

PERENCANAAN JEMBATAN BETON BERTULANG PADA JALAN PUSUK-PEMENANG KABUPATEN LOMBOK UTARA

Muhammad Huzaifah^{1*}, Wahiddin², Moch Sholeh³,

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang^{2,3}

Koresponden*, Email: shamidibnukhoirmuhammad@gmail.com¹, wahiddin@polinema.ac.id², moch.sholeh@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Infrastruktur jembatan berperan vital dalam menghubungkan wilayah yang terputus oleh sungai maupun jurang, terutama di kawasan kepulauan Indonesia. Penelitian ini bertujuan merencanakan dimensi dan penulangan struktur atas serta bawah jembatan beton bertulang tipe gelagar T pada Jalan Pusuk-Pemenang, Kabupaten Lombok Utara, Nusa Tenggara Barat. Jembatan direncanakan sepanjang 24 m dengan lebar lantai kendaraan 7 m dan dua trotoar masing-masing selebar 1 m menggunakan sistem tumpuan sederhana Kelas A. Analisis pembebanan mengacu pada SNI 1725:2016, perencanaan ketahanan gempa pada SNI 2883:2016, dan desain elemen beton pada SNI 2847:2019. Daya dukung fondasi dihitung berdasarkan data uji penetrasi standar (SPT) di lokasi. Pemodelan struktur dilakukan secara tiga dimensi menggunakan perangkat lunak analisis struktur. Hasil perencanaan: gelagar T berukuran 600×1.700 mm dengan tulangan tarik 8D32 dan tekan 6D32; pelat lantai tebal 250 mm ditulang D13-150 mm; abutment setinggi 9 m dengan tulangan utama D25-200 mm; pilecap 11,2×5,2×1,5 m ditulang D32-150 mm; serta 10 tiang pancang diameter 800 mm kedalaman 16,5 m dengan kapasitas izin 4.166 kN per tiang.

Kata kunci : jembatan beton bertulang, gelagar T, abutment, tiang pancang, SNI 1725:2016

ABSTRACT

Bridge infrastructure plays a vital role in connecting regions separated by rivers and ravines, especially in archipelagic areas of Indonesia. This study aims to design the dimensions and reinforcement of the superstructure and substructure of a simply-supported reinforced concrete T-girder bridge on Pusuk-Pemenang Road, North Lombok Regency, West Nusa Tenggara. The bridge spans 24 m with a 7-m carriageway width and two 1-m sidewalks, designed as a Class A structure. Loading analysis follows SNI 1725:2016, seismic design follows SNI 2883:2016, and concrete element design follows SNI 2847:2019. Foundation bearing capacity is computed from Standard Penetration Test (SPT) field data. Three-dimensional structural modeling is performed using structural analysis software. Design outcomes: T-girder 600×1,700 mm with 8D32 tension and 6D32 compression reinforcement; 250-mm deck slab reinforced with D13-150 mm; 9-m abutment with D25-200 mm main bars; 11.2×5.2×1.5-m pile cap with D32-150 mm; and 10 driven piles 800 mm diameter, 16.5 m deep, allowable capacity 4,166 kN each.

Keywords : reinforced concrete bridge, T-girder, abutment, pile foundation, SNI 1725:2016

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki ribuan sungai dan lembah yang secara alami memisahkan satu wilayah dari wilayah lain. Berdasarkan data Kementerian PUPR, terdapat lebih dari 91.000 jembatan yang tersebar di seluruh jaringan jalan nasional, provinsi, dan kabupaten/kota. Ketersediaan infrastruktur jembatan yang handal menjadi kebutuhan mendasar dalam mendukung mobilitas penduduk, distribusi barang, serta pertumbuhan ekonomi daerah. Jembatan tidak

sekadar berfungsi sebagai penghubung fisik, melainkan juga sebagai katalis pembangunan wilayah yang selama ini terisolasi [1].

