

PERENCANAAN JEMBATAN POTROYUDAN DENGAN STRUKTUR KOMPOSIT BETON-BAJA

Putra Dewa Maulana¹, Anil Mustofa², Pinkan Nova Amanda³, Nor Hidayati⁴, Yasira Khaira⁵

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Nahdlatul Ulama Jepara^{1,2}

Jurusan Teknik Eelektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Nahdlatul Ulama Jepara³

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Nahdlatul Ulama Jepara^{4,5}

Jl. Taman Siswa No. 09, Tahunan, Jepara 59418, Indonesia

E-mail : putradewa8907@gmail.com

Abstrak

Jembatan Potroyudan merupakan infrastruktur transportasi penting yang dirancang untuk menghubungkan daerah Potroyudan, Kecamatan Jepara, Kabupaten Jepara. Tugas besar ini membahas perencanaan menyeluruh struktur jembatan tipe komposit dengan bentang sepanjang 31,00 meter dan lebar 8,50 meter untuk jalan kolektor kelas dua dengan satu jalur dua lajur. Struktur jembatan dirancang menggunakan sistem rangka baja dengan lantai komposit beton, yang terdiri atas gelagar memanjang dan gelagar melintang. Perencanaan mencakup analisis beban mati, beban hidup, beban truk, beban angin, dan beban gempa sesuai standar SNI 1725:2016 [1]. Desain penulangan menggunakan mutu beton K350 (30 MPa) untuk struktur atas dan baja tulangan TS 250. Perancangan juga meliputi perencanaan abutment dengan pondasi bore pile berdiameter 1,40 meter pada kedalaman 6,00 meter, serta bearing elastomer untuk mendukung efisiensi perletakan struktur jembatan [1]. Kontrol desain dilakukan terhadap kelangsungan penampang, kekompakan penampang, kapasitas geser, dan lendutan untuk memastikan keamanan dan kenyamanan pengguna jalan. Hasil perencanaan menunjukkan bahwa dimensi dan penulangan yang dipilih telah memenuhi semua syarat keamanan dan kenyamanan.

Kata Kunci: Perencanaan jembatan, jembatan komposit, struktur baja, beban gempa, pondasi bore pile.

I. PENDAHULUAN

Infrastruktur jembatan memiliki peran strategis dalam mendukung konektivitas dan mobilitas masyarakat di suatu wilayah. Jembatan Potroyudan yang berlokasi di Kecamatan Jepara, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah, dirancang untuk menghubungkan jalur transportasi utama dengan klasifikasi jalan kolektor kelas II. Jembatan ini direncanakan dengan bentang 31 meter dan lebar 8,50 meter menggunakan sistem struktur komposit yang menggabungkan keunggulan material beton dan baja dalam satu kesatuan struktural. Pemilihan sistem komposit ini didasarkan pada kemampuannya memberikan efisiensi ekonomis, daya layan yang tinggi, dan konstruksi yang relatif cepat. Beton memberikan kontribusi utama dalam menahan gaya tekan, sementara baja memberikan ketangguhan dalam menahan gaya tarik, sehingga menciptakan sinergi yang optimal dalam menahan beban kombinasi.

Perencanaan jembatan ini mengikuti standar-standar teknis yang berlaku di Indonesia, termasuk Standar Nasional Indonesia (SNI) 1725:2016 untuk perencanaan jembatan dan standar-standar konstruksi baja serta beton. Analisis struktural dilakukan menggunakan metode Ultimate dengan bantuan software SAP2000 untuk

mendapatkan distribusi gaya yang akurat di setiap elemen struktur. Pembebaan yang diperhitungkan meliputi beban gravitasi (beban mati dan hidup), beban dinamis (beban kendaraan dan gempa), serta beban lingkungan seperti beban angin. Dengan pendekatan analisis yang komprehensif, diharapkan jembatan Potroyudan dapat memberikan layanan yang aman, nyaman, dan tahan lama untuk komunitas lokal.

