

PERENCANAAN STRUKTUR JEMBATAN KECAMATAN KAMPUNG DURIAN ACEH TAMIANG MENGGUNAKAN METODE PERENCANAAN BERDASARKAN BEBAN DAN KEKUATAN TERFAKTOR

Haikal Fajri¹, Defry Basrin¹, Rajib Muammar², Ari Mulia³

¹⁾ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Samudra, Langsa 24416, Aceh

²⁾ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sains Cut Nyak Dhien, Langsa 24416, Aceh

³⁾ PT. Brina Nusantara Engineering Consultan, Banda Aceh 23243, Aceh

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Dikirim 14 Mei 2019

Direvisi dari 20 Juni 2019

Diterima 30 Juni 2019

Kata Kunci:

Jembatan Beton Bertulang, Beban dan Kekuatan terfaktor, LRFD, Bangunan Atas Jembatan.

ABSTRAK

Jembatan Kampung Durian Kecamatan Rantau Kabupaten Aceh Tamiang merupakan jalur utama perjalanan masyarakat dan pengiriman minyak bumi dari PT Pertamina EP Asset 1 Rantau Field. Jembatan ini bertipe bangunan atas gelagar baja. Hasil pengamatan dilapangan menunjukkan jembatan tersebut membutuhkan penanganan yang serius disebabkan kerusakan pada slab lantai jembatan, girder dan diafragma yang sudah mengalami korosi. Jembatan tersebut diprediksi sudah mencapai masa layan sehingga perlu direncanakan jembatan yang baru menggunakan bahan beton bertulang yang memiliki kuat tekan tinggi, biaya pemeliharaan rendah dan relatif murah dengan tersedianya bahan lokal. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan perencanaan struktur utama jembatan yang terdiri dari slab lantai jembatan, gelagar, dan diafragma menggunakan bahan beton bertulang. Metode yang digunakan adalah perencanaan berdasarkan beban dan kekuatan terfaktor dimana kriteria keamanan harus terpenuhi untuk semua gaya dalam komponen penyusun struktur jembatan. Metode ini merujuk pada RSNI T-12-2004 tentang perencanaan struktur beton untuk jembatan dan standar pembebanan untuk jembatan menggunakan RSNI T-02-2005. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa momen dan gaya geser maksimum akibat beban pada gelagar sebesar 2036,62 kNm dan 587,33 kN. Tulangan lentur dan geser yang dibutuhkan untuk mampu menahan momen dan gaya geser maksimum adalah 20D25 dan 2D13-140. Pada perencanaan diafragma, momen dan gaya geser maksimum akibat beban eksternal sebesar 57,32 kNm dan 158,41 kN. Penulangan yang dibutuhkan untuk memikul besarnya beban tersebut adalah 4D16 untuk tulangan lentur dan 2Ø10-150 untuk penulangan geser. Pada perencanaan slab lantai jembatan diperoleh momen tumpuan dan lapangan maksimum sebesar 64,4 kNm dan 57,063 kNm sehingga digunakan tulangan lentur negatif dan positif D16-140 serta tulangan bagi arah memanjang D13-150. Dengan digunakannya material lokal serta metode yang andal pada perencanaan struktur jembatan ini, diharapkan dapat menjadi masukan bagi stakeholder pengambil kebijakan di kabupaten Aceh Tamiang dalam rencana pembangunan transportasi daerah.

© 2019 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Pendahuluan

Kabupaten Aceh Tamiang secara resmi terbentuk pada april 2002 yang merupakan pemekaran dari kabupaten Aceh Timur. Kabupaten ini memiliki luas wilayah 1.957,05 km² yang terbagi kedalam 12 kecamatan dan 213 kampung [1]. Semakin pesat pertumbuhan kebutuhan arus

transportasi masyarakat di wilayah Kecamatan Rantau Aceh Tamiang tentunya harus didukung oleh pelayanan jembatan yang memiliki kualitas dan durabilitas yang mampu memikul moda transportasi yang melewatinya pada segala kondisi.

Jembatan tipe beton bertulang merupakan jenis jembatan yang memiliki beberapa keunggulan bila

dibandingkan dengan jembatan jenis beton prategang dan jembatan baja. Keunggulan tersebut adalah biaya yang relatif murah dengan tersedianya material lokal, dapat dibentuk dilapangan dengan mudah sesuai keinginan, serta memiliki keawetan terhadap korosi yang tinggi. Penggunaan jembatan beton bertulang ini sudah banyak di aplikasikan tidak hanya pada bangunan atas jembatan seperti girder, diafragma dan pelat lantai [2] [3] tetapi juga pada bangunan bawah seperti pondasi kaisan [4] dan pilar beton bertulang [5]. Selain keunggulan diatas, jembatan beton bertulang juga dapat diperkuat tidak hanya dengan penggunaan bahan polimer khusus [6], akan tetapi teknologi perkuatan juga sudah dilakukan pada jembatan dengan penggunaan prategang eksternal [7].

