titik-titik kritis di lereng.



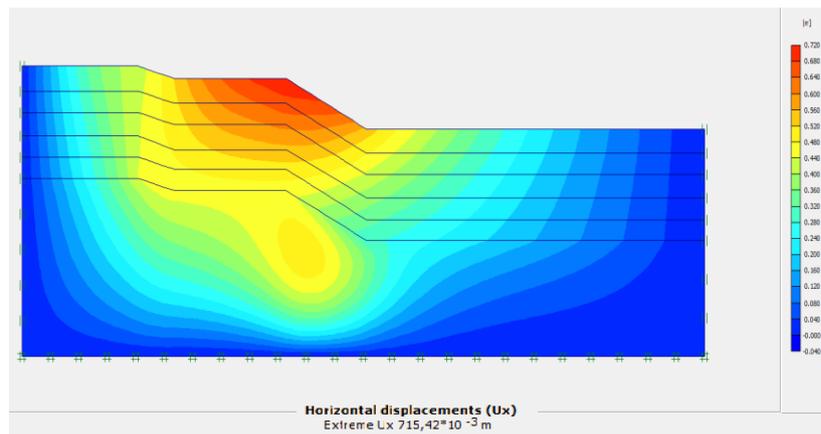
Gambar 18. Pemilihan Titik-titik Kritis

3. Proses *running*, dengan semua fase aman.



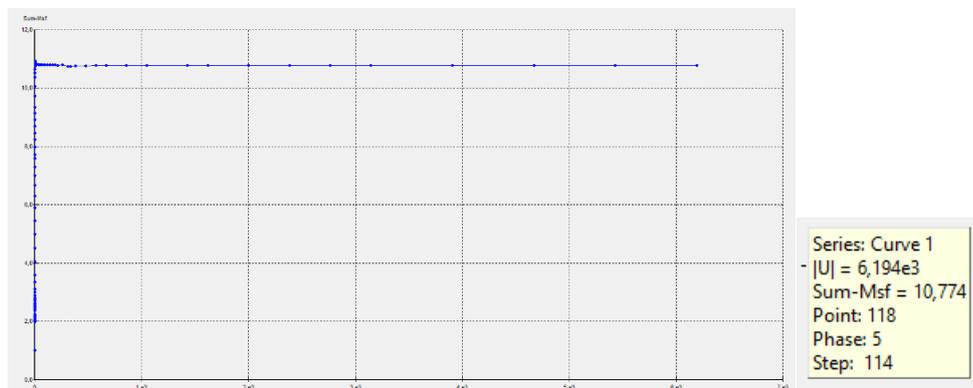
Gambar 19. Indikator *Running Phase*

4. Hasil *running* untuk *displacement* arah memanjang. Dengan hasil $715,42 \times 10^{-3}$ m



Gambar 20. *Displacement* Arah Memanjang.

5. Hasil *running* untuk *safety factor*. 10,774

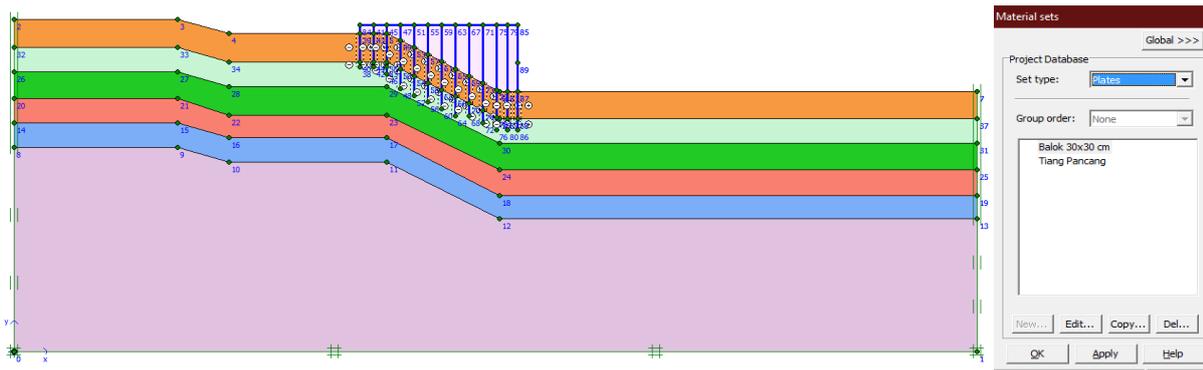


Gambar 21. *Safety Factor* Kondisi Lereng *Existing*.

Dari hasil *output* Plaxis dapat disimpulkan lereng *existing* sungai Kalijaga aman, $SF = 10,774 > 1,5$ (OK)