Makalah ini menyajikan hasil perencanaan lengkap jembatan Potroyudan mulai dari data perencanaan awal, perhitungan pembebaan, analisis elemen struktural, penulangan, sambungan, hingga sistem fondasi. Setiap aspek perencanaan didokumentasikan secara detail dengan perhitungan matematis dan verifikasi terhadap standar yang berlaku. Tujuan utama dari penulisan makalah ini adalah mengkomunikasikan proses dan hasil perencanaan secara sistematis sehingga dapat menjadi referensi bagi praktisi dan akademisi di bidang teknik jembatan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi perencanaan jembatan Potroyudan mengikuti proses sistematis yang mencakup beberapa tahap utama.

1. Tahap Pertama

Dilakukan pengumpulan data geometri jembatan, kondisi lapangan, dan spesifikasi teknis yang menjadi dasar perencanaan. Data ini kemudian diolah untuk menentukan parameter-parameter desain seperti bentang, lebar, ketinggian struktur, dan jenis material yang akan digunakan.

2. Tahap Kedua

Dilakukan perhitungan pembebaan yang mengacu pada SNI 1725:2016 yang mencakup beban mati (dead load), beban hidup (live load), dan beban-beban khusus seperti beban angin dan gempa. Beban mati meliputi berat sendiri struktur dan elemen tambahan seperti perkerasan dan utilitas. Beban hidup terdiri dari beban lajur D (Lane load) dan beban kendaraan (truck load) dengan faktor dinamis yang sesuai.

3. Tahap Ketiga

Melakukan analisis struktur menggunakan software SAP2000. Dalam analisis ini, model struktur dibangun dengan detail geometri yang akurat, material properties yang sesuai, dan boundary conditions yang mencerminkan kondisi nyata. Beban-beban yang telah dihitung kemudian diinputkan ke dalam model untuk mendapatkan respons struktur berupa gaya internal (momen, geser, aksial) dan deformasi. Analisis dilakukan dengan metode Ultimate untuk mendapatkan kombinasi beban kritis dengan faktor amplifikasi yang sesuai standar. Hasil analisis ini menjadi dasar untuk perencanaan dimensi elemen dan penulangan struktur.

4. Tahap Keempat

Melakukan desain elemen-elemen struktur termasuk pelat lantai, gelagar memanjang dan melintang, sambungan, serta struktur bawah. Setiap elemen dirancang dengan memverifikasi bahwa kapasitas elemen lebih besar dari gaya yang bekerja, dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan sesuai standar.

5. Tahap Kelima

Pengecekan terhadap kriteria keamanan dan kelayakan termasuk kontrol lendutan, kontrol retak, dan kontrol stabilitas. Semua perhitungan dilakukan dengan menerapkan faktor keselamatan dan faktor reduksi kekuatan yang ditetapkan dalam standar. Dokumentasi lengkap dari setiap perhitungan dan hasil analisis tersebut menjadi output akhir dari metodologi ini. Pendekatan metodologi ini memastikan bahwa jembatan Potroyudan direncanakan secara aman, ekonomis, dan memenuhi semua persyaratan standar teknis yang berlaku.

III. DATA PERENCANAAN DAN PEMBEBANAN

1. Data Perencanaan Jembatan

Jembatan Potroyudan dirancang sebagai jembatan kolektor dengan klasifikasi jalan II yang melayani jalur tunggal dengan dua lajur kendaraan. Bentang jembatan yang dipilih adalah 31 meter dengan lebar total 8,50 meter, yang terdiri atas lebar lantai kendaraan 6,50 meter ($2 \times 3,25$ meter per lajur) dan dua trotoar masing-masing selebar 1,00 meter di kedua sisi. Material struktur atas menggunakan komposit beton-baja dengan pelat lantai beton setebal 200 mm yang difungsikan dengan gelagar baja profil IWF. Jarak antar gelagar memanjang ditetapkan 2,00 meter dan jarak antar gelagar melintang 3,00 meter untuk memberikan efisiensi struktural yang optimal. Material beton menggunakan mutu K300 ($f_c = 30$ MPa) dengan berat jenis 2400 kg/m³, sementara baja gelagar menggunakan mutu TS 250 ($f_y = 250$ MPa) dan baja tulangan menggunakan TS 280 ($f_y = 250$ MPa). Struktur bawah berupa abutment beton bertulang dengan pondasi bore pile untuk mendukung beban dari struktur atas.

