

Studi Perbandingan Efisiensi Struktur Atas Jembatan Beton Pratekan Antara Sistem Jembatan Konvensional dengan Jembatan Integral pada Berbagai Variasi Bentang

Yusak Nurrizki, dan I Gusti Putu Raka

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: gupura1950@gmail.com

Abstrak—Sebagian besar pembangunan jembatan di Indonesia, khususnya pada ruas jalan Kabupaten dan Kota menggunakan jenis *simple beam* (sistem jembatan diatas dua tumpuan). Pada struktur jembatan dengan menggunakan *simple beam* pada umumnya terdapat siar muai (*expansion joint*) dan celah (dilatasi) antara struktur bangunan atas dan bangunan bawah. Akibatnya, apabila tidak dilakukan perawatan jembatan dengan baik dapat menyebabkan terjadinya kerusakan-kerusakan yang mengakibatkan mahalnya biaya perawatan. Untuk menghindari hal tersebut di gunakanlah sistem jembatan tanpa *expansion joint* dan *bearing pads* yang disebut jembatan integral. Di Indonesia jembatan integral tidak sepopuler dari jembatan *simple beam*. Salah satu faktor yang menyebabkan hal tersebut adalah masih minimnya penelitian tentang struktur jembatan integral di Indonesia. Pada tugas akhir kali ini dilakukan analisis perbandingan efisiensi dari struktur utama bangunan atas jembatan gelagar beton prategang pada sistem jembatan konvensional dan jembatan integral untuk bentang 20 m, 30 m, dan 40 m. Jembatan integral dimodelkan menggunakan SAP2000 dengan model tiga dimensi. Dari hasil perencanaan dan analisis yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan perbandingan efisiensi struktur atas untuk jembatan bentang 20 m, sistem struktur integral unggul dalam hal lendutan dan tidak adanya *expansion joint*, sedangkan pada sistem konvensional unggul dalam hal kemudahan perencanaan, beban tambahan yang mampu dipikul, kehilangan, dan volume penulangan balok girder. Untuk jembatan bentang 30 m, sistem struktur integral unggul dalam hal lendutan, volume penulangan balok girder, dan tidak adanya *expansion joint*, sedangkan pada sistem konvensional unggul dalam hal kemudahan perencanaan dan persentase kehilangan.

Kata Kunci—Jembatan Konvensional, Simple Beam, Jembatan Integral, Analisis Perbandingan.

I. PENDAHULUAN

MIR. H. J. STRUYK, dalam bukunya “Jembatan”, jembatan merupakan suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah [1]. Rintangan ini bisa berupa sungai, jurang, bahkan jalan raya. Dalam penggunaannya, jembatan sangat diperlukan guna mempersingkat waktu perjalanan darat.

Sebagian besar pembangunan jembatan di Indonesia, khususnya pada ruas jalan Kabupaten dan Kota menggunakan

