

INOVASI METODE LIFTING BENTANG UTAMA JEMBATAN SEI WAMPU DI SUMATERA UTARA

Andrew Nugraha Standyarto
Jabatan Fungsional Teknik Jalan dan Jembatan Ahli Pertama

¹ Direktorat Pembangunan Jembatan Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian PUPR,
email: andrew.standyarto@pu.go.id

Abstrak: Jembatan merupakan bagian integral dari Infrastruktur jalan yang dibangun untuk menunjang konektivitas dan mobilitas masyarakat Indonesia dalam kegiatan ekonomi. Untuk menjamin konstruksi jembatan terbangun dengan aman dan sesuai desain, diperlukan pemilihan metode konstruksi yang tepat, terutama untuk pelengkung baja sepanjang 140 m yang merupakan bentang utama Jembatan Sei Wampu. Jembatan Sei Wampu merupakan jembatan yang terletak pada ruas jalan nasional dan menghubungkan daerah Stabat dengan Tanjung Pura di Provinsi Sumatera Utara. Paket pembangunan Jembatan Sei Wampu mengalami putus kontrak pada tahun 2019 dimana sistem lantai bentang utama jembatan berupa stringer dan cross girder telah terpasang di tengah sungai menggunakan sistem shoring. Maka dari itu, menindaklanjuti rencana tender lanjutan, dibutuhkan inovasi metode lifting elemen pelengkung dan hanger untuk menyelesaikan pekerjaan pemasangan bentang utama. Dengan menggunakan pendekatan studi literatur dan tinjauan lapangan, metode lifting ditentukan menggunakan tower backstay dan lifting segmen menggunakan heavy crane pada platform beton sementara di kedua sisi abutmen. Dari hasil analisis pengecekan radius dan load chart crane untuk segmen terberat Top Chord (TC), heavy crane 450 ton dipilih untuk melakukan lifting 6 segmen di arah Stabat dan heavy crane 450 ton + superlift 180 ton untuk lifting 9 segmen arah Tj. Pura dengan pondasi platform tiang pancang baja \varnothing 60 cm berjumlah 9. Dengan telah ditentukannya metode lifting, tender paket pembangunan Jembatan Sei Wampu pun dapat dilakukan.

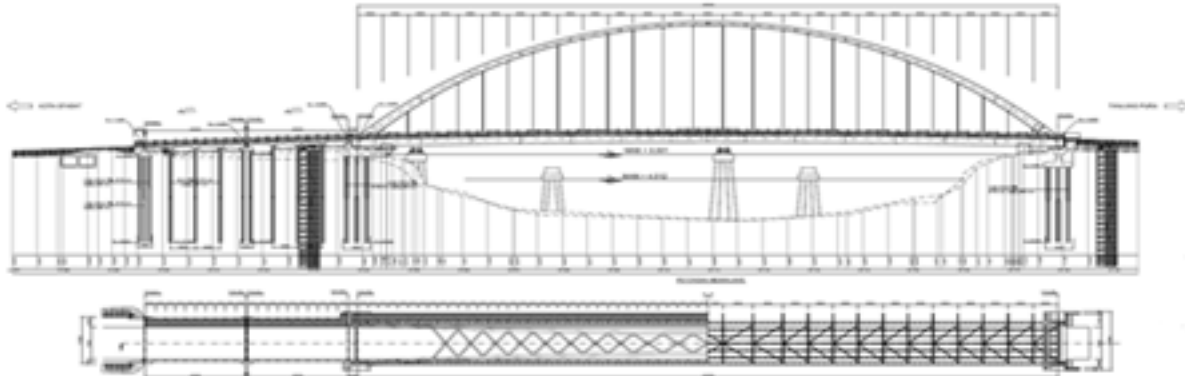
Kata-kata kunci: jembatan pelengkung, lifting, heavy crane, pancang baja.

Abstract: The bridge is an integral part of the road infrastructure that is built to support the connectivity and mobility of the Indonesian people in economic activities. To ensure that the bridge construction is built safely and according to the design, it is necessary to choose the right construction method, especially for the 140 m long steel arch which is the main span of the Sei Wampu Bridge. The Sei Wampu Bridge is a bridge located on the national road and connects the Stabat area with Tanjung Pura in North Sumatra Province. The Sei Wampu Bridge construction package ended the contract in 2019 where the main span floor system of the bridge in the form of stringers and cross girders was installed in the middle of the river using a shoring system. Therefore, following up on the follow-up tender plan, innovation in the lifting method of arch elements and hangers is needed to complete the main span installation work. Using a literature study and field review approach, the lifting method was determined using a tower backstay and segment lifting using a heavy crane on a temporary concrete platform on both sides of the abutment. From the results of the analysis of checking the radius and load chart of the crane for the heaviest segment of the Top Chord (TC), a heavy crane of 450 tons was chosen to carry out lifting 6 segments in the Stabat direction and a heavy crane 450 tons + 180 tons superlift for lifting 9 segments in the Tj direction. There are 9 temples with steel pile platform foundations of 60 cm. With the lifting method determined, a tender for the construction package of the Sei Wampu Bridge can also be carried out.

Keywords: arch bridge, lifting, heavy crane, steel pile.