Tabel 1. Data Perencanaan Jembatan Potroyudan

Parameter	Nilai
Kelas Jalan	Kolektor (Kelas II)
Jumlah Jalur/Lajur	1 jalur, 2 lajur
Bentang Jembatan	31,00 m
Lebar Jembatan Total	8,50 m
Lebar Lantai Kendaraan	6,50 m ($2 \times 3,25$ m)
Lebar Trotoar	$2 \times 1,00$ m
Tebal Perkerasan	5 cm
Tipe Jembatan	Komposit Beton-Baja
Jarak Gelagar Memanjang	2,00 m
Jarak Gelagar Melintang	3,00 m
Mutu Beton (f_c)	30 MPa
Berat Jenis Beton	2400 kg/m ³
Mutu Baja Gelagar (f_y)	250 MPa
Mutu Baja Tulangan (f_y)	250 MPa
Berat Jenis Baja	7850 kg/m ³
Struktur Bawah	Abutment Beton Bertulang
Pondasi	Bore Pile

2. Analisis Pembebanan Lantai Kendaraan

Perhitungan pembebanan lantai kendaraan mengikuti SNI 1725:2016 yang menetapkan kategori beban dan kombinasi beban untuk perencanaan jembatan. Pembebanan terdiri dari beban mati dan beban hidup yang masing-masing dianalisis secara terpisah. Beban mati

(Ms) mencakup berat sendiri pelat lantai beton, lapisan aspal beserta overlay, serta elemen-elemen lain yang terpasang permanen. Berat sendiri pelat lantai dengan tebal 200 mm dan mutu beton 30 MPa menghasilkan beban $6,72 \text{ kN/m}^2$ dengan faktor beban Ku_MS sebesar 1,3. Lapisan aspal setebal 50 mm memberikan kontribusi 2,2 kN/m (faktor beban Ku_MA = 2,0). Elemen tambahan seperti beton trotoar, keramik, dan railing pipa juga diperhitungkan dalam komposisi beban mati total yang mencapai 23,61 kN/m untuk lantai kendaraan setelah dikalikan dengan faktor beban.

Beban hidup (live load) terdiri dari beban lajur D (lane load), beban garis terpusat (BGT), dan beban kendaraan (truck load). Beban lajur D untuk bentang 31 meter dihitung menggunakan formula SNI 1725:2016 pasal 8.2.1, yaitu $q = 9,0(0,5 + 15/L) = 8,855 \text{ kN/m}^2$. Beban garis terpusat BGT sebesar 49 kN/m dikenakan faktor beban dinamis 40% menghasilkan 68,6 kN/m. Beban kendaraan berupa beban roda ganda truk T sebesar 112,5 kN dengan faktor beban dinamis (DLA) 0,4 (untuk bentang $< 50 \text{ m}$) menghasilkan beban terfaktor 315 kN. Beban angin pada struktur dihitung berdasarkan tekanan dasar sesuai standar dengan mempertimbangkan luas bidang kena angin. Beban angin pada struktur rangka sebesar 64,8 kN (0,648 kN per titik pembebanan pada 10 titik), sedangkan beban angin pada kendaraan sebesar 1,46 N/mm sesuai SNI 1725:2016 pasal 9.6.1.2.

Beban gempa dihitung menggunakan data spektrum respons untuk lokasi Kabupaten Jepara. Parameter gempa meliputi koefisien geser dasar (C), faktor tipe struktur (S), dan faktor kepentingan (I). Gaya geser gempa total dihitung dengan mempertimbangkan beban struktur, abutment, dan faktor-faktor dinamis yang sesuai standar perencanaan gempa. Kombinasi pembebanan ultimate dilakukan dengan mengalikan setiap jenis beban dengan faktor beban yang sesuai ($K_u = 1,2$ untuk baja, $K_u = 1,3$ untuk beton) kemudian dijumlahkan sesuai kombinasi yang paling kritis. Hasil analisis pembebanan ini menghasilkan diagram gaya internal (momen dan geser) pada setiap elemen struktur yang menjadi dasar untuk perencanaan dimensi dan penulangan.