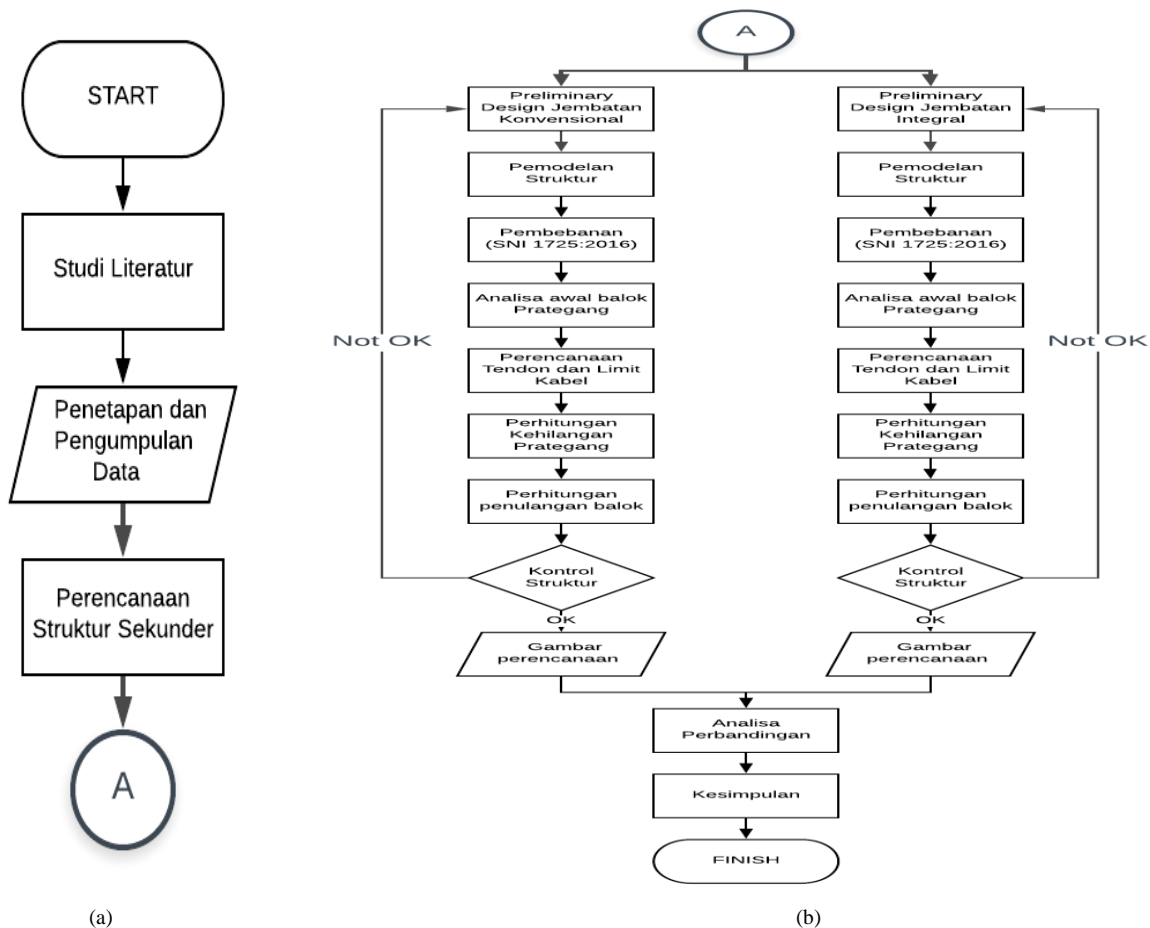
jenis *simple beam* (sistem jembatan diatas dua tumpuan). Pada struktur jembatan dengan menggunakan *simple beam* pada umumnya terdapat siar muai (*expansion joint*) dan celah (dilatasi) antara struktur bangunan atas dan bangunan bawah. Akibatnya, apabila tidak dilakukan perawatan jembatan dengan baik dapat menyebabkan terjadinya kerusakan-kerusakan (misalnya terjadi retak disekitar siar muai dan kerusakan pada tumpuan), selain itu dapat berakibat ketidaknyamanan bagi pengguna jalan akibat adanya siar muai tersebut [2]. Permasalahan tersebut dapat menyebabkan biaya perawatan untuk jembatan dengan siar muai dan celah sangat mahal. Solusi dari permasalahan diatas adalah dengan membuat konstruksi jembatan yang terintegrasi antara struktur bangunan atas dan bangunan bawah. Jembatan dengan sistem struktur yang terintegrasi antara bangunan atas dan bawah adalah sistem jembatan integral.

Jembatan integral adalah jembatan yang dibuat tanpa adanya pergerakan antar bentang atau antara bentang dengan *abutment* [2]. Pada jembatan integral struktur jembatan dapat dibuat monolit tanpa adanya siar muai dan *bearing pads* (tumpuan *girder*). Konsep jembatan *abutment* integral memiliki keunggulan dapat mengurangi biaya perawatan dan biaya penggantian *joint* dan *bearings* pada tumpuan jembatan [3].

Di Indonesia jembatan integral tidak sepopuler dari jembatan *simple beam*. Salah satu faktor yang menyebabkan hal tersebut adalah masih minimnya penelitian tentang struktur jembatan integral di Indonesia. Meskipun demikian, sudah ada kajian dan pedoman perencanaan struktur integral yang telah disesuaikan di Indonesia. Setiati (2010) telah melakukan kajian terhadap perencanaan jembatan Integral, khususnya *full integral* pada beton bertulang dengan bentang optimum 20 m [3]. Untuk bentang diatas 20 m, disarankan menggunakan beton prategang. Hal inilah yang mendorong penulis untuk membuat tugas akhir dengan judul “Studi Perbandingan Efisiensi Struktur Atas Jembatan Beton Prategang Antara Sistem Jembatan Konvensional dengan Jembatan Integral pada Berbagai Variasi Bentang”. Dimana variasi bentang diambil untuk 20 m, 30 m, dan 40 m.

Berdasarkan latar belakang tersebut terdapat beberapa masalah yang dapat ditinjau:

1. Bagaimana perbandingan efisiensi struktur atas jembatan dengan sistem struktur konvensional dan integral?
2. Bagaimana gambar desain struktur atas jembatan konvensional dan Integral?



Gambar 1. Diagram alir (a) dan (b).

3. Bagaimana perbandingan tegangan penampang yang terjadi antara balok *girder* jembatan konvensional dan integral?
4. Berapa besarnya kehilangan prategang yang terjadi pada balok *girder* jembatan konvensional dan Integral?
5. Berapa besarnya lendutan yang terjadi pada jembatan konvensional dan Integral?
6. Bagaimana perbandingan desain penulangan antara jembatan konvensional dan integral?