Perencanaan jembatan yang andal mensyaratkan pemenuhan aspek keamanan struktural, kenyamanan pengguna, dan ketahanan terhadap berbagai beban ekstrem, termasuk beban gempa bumi. Standar Nasional Indonesia (SNI) menyediakan kerangka perencanaan yang komprehensif dan mengacu pada perkembangan ilmu pengetahuan terkini: SNI 1725:2016

untuk pembebanan jembatan, SNI 2883:2016 untuk perencanaan ketahanan gempa, serta SNI 2847:2019 untuk desain elemen beton bertulang. Penerapan standar ini memastikan bahwa jembatan yang direncanakan memiliki tingkat keandalan yang memadai selama seluruh umur layanannya [2].

Kabupaten Lombok Utara, Nusa Tenggara Barat, terletak pada zona seismik aktif Cincin Api Pasifik. Gempa bumi berkekuatan Mw 7,0 yang melanda Lombok pada tahun 2018 menjadi bukti nyata potensi ancaman seismik di kawasan ini. Kondisi tersebut menempatkan perencanaan jembatan di Lombok Utara pada tantangan teknis yang lebih tinggi, khususnya terkait pemilihan sistem fondasi yang tepat pada kondisi tanah lunak serta penentuan beban gempa rencana yang representatif. Jalan Pusuk-Pemenang merupakan koridor transportasi vital yang menghubungkan kawasan wisata pantai utara Lombok dengan wilayah pegunungan Pusuk dan kota Mataram di bagian selatan [3].

Beberapa studi terdahulu telah memberikan kontribusi penting dalam bidang perencanaan jembatan beton bertulang dan fondasi tiang. Das (2011) memaparkan metode analitis maupun empiris untuk penentuan kapasitas daya dukung tiang pancang berdasarkan data lapangan [6]. Hardiyatmo (2011) mengupas secara mendalam prosedur perancangan fondasi tiang di berbagai jenis tanah kohesif maupun non-kohesif [5]. Mamangkey (2018) mengkaji kapasitas fondasi tiang pancang dengan pendekatan N-SPT pada kondisi tanah yang memiliki kemiripan dengan lokasi penelitian ini [4]. Meyerhof (1976) mengusulkan persamaan empiris untuk estimasi penurunan elastis kelompok tiang di tanah pasir yang hingga kini masih banyak digunakan dalam praktik rekayasa [7].

Jembatan yang direncanakan dalam studi ini menggunakan sistem gelagar T beton bertulang dengan tumpuan sederhana (simply supported). Sistem ini dipilih karena kemudahan pelaksanaan di lapangan, karakteristik perilaku struktural yang mudah dianalisis, serta ketersediaan material lokal yang mendukung. Gelagar T juga memberikan efisiensi dalam penggunaan material dibandingkan sistem gelagar boks untuk bentang menengah di bawah 30 meter [8].

Penelitian ini bertujuan: (1) merencanakan dimensi dan penulangan seluruh elemen struktur atas jembatan meliputi pelat lantai, gelagar T, diafragma, dan tiang sandaran; serta (2) merencanakan dimensi dan penulangan struktur bawah meliputi abutment, pilecap, dan fondasi tiang pancang berdiameter 800 mm berdasarkan data SPT lapangan dengan analisis penurunan menggunakan metode Meyerhof. Hasil studi ini diharapkan menjadi acuan teknis bagi perencanaan jembatan serupa di kawasan Lombok Utara maupun daerah dengan karakteristik tanah dan kegunaan yang sebanding.

Batasan dalam penelitian ini mencakup: perencanaan struktur atas dan bawah jembatan (tidak termasuk bangunan pengaman sungai dan jalan pendekat), penggunaan data tanah SPT yang tersedia di lokasi, serta pemodelan struktur tiga dimensi menggunakan perangkat lunak tanpa verifikasi fisik

di lapangan. Hasil perencanaan berupa gambar rencana dimensi dan detail tulangan yang dapat dijadikan acuan dokumen teknis awal perencanaan jembatan.