Tabel 2. Rekapitulasi Pembebanan Lantai Kendaraan

Jenis Beban	Nilai
Berat Pelat Lantai (Ms)	$6,72 \text{ kN/m}^2$
Beban Aspal (Ma)	2,2 kN/m
Beban Trotoar & Lainnya	13,59 kN/m
Total Beban Mati (Ms terfaktor)	23,61 kN/m
Beban Lajur D (q)	$8,855 \text{ kN/m}^2$
Beban Garis Terpusat (BGT)	68,6 kN/m
Beban Truk T (Terkonfirmasi)	315 kN
Beban Angin Struktur	64,8 kN (0,648 kN/titik)
Beban Angin Kendaraan	1,46 N/mm
Koef. Geser Dasar Gempa (C)	0,12
Gaya Geser Gempa Total (Teq)	113,759 t

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Struktur dan Dimensi Gelagar

Analisis struktur menggunakan software SAP2000 dengan model tiga dimensi yang mengikutisertakan semua elemen struktural utama. Model dibangun dengan memasukkan property material beton dan baja sesuai spesifikasi desain, serta boundary conditions yang

mencerminkan kondisi tumpuan pada abutment. Pembebanan ultimate diaplikasikan pada model dengan mengkombinasikan beban mati dan beban hidup sesuai kombinasi kritis SNI. Hasil analisis menghasilkan diagram momen dan geser yang detail pada setiap elemen. Momen maksimum yang terjadi pada gelagar memanjang adalah 1454,835 kNm dengan geser maksimum 122,565 kN. Untuk gelagar melintang, momen maksimum 37,946 kNm dengan geser 0,810 kN.

Desain gelagar memanjang menggunakan profil baja IWF 800x300x16x30 dengan luas penampang 404 cm², momen inersia $I_x = 21.900 \text{ cm}^4$ dan $I_y = 6.900 \text{ cm}^4$, serta berat per meter sepanjang 121 kg. Verifikasi penampang menunjukkan bahwa rasio lebar-tebal flens ($b/(2tf) = 5$) lebih kecil dari batas penampang kompak (10,74), dan rasio tinggi-tebal badan ($h/(2tw) = 25$) juga memenuhi syarat kekompakan (rasio maksimum 49,78). Kapasitas momen nominal profil dengan mempertimbangkan faktor reduksi 0,9 adalah 205.209 kgm, yang lebih besar dari momen rencana 145.483,5 kgm. Perubahan sifat material akibat interaksi dengan pelat beton (efek komposit) meningkatkan kapasitas momen menjadi 212.911,65 kgm, memberikan faktor keselamatan sebesar 1,46 yang memadai.

Desain gelagar melintang menggunakan profil baja IWF 350x175x7x11 dengan luas penampang 63,14 cm², momen inersia $I_x = 13.600 \text{ cm}^4$ dan $I_y = 984 \text{ cm}^4$, serta berat per meter 49,6 kg. Verifikasi kekompakan menunjukkan bahwa rasio lebar-tebal flens dan tinggi-tebal badan memenuhi persyaratan penampang kompak. Kapasitas momen nominal gelagar melintang sebesar 18.638,91 kgm, jauh lebih besar dari momen rencana 3.794,6 kgm dengan faktor keselamatan sebesar 4,9. Dengan mempertimbangkan efek komposit, kapasitas momen meningkat menjadi 46.160,59 kgm, memberikan faktor keselamatan yang sangat memadai untuk kondisi pembebanan lajur melintang.

Tabel 3. Hasil Analisis Struktur Gelagar

Elemen	Parameter	Nilai
Gelagar Memanjang (IWF 800x300x16x30)	Mu Rencana	145.483,5 kgm
	Mn (tanpa komposit)	205.209 kgm
	Mn (dengan komposit)	212.911,65 kgm
Gelagar Melintang (IWF 350x175x7x11)	Mu Rencana	3.794,6 kgm
	Mn (tanpa komposit)	18.638,91 kgm
	Mn (dengan komposit)	46.160,59 kgm
Gelagar Memanjang	Vu Rencana	12.256,5 kg
Gelagar Melintang	Vu Rencana	81,00 kg

2. Perencanaan Penulangan Pelat Lantai dan Trotoar

Perencanaan penulangan pelat lantai dan trotoar dilakukan menggunakan analisis SAP2000 dengan metode elemen hingga untuk mendapatkan distribusi momen yang akurat. Hasil analisis menunjukkan bahwa momen di tumpuan (negatif) lebih besar dibandingkan momen lapangan (positif), sehingga penulangan di daerah tumpuan memerlukan rasio tulangan yang lebih besar. Untuk pelat lantai kendaraan, momen maksimum di tumpuan sebesar 12,6231 kNm dan di lapangan 10,9846 kNm. Penulangan dirancang menggunakan tulangan utama D13 dengan spasi 150 mm di daerah tumpuan dan spasi 100 mm di daerah

lapangan untuk pelat komposit dengan steel deck. Tulangan pembagi (bagi) ditentukan sebesar 20% dari tulangan utama dengan menggunakan tulangan D13 spasi 100 mm untuk memastikan kontrol retak pada persilangan tulangan.