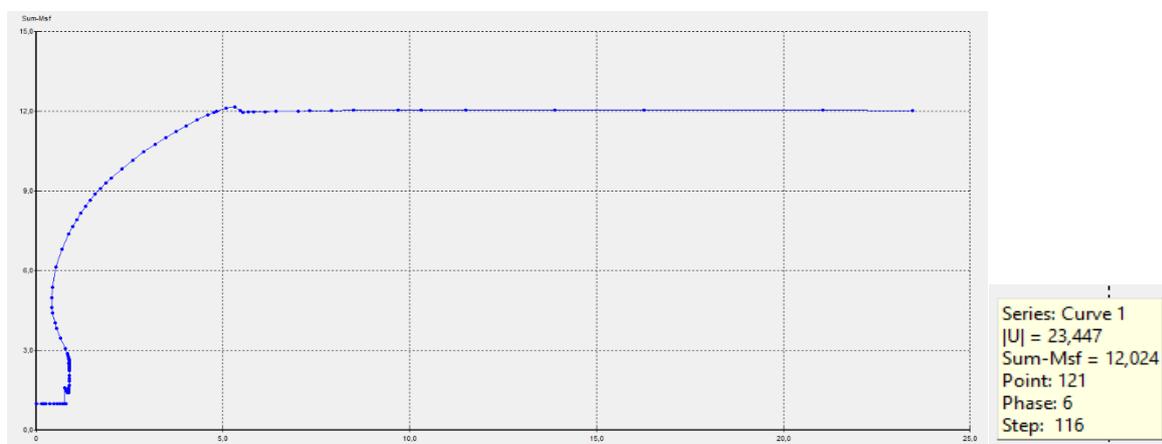
3.6. Analisis Lereng Kondisi Rekayasa

Untuk analisis kedua, dilakukan analisis stabilitas lereng pada kondisi rekayasa menggunakan Plaxis 8.2. Rekayasa dilakukan dengan cara membangun *groundsill* dan *krib* sebelum sampai di daerah pilar Jembatan Tinjomoyo sesuai Gambar 22.



Gambar 22. Sketsa Penampang Sungai Kalijaga Kondisi Rekayasa

Dari hasil pemodelan, didapatkan nilai *safety factor* $SF = 12,024 > 1,5$ (OK) sesuai dengan Gambar 20 dibawah ini.



Gambar 23. Sketsa Penampang Sungai Kalijaga Kondisi Rekayasa

Perbandingan stabilitas lereng sungai kondisi lereng *existing* dan rekayasa dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7. Rekapitulasi Perbandingan *Output* Pemodelan Plaxis Kondisi *Existing* dan Rekayasa Lereng Sungai Jembatan Tinjomoyo

No	Kondisi <i>Existing</i>		Kondisi Rekayasa	
	<i>Displacement</i> Arah Memanjang (m)	SF	<i>Displacement</i> Arah Memanjang (m)	SF
1	$715,42 \times 10^{-3}$	10,774	$446,35 \times 10^{-3}$	12,024

Gambar 22 menunjukkan nilai *safety factor* sebesar 12,024 yang berarti stabilitas lereng dalam kondisi aman karena nilai *safety factor* lebih dari 1,5. Hal ini sesuai dengan sketsa penampang sungai Kalijaga pada kondisi rekayasa yang ditunjukkan pada Gambar 23. Maka dari itu, berdasarkan perbandingan *output* pemodelan plaxis kondisi *existing* dan rekayasa lereng sungai jembatan tinjomoyo pada Tabel 7, dapat disimpulkan bahwa dengan adanya rekayasa di lereng sungai Jembatan Tinjomoyo untuk nilai *displacement* arah memanjangnya akan lebih kecil yaitu $0,44635 \text{ m} = 446,35 \text{ mm}$ dibandingkan dengan $0,71542 \times 10^{-3} \text{ m} = 715,42 \text{ mm}$. Dan untuk nilai *safety factornya* lebih besar yaitu 12,024 dibandingkan dengan 10,774. Dari analisis data geoteknik di atas, dengan adanya bangunan *krib* yang memperkecil muka air dan debit aliran sungai, kestabilan lereng sungai bertambah dari 10,774 menjadi 12,024 dan *displacementnya* mengecil menjadi 446,35 mm. Meskipun tergolong aman, terdapat beberapa hal yang harus dipertimbangkan, seperti: resiko penggerusan oleh debit air sungai yang meningkat di masa yang datang dan kesesuaian peruntukan struktur jembatan dan kelasnya.

Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dengan metode analisis hidrologi dan geoteknik, dapat disimpulkan bahwa perbaikan struktur baru Jembatan Tinjomoyo dengan penambahan bangunan *krib* dan *ground sill* mengakibatkan debit aliran sungai Kalijaga berkurang dari $14 \text{ m}^3/\text{s}$ menjadi $2-4 \text{ m}^3/\text{s}$ dan muka air banjir menjadi $+2.00 \text{ m}$ dari muka air normal. Hal ini mengakibatkan keamanan lereng sungai bertambah menjadi 12,024 yang melebihi 1,5 dan menambah stabilitas pilar jembatan. Selain itu, hasil *redesign* struktur pondasi jembatan direncanakan menggunakan *bored pile* dengan diameter 1 m dan kedalaman tanah keras 12 m, sehingga didapatkan

nilai *safety factor* 1,22. Dengan demikian, perbaikan struktur baru Jembatan Tinjomoyo dengan penambahan *krib* dan *grounsill* serta *redesign* pondasi pilar jembatan dengan tiang kelompok *bored pile* menghasilkan konstruksi baru jembatan Tinjomoyo aman terhadap keruntuhan progresif.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu dan atas dukungan finansialnya pada penelitian ini dan keikutsertaan dalam kegiatan ilmiah ini. Penulis juga berterima kasih kepada pihak-pihak yang turut membantu untuk diskusi yang bermanfaat.

Daftar Pustaka

- Creswell, J. W. (2010). *Research design: pendekatan kualitatif, kuantitatif, dan mixed*. Yogyakarta: PT Pustaka Pelajar.
- Rakhshith K G & Radhakrishna. (2013). *Progressive Collapse Analysis Of Reinforced Concrete Rangkad Structure*, 2, 36–40.
- Sugiyono. (2016). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: PT Alfabet
- Sugiyono. (2018). *Metode Penelitian Kombinasi (Mixed Methods)*. Bandung: CV Alfabeta.
- Syarifuddin, dkk. (2000). *Sains Geografi*. Jakarta: Bumi Aksara
- Wardhana, K., & Hadipriono, F. C. (2003). *Analysis of recent bridge failures in the United States*. *Journal of performance of constructed facilities*, 17(3), 144-150.