Metode perencanaan berdasarkan beban dan kekuatan terfaktor atau LRFD (*Load Resistance Factor Design*) merupakan sebuah metode baru setelah ASD (*Allowable Stress Design*). *The American Association Of State Highway And Transportaion Official* (AASHTO) merilis standar penggunaan LRFD pada jembatan pertama sekali pada tahun 1994 [8]. Metode ini jauh lebih andal disebabkan penggunaan konsep statistik dalam mengantisipasi ketidakpastian dari material dan beban [9]. Metode ini sudah berhasil digunakan dalam perencanaan jembatan baik pada jembatan beton bertulang [10], jembatan rangka baja [11], jembatan komposit antara baja sebagai gelagar dan beton sebagai lantai kendaraan [9], jembatan bentang panjang (*long span bridge*) [12] dan bangunan bawah jembatan [13].

Dengan mempertimbangkan keandalan metode tersebut, maka perlu kiranya dilakukan suatu perencanaan jembatan beton bertulang menggunakan metode perencanaan berdasarkan beban dan kekuatan terfaktor (LRFD) pada jembatan yang terletak di Kampung Durian Kecamatan Rantau Aceh Tamiang. Kampung tersebut memiliki jembatan eksisting dengan jenis gelagar baja. Dari hasil pengamatan yang dilakukan, kondisi jembatan tersebut sudah mengalami kerusakan yang serius baik pada bangunan atas dan bangunan bawah sehingga dibutuhkan perbaikan major atau dilakukan pembangunan jembatan yang baru. Jembatan tersebut memiliki panjang bentang 10,8 m dan lebar 6,5 m serta merupakan jalur utama pengiriman minyak bumi dari pabrik PT Pertamina EP Asset 1 Rantau Field yang terletak di jalan Jakarta No.1, Kamp Pertamina, Kecamatan Rantau dengan kapasitas mobil tangki 8.000 - 16.000 liter. Tidak ditemukan data yang akurat mengenai usia jembatan tersebut. Namun dengan memperhatikan kondisi fisik, sepertinya sudah melebihi batas layan jembatan 50 tahun.

Perencanaan struktur jembatan kecamatan Kampong Durian Aceh Tamiang ini menggunakan jenis girder beton bertulang. Sistem pembebanan yang digunakan mengadopsi standar nasional Indonesia RSNI T-02-2005 [14]. Perencanaan struktur beton untuk jembatan menggunakan RSNI T-12-2004 [15].

2. Materi dan Metode

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Kampung Durian Kecamatan Rantau Aceh Tamiang. Jembatan yang diamati merupakan jalur utama pengiriman bahan bakar

2.2 Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini dibagi menjadi data primer dan sekunder. Data primer berupa data kondisi jembatan yang diperoleh dengan cara melakukan survei pengamatan secara langsung di lapangan. Data primer berupa panjang dan lebar jembatan, tinggi muka air normal dan muka air banjir, detail penampang gelagar, diafragma, abutmen, slab, wing wall, approach slab dan pondasi. Sedangkan data sekunder berupa data yang diperoleh dari instansi yang berwenang yaitu Dinas Pekerjaan Umum. Data sekunder yang dikumpulkan adalah gambar detail engineering desain, informasi tahun pembangunan jembatan, studi literatur dan data sondir. Penentuan klasifikasi tanah pada lokasi jembatan merujuk pada standar tata cara perencanaan ketahanan gempa [16] yang diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi tanah [16]

Kelas Situs	Vs (m/detik)	N	Su (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 – 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 – 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 – 350	15 – 50	50 – 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 meter tanah dengan karekteristik sebagai berikut:			
1. Indeks Plastisitas, $PI > 20$			
2. Kadar Air, $w \geq 40 \%$			
3. Kuat Geser (Undrained), $S_u < 25 \text{ kPa}$			
4. N/A = Not Available			

Tabel 2.1 memperlihatkan penentuan kelas situs tanah yang terdiri dari batuan keras hingga tanah lunak dapat diketahui dengan melakukan sedikitnya dua dari tiga pengujian tanah yaitu kecepatan rata-rata gelombang geser

(Vs), tahanan penetrasi standar lapangan rata-rata (N) dan kuat geser niralir rata-rata (Su).

2.3 Pembebanan Jembatan

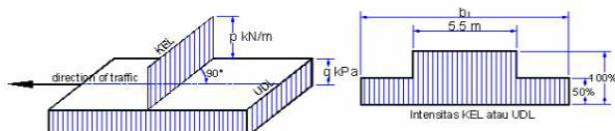
Ketentuan pembebanan jembatan mengacu pada RSNI T-02-2005. Beban yang digunakan pada penelitian ini dibatasi hanya pada beban-beban pada kondisi umum sebagai berikut:

Beban Mati

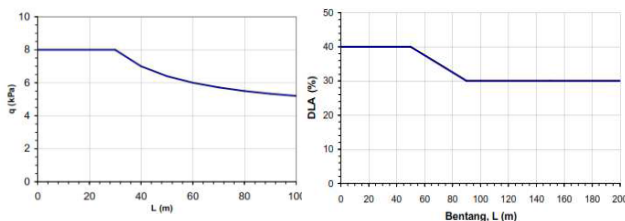
Beban ini terbagi kedalam dua bagian yaitu berat sendiri struktur atas (MS) seperti diafragma, gelagar, dan pelat serta beban mati tambahan (MA) yaitu aspal, air hujan, dan instalasi mekanikal elektrik.

