

TINJAUAN ASPEK TEKNIS APLIKASI TEKNOLOGI STEEL BOX TELESCOPIC SEBAGAI KEPALA PILAR JEMBATAN

TECHNICAL ASPECT OVERVIEW OF STEEL BOX TELESCOPIC TECHNOLOGY APPLICATION AS PIER HAMMERHEAD

Anton Husen Purboyo¹, Hinawan Teguh Santoso²

¹ Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat,
JL Pattimura 20, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan

² Teknologi Konstruksi Jalan dan Jembatan, Politeknik Pekerjaan Umum,
JL Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang

Korespondensi: hteguhsantoso@gmail.com

Diterima: 20 Januari 2022; Direvisi: 14 Maret 2022; Disetujui: 5 April 2022

ABSTRAK

Pembangunan jembatan dengan konsep “accelerated bridge construction” telah banyak dikembangkan sejak tahun 2015. Infrastruktur jembatan yang dapat dibangun dalam waktu singkat menjadi harapan bagi semua stakeholder, terutama pengguna lalu lintas, di mana ketersediaan aksesibilitas dan konektivitas melalui pembangunan jembatan segera dapat terpenuhi. Kemungkinan ini dapat diwujudkan dengan adanya kemajuan dan inovasi teknologi jalan-jembatan, serta adanya penemuan material-material baru. Salah satu inovasi yang dapat mendukung percepatan pembangunan jembatan tersebut adalah penggunaan sistem steel box telescopic sebagai kepala pilar jembatan menggantikan sistem konvensional yang umumnya menggunakan teknologi beton cast in situ. Dalam kajian digunakan model numerik dari sistem steel box telescopic pada jembatan 50-55 meter tipe I-girder untuk meninjau aspek kelayakan teknisnya. Berdasarkan tinjauan pada aspek teknis, penggunaan sistem steel box telescopic ini dapat mereduksi berat kepala pilar sebesar $\pm 50\%$ dibandingkan dengan sistem konvensional. Hal ini tentu saja dapat mereduksi dimensi pilar sebagai akibat dari berkurangnya berat kepala pilar, terutama akibat beban gempa. Tinjauan lebih lanjut diperlukan terkait aspek detailing dan kelayakan secara ekonomi sistem steel box telescopic dibandingkan sistem konvensional.

Kata kunci: *accelerated bridge construction, steel box telescopic, kepala pilar, jembatan*

ABSTRACT

Bridge construction with the concept of “accelerated bridge construction” has been widely developed since 2015. Bridge infrastructure that can be built in a shorter time has become wishes for many stakeholders, especially traffic users, where the availability of accessibility and connectivity through bridge construction can be furnished immediately. This possibility can be realized by the advancement and innovation of road-bridge technology, as well as the discovery of new materials. One of the innovations that can support the acceleration of the construction of the bridge is the use of a telescopic steel box system as a hammerhead pier replacing the conventional system which generally uses cast in situ concrete technology. In this study, a numerical model of the telescopic steel box system on a 50-55 meters type I-girder bridge is used to review the technical feasibility aspects. Based on a review of the technical aspects, the use of this telescopic steel box system can reduce the weight of the pier hammerhead by $\pm 50\%$ compared to a conventional system. This of course can reduce the dimensions of the piers as a result of the reduced weight of the pier hammerhead, especially due to earthquake loads. Further review is needed regarding detailing aspects and the economic feasibility of telescopic steel box systems compared to conventional ones.

Keywords: *accelerated bridge construction, steel box telescopic, pier hammerhead, bridge*

PENDAHULUAN

Jembatan sebagai bangunan pelengkap jalan merupakan infrastruktur yang penting dalam mendukung kegiatan perekonomian masyarakat. Dukungan infrastruktur jembatan dalam jaringan transportasi jalan raya akan dapat memberikan kemudahan akses bagi masyarakat pada lokasi-lokasi kegiatan, seperti: perkantoran, pasar, sekolah, rumah sakit, tempat wisata, dan lainnya. Salah satu indikator kinerja tingkat aksesibilitas atau kemudahan akses yang diterima masyarakat sebagai pengguna infrastruktur jalan dinyatakan dengan menurunnya waktu tempuh [1]. Seiring dengan semakin meningkatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang konstruksi jembatan, baik dalam hal inovasi material, kemajuan perangkat lunak dan teknologi konstruksi, maka dukungan tersebut hendaknya dapat dimanfaatkan dan bahkan dikembangkan dalam rangka peningkatan layanan kepada masyarakat. Salah satu bentuk nyata dalam usaha peningkatan layanan terhadap kepentingan masyarakat, yaitu dengan melakukan inovasi metode pelaksanaan pembangunan jembatan.