Dengan batasan masalah sebagai berikut; (1) Studi ini dilakukan hanya pada desain perencanaan bentang tunggal gelagar beton prategang *non-segmental* (utuh) pada variasi panjang bentang 20 m, 30 m, dan 40 m; (2) Lokasi perencanaan jembatan diasumsikan pada lokasi yang sama pada kondisi tanah baik (tanah keras); (3) Struktur jembatan pada zona gempu yang kuat (zona 3 atau 4); (4) Jarak antar balok tetap; (5) Ketinggian *Abutment* untuk analisa beban tanah adalah 6 m; (6) Tidak memperhitungkan biaya konstruksi dan perawatan.

II. METODOLOGI

Berikut urutan pengerjaan yang dilakukan dalam makalah ini dan dapat dilihat pada Gambar 1. Data umum jembatan untuk studi yang direncanakan:

- Lokasi : Pasuruan
- Jenis Tanah : Tanah Baik
- Struktur jembatan : Gelagar Beton Pratekan
- Umur Rencana : 50 Tahun
- Lebar Jembatan : 9 m

- Lebar Trotoar : 1 m
- Spasi Balok Utama : 1,85 m
- Spasi diafragma : 5 m
- Tinggi *Abutment* : 6 m

Peraturan dan literatur yang digunakan:

- Nishida et al. Design and Construction Guideline of Integral Abutment Bridges for Japanese Highways (2012),
- Setiati, N. R., Jembatan Integral Gelagar Prategang (2011),
- T. Y. Lin dan H. Burns, Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1 dan Jilid 2,
- SNI 2847:2019, Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung,
- SNI 1725:2016, Pembebanan untuk Jembatan,
- RSNI T-12-2004, Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

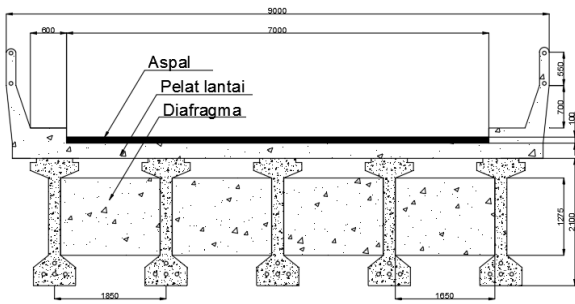
A. Perencanaan Struktur Sekunder

Perencanaan struktur sekunder direncanakan sama untuk jembatan konvensional dan integral. Pembebanan direncanakan sesuai [4].

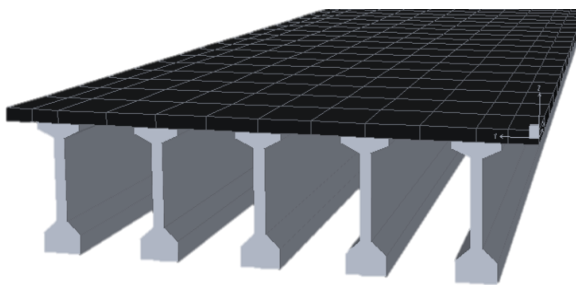
1) Pelat lantai

Perhitungan kebutuhan ketebalan pelat lantai diambil dari [5] sedangkan perencanaan tulangan diambil berdasarkan [6].

- Tebal pelat : 200 mm
- Tebal lapisan aspal : 50 mm
- Tul. lentur : Ø16-125 mm
- Tul. susut & suhu : Ø13-300 mm



Gambar 2. Potongan melintang jembatan konvensional bentang 40 m dengan balok utama PCI-210.



Gambar 3. Potongan melintang pemodelan struktur atas pada SAP2000.

Tabel 1. Nilai Fo untuk desain

Bentang (m)	Fo (N)
20	4118382
30	6844688
40	10492364

2) Slab trotoar

Slab trotoar didesain sebagai pelat kantilever dan bertumpu pada balok utama eksterior.

- Tebal pelat : 200 mm
- Jarak antar tiang : 2 m
- Tul. lentur : D22-125 mm
- Tul. susut : Ø16 -300 mm
- Tul. geser : Ø10-300 mm

3) Tiang railing

Tiang railing merupakan struktur beton bertulang yang didesain sebagai kantilever dan bertumpu pada slab trotoar. Kriteria kerja untuk jembatan studi adalah KK-4.

- Lebar balok (b) : 400 mm
- Tinggi balok (h) : 200 mm
- Tul. lentur : 5D19
- Tul. geser : Ø10-100 mm

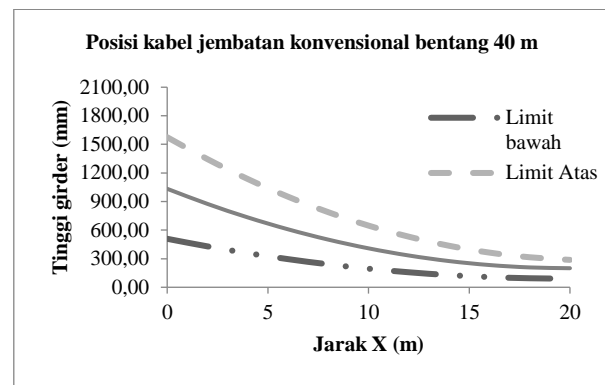
4) Sandaran pejalan kaki (railing)

Sandaran pejalan kaki menggunakan baja bundar (PSB) yang bertumpu pada tiang railing. Perencanaan railing sesuai [7]. Data profil baja mengacu pada [8]. Railing menggunakan 4 buah circular hollow dengan diameter 89,1 mm.