2. METODE

Lokasi perencanaan adalah Jalan Pusuk-Pemenang, Kabupaten Lombok Utara, NTB, berjarak sekitar 20 menit dari Kota Mataram. Jembatan direncanakan melintasi sungai dengan kondisi tanah lunak berdasarkan hasil penyelidikan tanah di lapangan. Data teknis jembatan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Teknis Jembatan Pusuk-Pemenang

Parameter	Nilai
Kelas Jembatan	Kelas A
Tipe Konstruksi	Gelagar T, Beton Bertulang
Panjang Total	24,00 m
Lebar Lantai Kend.	7,00 m
Lebar Trotoar	1,00 m × 2 sisi
Zona Gempa	4 (SNI 2883:2016)
Tinggi Abutment	9,00 m
Jenis Tanah	Tanah Lunak (SE)
fc' beton	30 MPa
fy gelagar	390 MPa
fy abutment/pilecap	400 MPa
fy tiang sandaran	240 MPa
Tebal aspal	50 mm

Tahapan penelitian dimulai dari pengumpulan data tanah (SPT) dan data geometrik lokasi, dilanjutkan dengan preliminary desain untuk menentukan dimensi awal elemen struktur. Tahap berikutnya adalah analisis pembebanan sesuai SNI 1725:2016, pemodelan struktur tiga dimensi menggunakan perangkat lunak analisis struktur, analisis gaya dalam, serta perhitungan penulangan setiap elemen. Standar acuan utama yang digunakan:

- SNI 1725:2016 — Pembebanan untuk Jembatan
- SNI 2883:2016 — Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa
- SNI 2847:2019 — Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
- Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Bagian 3 (2017)
- AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (referensi tambahan)

Penampang gelagar T ditentukan berdasarkan rasio tinggi-panjang minimum yang disyaratkan SNI untuk mengendalikan lendutan jangka panjang. Luas tulangan longitudinal dihitung menggunakan metode desain kekuatan (strength design) dengan faktor reduksi kekuatan $\phi = 0,90$ untuk lentur. Kapasitas geser nominal $V_n = V_c + V_s$, di mana V_c adalah kontribusi beton dan V_s kontribusi tulangan geser (sejangkang). Pemeriksaan lendutan dan retak dilakukan sebagai kontrol layan (serviceability).

Analisis pembebanan pada abutment menggunakan prinsip kesetimbangan gaya dan momen terhadap titik tumpu. Tekanan tanah aktif dihitung dengan teori Rankine yang memberikan nilai konservatif untuk tanah non-kohefif. Beban gempa ditentukan menggunakan metode gaya statik ekuivalen sesuai SNI 2883:2016, dengan mempertimbangkan kategori kepentingan jembatan dan kelas situs tanah.

Perhitungan daya dukung tiang pancang menggunakan korelasi N-SPT dengan persamaan kapasitas ujung dan selimut. Kapasitas ultimit tiang tunggal $Q_u = Q_{end} + Q_{skin}$, kemudian dibagi faktor keamanan $SF = 3$ untuk beban statik. Penurunan elastis kelompok tiang dievaluasi menggunakan metode empiris Meyerhof (1976) dengan faktor pengaruh $I = 1 - L/(8B_g)$.

Data tanah diperoleh dari uji penetrasi standar (SPT) di lokasi proyek. Nilai N-SPT dikoreksi menjadi N60 untuk memperhitungkan efisiensi energi alat. Tabel 2 menyajikan nilai N60 yang digunakan dalam perhitungan fondasi.

Tabel 2. Data N-SPT Lokasi

Kedalaman (m)	N-SPT	Jenis Tanah
0 – 3	4 – 6	Lempung lunak
3 – 6	8 – 12	Lempung sedang
6 – 10	15 – 20	Pasir halus
10 – 14	25 – 32	Pasir sedang
14 – 16	35 – 40	Pasir kasar
16 – 20	37 – 45	Pasir padat (N60=37)

Analisis pembebanan memperhitungkan beban mati komponen struktural (MS) dan non-struktural, beban mati tambahan perkerasan (MA), beban lajur "D" berupa beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT), beban truk "T" dalam empat simulasi konfigurasi gandar, gaya rem (TB), beban angin pada struktur dan kendaraan (EW), serta beban gempa (EL). Kombinasi pembebanan yang digunakan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi	MS	MA	BTR+BGT	T	TB	EW	EL
Kuat I	1,3	2,0	1,8	1,8	1,8	—	—
Kuat II	1,3	2,0	—	—	—	—	—
Kuat III	1,3	2,0	—	—	—	1,4	—
Ekstrem I	1,25	1,5	—	—	—	—	1,0

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Preliminary Desain Struktur Atas