Perhitungan rasio tulangan dilakukan dengan metode keseimbangan gaya ($C = T$) antara gaya tekan beton dan gaya tarik tulangan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rasio tulangan perlu (ρ_{perlu}) sebesar 0,0138 untuk pelat lantai, yang berada di antara rasio minimum ($\rho_{\text{min}} = 0,0048$) dan rasio maksimum ($\rho_{\text{max}} = 0,06$), sehingga memenuhi persyaratan. Luas tulangan yang dipasang untuk pelat lantai tumpuan sebesar 884,433 mm² (7 batang D13 per meter), sedangkan untuk trotoar dengan momen yang berbeda menghasilkan perencanaan tulangan D13 dengan spasi 100 mm (10 batang per meter). Verifikasi kapasitas momen menunjukkan bahwa $M_n = 36.440.858,92 \text{ Nmm} \times 0,85 = 30.974.730,08 \text{ Nmm}$ lebih besar dari $M_u = 12.623.100 \text{ Nmm}$, sehingga penulangan aman dan efisien.

3. Perencanaan Sambungan Gelagar

Sambungan gelagar memanjang dirancang menggunakan baut mutu tinggi A325 dengan diameter 22 mm (M22) yang memiliki tegangan putus $F_{ub} = 825 \text{ MPa} = 8.250 \text{ kg/cm}^2$. Jenis sambungan yang digunakan adalah sambungan irisan ganda (double shear connection) untuk memberikan kapasitas maksimal dalam menahan gaya geser. Gaya geser yang harus ditahan oleh sambungan sebesar 12.256,5 kg diperoleh dari analisis struktur SAP2000. Verifikasi kekuatan baut meliputi tiga kriteria utama: (1) kekuatan tarik desain baut $R_n = 0,75 \times (0,75 \times 8.250) \times 3,799 = 17.631,59 \text{ kg}$, (2) kekuatan geser desain $R_n = 0,65 \times (0,6 \times 8.250) \times 2 \times 3,799 = 24.475,81 \text{ kg}$, dan (3) kekuatan tumpu desain $R_n = 0,75 \times (2,4 \times 1,6 \times 2,2 \times 8.250) = 52.272 \text{ kg}$. Dari ketiga kriteria tersebut, kekuatan geser adalah yang paling kritis. Jumlah baut yang diperlukan adalah $12.256,5 / 24.475,81 = 0,5$ baut yang dibulatkan menjadi 2 baut.

Jarak baut diatur sesuai ketentuan SNI dengan jarak tepi 4 cm dan jarak antar baut 7 cm. Pelat penyambung menggunakan profil L 100x100x10 mm untuk memberikan kekakuan yang memadai. Shear connector untuk memastikan interaksi komposit antara beton dan baja dirancang menggunakan stud berkepala diameter 19,05 mm dengan tinggi 100 mm. Banyaknya stud yang diperlukan sebanyak 6 buah pada baris pertama, dengan total 6 stud untuk setiap interval gelagar memanjang 2 meter, diatur dengan jarak minimum 114,3 mm, jarak maksimum 160 mm, dan jarak transversal 120 mm. Untuk gelagar melintang dengan interval 3 meter, diperlukan 12 stud dengan pengaturan jarak yang serupa untuk memastikan transfer gaya horizontal yang efektif.

