



PENGGANTIAN JEMBATAN KALIGUNG TUWEL DENGAN MENGGUNAKAN KONSTRUKSI RANGKA BAJA

Gilar Taswindo, Wahyu Agung Nugroho, Moga Narayudha^{*)}, Ilham Nurhudha^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Jembatan Kaligung Tuwel terletak di Desa Tuwel, Slawi, Kabupaten Tegal yang menghubungkan daerah Bumijawa dan daerah Tuwel membentang sepanjang 70 meter di atas sungai Kaligung. Penggantian jembatan Kaligung Tuwel ini didasarkan pada kondisi jembatan yang sudah melampaui umur rencana, rangka baja jembatan yang sudah berkarat serta lebar efektif jembatan yang tidak memenuhi standar untuk melayani kebutuhan transportasi. Pada kondisi awalnya Jembatan ini didesain dengan menggunakan tipe struktur jembatan lalu lintas atas, kemudian dalam tugas akhir ini dilakukan perancangan untuk penggantian Jembatan Kaligung Tuwel dengan menggunakan jembatan tipe struktur rangka baja lalu lintas bawah. Pada tahap awal dilakukan analisa kondisi eksisting, perencanaan struktur atas dan bawah jembatan serta perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Perencanaan struktur atas memperhitungkan beban yang mungkin terjadi yaitu berat sendiri, beban mati tambahan, beban lalu lintas, beban angin, dan beban gempa. Dalam perancangan jembatan ini dilakukan perhitungan menggunakan metode LRFD (Load and Resistance Factor Design). Selanjutnya dilakukan perencanaan struktur bawah dengan langkah awal melakukan pendimensian pondasi dan abutmen. Untuk pondasi digunakan pondasi sumuran dan untuk bagian abutmen menggunakan tipe kantilever.

kata kunci : *penggantian jembatan Kaligung Tuwel, rangka baja, lalu lintas*

ABSTRACT

Kaligung Bridge is located in Tuwel village of Slawi in Tegal regency. The Bridge connects Bumijawa and Tuwel area and stretches along 70 meters above Kaligung river. In this project, Kaligung Tuwel bridge was designed as a steel truss system. The design steps are as follows : analysis of the existing conditions, design the upper structure and the substructure of the bridge, and calculate budget plan (RAB). The Design of the upper structure considers loads such as : self weight, dead load, traffic load, wind load, and seismic load. The design was carried out using LRFD (Load and Resistance Factor Design) method. Next, the substructure was designed by calculating the dimension of the foundation and abutment. The foundation was designed as a caisson while the abutment was of cantilever type.

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

keywords: *replacement Kaligung Tuwel bridge, steel truss, traffic*

LATAR BELAKANG

Di wilayah kabupaten Tegal khususnya di kecamatan Bojong, terdapat beberapa jembatan sebagai sarana transportasi salah satunya adalah jembatan Kaligung Tuwel. Jembatan Kaligung Tuwel ini berada di desa Tuwel kecamatan Bojong yang terletak di daerah dataran tinggi kabupaten Tegal. Jembatan Kaligung Tuwel sendiri merupakan salah satu akses yang menghubungkan daerah Tuwel dengan daerah Bumijawa kabupaten Tegal, dengan karakteristik lalu lintas yang beraneka ragam seperti sepeda motor, angkutan, mobil, bus dan truk tentu jembatan ini sangat strategis untuk kelancaran transportasi. Berdasarkan informasi yang didapatkan dari Tim Teknis Bina marga Provinsi Jawa Tengah diketahui bahwa jembatan kaligung Tuwel ini sudah memasuki tahap penggantian dikarenakan umur rencana yang sudah terlampaui. Disamping itu terdapat adanya beberapa kerusakan yaitu konstruksi lantai jembatan yang hanya menggunakan deplang atau plat kayu kondisinya sudah rusak. Dengan mempertimbangkan aspek dan kondisi tersebut maka sangat perlu untuk dilakukan *penggantian jembatan Kaligung Tuwel*.

BATASAN MASALAH

Ruang lingkup dan batasan masalah yang akan kami bahas dalam Tugas Akhir ini sebagai berikut :

- Perhitungan struktur bangunan atas dan bawah jembatan meliputi :
Bangunan atas : trotoar, *railing*, rangka utama, lantai kendaraan
Bangunan bawah : abutment dan pondasi.
- Rencana anggaran biaya pelaksanaan penggantian jembatan.
- Gambar hasil perhitungan struktur jembatan.