5) Diafragma

Diafragma direncanakan untuk setiap bentang.

- Bentang 20 m:
 - Dimensi : (1 × 1,67 × 0,3) m
 - Tul. lentur : 4Ø22
- Bentang 30 m:
 - Dimensi : (0,93 × 1,65 × 0,3) m
 - Tul. lentur : 4Ø22
- Bentang 40 m:
 - Dimensi : (1,275 × 1,65 × 0,3) m
 - Tul. lentur : 5Ø22



Gambar 4. Posisi titik berat kabel untuk jembatan konvensional bentang 40 m.

Tabel 2. Kehilangan prategang untuk jembatan konvensional

Bentang (m)	Total kehilangan
20	18,65%
30	20,32%
40	21,51%

Tabel 3. Tulangan lentur pada girder jembatan konvensional

Bentang (m)	Tulangan Lentur Atas	Tulangan Lentur Badan	Tulangan Lentur Bawah
20	6D10	10D10	12D16
30	8D13	8D13	14D19
40	8D13	10D13	14D25

Tabel 4. Tulangan geser pada girder jembatan konvensional

Bentang (m)	Tulangan geser
20	D10-600 mm
30	D10-600 mm
40	D10-600 mm

B. Perencanaan Jembatan Konvensional

Pembebanan jembatan konvensional mengacu pada [2]. Perencanaan jembatan konvensional mengacu pada dan [4]. Balok utama jembatan konvensional dimodelkan simple beam dengan perletakan sendi rol.

1) Preliminary design

Balok utama girder menggunakan beton profil “I” (PCI) yang mengacu pada brosur Wika Beton “Product Information: Bridge Product” dan potongan melintangnya dapat dilihat pada Gambar 2.

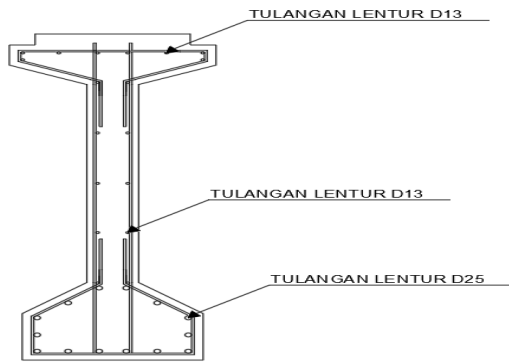
- Untuk bentang 20 m menggunakan PCI-125
- Untuk bentang 30 m menggunakan PCI-170
- Untuk bentang 40 m menggunakan PCI-210

2) Pemodelan

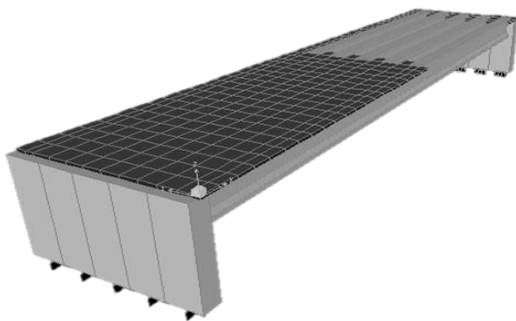
Pemodelan tiga dimensi jembatan konvensional pada aplikasi program bantu SAP2000 menggunakan frame element untuk girder dan shell element untuk pelat lantai. Perletakan diujung masing-masing girder adalah sendi-rol, dan dapat dilihat pada Gambar 3.

3) Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan untuk perhitungan kontrol kapasitas momen sesuai [4] adalah kuat I, kuat III, kuat V, dan ekstrem I. Untuk analisis tegangan balok pratekan digunakan kombinasi Daya layan III. Yang menjadi beban-beban dalam perencanaan struktur atas jembatan konvensional adalah beban mati, hidup, prategang, rem, angin, dan gempa.



Gambar 5 Potongan melintang girder jembatan konvensional bentang 40 m.



Gambar 6. Pemodelan jembatan integral pada SAP2000.