Beban Lajur (TD)

Beban ini terdiri dari beban merata yang digabung dengan beban garis seperti diperlihatkan pada Gambar 2.1. Intensitas beban terbagi rata (q) sangat tergantung pada panjang bentang (L) rencana jembatan seperti pada Gambar 2.



Gambar 1 Penyebaran beban lajur
Sumber: RSNI T-02-2005



Gambar 2. Faktor beban garis (*Knife Edge Load*) dan dinamis (*Dynamic Load Allowance*)
Sumber: RSNI T-02-2005

Beban Truck (TT)

Beban ini diasumsikan dengan truk semi-trailer yang memiliki beban total 500 kN yang didistribusikan kepada masing-masing as roda yang diperlihatkan pada Gambar 3.

Gaya Rem (TB)

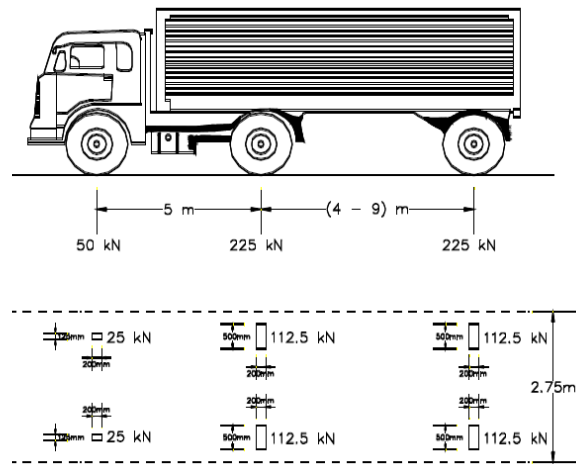
Gaya yang diasumsikan bekerja pada ketinggian 1,8 m di atas permukaan lantai kendaraan dengan arah horisontal sumbu jembatan seperti pada Gambar 4.

Beban Angin (EW)

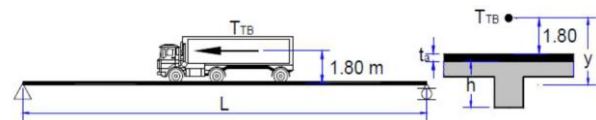
Beban ini dihitung dengan asumsi sebuah kendaraan berada diatas jembatan dengan persamaan (1)

$$T_{EW} = 0,0012 C_w (V_w)^2 A_b \dots\dots\dots(1)$$

dimana C_w adalah koefisien seret, V_w adalah kecepatan angin rencana dan A_b adalah luas ekuivalen bagian samping jembatan. Beban angin diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 3. Pembebanan Truck



Gambar 4. Gaya Rem Kendaraan



Gambar 5. Beban Angin
Sumber: RSNI T-02-2005

Pengaruh Temperatur (ET)

Pemanasan langsung oleh matahari diatas permukaan lantai pada siang hari dan pelepasan kembali diwaktu malam menyebabkan perbedaan temperatur.

Beban Gempa (EQ)

Gaya gempa vertikal pada girder dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal ke bawah minimal sebesar 0.10 g (g = percepatan gravitasi) atau dapat diambil 50% koefisien gempa horizontal statik ekuivalen.

2.4 Alat dan Material

Alat yang digunakan dalam proses pengumpulan data di lapangan terdiri dari theodolit, waterpas, bak ukur, meteran, digital kamera dan pengujian sondir test. Sedangkan material yang digunakan dalam perencanaan jembatan ini terdiri dari beton bertulang dengan berat jenis 25 kN/m³, beton tumbuk 22 kN/m³, aspal beton 22 kN/m³, dan air 1 kN/m³.

2.5 Beban dan Kekuatan Terfaktor

Komponen struktur jembatan dengan perencanaan beban dan kekuatan terfaktor harus memenuhi kriteria keamanan untuk semua jenis gaya dalam. Perencanaan ini dilakukan untuk mengantisipasi suatu kondisi batas ultimit yang terjadi dimana faktor reduksi kekuatan harus dikalikan dengan tiap komponen jembatan seperti diperlihatkan pada persamaan (2).

$$\phi R_n \geq \text{dampak dari } \sum \gamma_i Q_i \quad (2)$$

ϕ = faktor reduksi

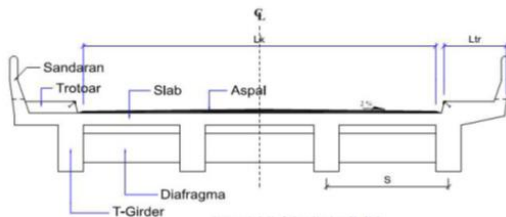
R_n = kekuatan nominal

γ_i = faktor beban

Q_i = jenis beban

2.6 Data perencanaan awal

Seerti yang sudah diuraikan diatas, perencanaan jembatan ini mengacu pada peraturan struktur beton RSNI T-12-2004. Jembatan ini direncanakan menggunakan tumpuan sederhana hanya satu bentang dengan panjang 10,80 m dengan lebar lantai kendaraan 6 m dan jarak antar gelagar adalah 1,5 m. Mutu material yang digunakan adalah K-300 untuk beton sedangkan baja adalah 390 MPa untuk tulangan utama dan 240 Mpa untuk tulangan sengkang.