1. PENDAHULUAN

Jembatan Sei Wampu merupakan jembatan duplikasi jembatan eksisting tipe Rangka Baja Australia (RBA) yang berada pada Kota Stabat, Provinsi Sumatera Utara dan menghubungkan daerah Stabat dengan Tanjung Pura, Kota Medan dengan Aceh. Jembatan ini merupakan jembatan dengan bentang utama 140 m dengan tipe pelengkung box baja dan bentang pendekat pile slab seperti terlihat pada Gambar 1.1 berikut:

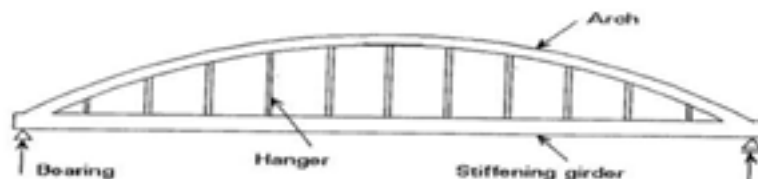


Gambar 1.1 Long Section dan Plan View Jembatan Sei Wampu

Paket Pembangunan Jembatan Sei Wampu, mengalami putus kontrak pada tahun 2019 sehingga kondisi elemen jembatan perlu dilakukan pengecekan kembali. Pada kontrak sebelumnya, sistem lantai bentang utama telah terpasang di tengah sungai sehingga penggunaan metode konvensional seperti shoring akan sulit dilakukan. Untuk menyelesaikan metode bentang utama, diperlukan metode inovatif seperti horizontal swing, vertical swing atau tower backstay dengan heavy lifting. Menilai dari kemudahan dan biaya konstruksi, metode lifting pun direncanakan dari bantaran sungai menggunakan heavy crane yang dilengkapi dengan superlift untuk memastikan radius dan load chart crane terpenuhi untuk setiap lifting segmennya. Pada penelitian ini, metode lifting meliputi pemilihan alat angkat beserta struktur perkuatan sementara sesuai kondisi lapangan yang diperlukan akan dibahas.

1.1 Jembatan Pelengkung/Busur (Arch)

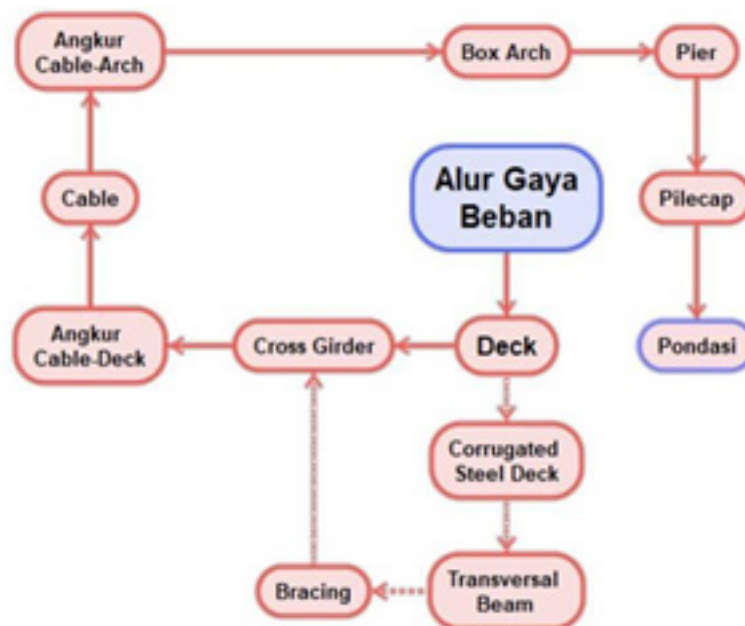
Jembatan pelengkung merupakan jenis bangunan atas struktur jembatan yang memanfaatkan prinsip mekanika teknik pelengkung 3 sendi. Tipe perletakan merupakan statis tertentu sendi dan rol pada tiap sisi dengan penahan gaya horizontal yang kuat berupa abutmen tiap sisi (Manual Pemeliharaan Jembatan Pelengkung Baja, 2011). Pemilihan bentang utama pelengkung lebih dari 60 m yang termasuk jembatan khusus terutama karena faktor lebar sungai tidak memungkinkan adanya pilar yang mengurangi penampang basah sungai, faktor estetika sebagai ikon daerah, faktor waktu dimana elemen baja dapat dipabrikasi bersamaan dengan pengerjaan bangunan bawah di lapangan & faktor mutu karena elemen yang diproduksi di pabrik akan lebih terjamin kualitas pengerjaannya (executive summary). Tergantung lokasi lantainya, jembatan pelengkung dibagi menjadi 3 jenis yaitu dek, menerus (through) dan mengikat (tied). Jembatan pelengkung mengikat (tied) terdiri atas elemen pelengkung, hanger dan stiffening girder atau sistem lantai (lantai beton bertulang, balok transversal/cross girder dan longitudinal/stringer) sebagai berikut pada Gambar 1.2:



Gambar 1.2 Jembatan Pelengkung Mengikat/Tied (Manual Pemeliharaan Jembatan Pelengkung Baja, 2011)

Penggunaan sistem hanger akan berpengaruh saat fase pemeliharaan (preservasi) dimana arus lalu lintas akan tetap dapat operasional, minim terganggu dan tidak diperlukan alat berat saat kegiatan preservasi struktur. Jembatan pelengkung dapat terbuat dari material beton maupun baja, pemilihan material didasarkan pada bentang maksimum jembatan dimana beton mencapai 420 m dan baja hingga 550 m (Prasmoro, R., et al, 2017) serta kecepatan pemasangan dimana elemen baja dapat diproduksi terlebih dahulu dengan segmentasi yang lebih kecil.