Tabel 5. Nilai Fo pada jembatan integral

Bentang (m)	Fo (N)
20	4118382
30	6844688
40	8583110

Tabel 6. Besar jarak tendon ke serat atas pada bagian tumpuan untuk jembatan integral

Bentang (m)	Jarak tendon ke serat atas pada ujung bentang (mm)
20 m	600
30 m	500
40 m	650

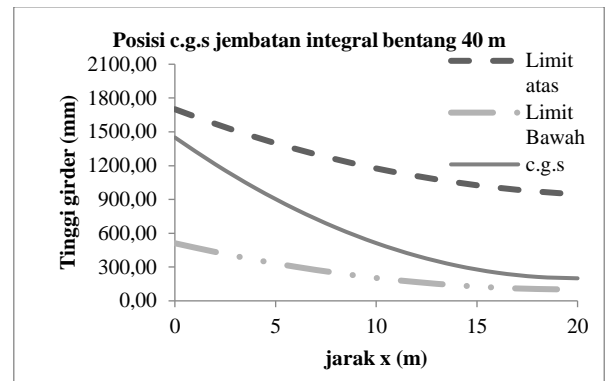
4) Analisis awal

Analisis awal prategang untuk mencari nilai tegangan awal (Fo). Analisa awal diberikan untuk tiga kondisi yaitu; saat jacking, saat pengecoran pelat lantai, dan saat layan. Untuk metode penarikan post-tensioning, kabel dimasukkan dan ditarik sesudah segmen pratekan dicetak saat proses pabrikan. Untuk studi diasumsikan penarikan dan pengangkatan dilakukan pada hari ke 7 setelah pengecoran segmen pracetak (fc'i = 0,65 fc'). Nilai Fo untuk desain dapat dilihat pada Tabel 1.

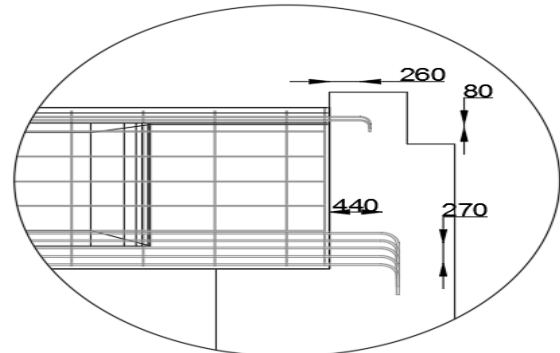
5) Desain tendon

Desain tendon pada studi ini mencakup desain strand, limit kabel, dan posisi kabel. Posisi titik berat kabel (c.g.s) harus berada didalam limit kabel. Perhitungan mengacu pada [9] dan [10]. Untuk semua bentang jembatan digunakan 4 buah kabel dengan desain strand menggunakan ukuran diameter 15 mm tipe ASTM, dapat dilihat pada Gambar 4. Contoh perencanaan strand untuk bentang 40 m sebagai berikut, Diketahui:

- Fo = 10492364 N



Gambar 7. Posisi titik berat kabel untuk jembatan integral bentang 40 m.



Gambar 8. Tulangan penyaluran atas dan bawah pada jembatan integral bentang 40 m.

Tabel 7. Kehilangan prategang untuk jembatan integral

Bentang (m)	Total kehilangan
20	21,55%
30	22,93%
40	23,13%

Tabel 8. Total panjang penyaluran tulangan lentur

Bentang (m)	Total panjang penyaluran atas (mm)	Total panjang penyaluran bawah (mm)
20	369	571
30	463	917
40	463	917

- fpu = 1860 N/mm²
- fpmax = 0,7 x fpu = 1303 N/mm²

- Jumlah strand (n) = 4

Direncanakan digunakan tendon properties 15mm unit ASTM 6-15, jumlah strand 15, dengan data sebagai berikut:

- Jumlah strand = 4
- Tipe duct = Corrugated steel duct
- Diameter duct = 87 mm
- Steel area = 2100 mm²
- Breaking load = 3911 kN

Sehingga,

$$\frac{F_o}{n \times A} < f_{pmax} \tag{1}$$

$$\frac{10492364 N}{4 \times 2100} < 1303 N/mm^2$$

$$1249,1 \frac{N}{mm^2} < 1303 N/mm^2 (OK)$$

Resume desain strand untuk semua bentangL

- Untuk bentang 20 m, ASTM 6-7 dengan 6 buah strand

Tabel 9.

Perbandingan tambahan beban merata yang dapat dipikul antara jembatan konvensional dan integral

Bentang (m)	Penambahan beban (kN/m)	
	Konvensional	Integral
20	18,08	0
30	16,7	5,65
40	6,07	16,95

Tabel 10.

Perbandingan kehilangan prategang antara jembatan konvensional dan integral

Bentang (m)	Kehilangan		% kenaikan
	Konvensional	Integral	
20	18,65%	21,55%	2,90%
30	20,32%	21,93%	1,61%
40	21,51%	23,13%	1,62%

Tabel 11.