Gambar 6. Potongan melintang jembatan

Gambar 6 memperlihatkan potongan melintang bangunan atas jembatan yang terdiri dari girder, diafragma, slab, trotoar dan tiang sandaran serta perkerasan aspal pada lantai kendaraan.

Studi ini dibatasi hanya pada perencanaan komponen utama struktur bangunan atas jembatan yaitu pelat lantai (slab), gelagar dan diafragma. Data perencanaan awal komponen struktur bangunan atas tersebut diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data perencanaan awal komponen bangunan atas

Komponen struktur	Geometrik		
	Tinggi (m)	Lebar (m)	Jumlah (buah)
Pelat lantai (Slab)	0,20	1,50	
Gelagar	0,40	0,60	4
Diafragma	0,30	0,45	12

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil yang diperoleh dari perencanaan ini meliputi pembebanan, rekapitulasi beban, perhitungan kebutuhan tulangan lentur dan geser serta kontrol terhadap kapasitas tahanan pada komponen utama struktur jembatan yaitu gelagar, diafragma dan pelat lantai yang diuraikan sebagai berikut:

3.1 Gelagar

Gelagar direncanakan menggunakan data-data seperti pada Tabel 1. Jumlah diafragma pada 1 gelagar (n) adalah 4 buah sedangkan jarak antara balok diafragma (sd) adalah 4,00 m.

Gelagar memiliki ketentuan harus mampu memikul beban kombinasi yang terdiri dari beban sendiri, mati tambahan, lalu lintas, rem, angin, temperatur dan beban gempa. Ada 3 jenis kombinasi beban yang digunakan berdasarkan [17]. Dari ketiga jenis kombinasi tersebut, nilai maksimum digunakan dalam perencanaan. Besaran masing-masing beban diperlihatkan pada Tabel 2. Rekapitulasi momen dan gaya lintang dari keseluruhan beban diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Berat sendiri bangunan dan beban mati tambahan

Beban	Parameter volume			Total (kN/m)
	Tebal (m)	Lebar (m)	Berat satuan (kN/m ³)	
Pelat lantai	0,20	1,50	25,00	7,50
Gelagar	0,40	0,60	25,00	6,00
Diafragma	0,30	0,45	25,00	3,38
Total berat sendiri bangunan atas $Q_{MS} =$				16,88
Aspal	0,10	1,50	22,00	3,30
Instalasi ME			1,00	1,00
Air Hujan	0,05	1,50	9,80	0,74
Total beban mati tambahan $Q_{MA} =$				5,04

Beban mati terdiri dari berat sendiri komponen struktur bangunan seperti pelat, gelagar dan diafragma. Sedangkan beban mati tambahan adalah berat komponen selain berat sendiri yang juga ikut berkontribusi memberikan tambahan beban kepada jembatan.

Tabel 4. Beban lalu lintas

Beban	q	P	$Q_{TD/TT}$ (kN/m)	$P_{TD/TT}$ (kN)
Beban Lajur (TD)	9 KPa	49 kN/m	13,5	102,9
Beban Truck (TT)		112,5 kN		141,75

Beban lalu lintas merupakan beban hidup pada jembatan. Berdasarkan Gambar 2, beban terbagi rata diambil untuk panjang bentang dibawah 30 meter yaitu 9 KPa. Sedangkan beban garis memiliki intensitas besaran sebesar 49 kN/m dan harus diletakkan dalam arah

melintang jembatan. Sedangkan beban truk maksimum berupa beban roda ganda sebesar 112,5 kN seperti pada Gambar 3. Besaran momen dan gaya geser truk dihitung pada tiga kondisi yaitu ketika roda belakang menyentuh jembatan, roda tengah menyentuh tengah jembatan, dan terakhir ketika roda depan menyentuh akhir bentang jembatan. Hasil perhitungan memperlihatkan nilai maksimum terjadi ketika truk berada di tengah jembatan.

Tabel 5. Gaya rem (TB)

Beban	F_{TB}	Jumlah gelagar (N_{girder})	T_{TB} (kN)
Gaya rem (TB)	250 kN	4 buah	62,5

Pengaruh pengereman dari lalu-lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap bekerja pada permukaan lantai jembatan. Besarnya gaya rem berdasarkan RSNI T-02-2005 adalah 250 kN yang didistribusikan pada seluruh gelagar sehingga yang bekerja adalah 62,5 kN.