Sistem struktur pelengkung memungkinkan aliran gaya (beban mati & hidup lalu lintas) yang diterima sistem lantai beton bertulang & steel deck yang bekerja secara komposit karena shear connector diteruskan oleh cross girder yang diperkaku stringer ke pin hanger bawah, kabel hanger, pin hanger atas, elemen box pelengkung, lalu ke bangunan bawah pier, pile cap dan diteruskan oleh pondasi ke tanah sebagai gaya normal tekan tanpa lenturan dengan diagram sebagai berikut pada Gambar 1.3:



Gambar 1.3 Diagram Aliran Gaya Struktur Pelengkung (Executive Summary Jembatan Kalikuto Proyek Jalan Tol Batang-Semarang Seksi 2, 2018)

Jembatan pelengkung yang kompleks memungkinkan beberapa metode pemasangan untuk diterapkan seperti penggunaan shoring dan tower backstay pada full cantilever method dengan feeding segmen menggunakan alat angkat berupa crane. Pemilihan metode pemasangan didasarkan pada biaya yang tersedia, waktu, kompleksitas metode dan lokasi pekerjaan.

1.2 Alat Angkat

Dalam pelaksanaan pekerjaan lifting diperlukan alat berat berupa alat angkat yang dapat dipastikan mampu dan aman mengangkat tiap elemen jembatan. Alat angkat perlu memiliki mekanisme gerakan seperti mengangkat muatan (lifting) menggeser (trolleying), menahannya tetap di atas bila diperlukan dan membawa muatan ke tempat yang ditentukan (slewing dan travelling) (Ismierianto, et. al). Sesuai Permen PUPR No. 21/2019 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Konstruksi, penggunaan alat angkat merupakan pekerjaan risiko tinggi sehingga peng-

gunaan crane harus sangat memperhatikan kapasitas angkat, radius & load chart crane itu sendiri. SF yang digunakan adalah 2 sesuai Komite Keselamatan Konstruksi (K2K) dan Permenaker No.8/2020. Dibanding metode launcher misalnya, metode crane terbukti lebih cepat dan efisien dalam pekerjaan erection (Izza, R. K., et al, 2019). Terdapat 2 jenis crane yaitu crawler dengan kapasitas lebih besar dan mobile dengan keunggulan pada mobilitasnya. Untuk meningkatkan kapasitas lifting, penambahan counterweight dalam bentuk superlift dapat digunakan pada crawler crane. Kapasitas Safe Working Load (SWL) crane ditentukan pada load chart setiap tipe crane tergantung pada beban yang diangkat, sudut boom dan radius crane dengan beban yang diangkat.

1.3 Pondasi Platform

Bidang tempat crane berpijak juga harus diperhatikan karena momen yang besar saat crane melakukan swing dapat menyebabkan kegagalan guling. Penempatan alat berat yang tepat pada lokasi kegiatan dapat menjamin kelancaran proyek. Proses perencanaan awal adalah dengan cara menganalisa kondisi lokasi proyek, diantaranya dengan cara mengatur jalur mobilisasi alat tersebut terhadap perencanaan tata letak atau penempatan baik itu penimbunan material, gudang, kantor dan lain-lain. Karena berat crane, untuk memastikan crane berada pada dudukan yang stabil, dibutuhkan pondasi pada platform crane. Tiang pancang baja dipilih karena tergolong ekonomis (Nurdin, F., et al, 2016) untuk struktur sementara. Untuk tanah dengan lapisan keras yang dalam, diperlukan pondasi dalam seperti tiang yang memanfaatkan daya dukung ultimit (Q_u) sebagai penjumlahan tahanan ujung (Q_b) dan friksi atau geser sisi tiang (Q_s). Rumus daya dukung pondasi tiang Meyerhof (1976) berdasar data Standard Penetration Test (SPT) dan klasifikasi tanah tiap lapisan hasil sampel bor:

$$Q_u = Q_b + Q_s \dots \dots \dots \text{pers.1}$$

$$Q_u = \frac{q_d \times A_p}{SF1} + \sum \frac{l_i f_i \times A_s}{SF2} \dots \dots \dots \text{pers.2}$$

Dimana :

- qd : 20 N, untuk silt/clay (ton/m²)
30 N, untuk silt/clay dalam kondisi cemented (ton/m²)
40 N, untuk sand (ton/m²)
- N : Nilai N-SPT
- D : Diameter tiang (cm)
- A_p : Luas penampang tiang (cm²) = $\pi D^2/4$
- A_s : Keliling penampang tiang (cm²) = πD
- l_i : Panjang segmen tiang yang ditinjau (m)
- f_i : Gaya geser pada selimut tiang (ton/m²)
N maksimum 12 ton/m², untuk silt/clay
N/5 maksimum 10 ton/m² untuk sand
- SF1 : Safety Factor/Faktor keamanan tahanan ujung = 3
- SF2 : Safety Factor/Faktor keamanan friksi = 3

Berdasar kekuatan material, daya dukung tiang adalah:

$$P = \frac{f_d \times A}{SF} \dots \dots \dots \text{pers.3}$$

Dimana :

- P : Daya dukung ijin tiang (kN)
- f_y : Tegangan leleh pipa baja (MPa)
- f_d : Tegangan ijin baja (MPa) = $0,6 \times f_y$
- t : Tebal pipa baja (cm)
- A_p : Luas penampang pipa baja (cm^2) = $\pi/4(D^2 - (D - 2 \times t)^2)$
- SF1 : Safety Factor/Faktor keamanan material = 1,5

Selain syarat kekuatan, kekakuan atau dalam hal ini penurunan elastik tiang tunggal (S) perlu diperhatikan dengan rumus Vesic (1977):

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \dots \dots \dots \text{pers.4}$$

$$S = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p \cdot E_p} + \frac{Q_{wp} \cdot C_p}{D \cdot q_p} + \frac{Q_{ws} \cdot C_s}{L \cdot q_p} \dots \dots \dots \text{pers.5}$$

Dimana :