Perbandingan lendutan antara jembatan konvensional dan integral

Bentang (m)	Lendutan (mm)		% penurunan
	Konvensional	Integral	
20	16,8	9,75	42,00%
30	20,91	8,71	58,30%
40	28,7	15,14	47,20%

- Untuk bentang 30 m, ASTM 6-12 dengan 10 buah *strand*
- Untuk bentang 40 m, ASTM 6-15 dengan 15 buah *strand*

6) *Kehilangan prategang*

Kehilangan gaya prategang dibagi menjadi dua, kehilangan jangka panjang dan pendek. Kehilangan jangka pendek terjadi karena perpendekan elastis, akibat gesekan, dan slip anker, dan dapat dilihat pada Tabel 2.r. Kehilangan jangka panjang disebabkan oleh rangkai beton, susut beton, dan akibat relaksasi. Perhitungan kehilangan mengacu pada [11].

7) *Perencanaan tulangan*

Direncanakan tulangan lentur dan geser untuk balok *girder* berdasarkan [11] dan data dilihat pada Tabel 3 dan 4 serta potongan melintang girder jembatan konvensional bentang 40 m dapat dilihat pada Gambar 5.

8) *Kontrol struktur*

Kontrol struktur utama jembatan mengacu pada [6]. Kontrol yang dilakukan meliputi kontrol penampang setelah kehilangan, kontrol lendutan, kontrol momen nominal, kontrol momen retak, dan kontrol geser.

C. *Perencanaan Jembatan Integral*

Perencanaan jembatan integral secara konseptual mengacu pada [1].

1) *Preliminary design*

Dimensi balok *girder* pada studi ini diambil sama dengan dimensi pada jembatan konvensional..

2) *Pemodelan jembatan*

Perbedaan pemodelan jembatan integral dengan konvensional pada SAP2000 adalah adanya pemodelan *frame element* untuk *abutment* dan perletakan jepit-jepit pada jembatan integral. *Abutment* terletak pada ujung-ujung balok dan menyatu. Pemodelan mengacu pada [12]. Pemodelan jembatan integral pada SAP 2000 dapat dilihat pada Gambar 6.

3) *Pembebanan*

Beban jembatan integral sama seperti jembatan konvensional ditambah beberapa beban akibat sistem *abutment* yang monolit. Tambahan beban tersebut adalah

Tabel 12.

Perbandingan volum penulangan antara jembatan konvensional dan integral

Bentang (m)	Volum tulangan (kg)		Penurunan
	Konvensional	Integral	
20	627,85	803,93	-28%
30	1538,64	1523,08	1%
40	3079,88	2625,56	15%

Tabel 13.

Perbandingan perencanaan struktur atas antara jembatan konvensional dan integral

Parameter	Sistem Jembatan	
	Konvensional	Integral
<i>Expansion joint</i>	Ada	Tidak ada
Perletakan <i>girder</i> utama	2 tumpuan sederhana	monolit dengan struktur bawah
Sifat struktur atas	Struktur statis tertentu	Struktur statis tak tentu
Pembebanan	mati, hidup, prategang, angin, rem, dan gempa	mati, hidup, prategang, angin, rem, gempa, tanah lateral, tanah gempa, muai suhu, susut, dan rangkai

beban suhu, susut, rangkai, tanah lateral, dan tanah akibat gempa pada jembatan integral. Kombinasi pembebanan yang digunakan sama seperti jembatan konvensional namun dengan beberapa hal yang perlu diperhatikan berdasarkan [13] yaitu koefisien dari tekanan tanah horizontal.

Beban tekanan tanah horizontal disebabkan oleh defleksi struktur atas yang mendorong *abutment* akibat perubahan suhu dengan rumus mengacu pada [14]:

$$d = \alpha \times \delta T_{EB} \times L \tag{2}$$

Menyebabkan tekanan tanah horizontal dengan distribusi tekanan dinyatakan dalam K^* ,

$$K^* = \left(\frac{d}{0,05H} \right)^{0,4} K_p \tag{3}$$

$$K^* \geq K_o \tag{4}$$

$$K^* \geq \frac{K_p}{3} \tag{5}$$

dimana,

θ' = sudut efektif resistensi geser

K_p = koefisien tanah lateral pasif.

K_o = koefisien tanah lateral

H = tinggi tanah berpengaruh (m)

d = defleksi akibat perubahan suhu (m)

α = koefisien ekspansi termal ($^{\circ}C$)

δT_{EB} = perubahan suhu ($^{\circ}C$)

L = span (m)

4) *Analisa awal*

Analisis awal prategang pada jembatan integral dilakukan untuk mencari eksentrisitas kabel pada bagian tumpuan. Analisa awal diberikan untuk tiga kondisi yaitu; saat *jacking*, saat pengecoran pelat lantai, dan saat layan. Tegangan tarik pada ujung bentang *girder* bentang 20 m pada analisis tegangan saat layan melebihi batas tegangan yang ditentukan [5]. Nilai F_o jembatan integral dapat dilihat pada Tabel 5,

besar jarak tendon dapat dilihat pada Tabel 6. Sehingga perlu direncanakan tulangan penahan retak.