Tabel 6. Gaya angin (EW)

Beban	C_w	V_w	T_{EW}	Q_{EW}
Gaya angin (EW)	1,20	35 m/s	1,764 kN	1,008 kN/m

Beban garis merata tambahan arah horizontal pada permukaan lantai jembatan akibat angin yang meniup kendaraan di atas jembatan dihitung dengan persamaan (1). Kecepatan angin rencana (V_w) diambil pada nilai ultimit dengan jarak sampai 5 km dari pantai.

Tabel 7. Pengaruh temperatur (ET)

Beban	k (kN/m)	δ (m)	F_{ET} (kN)
Pengaruh temperatur (ET)	15000,00	0,002	35,4

Tabel 8. Beban gempa (EQ)

Beban	W_t	K_v	T_{EQ}	Q_{EQ}
Beban gempa (EQ)	258,54 kN	0,141	36,42 kN	3,09 kN/m

Gaya gempa vertikal pada girder seperti pada Gambar 3.6 dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal ke bawah minimal sebesar $0.10 \cdot g$ (percepatan gravitasi) atau dapat diambil 50% koefisien gempa horisontal statik ekuivalen. Gaya gempa vertikal T_{EQ} merupakan perkalian antara koefisien gempa vertikal (K_v) dengan berat total (W_t). Sedangkan besarnya beban gempa vertikal (Q_{EQ}) adalah gaya gempa dibagi panjang penampang yaitu sebesar 3,09 kN/m.

Tabel 9. Rekapitulasi momen dan gaya lintang

Jenis Beban	M_{maks} (kNm)	D_{maks} (kN)	Faktor beban (maks)	M_{maks} (kNm)	D_{maks} (kN)
Berat sendiri	293,71	99,56	1,3	381,82	129,43
Beban mati tambahan	87,63	29,71	2,0	175,27	59,41
Beban lalu lintas	657,37	183,49	2,0	1314,73	366,99
Gaya rem	71,88	12,18	2,0	143,75	24,36
Beban angin	17,54	5,95	1,2	21,05	7,14
Pengaruh temperatur	14,16	1,20	-	-	-
Beban gempa	53,72	18,21	-	-	-
Total				2036,62	587,33

Tabel 9 memperlihatkan rekapitulasi momen dan gaya lintang akibat seluruh jenis beban yang bekerja pada gelagar. Nilai ini merupakan nilai maksimum dari tiga jenis kombinasi beban. Hasil penjumlahan diperoleh momen dan gaya geser maksimum sebesar 2036,62 kNm dan 587,33 kN.

Dengan diperolehnya nilai momen dan gaya geser maksimum, maka kebutuhan penulangan lentur dan geser dapat dihitung sebagai berikut:

A. Tulangan lentur

Faktor distribusi tegangan beton β_1 adalah 0,85 sehingga besarnya ratio penulangan (ρ_b) adalah 0,0285. Faktor tahanan momen maksimum (R_{max}) adalah $0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y \cdot [1 - 1/2 \cdot 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y / (0,85 \cdot f_c)] = 6,723$. Dengan diketahui faktor reduksi kekuatan lentur ϕ sebesar 0,80 dan tinggi efektif Girder 750,00 mm, maka momen nominal rencana, diperoleh $M_n = M_u / \phi = 2545,781$ kNm dan faktor tahanan momen (R_n) = $M_n \cdot 10^6 / (b \cdot d^2) = 3,01722$.

Rasio tulangan yang diperlukan (ρ) adalah 0,00837 sedangkan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) diperoleh 0,00359. Sehingga digunakan rasio tulangan (ρ) sebesar 0,00837. Dengan mengetahui ratio penulangan, luas tulangan yang diperlukan dapat dicari sebesar $A_s = \rho \cdot b \cdot d = 9415,799$ mm².

Direncanakan menggunakan diameter tulangan D 25 mm, dengan luas penampang (A_{st}) sebesar 490,874 mm². Sehingga jumlah tulangan yang diperlukan (n) adalah 19,18 $\approx$ 20 buah (20 D 25).

Selanjutnya adalah kontrol kapasitas momen ultimit, dimana momen nominal (M_n) dikalikan dengan faktor reduksi $\phi = 0,8$ diperoleh nilai sebesar 2116,09 kNm. Nilai tersebut lebih besar dari momen maksimum (M_{maks}) 2036,62 kNm sehingga memenuhi persyaratan kapasitas momen ultimit.

B. Tulangan geser

Kuat geser nominal (V_c) yang diperoleh adalah 251,90 kN. Faktor reduksi kekuatan untuk tulangan geser (ϕ) sebesar 0,75, sehingga $\phi * V_c$ adalah 188,93 kN. Hasil ini memperlihatkan bahwa kuat geser nominal lebih kecil dari gaya geser maksimum (V_s) = 587,33 kN sehingga tulangan geser diperlukan pada gelagar.