- S1 : Penurunan batang tiang (cm)
- Q_{wp} : Beban dipikul ujung tiang (kN)
- ξ : Koefisien distribusi tahanan kulit sepanjang tiang (0,67 untuk segitiga)
- Q_{ws} : Beban dipikul selimut tiang (kN)
- L : Panjang tiang (m)
- E_p : Elastisitas tiang (MPa)
- S2 : Penurunan akibat beban di ujung tiang (cm)
- C_p : Koefisien empiris tanah (0,04)
- q_p : Tahanan ujung batas tiang (kN/m^2)
- S3 : Penurunan akibat beban tersalurkan sepanjang tiang (cm)
- q_s : Tahanan selimut tiang (kN/m^2)

$$C_s : \text{Koefisien tanah} = (0,93 + 0,16 \frac{\sqrt{L}}{D}) C_p$$

2. METODE

Adapun metodologi penulisan naskah ilmiah berupa studi literatur dan pengambilan data primer dan sekunder sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data primer tonase elemen pelengkung dari DED
2. Menentukan Safety Factor (SF) lifting elemen
3. Menentukan kebutuhan alat angkat sesuai beban maksimal yang diangkat, radius dan SF
4. Menentukan SWL, radius dan panjang jib serta boom untuk lifting tiap elemen pelengkung
5. Mengumpulkan data sekunder topografi kondisi eksisting lapangan
6. Menentukan lokasi lifting dan assembly crane
7. Menentukan data sekunder data sheet crane
8. Menentukan material dan dimensi platform crane

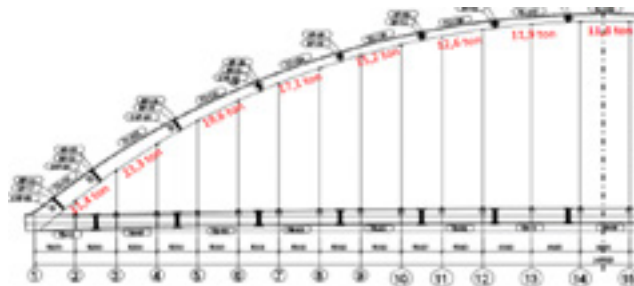
9. Melakukan perhitungan beban yang diterima pondasi platform
10. Mengumpulkan data sekunder hasil SPT
11. Menentukan kelas situs batuan
12. Melakukan analisis pondasi platform dengan menggunakan beban data sheet crane
 - a. Daya dukung aksial tekan pondasi tiang tunggal dengan Metode Meyerhof (1976)
 - b. Daya dukung material pondasi tiang tunggal
 - c. Penurunan pondasi dengan Metode Vesic (1977)
 - d. Jumlah, jarak dan konfigurasi pondasi tiang
 - e. Efisiensi grup tiang
 - f. Daya dukung efektif grup tiang
13. Melakukan evaluasi lifting plan dengan peninjauan lapangan

3. HASIL

3.1 Tonase Elemen Pelengkung

Pemilihan alat angkat harus didasarkan pada berat elemen yang akan diangkut dan radius yang dibutuhkan. Elemen pelengkung jembatan Sei Wampu terdiri dari 15 segmen Top Chord (TC) dan 2 segmen Tie Beam (TB) dengan elemen terberat adalah TC-102 yaitu 23,273 ton atau 232,73 kN, berat tiap elemen sebagai berikut pada Gambar 3.1:

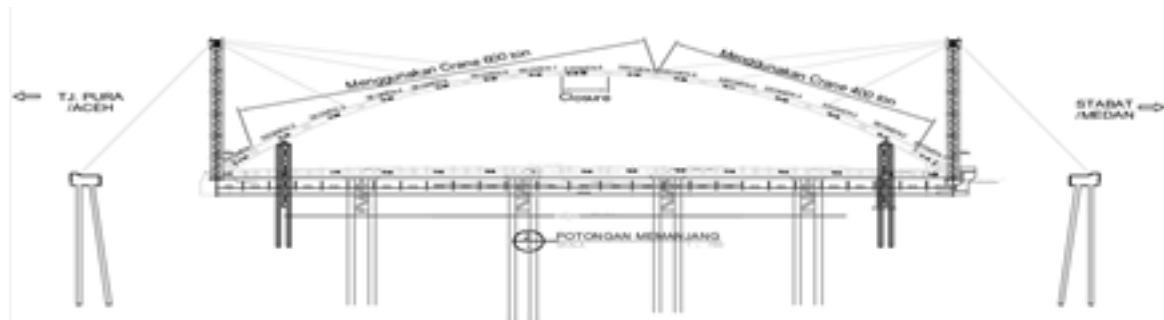
ELEMEN	DIMENSI PROFIL	PANJANG (mm)	BERAT (kg)
1. Top Chord			
TC-101	2018-1850	700x35x45	11.434.20
TC-102	1850-1548	700x35x45	23.273.73
TC-103	1548-1314	700x35x45	19.615.23
TC-104	1314-1140	700x35x45	17.132.19
TC-105	1140-1016	700x35x45	15.195.59
TC-106	1016-945	700x35x45	12.612.59
TC-107	945-909	700x35x45	11.931.23
TC-108	909-909	700x35x45	11.822.79
2. Tie Beam			
TB-10	WB2000X500X35X45	8.700	23.216.51
TB-01	WB2000X500X35X45	9.997	9.246.86
TB-02	WB2000X500X35X45	9.996	9.246.33
TB-04	WB2000X500X35X45	8.994	8.366.58
TB-11	WB2000X500X35X45	8.992	8.129.91
TB-06	WB2000X500X35X45	8.997	8.369.52