Pada pelaksanaan pembangunan jembatan secara global, telah banyak dilakukan inovasi dengan dukungan teknologi yang bertujuan untuk semakin mempersingkat waktu pelaksanaan melalui mekanisasi konstruksi jembatan [2],[3],[4]. Manfaat dari waktu pelaksanaan konstruksi yang singkat adalah terjadinya penurunan biaya konstruksi terkait proses konstruksi, di mana setiap kegiatan untuk meningkatkan efisiensi tersebut akan dapat meningkatkan optimasi biaya konstruksi. Selain itu, waktu pelaksanaan yang singkat juga dapat meminimalkan gangguan yang ditimbulkan akibat pelaksanaan konstruksi jembatan, meskipun hal tersebut ditempuh melalui penerapan metode konstruksi yang mahal [5].

Gagasan-gagasan yang inovatif dalam perkembangan rekayasa perencanaan struktur, pra-fabrikasi komponen struktur, dan rancang bangun sambungan pracetak telah banyak memberikan kontribusi dalam pengembangan keterpakaian mekanisasi konstruksi jembatan secara aktual. Melalui dukungan kapasitas peralatan yang semakin handal, penemuan material-material baru, serta pengembangan metode konstruksi, saat ini bukan menjadi kendala lagi bagi pekerjaan konstruksi jembatan, di mana pembuatan dan/atau perakitan komponen jembatan dilakukan di pabrik, dimobilisasi, dan selanjutnya dilakukan pemasangan di lapangan. Penerapan inovasi metode tersebut dapat dimungkinkan melalui:

- 1) Percepatan masa pelaksanaan,
- 2) Komponen modular struktur jembatan,
- 3) Mekanisasi konstruksi, dan
- 4) Konstruksi siap pakai.

Terdapat beberapa aspek yang harus tetap diperhatikan dalam melakukan implementasi inovasi metode yang dimaksud, antara lain [6]:

- 1) Kriteria perancangan;
- 2) Biaya dan waktu pelaksanaan;
- 3) Batasan kondisi lapangan;
 - a) Keterbatasan ruang dan waktu (*window time*).
 - b) Ketersediaan bahan dan peralatan.
 - c) Aksesibilitas.
- 4) Kemudahan pelaksanaan;
- 5) Estetika;
- 6) Durabilitas; dan
- 7) Risiko kegagalan pelaksanaan.

Tulisan ini bermaksud membahas metode pelaksanaan pembangunan jembatan melalui aplikasi teknologi *steel box telescopic* pada kepala pilar sebagai salah satu bentuk inovasi metode dalam pembangunan jembatan. Adapun tujuan dari penggunaan teknologi tersebut adalah untuk mempersingkat masa pelaksanaan pembangunan jembatan, terutama untuk kawasan-kawasan yang memiliki ruang terbatas, serta volume lalu lintas yang padat dengan tetap dapat memenuhi persyaratan minimum implementasi inovasi di atas. Ruang lingkup bahasan dalam tulisan ini dibatasi pada konstruksi kepala pilar jembatan dengan bangunan atas berupa balok gelagar pratekan pracetak tipe I (*I-girder*).

METODE

Pada bagian ini disajikan mengenai perhitungan gaya dalam dan deformasi akibat beban mati (*DL*) dan beban mati *superimposed* (*SDL*) pada model *steel box telescopic* kepala pilar jembatan. Pada proses perhitungannya, analisis dilakukan dengan menggunakan metode eksak. Besarnya beban berupa balok *I-girder* didapatkan dari gambar rinci balok standar pracetak pratekan dari beberapa pabrikator dengan jarak atau spasi yang digunakan sebesar 1850 mm. **Tabel 1** memperlihatkan besarnya berat balok *I-girder* untuk masing-masing bentang, mulai dari bentang 12 m hingga 42 m.