METODOLOGI

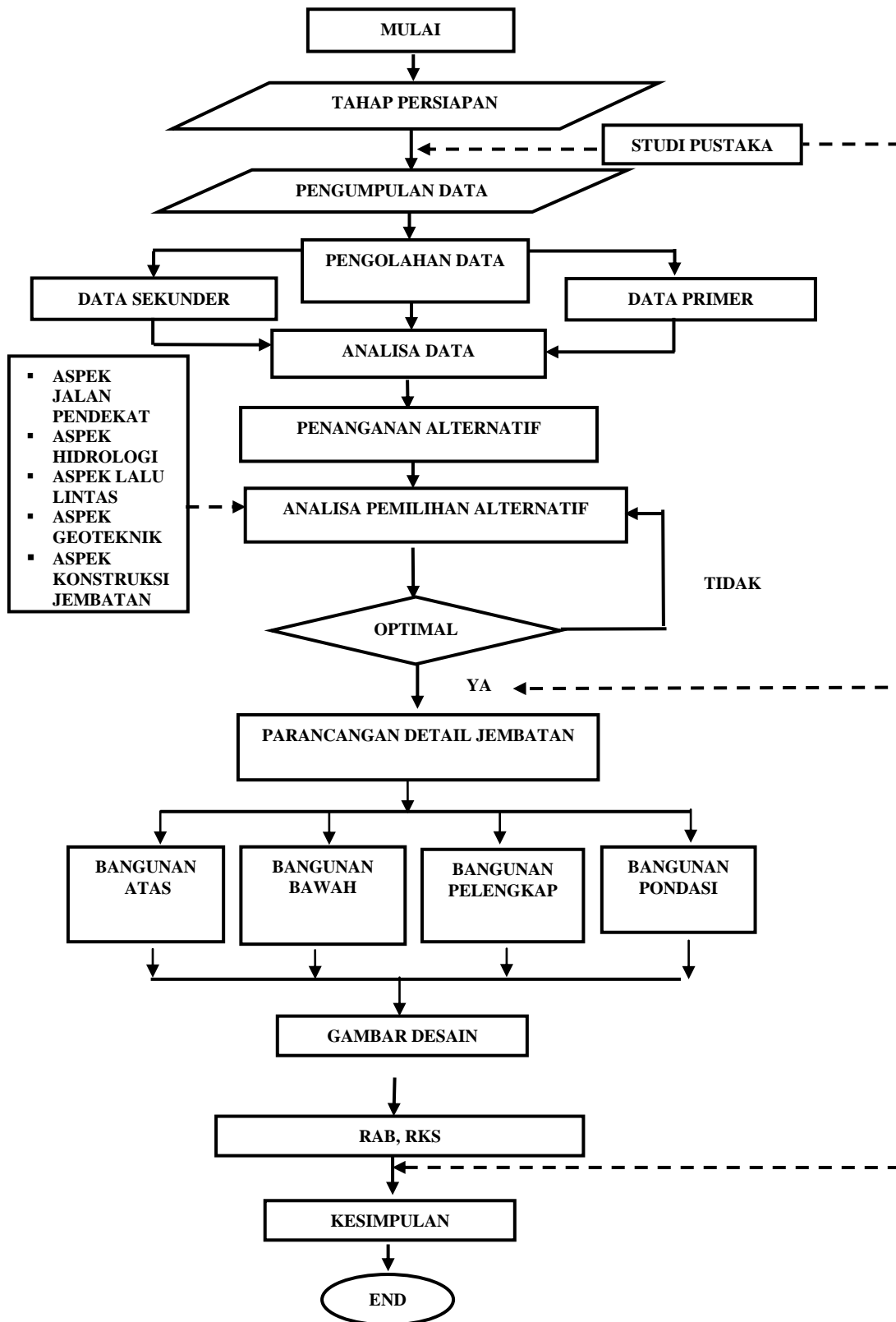
Tahap persiapan merupakan rangkaian kegiatan sebelum memulai pengumpulan dan pengolahan data. Dalam tahap awal ini disusun rangkaian kegiatan dalam penyusunan Tugas Akhir yang tahap kegiatannya terdapat pada Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

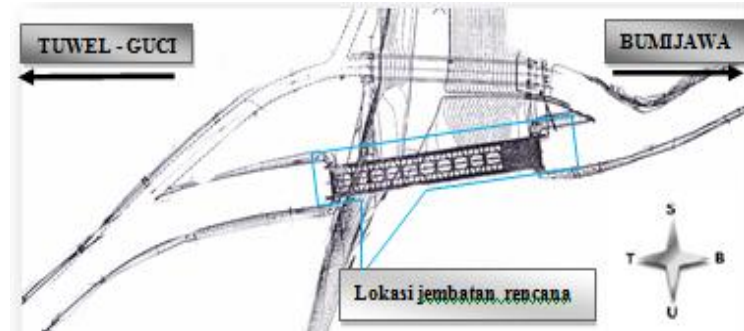
Hasil Analisa Data

Analisa Penentuan Alinyemen

Penentuan ini disesuaikan dengan keadaan topografi, sehingga penggantian jembatan dapat dilakukan semaksimal mungkin. Topografi dapat diartikan sebagai ketinggian suatu tempat dari permukaan air laut sehingga dapat ditentukan elevasi tanah asli, lebar sungai dan bentang efektif jembatan. Berikut alternatif terpilih berdasarkan tingkat kesulitan dalam pelaksanaan, keamanan dan kenyamanan.