Gambar 3.1 Data Elemen Struktur dan Berat

3.2 Kebutuhan Crane dan Lifting Plan

Dengan SF minimal 2 antara berat elemen dengan SWL Crane dan radius tertentu di lapangan, alat angkat crane 450 ton + Superlift cukup untuk melakukan pengangkatan material TC terberat (TC-102) dari trailer hingga pemasangan terjauh 58 m (TC-106) di tengah bentang dari sisi Stabat dan 90 m (TC-107) dari sisi Tj. Pura. Crane 450 ton memiliki radius jangkauan 45 m – 58 m dan radius manuver crane 12,5 m. Dengan lokasi yang lebih luas dan lebih sedikit bangunan yang dapat dibebaskan, crane 450 ton dengan superlift 180 ton dapat digunakan pada sisi Tj. Pura untuk memperoleh kapasitas total 600 ton dengan radius jangkauan 50 m – 86 m dan manuver yang lebih leluasa dengan radius 19 m. Rencana penggunaan crane dengan boom 60 m untuk lifting tiap segmen pelengkung ditampilkan sebagai berikut pada Gambar 3.2 dan Tabel 3.1:

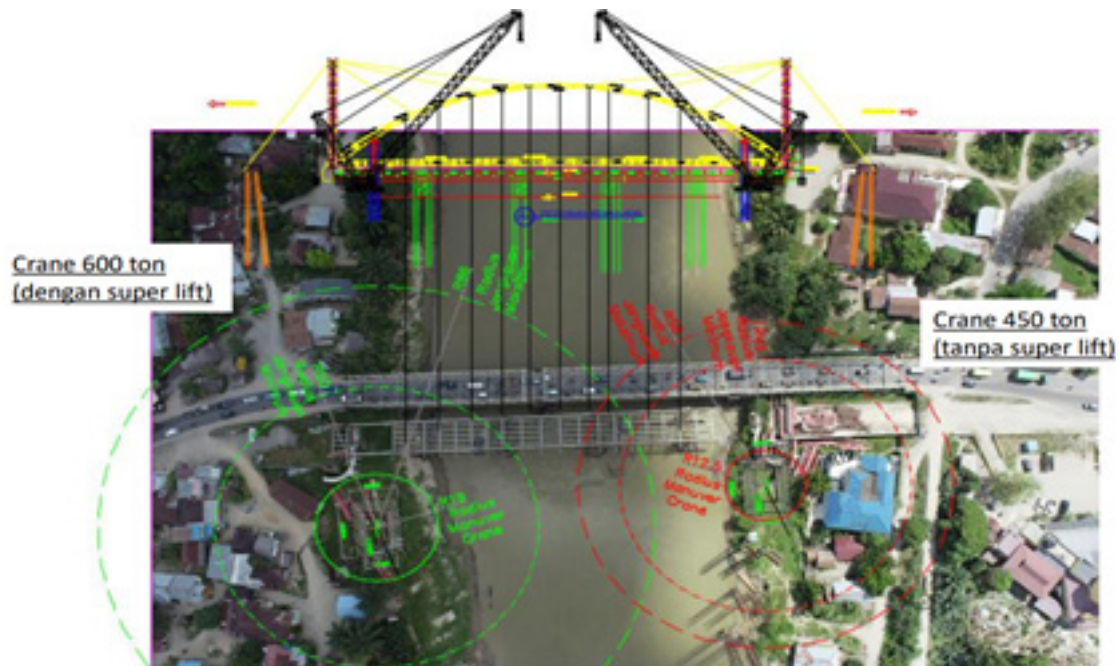


Gambar 3.2 Plotting Penggunaan Crane Sisi Tj. Pura dan Stabat

Tabel 3.1 Rekap Rencana Lifting Elemen Pelengkung

No	Elemen Pelengkung	Be-rat (ton)	Kapasitas Crane (ton)	Posisi Crane	Safe Working Load/SWL Crane (ton)	Panjang Jib (m)	Radius (m)	Sudut Boom (°)	SF
1	TC-101	11.4	600	Tj. Pura	162.3	24	10	86	14.24
2	TC-102	23.3	600	Tj. Pura	150.8	24	20	86	6.47
3	TC-103	19.6	600	Tj. Pura	106.4	24	30	86	5.43
4	TC-104	17.1	600	Tj. Pura	92.3	24	42	76	5.40
5	TC-105	15.2	600	Tj. Pura	72.9	42	50	76	4.80
6	TC-106	12.6	600	Tj. Pura	61.4	42	58	76	4.87
7	TC-107	11.9	600	Tj. Pura	47.4	54	70	76	3.98
8	TC-108	11.8	600	Tj. Pura	39.2	66	78	76	3.32
9	TC-107	11.9	600	Tj. Pura	27.6	66	90	66	2.32
10	TC-106	12.6	450	Stabat	25.6	54	58	86	2.03
11	TC-105	15.2	450	Stabat	34.8	54	50	86	2.29
12	TC-104	17.1	450	Stabat	38.4	24	42	86	2.25
13	TC-103	19.6	450	Stabat	72.5	24	30	86	3.70
14	TC-102	23.3	450	Stabat	108.7	24	20	86	4.67
15	TC-101	11.4	450	Stabat	121.3	24	10	86	10.64

Lokasi crane menyesuaikan kondisi eksisting di lapangan dimana terdapat rumah warga pada sisi Stabat dan gudang tidak terpakai pada sisi Tj. Pura sehingga crane dengan kapasitas lebih besar dapat digunakan di sisi Tj. Pura. Lifting plan dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut:



Gambar 3.3 Lifting Plan Crane Sisi Tj. Pura dan Stabat

3.3 Platform

Untuk memastikan pijakan yang memenuhi aspek kekuatan dan kekakuan agar tidak terjadi penurunan diferensial yang berpotensi berbahaya crane terguling saat lifting, platform beton diperlukan untuk menjadi lantai kerja heavy crane. Dengan data dari vendor, berat crane tipe TEREX 600 T pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2 Data Berat Crane TEREX 600 T