$$S_{maks} = 380 \times (280/273,3) - 2,5 \times (60) = 239 \text{ mm} \quad (6)$$

$$M_{cr} = f_{cr} \times I / y_t = 3,80 \text{ MPa} \times 278250954,6 \text{ mm}^3 = 1057 \text{ kNm} \quad (7)$$

$$J_d = h - C_c = 1390 \text{ mm} \quad (8)$$

$$A_s \text{ perlu} = 1,2 M_{cr} / (\phi \times J_d \times f_y) = 2474 \text{ mm}^2$$

Digunakan 7D22 dengan $A_s = 2660 \text{ mm}^2$ dengan jarak antar tulangan adalah 200 mm. Tulangan dipasang pada pelat di ujung-ujung sejauh 4 m (terjadi momen positif dilihat dari SAP2000. Posisi titik berat kabel untuk jembatan bentang 40 m dapat dilihat pada Gambar 7.

5) Desain tendon

Untuk semua bentang jembatan digunakan 4 buah kabel dengan desain *strand* menggunakan ukuran diameter 15 mm tipe ASTM.

- Untuk bentang 20 m, ASTM 6-7 dengan 6 buah *strand*
- Untuk bentang 30 m, ASTM 6-12 dengan 10 buah *strand*
- Untuk bentang 40 m, ASTM 6-12 dengan 12 buah *strand*

6) Kehilangan prategang

Perhitungan kehilangan prategang pada jembatan integral sama dengan jembatan konvensional, dapat dilihat pada Tabel 7.

7) Perencanaan tulangan

Pada jembatan integral, tulangan yang direncanakan meliputi tulangan geser, tulangan lentur, dan tulangan penyaluran berdasarkan [6]. Panjang penyaluran menggunakan penyaluran dengan bengkokan standar 90° . Total panjang penyaluran terdiri dari panjang penyaluran (L_{dh}), keliling bengkokan, dan panjang bengkokan (L_{ext}). Perencanaan tulangan dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 8.

8) Kontrol struktur

Kontrol struktur utama jembatan mengacu pada [6] dan [3]. Kontrol yang dilakukan meliputi kontrol penampang setelah kehilangan, kontrol lendutan, kontrol momen nominal, kontrol momen retak, kontrol geser, dan hubungan balok kolom.

D. Analisis Perbandingan

Dari perencanaan yang telah dilakukan dianalisis perbedaan dari jembatan integral dan konvensional. Beberapa parameter yang dianalisis perubahannya antara lain tambahan beban yang mampu dipikul berdasarkan tegangan sisa, kehilangan prategang, lendutan, dan volume penulangan.

1) Tambahan beban

Beban tambahan untuk studi merupakan beban merata (w). Tambahan beban dihitung berdasarkan momen yang di hitung dari sisa tegangan (σ_{sisa}) dikalikan inersia per lengan penampang.

$$M = \sigma_{sisa} \times \frac{I}{y} \quad (9)$$

Untuk jembatan konvensional dihitung dengan menggunakan rumus:

$$w = \frac{8M}{L^2} \quad (10)$$

Sedangkan untuk jembatan integral, perlu dianalisis dengan perhitungan statis tak tentu dimana struktur berupa portal 2D dengan perletakan jepit-jepit. Pada studi ini digunakan perhitungan momen distribusi dengan tabel *cross*. Perbandingan tambahan beban merata yang dapat dipikul antara jembatan konvensional dan integral dapat dilihat pada Tabel 9.

2) Kehilangan prategang

Dari perhitungan yang telah dilakukan didapatkan perbandingan kehilangan prategang antara jembatan konvensional dan integral dan dapat dilihat pada Tabel 10.

3) Lendutan

Lendutan pada studi ini dihitung berdasarkan beban hidup sesuai [2], yaitu nilai terbesar dari lendutan akibat beban satu truk atau akibat BTR, dapat dilihat pada Tabel 11.

4) Volume penulangan

Volume penulangan jembatan konvensional dihitung dari tulangan geser dan lentur, sedangkan volume penulangan jembatan integral, dihitung dari tulangan retak, lentur, geser, dan penyaluran. Volume penulangan dinyatakan dalam kg, dimana berat volume dari tulangan adalah 7850 kg/m^3 . Dan dapat dilihat pada Tabel 12.

5) Tabel perbandingan

Perbandingan yang dimaksud adalah perbandingan perencanaan struktur atas dari jembatan konvensional dan integral. Tabel ini dapat memberikan kesimpulan tentang kemudahan perencanaan bagi *engineer.*, dan dapat dilihat pada Tabel 13.

IV. PENUTUP

A. Resume

Pada jembatan bentang 20 m, jembatan konvensional lebih baik dalam hal kemudahan perencanaan, beban tambahan yang mampu dipikul, persentase kehilangan, dan volume penulangan balok *girder*, sedangkan jembatan integral lebih baik dalam hal besarnya lendutan dan tidak adanya *expansion joint*. Persentase kehilangan jembatan konvensional lebih kecil 2,9% dibanding kehilangan jembatan integral. Volume tulangan jembatan integral 28% lebih banyak dibandingkan jembatan konvensional, hal ini dikarenakan adanya tambahan tulangan pada sisi tumpuan untuk menghindari retak pada pelat akibat lentur negatif. Besarnya lendutan pada jembatan integral 42% lebih kecil dibandingkan jembatan konvensional.