Gambar 1. Flowchart Tahapan Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 2. Alinyemen terpilih

Analisa Penentuan Bangunan Atas

Dengan mengamati dan melihat lokasi proyek yaitu daerah pegunungan, perlu ditentukan kriteria desain yang cocok dengan kondisi tersebut. Bangunan atas yang dipilih yaitu menggunakan Rangka Baja.

Analisa Penentuan Bangunan Bawah

Tipe abutment yang direncanakan dalam penggantian jembatan ini yaitu *Tipe Kantilever*. Penggunaan tipe abutment ini didasarkan pertimbangan akan sisi ekonomis dan memenuhi tuntutan kebutuhan teknis agar dapat mengurangi berat sendiri pangkal yang akan dibebankan pada bagian pondasi.

Analisa Penentuan Pondasi

Dalam penemilihan bentuk pondasi perlu diperhatikan apakah pondasi cocok untuk berbagai keadaan lingkungan. Dari hasil sondir S.1 yang diukur dari permukaan tanah setempat letak tanah keras dengan dinilai $q_c > 150 \text{ kg/cm}^2$ pada kedalaman 3,20 m dan pada pengujian hasil SPT didapat nilai N-SPT pada kedalaman 3,00 sebesar 47 dan pada kedalaman 6,00 m sebesar 53 yang diukur dari muka tanah setempat. Dengan melihat hasil tersebut pondasi yang dapat digunakan adalah jenis pondasi dangkal atau pondasi sumuran.

Analisa Penentuan Lebar Jembatan

Lebar efektif jembatan sangat dipengaruhi oleh besarnya volume lalu-lintas yang ada. Perbandingan volume lalu lintas yang melewati jalur jalan tersebut akan menjadi dasar perancangan geometri jalan dan lebar rencana jembatan. Kinerja lalu lintas diukur berdasarkan perbandingan antara volume lalu lintas dengan kapasitas jalannya atau derajat jenuh (*degree of saturation*). Penentuan lebar lajur kendaraan untuk jembatan ini mengacu pada buku "Peraturan Perencanaan Geometrik Jalan Raya No.13/1970". Pada Jembatan ini lebar lajur yang dipakai sebesar 3,50 m. Jumlah lajur ditentukan oleh perbandingan kapasitas standar dan volume lalu lintas rencana. Analisa kapasitas untuk jalan luar kota ditentukan dengan rumus pada persamaan (1) berikut ini (MKJI, 1997) :

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{SP} \times FC_{SF} \times FC_{CS} \quad (1)$$

Tabel 1. Perhitungan Derajat Kejenuhan (DS)

Tahun	Unit Tahun	LHR	VJP	C	DS	Keterangan
2014	6	5.237	471.3588	2900	0.162538	Layak
2015	7	5.411	486.9486	2900	0.167913	Layak
2016	8	5.584	502.5384	2900	0.173289	Layak
2017	9	5.757	518.1282	2900	0.178665	Layak
2018	10	5.930	533.718	2900	0.184041	Layak
2019	11	6.103	549.3078	2900	0.189416	Layak
2020	12	6.277	564.8976	2900	0.194792	Layak
2021	13	6.450	580.4874	2900	0.200168	Layak
2022	14	6.623	596.0772	2900	0.205544	Layak
2023	15	6.796	611.667	2900	0.21092	Layak
2024	16	6.970	627.2568	2900	0.216295	Layak
2025	17	7.143	642.8466	2900	0.221671	Layak
2026	18	7.316	658.4364	2900	0.227047	Layak
2027	19	7.489	674.0262	2900	0.232423	Layak
2028	20	7.662	689.616	2900	0.237799	Layak
2029	21	7.836	705.2058	2900	0.243174	Layak
2030	22	8.009	720.7956	2900	0.24855	Layak
2031	23	8.182	736.3854	2900	0.253926	Layak
2032	24	8.355	751.9752	2900	0.259302	Layak
2033	25	8.529	767.565	2900	0.264678	Layak
2034	26	8.702	783.1548	2900	0.270053	Layak

Sumber : Hasil Perhitungan

Analisa Penentuan Tinggi Bebas Jembatan

Pada analisis ini yang dihitung adalah tinggi muka air banjir yang dihasilkan oleh debit banjir rencana 50 tahunan untuk mengetahui pengaruh tinggi muka air banjir rencana yang pada akhirnya dapat diperhitungkan tinggi jagaan (freeboard) dan tinggi jembatan itu sendiri.