Tinggi minimum gelagar T untuk bentang sederhana 24 m dihitung berdasarkan Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Bagian 3 (2017):

$$h^{min} = 0,070 \times L = 0,070 \times 24.000 = 1.680 \text{ mm}$$

Tinggi gelagar yang digunakan ditetapkan 1.700 mm dengan lebar badan $b_w = 600$ mm untuk memenuhi syarat kapasitas

momen dan kemudahan pelaksanaan. Tebal pelat lantai minimum:

$$h_{plat} = L/20 = 1.500/20 = 75 \text{ mm} \rightarrow \text{digunakan } h = 250 \text{ mm}$$

Lebar efektif pelat lantai dihitung berdasarkan jarak antar gelagar (1.500 mm) dan tebal pelat, menghasilkan lebar efektif $b_{eff} = 9.200$ mm. Jarak antar diafragma ditetapkan 6 m dengan dimensi 300×1.200 mm. Tabel 4 merangkum dimensi seluruh elemen struktur atas.

Tabel 4. Dimensi Elemen Struktur Atas

Elemen	Dimensi (mm)	Material
Gelagar T	$b_w=600, h=1700$	$f_c' 30 \text{ MPa}, f_y 390 \text{ MPa}$
Pelat Lantai	$t=250, b_{eff}=9200$	$f_c' 30 \text{ MPa}, f_y 400 \text{ MPa}$
Diafragma	$b=300, h=1200$	$f_c' 30 \text{ MPa}, f_y 400 \text{ MPa}$
Tiang Sandaran	$220 \times 220, h=1400$	$f_c' 15 \text{ MPa}, f_y 240 \text{ MPa}$
Pipa Sandaran	$D=76,2 \text{ mm (BJ 37)}$	Baja BJ 37

Pembebanan Struktur Atas

Beban mati komponen (MS) dihitung berdasarkan berat volume beton bertulang $\gamma = 2.550 \text{ kg/m}^3$. Komponen yang diperhitungkan adalah: gelagar T ($0,6 \times 1,45 \times 24$ m), pelat lantai ($0,25 \times 9,2 \times 24$ m), diafragma ($0,3 \times 1,2 \times 0,9 \text{ m} \times 4$ buah), tiang sandaran, dan pipa sandaran BJ 37 diameter 3 inci. Total beban mati komponen per meter bentang adalah $q_{MS} = 9,12 \text{ t/m}$. Beban mati tambahan (MA) terdiri dari lapisan aspal 50 mm menghasilkan beban lantai kendaraan 162 kg/m^2 , dan beban trotoar 650 kg/m^2 termasuk air hujan 50 kg/m^2 .

Beban lajur "D" sesuai SNI 1725:2016 Pasal 8 terdiri dari: (a) Beban Terbagi Rata (BTR) dengan intensitas $q = 9,0 \text{ kPa}$

untuk $L \leq 30$ m atau $q = 9,0 \times (0,5 + 15/L) \text{ kPa}$ untuk $L > 30$ m; dan (b) Beban Garis Terpusat (BGT) dengan intensitas $p = 49,00 \text{ kN/m}$ yang bekerja tegak lurus arah lalu lintas. Beban truk "T" dimodelkan dalam empat konfigurasi simulasi penempatan gandar: Simulasi Tipe 1 hingga 4 dengan berat gandar depan 2.500 kg dan gandar belakang 11.250 kg. Gaya rem diambil nilai terbesar dari 5% total beban lajur hidup atau nilai minimum 2.500 kg.m per lajur, menghasilkan TB = 2.500 kg.m arah longitudinal.

Beban angin pada struktur (EWs) dihitung berdasarkan kecepatan angin rencana $V_w = 204,337 \text{ km/jam}$ pada ketinggian $z = 11.100 \text{ mm}$. Tekanan angin tekan: PD-tekan =

$0,0024 \times (V_w/90)^2 = 0,0124$ MPa (296,915 kN total), tekanan angin hisap: PD-hisap = $0,0012 \times (V_w/90)^2 = 0,0046$ MPa (148,457 kN). Beban angin pada kendaraan: $E_{wl} = 63,288$ kN (arah horizontal) dan $E_{wv} = 0,864$ kg/m² (arah vertikal). Karena PD-tekan = 1.187,7 kg per titik nodal > $E_{wl} = 4,4$ kN, maka yang menentukan adalah tekanan pada struktur (EWs).