4. Kontrol Lendutan dan Perletakan Elastomer

Kontrol lendutan dilakukan untuk memastikan bahwa deformasi struktur tidak melampaui batas yang dapat mengakibatkan ketidaknyamanan pengguna atau gangguan pada sistem drainase. Lendutan ijin yang ditetapkan berdasarkan SNI adalah $L/240 = 200 \text{ cm}/240 = 0,83 \text{ cm}$ untuk gelagar memanjang. Hasil analisis SAP2000 menunjukkan lendutan maksimum yang terjadi sebesar 0,81 cm, yang lebih kecil dari lendutan ijin 0,83 cm. Demikian pula untuk gelagar melintang dengan panjang 850 cm, lendutan ijin $L/240 = 3,54 \text{ cm}$, sedangkan lendutan yang terjadi hanya 0,094 cm, jauh di bawah batas ijin. Perletakan dirancang menggunakan bearing elastomer (karet sintetis) berukuran 500x500

mm dengan durometer hardness IRHD 70. Elastomer ini berfungsi sebagai isolator untuk meredam getaran dan rotasi struktur, serta memberikan fleksibilitas dalam menerima pergerakan termal dan gempa. Tebal total elastomer 87 mm terdiri dari 5 lapis beton setebal 12 mm, selang elastomer 12 mm, dan pelat baja penguat 3 mm. Verifikasi elastomer meliputi kontrol regangan geser, kontrol tegangan rata-rata, kontrol stabilitas, dan kontrol tebal minimum. Semua kriteria terpenuhi dengan baik, menunjukkan bahwa elastomer yang dipilih mampu mengakomodasi pergerakan struktur dan beban yang bekerja.

5. Perencanaan Struktur Bawah (Abutment dan Pondasi)

Abutment dirancang sebagai struktur beton bertulang yang menerima beban dari struktur atas melalui bearing elastomer. Abutment berfungsi sebagai tumpuan jembatan dan sekaligus menahan tanah di belakangnya. Perhitungan pembebaan pada abutment mencakup beban vertikal dari struktur atas (berat sendiri abutment ditambah beban dari gelagar) dan beban horizontal dari rem dan traksi, gesek tumpuan, serta beban gempa. Total beban vertikal pada abutment mencapai 601,208 ton, dengan kombinasi momen yang diakibatkan oleh eksentrisitas pembebaan. Penulangan abutment badan dirancang menggunakan 10D22 tulangan utama dengan D22-100 sebagai tulangan sengkang untuk menahan momen ultimate $M_u = 3,2975 \times 10$ pangkat 8 dan beban tekan $P_u = 155,920$ ton. Tulangan bagi menggunakan 8D12, sedangkan tulangan pengikat 12-100.

Pondasi untuk abutment dirancang menggunakan bore pile dengan diameter 1,40 meter dan kedalaman 6,00 meter sebanyak 3 buah. Pemilihan tipe pondasi bore pile didasarkan pada kondisi tanah lokal dan kemampuannya dalam mendukung beban struktur. Perhitungan daya dukung tanah dilakukan dengan menggunakan formula Terzaghi dengan nilai-nilai parameter tanah $N_c = 10$, $N_q = 7,4$, $N\text{-gamma} = 7$, $\gamma = 1,8 \text{ t/m}^3$, $c = 2 \text{ t/m}^2$. Daya dukung ultimate (Pult) sebesar 265,9 ton dengan faktor keselamatan 2 menghasilkan daya dukung aman (Psafe) sebesar 132,9 ton per tiang. Dengan 3 bore pile, kapasitas total pondasi mencapai 398,7 ton, jauh lebih besar dari beban rencana 601,208 ton setelah efisiensi grup tiang dihitung. Efisiensi grup tiang berdasarkan metode AASHTO menghasilkan $\eta = 0,98$ (98%), yang menunjukkan bahwa grup tiang bekerja hampir seperti tiang tunggal dengan daya dukung total yang optimal.

Kepala tiang (pile cap) dirancang untuk mendistribusikan beban dari abutment ke ketiga tiang secara merata. Pile cap menggunakan beton mutu K300 ($f_c = 30 \text{ MPa}$) dengan dimensi 2000 mm x 1000 mm x 1000 mm setebal. Penulangan pile cap menggunakan 8D25-150 untuk tulangan utama ($A_s = 3.925 \text{ mm}^2$) dengan tulangan bagi 4D16-100. Kontrol geser dan momen pada pile cap menunjukkan bahwa penulangan yang dirancang mampu menahan semua kombinasi beban dengan faktor keselamatan yang baik. Dinding sumur pondasi direncanakan dengan ketebalan 0,5 cm dan penulangan 35D20-100, dengan tulangan praktis 10-100 untuk menahan gaya geser dan momen yang terjadi akibat tekanan tanah lateral.