- Debit banjir rencana (Qr) = 3.219,4 m³/det
- Kemiringan dasar (i) = 0,0065
- Panjang aliran Sungai (L) = 89.400 m
- Lebar Sungai (B) = 8 m
- Elevasi tertinggi pangkal jembatan = +886 m dpl
- Elevasi dasar sungai = +860,37 m dpl
- H = 886 dpl - 860,37 dpl = 25,63 m

Perhitungan muka air banjir (MAB) dapat diketahui dengan persamaan (4) berikut ini (Suripin,2004).

$$\begin{aligned}
 Q_{50} &= \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} * A, \quad 3.219,4 \tag{4} \\
 &= \frac{1}{0,017} * \frac{(8+10h)h}{8+2h\sqrt{1^2+10^2}}^{\frac{2}{3}} * 0,011^{\frac{1}{2}} * (8+10h)h = 8,625m
 \end{aligned}$$

Maka didapatkan Tinggi bebas jembatan = (H – MAB) = 25,63 - 8,625 = 17,005 m

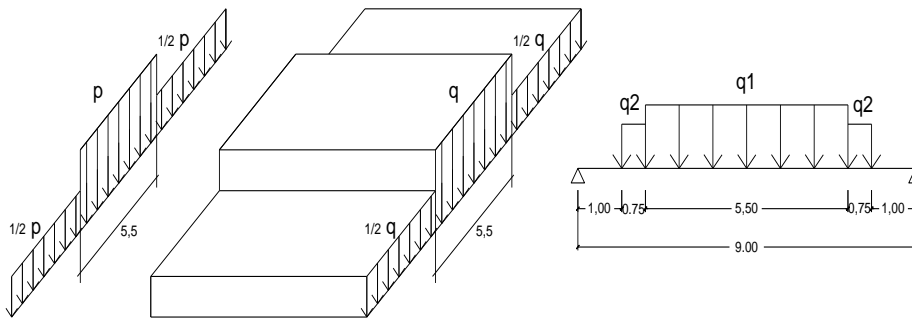
Perhitungan Konstruksi

Data teknis untuk jembatan Kaligung Tuwel sebagai berikut :

- Konstruksi = Jembatan rangka baja
- Bentang = 70 m
- Konstruksi Atas Jembatan :
 - Lebar perkerasan jembatan = 2 x 3,50 m
 - Lebar trotoar jembatan = 2 x 1,00 m
 - Lebar Jembatan = 9 m
- Konstruksi Bawah Jembatan :
 - Abutment = Beton bertulang
 - Tipe pondasi = Sumuran

Perhitungan Pembebanan

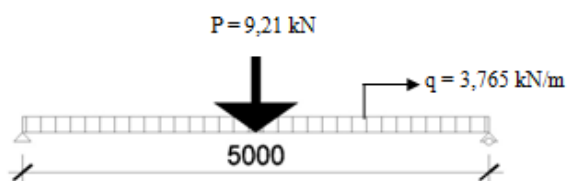
Berdasarkan RSNI T-02 2005 pembebanan pada jembatan terdiri dari: Beban berat sendiri (beban mati), beban mati tambahan, beban truk "T", beban lajur "D", beban akibat Gaya rem, beban pejalan kaki, dan beban angin.



Gambar 3. Pemodelan pembebanan

Perhitungan Struktur Atas

Perhitungan struktur atas mencakup perhitungan pelat lantai, balok pembagi (*stringer*), balok melintang (*cross girder*), balok utama (*main beam*), penggantung (*hanger*), rusuk pelengkung (*arch rib*), ikatan angin atas, dan ikatan angin bawah. Perhitungan pelat lantai dilakukan dengan membuat pemodelan segmen pelat lantai yang dibebani beban roda truk (beban "T") untuk mendapatkan gaya dalam yang maksimum, kemudian didapatkan besarnya tulangan dan jarak antar tulangan untuk pelat lantai pada arah memanjang dan melintang. Perhitungan balok pembagi (*stringer*) dilakukan dengan menentukan beban yang bekerja pada balok ditunjukkan pada gambar 3.