Kontrol dimensi Girder terhadap kuat geser maksimum (V_{smax}) = $2/3 * \sqrt{f_c} * [b * d] * 10^{-3} = 1007,62$ kN. Hasil ini memperlihatkan bahwa $V_s < V_{smax}$, sehingga dimensi balok gelagar memenuhi persyaratan kuat geser. Digunakan sengkang berpenampang 2 D 13 mm dimana luas tulangan geser (A_v) sebesar 265,46 mm² serta jarak tulangan geser (S) = $A_v * f_y * d / V_s = 146,17$ mm, sehingga digunakan sengkang 2D13 - 140.

3.2 Perencanaan Diafragma

Diafragma berperan sebagai konektor transversal yang mendistribusikan gaya-gaya tidak seimbang menjadi seimbang kepada gelagar utama. Diafragma direncanakan menggunakan data-data pada Tabel 1.

Sama halnya seperti gelagar, diafragma juga didesain harus mampu memikul beban sendiri dan mati tambahan. Besarnya beban tersebut diperlihatkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Berat sendiri dan beban mati tambahan

Beban	Parameter volume		Berat satuan (kN/m ³)	Total (kN/m)
	Tebal	Lebar		
Pelat lantai	0,20 m	1,50 m	25,00	7,50
Diafragma	0,30 m	0,45 m	25,00	3,38
Total berat sendiri bangunan atas $Q_{MS} =$				10,88
Aspal	0,10 m	1,50 m	22,00	3,30
Air Hujan	0,05 m	1,50 m	9,80	0,74
Total beban mati tambahan $Q_{MA} =$				4,04

Dari tabel 10 terlihat bahwa berat sendiri bangunan atas Q_{MS} lebih dominan dibandingkan dengan beban mati tambahan Q_{MA} .

Tabel 11. Beban lalu lintas

Beban	q	P	$Q_{TD/TT}$	$P_{TD/TT}$
Beban Truck (TT)		112,5 kN		141,75 kN

Berbeda dengan pembebanan pada gelagar, pembebanan pada diafragma hanya memperhitungkan beban truk yang bekerja yaitu beban roda ganda sebesar 112,5 kN. Sehingga kombinasi beban ultimit diperlihatkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Kombinasi beban ultimit

Jenis Beban	Faktor beban Ultimit	M (kNm)	D (kN)	M_u (kNm)	D_u (kN)
Berat Sendiri (MS)	1,3	2,04	8,156	2,65	10,60
Beban Mati Tambahan (MA)	2,0	0,757	3,03	1,51	6,05
Beban Truck (TT)	2,0	26,578	70,88	53,16	141,75
Total				57,32	158,41

Tabel 12 memperlihatkan rekapitulasi momen dan gaya lintang akibat seluruh jenis beban yang bekerja pada diafragma sebesar $M_u = 57,32$ kNm dan $D_u = 158,41$ kN.

Dengan diperolehnya nilai momen dan gaya geser maksimum, maka kebutuhan penulangan lentur dan geser dapat dihitung sebagai berikut:

A. Tulangan lentur

Besar ratio penulangan diafragma (ρ_b) diperoleh sebesar 0,03325. Faktor tahanan momen maksimum (R_{max}) adalah 7,84636. Faktor reduksi kekuatan lentur ϕ dan tinggi efektif balok adalah 0,80 dan 410,00 mm. Besarnya momen nominal rencana (M_n) adalah 71,65 kNm serta faktor tahanan momen (R_n) diperoleh 1,42079.

Rasio tulangan yang diperlukan (ρ) adalah 0,00375 sedangkan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) sebesar 0,00359 sehingga digunakan rasio tulangan (ρ) sebesar 0,00375. Selanjutnya luas tulangan diperlukan (A_s) dapat diperoleh sebesar 461,509 mm².

Direncanakan menggunakan diameter tulangan D 16 mm, dengan luas penampang tulangan (A_{st}) adalah 201,062 mm². Sehingga jumlah tulangan yang diperlukan (n) adalah $2,30 \approx 4$ buah (4 D 16)

B. Tulangan geser

Kuat geser nominal (V_c) yang diperoleh dari hasil perhitungan adalah 122,44 kN. Nilai ini lebih kecil dari besarnya gaya geser yang terjadi akibat beban V_u sehingga diperlukan tulangan geser pada balok diafragma.

Kuat geser maksimum (V_{smax}) diperoleh sebesar 489,76 kN. Hasil ini memperlihatkan bahwa dimensi balok diafragma memenuhi persyaratan kuat geser. Sehingga digunakan sengkang berpenampang 2 Ø 10 mm dengan luas tulangan geser 157,08 mm² dan jarak tulangan geser (sengkang) yang diperlukan 191,11 mm. Sehingga digunakan tulangan geser 2Ø10 – 150.

3.3 Perencanaan Slab Lantai Jembatan

Slab lantai jembatan direncanakan menggunakan data-data berdasarkan Tabel 1. Tebal genangan air hujan adalah 0,05 m dan tebal lapisan aspal 0,01 m.