Model tipikal kepala pilar jembatan dengan balok gelagar diperlihatkan pada **Gambar 1**. Nilai berat balok dari **Tabel 1** selanjutnya diaplikasikan sebagai beban tumpuan P pada model tipikal kepala pilar jembatan sebagai fungsi dari panjang

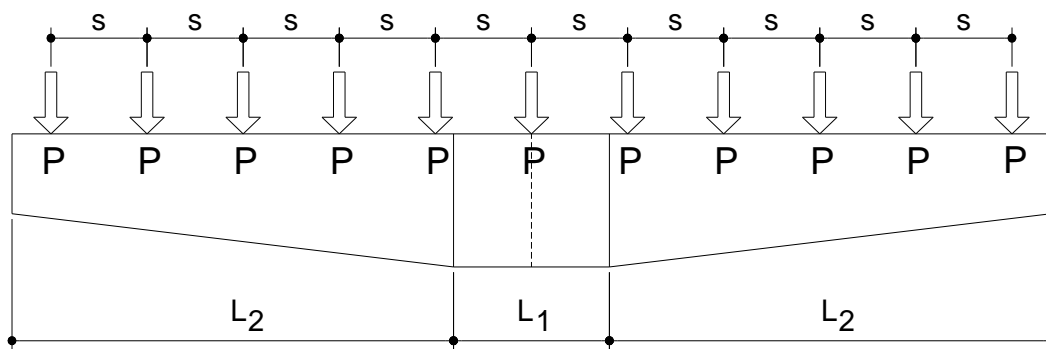
bentang jembatan. Dalam hal ini, beban balok gelagar merupakan beban *SDL* bagi elemen struktur kepala pilar jembatan. Sistem teleskopik yang diaplikasikan pada komponen kepala pilar tersebut menawarkan keuntungan dalam aspek

pemanfaatan ruang selama mobilisasi dan instalasi kepala pilar di lapangan, seperti diperlihatkan pada **Gambar 2**.

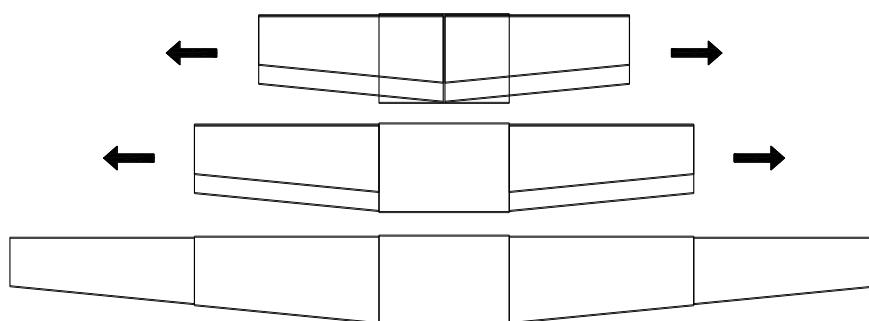
Tabel 1 Berat Balok I-girder Menurut Bentang Jembatan[7]

Tipe Balok	Berat Balok per m'	Panjang Bentang dan Berat Total Balok							
		Bentang (m)	12	13	14	15	16	17	
H-90	6.31 kN/m	Bentang (m)	12	13	14	15	16	17	
		Berat Total (kN)	75.68	81.99	88.29	94.60	100.91	107.22	
H-125	7.77 kN/m	Bentang (m)	17	18	19	20	21	22	
		Berat Total (kN)	132.02	139.79	147.55	155.32	163.08	170.85	
H-160	11.71 kN/m	Bentang (m)	23	24	25	26	27	28	29
		Berat Total (kN)	269.22	280.92	292.63	304.33	316.04	327.74	339.45
H-170	16.16 kN/m	Bentang (m)	30	31	32	33	34	35	
		Berat Total (kN)	484.68	500.83	516.99	533.14	549.30	565.45	581.61
H-210	18.02 kN/m	Bentang (m)	36	37	38	39	40	41	42
		Berat Total (kN)	648.71	666.73	684.75	702.77	720.79	738.81	756.83

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum, 1993



Gambar 1 Model Tipikal Kepala Jembatan (spasi I-girder = 1,850 mm)