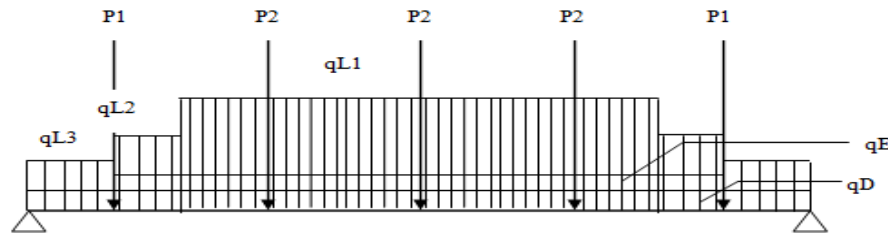


Gambar 4. Pemodelan pembebanan plat lantai

Setelah membuat model pembebanan pada balok pembagi, kemudian dicari gaya dalamnya untuk mendapatkan Momen dan gaya lintang maksimum. Pendimensionian balok pembagi dilakukan dengan mengontrol kapasitas penampang terhadap kapasitas lentur, kapasitas geser dan interaksi gaya geser dengan lentur untuk memastikan kekuatan penampang tersebut. Perhitungan balok melintang (*cross girder*) dilakukan secara perhitungan balok komposit dengan asumsi gaya geser tersalurkan dengan shear connector.

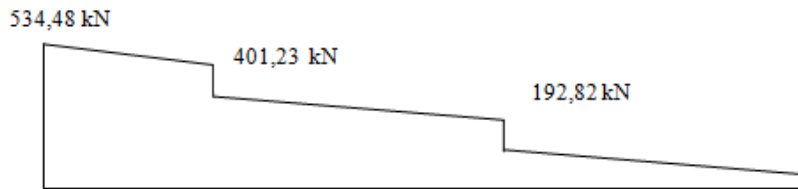
Perhitungan Shear Connector

Shear Connector digunakan untuk menahan gaya geser memanjang yang terjadi pada bidang pertemuan antara pelat beton dengan balok baja.



Gambar 5. Pemodelan gaya lintang

Untuk P1 dan P2 adalah beban mati terpusat pada kondisi pra komposit dan post komposit. Pembebanan *Shear Connector* ditambahkan dengan beban gelagar melintang, beban hidup dan beban trotoar terlihat pada Gambar 5 sebagai berikut :



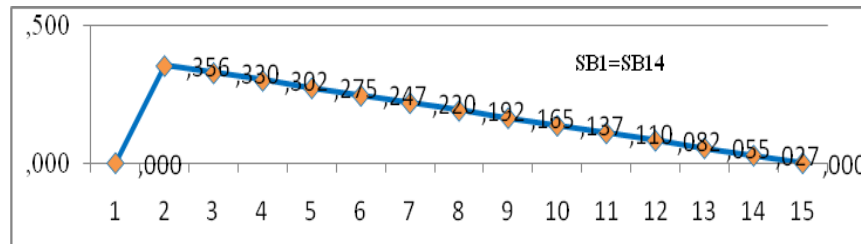
Gambar 6. Tegangan Geser Gelagar Melintang

Perencanaan Rangka Induk

Rangka induk direncanakan menggunakan profil baja dengan spesifikasi :

- G memanjang = IWF 350.175.7.11- 49,6 kg/m
- G melintang = IWF 708.302.15.28-215 kg/m
- Rangka utama = IWF 428.407.20.35-283 kg/cm

Pada Perhitungan pembebanan, beban diasumsikan beban antara rangka induk ditahan masing masing setengahnya oleh rangka induk. Pengaruh pendistribusian beban mati pada rangka induk meliputi beban gelagar melintang, gelagar memanjang, beban plat beton, beban lapis perkerasan, beban trotoar, beban air hujan, beban sandaran dan beban ikatan angin serta ikatan angin atas. Pembebanan beban hidup sendiri dihitung dengan pemodelan pada SAP 2000 dengan menggunakan beban berjalan terlihat pada keluaran SAP.2000 pada Gambar 6 berikut ini :

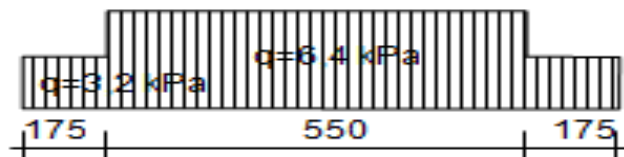


Gambar 7. Output SAP 2000 garis pengaruh

Untuk selanjutnya dapat dilakukan pendimensian untuk setiap batang diagonal serta perhitungan sambungan. Untuk sambungan rangka utama digunakan sambungan baut dan Sambungan gelagar melintang dengan rangka utama direncanakan menggunakan pelat penyambung dengan tebal 20 mm yang dilas pada ujung gelagar melintang.

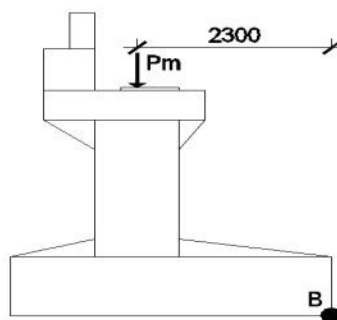
Perhitungan Struktur Bawah.