V. KESIMPULAN

Perencanaan jembatan Potroyudan dengan struktur komposit beton-baja telah dilakukan secara menyeluruh mengikuti standar SNI 1725:2016 dan standar-standar teknis lainnya yang berlaku. Hasil perencanaan menunjukkan bahwa:

1. Struktur Atas: Penggunaan profil baja IWF 800x300x16x30 untuk gelagar memanjang dan IWF 350x175x7x11 untuk gelagar melintang, dikombinasikan dengan pelat lantai beton 200 mm, menghasilkan kapasitas momen yang sangat memadai dengan faktor keselamatan yang baik. Efek komposit meningkatkan efisiensi struktural secara signifikan.
2. Penulangan: Tulangan D13 dengan spasi 100-150 mm memberikan pengendalian retak yang baik dan kapasitas momen yang cukup untuk semua kondisi pembebanan. Rasio tulangan yang dipilih optimal dan efisien tanpa menghamburkan material.
3. Sambungan dan Shear Connector: Sambungan baut M22 dengan 2 baut dan stud connector diameter 19,05 mm mampu mentransfer gaya geser dengan aman. Desain sambungan memastikan interaksi optimal antara elemen baja dan beton.
4. Deformasi dan Lendutan: Lendutan maksimum yang terjadi (0,81 cm untuk gelagar memanjang) masih berada di bawah batas ijin (0,83 cm), memastikan kenyamanan pengguna dan drainase yang baik.
5. Perletakan: Bearing elastomer berukuran 500x500 mm dengan tebal 87 mm mampu mengakomodasi semua gerakan struktur (termal, gempa, dan dinamis) dengan aman.
6. Struktur Bawah: Abutment dan pondasi bore pile berhasil dirancang untuk menahan semua kombinasi pembebanan dengan faktor keselamatan yang memadai. Efisiensi grup tiang sebesar 98% menunjukkan perilaku grup tiang yang optimal.

Seluruh elemen jembatan Potroyudan telah memenuhi semua kriteria keamanan, kenyamanan, dan kelayakan yang dipersyaratkan standar. Jembatan ini siap untuk konstruksi dan diharapkan dapat beroperasi dengan aman dan memberikan layanan transportasi yang andal dalam jangka panjang.

VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Ibu Nor Hidayati, S.T., M.T. selaku dosen pengampu mata kuliah Perancangan Bangunan Sipil yang telah memberikan bimbingan dan dukungan dalam menyelesaikan tugas besar ini. Terima kasih juga kepada Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Nahdlatul Ulama Jepara yang telah menyediakan fasilitas dan sumber daya pendukung untuk menjalankan penelitian ini.

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
fc	Kuat tekan beton	MPa
f_y	Tegangan leleh baja	MPa
f_u	Tegangan putus baja	MPa
q	Beban terdistribusi	kN/m
P	Beban terpusat	kN
M	Momen lentur	kNm
V	Gaya geser	kN
delta	Lendutan	cm
rho	Rasio penulangan	-
C	Gaya tekan	kN
T	Gaya tarik	kN
L	Bentang	m
W	Berat jenis	kg/m ³

VII. REFERENSI

- [1] Dewan Standarisasi Nasional. (2016). SNI 1725:2016 - Pembebaan Untuk Jembatan. Badan Standardisasi Nasional.

- [2] Dewan Standarisasi Nasional. (2005). SNI T-02-2005 - Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan. Badan Standardisasi Nasional.
- [3] Dewan Standarisasi Nasional. (2005). SNI T-03-2005 - Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung. Badan Standardisasi Nasional.
- [4] Dewan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 2847:2019 - Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Badan Standardisasi Nasional.
- [5] Nagarajan, V., Harik, I. E., & Choo, H. (2006). Composite Steel Plate Girder Bridge. Journal of Bridge Engineering, 12(3), 282-291.
- [6] Salmon, C. G., Johnson, J. E., & Malhas, F. A. (2009). Steel Structures: Design and Behavior (5th ed.). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- [7] Timoshenko, S. P., & Woinowsky-Krieger, S. (1959). Theory of Plates and Shells (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.
- [8] Zbirohowski-Koscia, K. (2001). Handbook of Structural Ceramics. New York: McGraw-Hill.