No	Item	Berat (ton)
1	Body	64
2	Trek Kiri	40
3	Trek Kanan	40
4	Max Counterweight	180
5	Counterweight	30
6	Boom Foot	30
7	Boom Sec 12 m	7
8	Boom Sec 6 m	4
9	Boom Sec 12 m	7
10	Boom Sec 12 m	7
11	Boom Sec 12 m	7
12	Top Boom	5.2
13	SL Mast Boom	30
14	SL Counterweight	150
15	Hook Block 110 ton	2
16	Lifting Jib 66 m	30
17	Asesori	20
Total		653.2

Menyesuaikan dimensi dan kebutuhan minimal manuver crane, luas platform ditentukan 15 m x 15 m. Karena pembobokan plat beton akan sulit dilakukan saat pekerjaan lifting selesai, maka plat baja dengan tebal 5 cm digunakan untuk distribusi merata antar pondasi tiang. Berat total yang harus ditahan pondasi berupa berat sendiri plat baja, crane beserta asesorisnya dan segmen terberat yang akan diangkat sebagai berikut pada Tabel 3.3:

Parameter	Nilai	Satuan
Lebar (b)	15	m
Panjang (h)	15	m
Luas Plat (A)	225	m ²
Tebal Plat (t)	0.05	m
Volume Plat (V)	11.25	m ³
BJ baja	78.5	kN/m ³
BJ beton	25	kN/m ³
g	10	m/s ²
Berat plat	883.125	kN
Berat crane	6532	kN
Berat segmen	232.73	kN
Berat Total	7647.855	kN

Data tanah yang digunakan untuk desain adalah yang lebih konservatif yaitu pada borehole 1 (BH 01) di sisi Stabat dengan jenis tanah didominasi lempung, rata-rata nilai N-SPT 14,07 untuk 30 m lapisan teratas dan kondisi kelas situs batuan tanah lunak (SE) sebagai berikut pada Tabel 3.4:

Tabel 3.4 Hasil SPT Tanah pada BH 01

Depth (m)	Type of Soil	N-SPT	Grafik SPT	ti	ti/N
0.00	Fill Material	0			
-2.00	Sandy clay, very stiff, brown.	15		2	0.133
-4.00		3		2	0.667
-6.00	Silty clay, soft to medium stiff	5		2	0.400
-8.00	Sand, medium dense to dense, black.	21		2	0.095
-10.00		44		2	0.045
-12.00	Sand, medium dense to dense	39		2	0.051
-14.00	Silty clay, very stiff, dark grey.	16		2	0.125
-16.00		19		2	0.105
-18.00	Coarse sandy clay, with organic, stiff, dark grey.	10		2	0.200
-20.00		18		2	0.111
-22.00	Silty clay, stiff, brownish grey.	12		2	0.167
-24.00		14		2	0.143
-26.00	Sandy silt, hard, grey.	53		2	0.038
-28.00		57		2	0.035
-30.00	Gravelly coarse sand, very dense, black.	60		2	0.033
-31.00		60	1	0.017	
-32.00		60	1	0.017	
-33.00		60	1	0.017	
-34.00		60	1	0.017	
Σ				34	2.416
Nrata-rata				14.07	
Kelas situs				E	

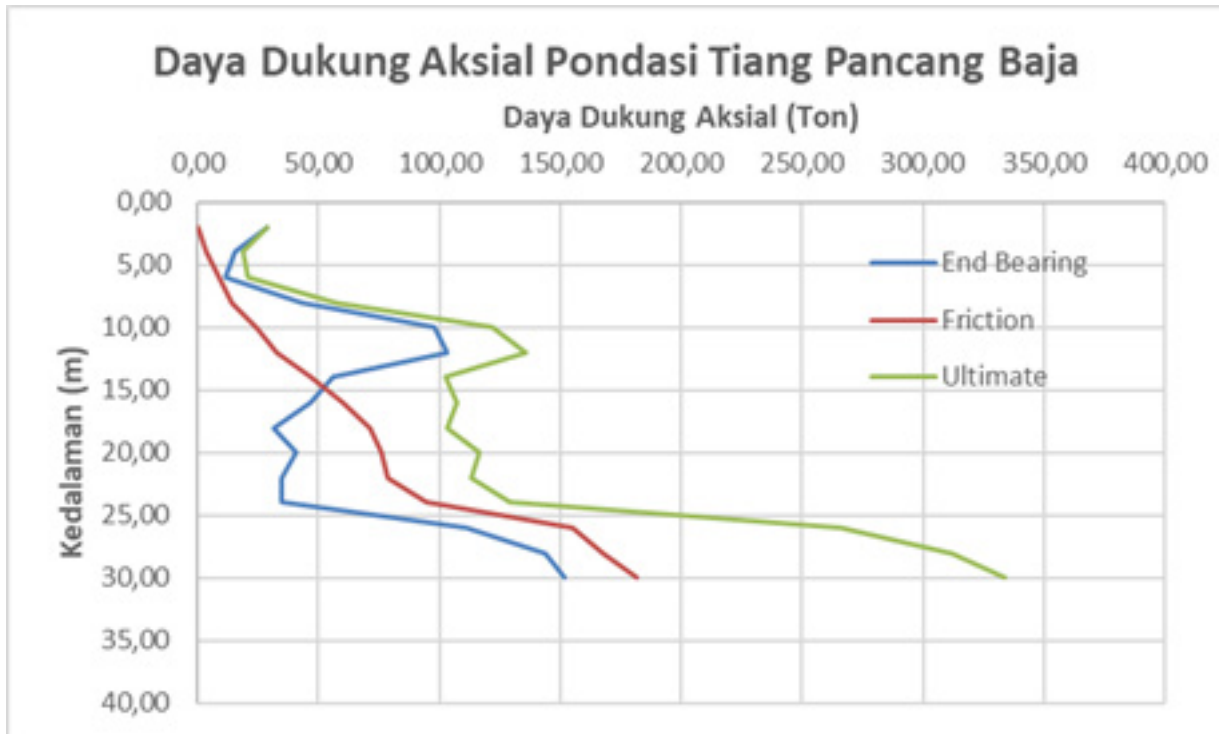
Karena platform terletak di bantaran sungai dengan data tanah relatif lunak, tanah keras terletak pada kedalaman 26 m serta alat boredpile sulit dimobilisasi, digunakan pondasi dalam tiang pancang baja agar dapat memberi sambungan yang kuat dengan plat baja platform dengan pengelasan. Diameter tiang baja ditentukan 600 mm dengan tebal 12 mm dan panjang 15 m. Untuk memastikan pondasi kuat menahan beban yang bekerja, daya dukung tiang berdasar kekuatan material dan hasil uji tanah SPT perlu dihitung. Hasil perhitungan daya dukung aksial tekan pondasi tiang berdasar material dengan SF 1,5 pada Tabel 3.5 dan daya dukung tanah dengan efisiensi grup tiang (Eg) pada Tabel 3.6 dan Gambar 3.4 sebagai berikut:

Tabel 3.5 Daya Dukung Aksial Pondasi Tiang berdasar Material

Parameter	Nilai	Satuan
Kuat Leleh (f_y)	245	MPa
Tegangan Izin Baja ($0.6 f_y$)	147	MPa
Diameter (D)	0.6	m
Tebal (t)	12	mm
Luas Pancang Baja (A)	0.022	m ²
Safety Factor (SF)	1.5	
Daya Dukung Material	2172.374	kN

Tabel 3.6 Daya Dukung Aksial Tekan Pondasi Tiang berdasar SPT

fi=PANJANG TIANG (m)	KEND- ALAMA N (m)	N-SPT	DESKRIP- SI LAPISAN	fi (ton/m ²)	fi (ton/m ²)	Ps=(fi*As/ SF)*Eg (ton/m)	Ps 1 tiang=li(fi*As/ SF)*Eg (ton)	Pb 1 tiang= *N*Ab/ SF)*Eg (ton)	Pijin 1 tiang (ton)
0.00	0.00	0	FILL MATE- RIAL						
2.00	2.00	15	LEM- PUNG	0.00	0.00	0.00	0.00	28.87	28.87
4.00	4.00	3	LEM- PUNG	3.00	1.50	0.86	3.42	15.40	18.82
6.00	6.00	5	LEM- PUNG	5.00	2.67	1.52	9.13	11.55	20.68
8.00	8.00	21	PASIR	4.20	3.05	1.74	13.92	43.63	57.55
10.00	10.00	44	PASIR	8.80	4.20	2.40	23.96	98.17	122.13
12.00	12.00	39	PASIR	7.80	4.80	2.74	32.85	103.31	136.16
14.00	14.00	16	LEM- PUNG	12.00	5.83	3.32	46.54	55.82	102.37
16.00	16.00	19	LEM- PUNG	12.00	6.60	3.76	60.23	46.84	107.07



Gambar 3.4 Daya Dukung Aksial Pondasi

Dari daya dukung tiang berdasar material dan tanah, diambil yang terkecil yaitu daya dukung tanah karena lebih menentukan. Deformasi vertikal atau penurunan tiang diperoleh < batas ijin 1 cm sesuai Tabel 3.7 berikut:

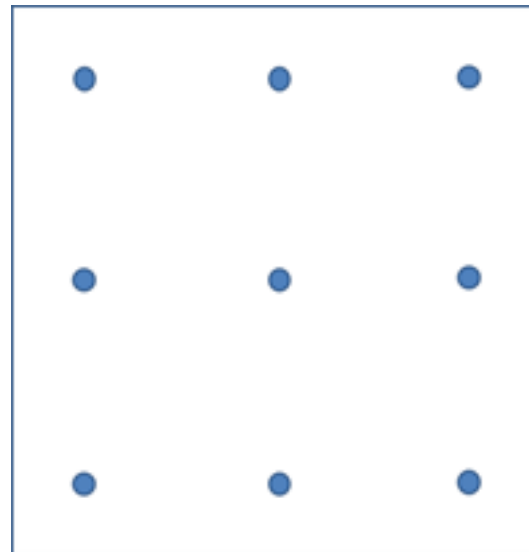
Tabel 3.7 Penurunan Elastik Tiang

Parameter	Nilai	Satuan
Beban Ujung (Qwp)	55.26	ton
Koefisien distribusi ()	0.67	
Beban selimut (Qws)	49.36	ton
Elastisitas tiang (Ep)	20.000.000	ton/m ²
Penurunan batang tiang (S1)	0.023	cm
Koefisien tanah (Cp)	0.04	
Tahanan ujung tiang (S2)	525	ton/m ²
Penurunan ujung tiang (S2)	0.702	cm
Koefisien tanah (Cs)	0.069	
Penurunan sepanjang tiang (S3)	0.043	cm
penurunan Total (S)	0.768	cm

Dengan memperhitungkan efisiensi jarak pada grup tiang pada analisis sebelumnya, diperoleh jumlah tiang 9 dan konfigurasi tiang 3 x 3 sebagai berikut pada Tabel 3.8 dan Gambar 3.5:

Tabel 3.8 Kebutuhan Tiang Pancang

Parameter	Nilai	Satuan
Baris (m)	3	
Kolom (n)	3	
0	6.23	0
Jarak Tiang (S)	5.5	m
Eff	0.91	
Qu tiang	1070.72	kN
Jumlah	7.14	tiang
	9	tiang