Perhitungan struktur bawah mencakup perhitungan pelat injak, perhitungan abutmen, dan perhitungan pondasi tiang pancang. Perhitungan pelat injak dilakukan dengan menganalisa beban yang bekerja untuk mengetahui gaya dalam yang bekerja pada pelat injak.



Gambar 8. Pemodelan pembebanan plat injak

Perhitungan abutmen dilakukan dengan menentukan seluruh beban yang bekerja pada abutmen pada arah vertikal dan arah horisontal baik ke arah memanjang sumbu jembatan maupun ke arah tegak lurus terhadap sumbu jembatan.



Gambar 9. Pemodelan akibat Beban Mati

Berdasar hasil *software* "SAP 2000 ver.12" didapatkan reaksi diatas tumpuan sebesar 70,93 ton, dimana satu buah abutment menerima 2 reaksi tumpuan dari 2 rangka baja. Sehingga abutment menerima beban mati sebesar :

$$\begin{aligned}
 P_m &= \text{Joint Reaction} &&= 2 \times 70,93 = 141,86 \text{ ton} \\
 \text{Lengan terhadap B} &&&= 2,3 \text{ m} \\
 M_B &= 2,3 \times 141,86 &&= 323,978 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$

Pendimensian tulangan dan jarak antar tulangan pada bagian-bagian abutmen seperti pada badan abutmen, pelat pemisah, dan konsol penyanggah, maka dilakukan kontrol momen terhadap titik acuan pada lokasi tulangan tersebut. Untuk perhitungan pondasi sumuran diawali dengan perhitungan pembebanan, besarnya beban yang digunakan dalam perhitungan pondasi sumuran diambil dari kombinasi pembebanan yang menghasilkan beban dan momen terbesar. Untuk selanjutnya dapat dilakukan kontrol terhadap tekanan tanah pasif dan daya dukung tanah.

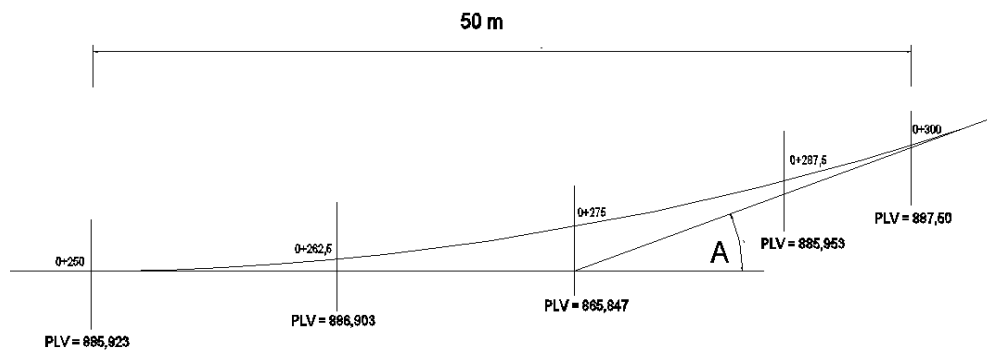
Perencanaan Jalan Pendekat (*Oprit*)

Oprit dibangun agar memberikan kenyamanan saat peralihan dari ruas jalan ke jembatan. Adapun perencanaan oprit sendiri meliputi perencanaan alinyemen vertikal dan horisontal.

Perencanaan Aliyemen Vertikal

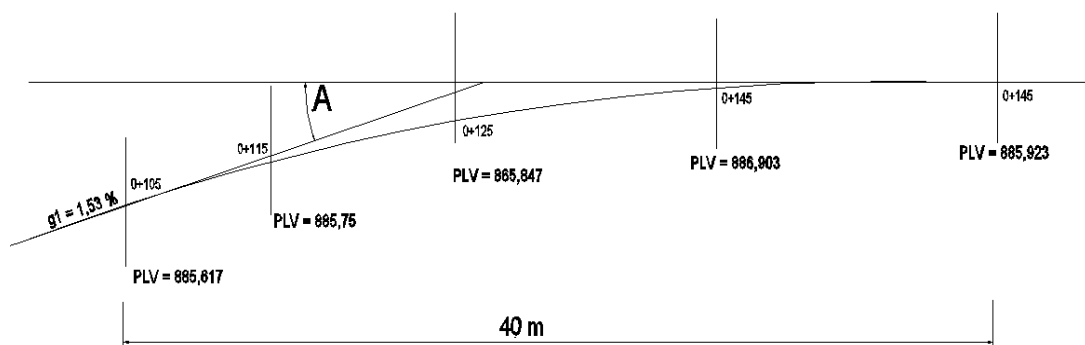
Dalam perencanaan alinyemen vertikal ini direncanakan menggunakan kecepatan 50 km/jam. Besaran kecepatan ini akan dipakai dalam perencanaan alinyemen vertikal yang akan ditentukan berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota 1997, Dirjen Bina Marga. Dari trase jalan yang telah direncanakan terdapat 2 alinyemen vertikal yaitu lengkung :