Slab lantai jembatan direncanakan agar mampu memikul beban sendiri, beban mati tambahan, beban lalu lintas, beban angin, dan temperatur. Total beban tersebut diperlihatkan pada Tabel 13 sampai 16.

Tabel 13. Berat sendiri dan beban mati tambahan slab

Beban	Parameter volume			Total (kN/m)
	Tebal	Lebar	Berat satuan	
Pelat lantai	0,20 m	1,00 m	25,00 kN/m ³	5,00
Total berat sendiri bangunan atas Q_{MS} =				5,00
Aspal	0,10 m	1,00 m	22,00 kN/m ³	2,20
Air Hujan	0,05 m	1,00 m	9,80 kN/m ³	0,49
Total beban mati tambahan Q_{MA} =				2,69

Tabel 3 memperlihatkan besarnya total berat sendiri bangunan atas Q_{MS} sebesar 5,00 kN/m sedangkan total beban mati tambahan Q_{MA} akibat aspal dan air hujan adalah 2,69 kN/m.

Tabel 14. Beban lalu lintas

Beban	q	P (kN)	$Q_{TD/TT}$	$P_{TD/TT}$
Beban Truck (TT)		112,5		131,63 kN

Beban lalu lintas diasumsikan sebagai beban roda ganda dari sebuah truk sebesar 112,5 kN. Dikarenakan panjang bentang jembatan adalah 10,80 m, maka dilakukan 3 asumsi posisi truk pada badan jembatan yaitu di ujung awal, tengah bentang dan ujung akhir untuk mencari momen maksimum. Sehingga diperoleh besaran momen maksimum yaitu pada tengah bentang yang hasilnya diperlihatkan pada Tabel 17.

Tabel 15. Gaya angin (EW)

Beban	C_w	V_w	T_{EW}	P_{EW}
Gaya angin (EW)	1,20	35 m/s	1,764 kN	1,01 kN

Beban angin dihitung dengan asumsi sebuah kendaraan berada diatas jembatan. Besarnya beban ini dihitung dengan persamaan (1) dengan kecepatan angin rencana sebesar 35 m/s dengan bidang vertikal yang ditiup angin adalah 2 meter diatas jembatan [14].

Tabel 16. Pengaruh temperatur (ET)

Beban	T_{max}	T_{min}	ΔT
Pengaruh temperatur (ET)	40 °C	15 °C	12,50 °C

Perbedaan temperatur ini diakibatkan oleh pemanasan langsung matahari pada siang hari dan pelepasan panas di malam hari. Hal ini dapat mengakibatkan deformasi struktur jembatan.

Tabel 17. Kombinasi beban ultimit

Jenis Beban	Faktor beban Ultimit	M_{tum} (kNm)	M_{lap} (kNm)	$M_{u\ Tum}$ (kNm)	$M_{u\ Lap}$ (kNm)
Berat sendiri (MS)	1,3	0,937	0,469	1,218	0,610
Beban mati tambahan (MA)	2,0	0,630	0,327	1,260	0,654
Beban Truck (TT)	2,0	30,84	27,779	61,679	55,559
Beban angin (EW)	1,0	0,236	0,213	0,236	0,213
Pengaruh temperatur (ET)	1,0	0,006	0,028	0,006	0,028
Total Momen Ultimit Slab, M_u =				64,400	57,063

Tabel 17 merupakan total momen ultimit yang diakibatkan oleh seluruh beban yang bekerja pada slab. Terdapat dua jenis beban kombinasi dan dipilih nilai momen tumpuan dan lapangan yang maksimum.

Dengan diketahuinya nilai momen dan gaya geser maksimum, maka kebutuhan penulangan lentur negatif dan positif dapat dihitung sebagai berikut:

A. Tulangan lentur negatif

Faktor distribusi tegangan beton β_1 adalah 0,85 sehingga diperoleh p_b sebesar 0,02796 dan faktor tahanan momen (R_{max}) sebesar 6,59766. Faktor reduksi kekuatan lentur ϕ berdasarkan SNI adalah 0,80. Sehingga tinggi efektif pelat adalah 165,00 mm. Slab beton ditinjau selebar 1 m sehingga momen nominal rencana (M_n) adalah 80,50 kNm.

Rasio tulangan yang diperlukan (ρ) adalah 0,00820 sementara rasio tulangan minimum (ρ_{min}) adalah $25\% \cdot (1,4/f_y) = 0,00090$. Sehingga rasio tulangan yang digunakan (ρ) adalah 0,00820. Luas tulangan (A_s) yang diperlukan adalah 1353,215 mm².