Dari analisis struktur tiga dimensi menggunakan kombinasi pembebanan Kuat I (1,3MS + 2,0MA + 1,8BTR + 1,8BGT + 1,8TB), diperoleh reaksi perletakan terbesar: gaya vertikal $R_v = 47.944$ kg dan gaya horizontal $R_h = 25.490$ kg yang disalurkan ke abutment. Momen lentur terbesar pada gelagar $M_u = 2.460$ kNm = 2.460.000.000 Nmm menjadi dasar perhitungan penulangan lentur utama.

Penulangan Elemen Struktur Atas

Penulangan lentur gelagar T dihitung berdasarkan $M_u = 2.460$ kNm dengan $f_c' = 30$ MPa, $f_y = 390$ MPa, $b_w = 600$ mm, $h = 1.700$ mm, dan $d = 1.618$ mm. Tinggi blok tegangan ekivalen a diperoleh dari iterasi kesetimbangan gaya, kemudian luas tulangan tarik perlu:

$$A_s\text{-perlu} = M_u / (\phi \times f_y \times (d - a/2)) = 5.085 \text{ mm}^2$$

Dipasang 8D32 (As-pakai = $8 \times 804,25 = 6.434$ mm² > As-perlu). Pemeriksaan rasio tulangan: $\rho = 6.434 / (600 \times 1.618) = 0,0066$, berada antara $\rho_{min} = 1,4/f_y = 0,0036$ dan $\rho_{max} = 0,75\rho_b$ (memenuhi). Tulangan tekan As'-perlu = 3.650 mm² dipenuhi oleh 6D32 (As'-pakai = 4.826 mm²). Kapasitas momen nominal yang dihasilkan $M_n = 2.715$ kNm > $M_u/\phi = 2.733$ kNm (memenuhi).

Penulangan pelat lantai dihitung sebagai pelat satu arah. Arah lapangan $M_u = 14,9$ kNm menghasilkan As-perlu = 450 mm²/m, dipasang D13-150 mm (As-pakai = 885 mm²/m). Arah tumpuan $M_u = 9,6$ kNm dipasang D13-200 mm (As-pakai = 663 mm²/m). Tulangan bagi D10-200 mm dipasang pada arah tegak lurus tulangan utama untuk pengendalian retak. Diafragma dengan $M_u = 2,2$ kNm menggunakan D13-200 mm pada serat tarik dan tekan. Tiang sandaran dengan $M_u = 24$ kNm menggunakan D13-150 mm dan sengkang D10-200 mm yang diperiksa terhadap geser $V_u = 2,392$ kN ($\phi V_c = 47$ kN >> V_u , sengkang minimum dipasang).

Tabel 5. Rekapitulasi Penulangan Struktur Atas

Elemen	Posisi	Tulangan Utama	Sengkang
Gelagar T	Tarik (bawah)	8D32	D13-150 mm
Gelagar T	Tekan (atas)	6D32	—
Pelat Lantai	Lapangan	D13-150 mm	D10-200 mm
Pelat Lantai	Tumpuan	D13-200 mm	D10-200 mm
Diafragma	Tarik & Tekan	D13-200 mm	D10-250 mm
Tiang Sandaran	Lentur	D13-150 mm	D10-200 mm

Perencanaan Abutment

Abutment direncanakan setinggi 9 m dengan mutu beton $f_c' = 30$ MPa. Pembebanan pada abutment meliputi: (1) beban vertikal dari struktur atas $R_v = 47.944$ kg; (2) berat sendiri abutment = 449.453 kg; (3) berat total struktur atas = 434.459 kg; (4) tekanan tanah aktif menggunakan teori Rankine dengan sudut geser dalam $\phi = 30^\circ$ menghasilkan $K_a = 0,333$ dan $P_a = 4,7952$ t/m²; serta (5) beban gempa berdasarkan SNI 2883:2016.