Pada alinyemen vertikal cekung = STA 0+275, dengan pertimbangan ekonomis maka diambil LV = 50 m. Dapat dilihat pada Gambar 9 sebagai berikut :



Gambar 10. Lengkung Vertikal Cekung

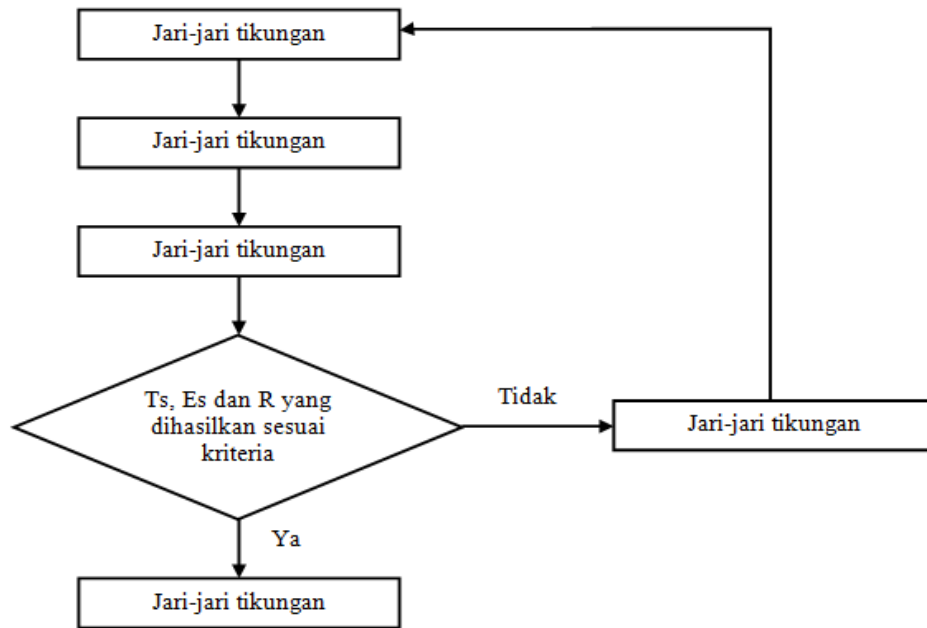
Untuk alinyemen vertikal cembung = STA 0+125, dengan pertimbangan ekonomis maka diambil LV = 40 m. Dapat dilihat pada gambar 10 sebagai berikut :



Gambar 11. Lengkung Vertikal Cembung

Perencanaan Aliyemen Horisontal

Dalam perencanaan alinyemen horisontal ini terdapat tiga kriteria utama sebagai dasar dan kontrol perancangan. Ketiga kriteria tersebut adalah panjang tangen (T) yang tersedia, panjang offset (E) dan jari-jari tikungan (R). proses perancangan tikungan secara umum adalah suatu proses inisiatif dengan penyesuaian jari-jari, sehingga diperoleh nilai T dan E yang sesuai dengan keinginan, seperti dapat dilihat pada gambar 11 sebagai berikut :