Asumsi digunakan diameter tulangan D16 mm. Maka jarak tulangan yang diperlukan, $s = \pi/4 \cdot D^2 \cdot b / A_s$ adalah 148,58 mm $\approx$ 140 mm. Sehingga digunakan tulangan D 16 - 140

B. Tulangan lentur positif

Diketahui besarnya momen nominal rencana (M_n) = $M_u / \phi = 71,329$ kNm. Rasio tulangan yang diperlukan (ρ) adalah 0,00719 sedangkan rasio tulangan minimum (ρ_{min}) adalah $25\% \cdot (1,4/f_y) = 0,00090$. Sehingga rasio tulangan yang digunakan (ρ) adalah 0,00719. Luas tulangan diperlukan (A_s) dapat dicari sebesar $\rho \cdot b \cdot d = 1187,149$ mm²

Jika diasumsikan tulangan yang digunakan adalah D16 mm, jarak tulangan yang diperlukan (s) adalah $\pi/4 \cdot D^2 \cdot b / A_s = 169,37$ mm $\approx$ 140 mm. Sehingga digunakan tulangan D16 - 140.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari perencanaan struktur jembatan Kampung Durian Kecamatan Rantau Aceh Tamiang menggunakan metode perencanaan berdasarkan beban dan kekuatan terfaktor adalah sebagai berikut:

1. Jenis jembatan yang direncanakan adalah jembatan beton bertulang gelagar T dengan panjang bentang sebesar 11,80 m dan lebar jembatan 6,5 m.
2. Material yang digunakan adalah beton K-300, baja tulangan utama f_y 390 MPa, dan baja tulangan sengkang f_y 240 MPa.
3. Gelagar menggunakan penulangan lentur 20D25 dan 2D13 untuk penulangan geser. Sedangkan pada diafragma penulangan lentur menggunakan 3D16 dan 2 Ø 10 mm tulangan geser.

4. Slab lantai jembatan direncanakan dengan penulangan lentur negatif dan positif sebesar D16-140.

4.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dalam penyempurnaan hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait pondasi yang digunakan sesuai dengan kondisi daya dukung tanah sekitar. Hal ini dilakukan mengingat jembatan beton bertulang memiliki berat yang lebih tinggi dibandingkan jembatan baja eksisting.
2. Perlu dilakukan analisis perencanaan jembatan menggunakan finite elemen method dengan bantuan aplikasi komputer sebagai perbandingan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, *Kabupaten Aceh Tamiang dalam Angka*. Aceh Tamiang: Badan Pusat Statistik Kabupaten Aceh Tamiang, 2018.
- [2] K. Frengky Rusadi, Mufti Warman, "Perencanaan Ulang Struktur Atas Jembatan Beton Bertulang Kep.Mentawai," 2005.
- [3] H. Tamba, G. Yanti, and S. W. Megasari, "Perencanaan Struktur Jembatan Beton Bertulang Di Sungai Sail Kecamatan Limapuluh Kota Pekanbaru," *J. Tek.*, vol. 1, pp. 58–65, 2017.
- [4] J. Onding, L. S. Balamba, O. B. A. Sompie, and A. N. Sarajar, "Analisis Kestabilan Pondasi Jembatan Studi Kasus : Jembatan Essang-Lalue," *J. Sipil Statik*, vol. 1, no. 11, pp. 730–744, 2013.
- [5] T. Andriano and W. F. Tjong, "Aplikasi Konsep Berbasis Perpindahan," *Dimens. Tek. sipil*, vol. 4, no. 2, pp. 51–59, 2002.
- [6] M. Isneini, "Kerusakan dan Perkuatan Struktur Beton Bertulang," *J. Rekayasa*, vol. 13, no. 3, pp. 259–270, 2009.
- [7] Michael Ignatius Mundung, "Studi Perkuatan Jembatan Beton Bertulang Menggunakan Sistem Beton Bertulang," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [8] P. C. Pierce, "The Evolution of Structural Design Specification in the United states," *Struct. Mag.*, no. October, pp. 52–53, 2015.
- [9] W. A. Thornton, "Load and Resistance Factor Design of Connections.," 1986.
- [10] A. Alipour, B. Shafei, and M. Shinozuka, "Reliability-based calibration of load and resistance factors for design of rc bridges under multiple extreme events: Scour and earthquake," *J. Bridg. Eng.*, vol. 18, no. 5, pp. 362–371, 2013.
- [11] A. Rosyidah, "Pembandingan disain jembatan rangka

-
- baja menggunakan peraturan aashto dan rsni,” vol. 14, no. 1, 2015.
- [12] A. S. Nowak, M. Lutomirska, and F. I. Sheikh Ibrahim, “The development of live load for long span bridges,” *Bridg. Struct.*, vol. 6, no. 1–2, pp. 73–79, 2010.
- [13] J. L. Withiam, “Implementation of the AASHTO LRFD Bridge Design Specifications for Substructure Design,” 2003.
- [14] Badan Standarisasi Nasional, “RSNI T-02-2005 Standar Pembebanan untuk Jembatan,” 2005.
- [15] Badan Standarisasi Nasional, “RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan,” 2004.
- [16] Badan Standarisasi Nasional, “SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung,” 2012.
- [17] Badan Standarisasi Nasional, “RSNI T-02-2005 Pembebanan untuk jembatan,” 2005.