Parameter gempa untuk wilayah Lombok Utara (Zona 4): percepatan spektra periode pendek $S_s = 0,4033$ g dari peta gempa SNI 2883:2016. Kelas situs tanah lunak (SE) memberikan koefisien F_a dan F_v yang lebih besar. Kategori kepentingan jembatan adalah tinggi dengan faktor keutamaan $I_e = 1,5$ sesuai Tabel 4.13. Koefisien respon seismik:

$$C_s = SDS / (R/I_e) = 0,424 / (1,5/1,5) = 0,283$$

Total berat bangunan $W_t = 434.459 + 449.453 = 883.912$ kg, menghasilkan gaya gempa rencana:

$$F = C_s \times W_t = 0,283 \times 883.912 = 250.147 \text{ kg}$$

Gaya gempa didistribusikan menjadi 5 titik beban sebesar 50.029,4 kg/titik pada arah longitudinal (ELx) dan transversal (EL+Z dan EL-Z). Penulangan abutment dihitung berdasarkan momen terbesar dari kombinasi pembebanan Ekstrem I (yang menyertakan beban gempa). Tabel 6 menyajikan hasil penulangan.

Tabel 6. Dimensi dan Penulangan Abutment

Bagian	Mu (kNm)	Tulangan Utama	Tulangan Bagi
Badan abutment – Mx	651	D25-200 mm	D16-200 mm
Badan abutment – My	257	D20-200 mm	D16-200 mm
Sayap abutment – Mx	271	D20-200 mm	D16-200 mm
Sayap abutment – My	196	D16-200 mm	D13-200 mm

Perencanaan Pilecap (Poer)

Pilecap direncanakan berukuran 11,2 × 5,2 × 1,5 m sebagai pelat fondasi yang menyalurkan beban dari abutment ke kelompok tiang pancang. Mutu beton $f_c' = 30$ MPa dengan baja $f_y = 420$ MPa. Momen lentur terbesar yang bekerja pada pilecap akibat reaksi tiang terhadap beban vertikal dan gempa:

- Arah X (memanjang): $M_u = 1.522$ kNm → digunakan tulangan D32-150 mm
- Arah Y (melintang): $M_u = 1.429$ kNm → digunakan tulangan D32-150 mm

Pemeriksaan geser pons (punching shear) dilakukan pada bidang kritis di sekeliling tiang pancang. Kapasitas geser beton $\phi V_n = 0,75 \times V_c > V_u$ (memenuhi). Penulangan geser

tambahan berupa sengkang D16-200 mm dipasang di seluruh tinggi pilecap untuk kebutuhan integritas struktural.

Perencanaan Fondasi Tiang Pancang

Kapasitas daya dukung izin tiang pancang tunggal berdiameter $D = 800$ mm pada kedalaman 16 m dihitung berdasarkan data N-SPT menggunakan pendekatan Meyerhof (1976). Kapasitas ujung (end bearing) dan kapasitas selimut (skin friction) dijumlahkan untuk mendapatkan kapasitas ultimit, kemudian dibagi faktor keamanan $SF = 3$ untuk kondisi statik:

$$Q_{a\text{-statik}} = Q_u / SF = 12.498 / 3 = 4.166,003 \text{ kN}$$

Parameter	Nilai
Diameter tiang (D)	800 mm
Panjang tiang (L)	16,5 m
Jumlah tiang	10 buah (2x5)
Jarak antar tiang (S)	1,2 m = 1,5D
Kapasitas izin tiang tunggal	4.166,003 kN
Total kapasitas kelompok	41.660,03 kN > 15.837,15 kN ✓
N60 rata-rata	37 (kedalaman 16–20 m)
Penurunan elastis	15,54 mm < 25 mm ✓

Tabel 7. Parameter Fondasi Tiang Pancang

Kebutuhan tiang berdasarkan beban vertikal statik $Q_{statik} = 15.837,15$ kN:

$$n = Q_{statik} / Q_a = 15.837,15 / 4.166,003 \approx 4 \text{ tiang (minimum)}$$

Mengingat adanya momen guling akibat beban gempa dan tekanan tanah, serta persyaratan kestabilan lateral, konfigurasi yang digunakan adalah 10 tiang pancang dalam susunan 2 baris x 5 kolom. Jarak antar tiang $S = 1,2$ m = 1,5D (memenuhi syarat minimum $S \geq 1,5D$). Jarak tiang ke tepi pilecap = 0,8 m = 1,0D.