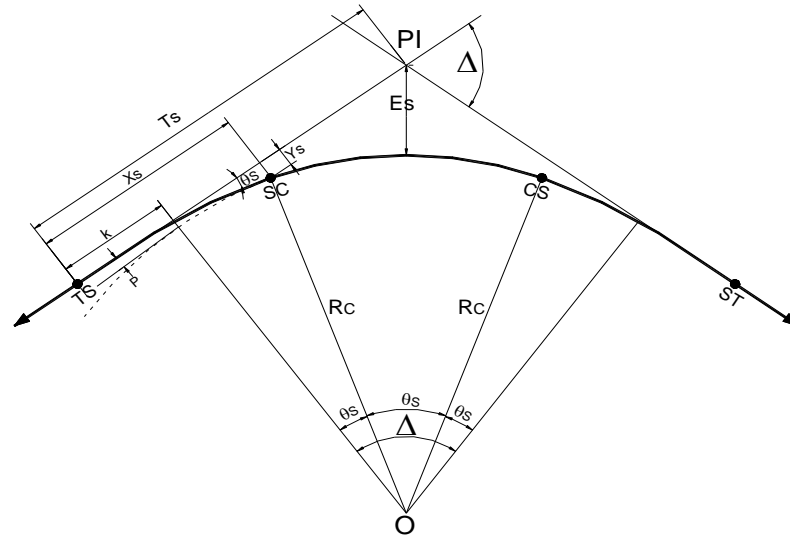


Gambar 12. Bagan Alir Perancangan Alinyemen Horisontal

Ada tiga jenis tikungan yang umum digunakan dalam perancangan geometrik jalan, yaitu tikungan lingkaran penuh (*full circle*), tikungan spiral-lingkaran (*spiral-circle-spiral*) dan tikungan spiral (*spiral-spiral*). Metode yang digunakan adalah metode Bina Marga: Pada STA 0+380, $\Delta_1 = 15^\circ = 165^\circ$, (V_r) : 50 km/jam, e max : 10% = 0,1; (V_r) : 50 km/jam, e max : 10% = 0,1. Untuk kecepatan rencana < 80 km/jam, koefisien gesek perkerasan terlihat pada persamaan (5), (PGJAK, 1997) berikut ini :

$$\begin{aligned}
 f_{max} &= -0,00065 V_r + 0,192 & (5) \\
 &= -0,00065 \times 50 + 0,192 = 0,159 \\
 R_{min} &= \frac{V_r^2}{127 \times (e_{max} + f_m)} \cdot 100 = \frac{50^2}{127 \times (0,1 + f_m)} \\
 f_m &= 0,097
 \end{aligned}$$

Dari tabel superelevasi PGJAK 1997, R = 100 m berada pada range $100 \leq R < 130$, diperoleh e = 9% = 0,09. Berdasar waktu tempuh maksimum didapatkan lengkung peralihan (L_s) sebesar 41,667 m ~ 50 m. Asumsi awal digunakan lengkung *spiral-circle-spiral* (SCS) seperti terlihat pada gambar 12.

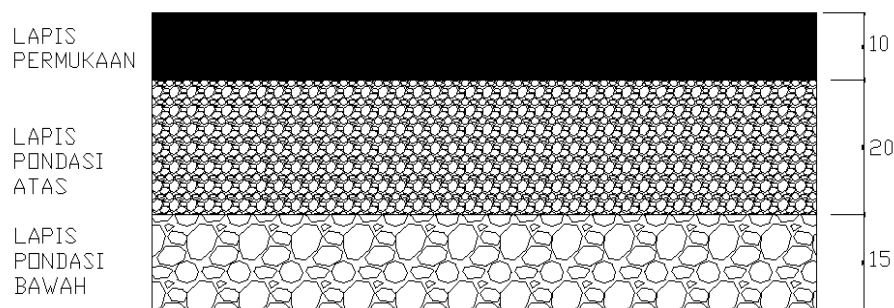


Gambar 13. Diagram Superelevasi Lengkung *Spiral Circle Spiral* (SCS)

Untuk selanjutnya dilakukan pemilihan tipe tikungan. Untuk jenis lengkung horisontal jenis *spiral-spiral* (SS) didapatkan besar nilai panjang total sebesar 100 m.

Perencanaan Perkerasan Jalan

Perencanaan jalan pendekat jembatan Kaligung Tuwel ini menggunakan jenis struktur perkerasan lentur (*flexible pavement*). Perkerasan ini direncanakan untuk jangka waktu 10 tahun dengan pertimbangan akan ada perbaikan pada masa umur rencana. Perencanaan perkerasan ini menggunakan metode Analisa Komponen, SKBI-2.3.26.1987, Departemen Pekerjaan Umum yang berdasarkan pada AASHTO 1972. Untuk struktur lapisan tebal perkerasan lentur terlihat pada Gambar 13 berikut ini :



Gambar 14. Struktur Lapisan Tebal Perkerasan

KESIMPULAN

Dalam proses perancangan struktur jembatan perlu mempertimbangkan faktor-faktor yang sangat menentukan untung rugi proyek tersebut dari berbagai aspek yaitu: kekuatan dan stabilitas struktural, kelayakan, keawetan, kemudahan pelaksanaan, ekonomis, dan bentuk estetika yang baik.

SARAN

Pemilihan metode pelaksanaan dan jenis peralatan yang akan digunakan dalam suatu pekerjaan merupakan faktor penting yang mempengaruhi proses penyelesaian suatu pekerjaan secara cepat dan tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga dan Direktorat Bina Jalan Kota. 1997, "*Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*".
- Departemen Pekerjaan Umum, 2002. "*SNI-03-2847-2002*".
- Departemen Pekerjaan Umum, 2004. "*SNI-T-12-2004*".
- Departemen Pekerjaan Umum, 2005. "*RSNI T-02-2005*".
- Departemen Pekerjaan Umum, 2008. "*SNI-03-2833-2008*".
- AASHTO, 2007. LRFD, "*Bridge Design Specifications*".
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987. "*SKBI-2.3.26.1987*".