Pada bentang 30 m, jembatan konvensional lebih baik dalam hal kemudahan perencanaan, beban tambahan yang mampu dipikul, dan persentase kehilangan, sedangkan jembatan integral lebih baik dalam hal besarnya lendutan, volume penulangan balok *girder*, dan tidak adanya *expansion joint*. Persentase kehilangan jembatan konvensional lebih kecil 1,6% dibanding kehilangan jembatan integral. Volume tulangan jembatan integral 1% lebih sedikit dibandingkan jembatan konvensional. Besarnya lendutan pada jembatan integral 58% lebih kecil dibandingkan jembatan konvensional.

Pada bentang 40 m, jembatan konvensional lebih baik dalam hal kemudahan perencanaan dan persentase kehilangan, sedangkan jembatan integral lebih baik dalam hal

besarnya lendutan, desain tendon, volume penulangan balok *girder*, beban tambahan yang mampu dipikul, dan tidak adanya *expansion joint*. Persentase kehilangan jembatan konvensional lebih kecil 1,6% dibanding kehilangan jembatan integral. Volume tulangan jembatan integral 15% lebih sedikit dibandingkan jembatan konvensional. Besarnya lendutan pada jembatan integral 47% lebih kecil dibandingkan jembatan konvensional. Kebutuhan luasan tendon pada jembatan integral lebih sedikit dibandingkan jembatan konvensional dimana pada jembatan integral menggunakan ASTM 6-12 sedangkan pada konvensional menggunakan ASTM 6-15.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil perencanaan dan analisis dalam Tugas Akhir ini diantaranya; (1) Sistem jembatan integral gelagar prategang dengan bentang lebih dari 30 m dapat menjadi alternatif pengganti yang efisien berdasarkan jumlah tulangan yang lebih sedikit, lendutan yang lebih kecil, dan tanpa menggunakan *expansion joint* dan *bearing pads*; (2) Dalam perencanaan jembatan gelagar beton prategang bentang 20 m disarankan menggunakan sistem konvensional; (3) Desain struktur jembatan dapat dimodifikasi dan disesuaikan dengan kondisi lapangan sebenarnya; (4) Dalam menentukan sistem struktur ada baiknya juga mempertimbangkan biaya keseluruhan dan kondisi lapangan. Perlu dilakukan studi lebih lanjut; (5) Dimensi penampang dan gaya tarik prategang pada jembatan integral dapat dioptimalkan berdasarkan sisa tegangan penampang *girder*

pada tengah bentang. Jika perubahan tersebut dilakukan perlu adanya perencanaan/studi lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. J. Struyk, *Jembatan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita, 1984.
- [2] N. R. Setiati, *Jembatan Integral Gelagar Prategang*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Badan Penelitian dan Pengembangan Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, 2011.
- [3] N. R. Setiadi, "Kajian perencanaan jembatan integral," *J. Jalan-Jembatan*, vol. 27, no. 2, pp. 114–124, 2010.
- [4] Badan Standardisasi Nasional, *Pembebanan untuk Jembatan (SNI 1725-2016)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2016.
- [5] Badan Standardisasi Nasional, *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan (RSNI T-12-2004)*. BSNI.: BSNI, 2004.
- [6] B. S. Nasional, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2019)*, no. 8. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2019.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, "Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural (SNI 1729:2015)," Jakarta, 2015.
- [8] R. Gunawan, *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Yogyakarta: Kanisius, 1998.
- [9] T. Y. Lin and T. Y. Lin, "Desain struktur beton prategang. jilid 1," *J. bet. prategang, desain strukt. bet. prategang. jilid 1 / oleh T.Y. Lin, Ned H. Burn. Penerjemah Daniel Indrawan*, vol. 1993, no. 1993, pp. 1–99, 1993, doi: 1993.
- [10] T. Y. Lin and N. H. Burns, *Desain Struktur Beton Prategang Jilid 2*, Terjemahan. Jakarta: Erlangga, 1996.
- [11] T. Y. Lin and N. H. Burn, *Desain Struktur Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 1*, Terjemahan. Jakarta: Binarupa Aksara, 1996.
- [12] P. J. Barr, M. W. Halling, and H. Boyle, "Behavior and Analysis of an Integral Abutment Bridge," United States, 2013.
- [13] H. Nishida, H. Miyata, S. Kimura, and Tetsuya Kohno, "Design and construction guideline of integral abutment bridges for Japanese highways," in *Proceedings of The 28th US-Japan Bridge Engineering Workshop*, 2012.
- [14] R. J. Lock, "Integral Bridge Abutments," London, 2002.