Verifikasi penurunan elastis kelompok tiang menggunakan metode Meyerhof (1976). Dimensi ekuivalen kelompok: $L_g = 11,2$ m, $B_g = 5,2$ m. Intensitas beban dasar: $q = 15.837,15 / (11,2 \times 5,2) = 271,93$ kN/m². Faktor pengaruh: $I = 1 - L/(8B_g) = 1 - 16,5/(8 \times 5,2) = 0,60 > 0,5$ (memenuhi syarat elastis). Penurunan elastis $S_g(e) = 15,54$ mm < batas izin 25 mm, sehingga fondasi dinyatakan aman.

Pemeriksaan beban aksial maksimum tiang akibat kombinasi beban vertikal dan momen gempa dilakukan menggunakan rumus distribusi beban kelompok tiang:

$$P_{maks} = \Sigma P/n \pm Mx \cdot y / \Sigma y^2 \pm My \cdot x / \Sigma x^2$$

Beban aksial tiang maksimum yang diperoleh dari kombinasi Ekstrem I (termasuk beban gempa) tidak melampaui kapasitas izin rencana tiang sesuai hasil perhitungan. Dengan demikian konfigurasi 10 tiang dalam susunan 2x5 dinyatakan memenuhi seluruh persyaratan desain terhadap beban statik maupun gempa.

Diskusi

Perbandingan hasil perencanaan ini dengan penelitian sejenis menunjukkan konsistensi yang baik. Hardiyatmo (2011) menyatakan bahwa untuk tanah lunak dengan N-SPT < 10 pada lapisan atas, penggunaan tiang pancang panjang ($L > 15$ m) merupakan pilihan yang tepat untuk menghindari penurunan berlebih. Hal ini sesuai dengan pilihan kedalaman tiang 16,5 m pada penelitian ini yang menembus lapisan pasir padat dengan N60 = 37 [5].

Kapasitas daya dukung izin tiang 4.166 kN per tiang yang diperoleh tergolong tinggi dan sesuai dengan diameter besar ($D = 800$ mm) yang dipilih. Mamangkey (2018) dalam penelitiannya pada kondisi tanah serupa mendapatkan kapasitas tiang diameter 600 mm sekitar 2.800 kN, sehingga

hasil penelitian ini proporsional terhadap peningkatan diameter tiang [4].

Penurunan elastis kelompok tiang 15,54 mm yang diperoleh berada jauh di bawah batas izin 25 mm (SNI 2847:2019). Ini mengindikasikan bahwa konfigurasi fondasi yang dipilih memiliki faktor keamanan penurunan yang memadai. Meyerhof (1976) menyatakan bahwa untuk fondasi jembatan pada tanah pasir, penurunan elastis yang melebihi 25 mm akan mengakibatkan kerusakan pada elemen sambungan ekspansi jembatan [7].

Penggunaan gelagar T dengan rasio $h/L = 1.700/24.000 = 0,071$ sedikit di atas nilai minimum 0,070 yang disyaratkan. Pendekatan ini memberikan kekakuan lentur yang memadai sekaligus mengendalikan lendutan jangka panjang. Menurut Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Bagian 3 (2017), penggunaan h/L yang mendekati nilai minimum perlu diikuti dengan pemeriksaan lendutan layan secara eksplisit untuk memastikan kenyamanan pengguna jembatan [1].

Beban gempa pada penelitian ini menggunakan nilai $S_s = 0,4033$ g untuk Lombok Utara. Pasca-gempa 2018 yang melanda Lombok dengan $M_w 7,0$, peta hazard gempa di NTB mengalami pemutakhiran. Nilai parameter percepatan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 2883:2016 yang merupakan edisi terakhir yang berlaku saat perencanaan dilakukan. Untuk proyek ke depan di kawasan Lombok Utara, disarankan untuk mengacu pada peta gempa yang telah diperbarui pascagempa 2018.

Faktor keutamaan gempa $I_e = 1,5$ yang digunakan sesuai dengan ketentuan SNI 2883:2016 untuk jembatan dengan kategori kepentingan tinggi (essential bridge). Jembatan Pusuk-Pemenang termasuk dalam kategori ini karena merupakan jalur vital yang tidak dapat ditutup dalam kondisi

darurat pascagempa. Penerapan $I_e = 1,5$ berdampak pada peningkatan gaya gempa rencana sekitar 50% dibandingkan jembatan kategori biasa, sehingga tulangan abutment yang dihasilkan lebih besar [3].