**Gambar 3.5** Konfigurasi Tiang Pancang Baja 3 x 3 pada Platform 15 m x 15 m

4. PEMBAHASAN

Dari hasil analisis, pembahasan sebagai berikut:

- Elemen pelengkung terberat yang akan diangkat adalah TC-102 (23,3 ton) dan radius terjauh adalah 58 m untuk Crane 450 ton dan 90 m untuk Crane 600 ton
- Belum ada aturan tertulis SF lifting = 2, namun pemilihan SF didasarkan atas bentang utama Sei Wampu yang merupakan jembatan khusus karena pelengkung dengan bentang > 60 m memerlukan persetujuan KKJTJ dan K2K sesuai Permen 41/2015
- Crane 450 ton yang dipergunakan berjumlah 1 untuk optimasi biaya penyewaan crane sehingga hanya diperlukan 1 kali biaya mobilisasi dan demobilisasi
- Pemilihan heavy crane 450 ton + superlift 180 ton telah menyesuaikan kondisi eksisting dengan radius manuver crane 19 m dan kapasitas kebutuhan 600 ton tanpa menambah dimensi crane yang akan menyulitkan jalan akses ke lokasi lifting
- Pondasi platform didesain menggunakan tahanan friksi/floating pile pada ke

dalam 15 m karena merupakan temporary structure dan daya dukung aksial telah dihitung menggunakan SF 3 sesuai persyaratan struktur permanen

f. Pondasi platform pada tiap sisi menggunakan 9 tiang pancang baja Ø 60 cm kedalaman 15 m dengan daya dukung tiang tunggal lebih ditentukan berdasar SPT (107 ton) dibanding kekuatan material (217 ton)

g. Penurunan elastik tiang 0,768 cm < 1 cm sesuai persyaratan

5. SIMPULAN

Untuk melakukan lifting bentang utama Jembatan Sei Wampu sesuai kondisi lapangan, Heavy crane 450 ton dapat digunakan untuk melakukan lifting 6 segmen di arah Stabat dan heavy crane 450 ton + superlift 180 ton untuk lifting 9 segmen arah Tj. Pura dengan menggunakan platform plat baja 15 m x 15 m dan jumlah pondasi 9 tiang pancang baja Ø 60 cm dan kedalaman 15 m.

Saran yang dapat diberikan untuk analisis lebih lanjut : a. Sebelum lifting dimulai, perlu dilakukan loading test crane menggunakan segmen terberat agar memastikan immediate settlement terjadi, b. Hanya terdapat beberapa vendor lokal yang menyediakan Crane 450 ton untuk disewa, sehingga pengecekan terhadap kondisi penyedia crane sangat diperlukan, c. Pembiayaan perlu memperhitungkan Service crane 150 ton karena dibutuhkan untuk assembly crane, pemasangan superlift dan erection tower backstay yang tidak dianalisis pada penelitian berikut

6. DAFTAR RUJUKAN

- Chen, W. F. & Duan L. 2003. Bridge Engineering Construction and Maintenance. CRC Press. Amerika.
- Dewantoro, B. S. & Mardiyanto, A. 2019. Manajemen Resiko Kerja pada Studi Kasus Jembatan Kali Kuto. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Semarang. Semarang.
- EXECUTIVE SUMMARY JEMBATAN KALIKUTO PROYEK JALAN TOL BATANG – SEMARANG SEKSI 2. 2018. Jasamarga Semarang - Batang. Semarang.
- Ismerianto, Nuh, S. M. & Syahrudin. METODE PELAKSANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN TAYAN. Program Studi Teknik Sipil Universitas Tanjungpura Pontianak. Pontianak.
- Izza, F. K., Praditama, M. A., Kirana, C. N., Setiyono, K. J. & Sudarmono. 2019. KAJIAN WAKTU PENYELESAIAN METODE CRANE DAN METODE LAUNCHER DALAM PELAKSANAAN ERECTION GIRDER JEMBATAN (Studi Kasus : Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Salatiga – Boyolali Sta 40+409 – Sta 71+785). Wahana TEKNIK SIPIL Vol. 24 No. 1 Juni 2019. Semarang.
- Lifting Charts - Rough Terrain Cranes: TADANO MODEL TR-500XL-3- 50 TON CAPACITY Manual Pemeliharaan Jembatan Pelengkung Baja. 2011. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.

- Nurdin, F., Habir, Syaputra, Z, 2016. PERBANDINGAN TIANG PANCANG BAJA DAN BETON PADA PERENCANAAN DINDING PENAHAN TANAH CANTILEVER DI KM-09 JALAN POROS SAMARINDA – TENGGARONG DITINJAU DARI SEGI BIAYA DAN KEAMANAN. Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda.
- Prasmoro, R., Masiran, H. S. & Wahyuni, E. 2017. Modifikasi Jembatan Sembayat Baru II Menggunakan Sistem Jembatan Busur Rangka Baja. Jurnal Teknik ITS Vol. 6, No. 1. Surabaya.
- SAFE BOLTED JOINT DESIGN: AN INTRODUCTION TO WHY BOLTED JOINTS FAIL AND HOW TO MAKE THEM SAFER. 2021. Nord-Lock Group. Singapura.
- Septiawan, H. G. & Irawan, D. 2013. DESAIN JEMBATAN BARU PENGGANTI JEMBATAN KUTAI KARTANEGARA DENGAN SISTEM BUSUR. JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 1, No. 1. Surabaya.
- Utama, S. F., Patty, A. H. & Naibaho, A. PERBANDINGAN ERECTION RANGKA BAJA JEMBATAN DENGAN MENGGUNAKAN MAST CRANE DAN TOWER CRANE PADA PROYEK JEMBATAN TRISULA BLITAR. Jurnal PROKONS Politeknik Negeri Malang. Malang.