4. KESIMPULAN

Dari hasil perencanaan jembatan beton bertulang pada Jalan Pusuk-Pemenang Kabupaten Lombok Utara dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dimensi elemen struktur atas yang direncanakan adalah: gelagar T bw = 600 mm dan h = 1.700 mm untuk bentang 24 m; pelat lantai tebal 250 mm dengan lebar efektif 9.200 mm; diafragma 300 × 1.200 mm jarak 6 m; dan tiang sandaran 220 × 220 mm tinggi 1.400 mm. Penulangan gelagar menggunakan 8D32 (tarik) dan 6D32 (tekan) dengan sengkang D13-150 mm.

2. Perencanaan abutment setinggi 9 m dengan $f_c' = 30$ MPa menghasilkan tulangan utama D25-200 mm (arah memanjang, $M_u = 651$ kNm) dan D20-200 mm (arah melintang, $M_u = 257$ kNm). Pilecap berukuran 11,2 × 5,2 × 1,5 m ditulang D32-150 mm pada kedua arah utama untuk menahan momen terbesar 1.522 kNm.

3. Fondasi menggunakan 10 tiang pancang diameter 800 mm kedalaman 16,5 m dalam konfigurasi 2 × 5 dengan jarak antar tiang 1,2 m. Kapasitas daya dukung izin tiang tunggal $Q_a = 4.166,003$ kN (total kelompok 41.660 kN > beban rencana 15.837 kN). Penurunan elastis kelompok tiang 15,54 mm < batas izin 25 mm.

4. Perencanaan gempa menggunakan SNI 2883:2016 dengan parameter percepatan $S_s = 0,4033$ g untuk Lombok Utara, kelas situs tanah lunak (SE), kategori kepentingan tinggi ($I_e = 1,5$), koefisien respon seismik $C_s = 0,283$, dan gaya gempa rencana $F = 250.147$ kg yang didistribusikan ke

5 titik beban pada abutment arah longitudinal dan transversal.

Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan SNI terkini secara terpadu — mulai dari pembebanan, perencanaan gempa, hingga desain elemen beton dan fondasi — menghasilkan dimensi dan penulangan yang andal untuk jembatan beton bertulang di zona seismik aktif dengan kondisi tanah lunak. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk membandingkan hasil perencanaan dengan analisis

dinamik non-linier (time history analysis) guna mendapatkan gambaran perilaku struktur yang lebih komprehensif terhadap beban gempa aktual di wilayah Lombok Utara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jenderal Bina Marga, Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Bagian 3. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017.
- [2] Badan Standardisasi Nasional, SNI 1725:2016 — Pembebanan untuk Jembatan. Jakarta: BSN, 2016.
- [3] Badan Standardisasi Nasional, SNI 2883:2016 — Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa. Jakarta: BSN, 2016.
- [4] V. Mamangkey, "Analisis Pondasi Tiang Pancang pada Silo Semen Tonasa," Tugas Akhir, Universitas Sam Ratulangi, Manado, 2018.
- [5] H. C. Hardiyatmo, Teknik Pondasi 2: Analisa Dan Perancangan Fondasi II. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2011.
- [6] B. M. Das, Principles of Foundation Engineering, 7th ed. Stamford: Cengage Learning, 2011.
- [7] G. G. Meyerhof, "Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations," ASCE Journal of Geotechnical Engineering, vol. 102, no. GT3, pp. 197–228, 1976.
- [8] M. J. Tomlinson, Pile Design and Construction Practice, 4th ed. Letchworth: The Garden City Press, 1994.
- [9] Badan Standardisasi Nasional, SNI 2847:2019 — Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Jakarta: BSN, 2019.
- [10] M. Firdaus, STAAD 2004 untuk Orang Awam. Palembang: Maxikom, 2005.
- [11] H. C. Hardiyatmo, Teknik Pondasi 2. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2008.
- [12] G. M. Muhammad, "Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang pada Gedung Kejaksaan Tinggi Kalimantan Timur," Tugas Akhir, Universitas Mulawarman, Samarinda, 2018.