Gambar 2 Sistem Teleskopik Pada Komponen Kepala Pilar Jembatan

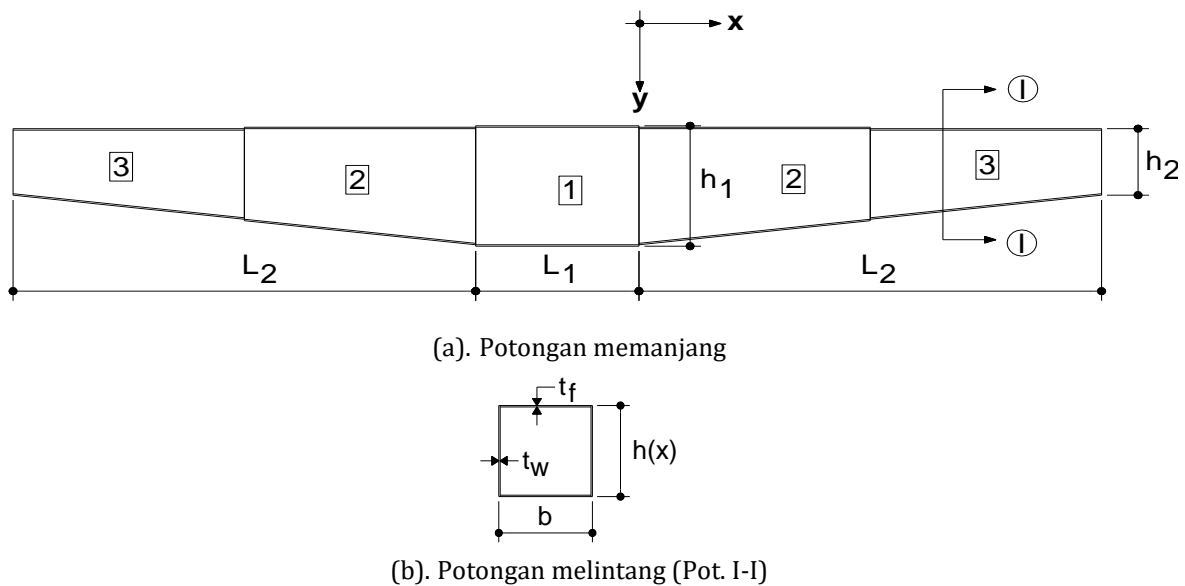
Memperhatikan penggunaan sistem teleskopik pada kepala pilar, maka perlu diperhatikan mengenai aspek-aspek dalam perencanaan *detailing* struktur baja sebagai berikut:

- 1) Tekuk lokal (*local buckling*), kekompakan penampang (*section compactness*), serta kelangsingan (*slenderness*).
- 2) Sistem sambungan antara elemen termasuk sambungan untuk dudukan kepala pilar dengan pilar.
- 3) Mekanisme pemanjangan elemen saat pemasangan di lapangan.
- 4) Fasilitas dudukan balok gelagar pada kepala pilar.
- 5) Drainase dan akses pemeliharaan pada kepala pilar.

Pada tulisan ini, ruang lingkup kajian dibatasi pada perhitungan yang bersifat global tanpa memasukkan kelima aspek *detailing* tersebut di atas. Perhitungan aspek *detailing* akan dilakukan pada saat alternatif penggunaan sistem *steel box telescopic* tersebut merupakan alternatif terpilih. Namun demikian, sebagai kompensasi dari berat struktur baja akibat kebutuhan aspek *detailing* tersebut, maka digunakan faktor keamanan (*SF*) dari berat profil sebesar 1.5. Nilai *SF* = 1.5 ini merepresentasikan berat dari struktur boks baja ditambah dengan komponen lainnya, meliputi:

1. Pelat sambung dan baut;
2. *Stiffener* (berat berkisar 5% - 7% dari berat total struktur baja [8]);
3. Pelat diafragma;
4. Sistem luncuran *telescopic*;
5. Sistem pengankuran dengan pilar;
6. Profil dan pelat untuk dudukan balok *I-girder*; dan
7. Aksesoris lainnya.

Metode perhitungan dilakukan secara eksak [9] dalam menentukan kapasitas geometri penampang dari sistem *steel box telescopic* tersebut. **Gambar 3** memperlihatkan model dan dimensi dari sistem *steel box telescopic* pada kepala pilar jembatan.



Gambar 3 Model dan Dimensi Sistem *Steel Box Telescopic* Pada Kepala Pilar Jembatan

Keterangan:

- Luas penampang:
 $As(x) = \{2 \times (b - 2t_w) \times t_f\} + \{2 \times t_w \times h(x)\}$
 - Inersia penampang:
 $Is(x) = \{2 \times (1/12) \times (b - 2t_w) \times t_f^3\} + \{2 \times t_f \times (b - 2t_w) \times (0,5 h(x))^2\} + \{2 \times (1/12) \times t_w \times (h(x))^3\}$
- di mana: *As* (*x*) = luas penampang melintang pada jarak *x*
Is (*x*) = momen inersia penampang pada jarak *x*
h (*x*) = tinggi penampang pada jarak *x*
*h*₁, *h*₂ = tinggi penampang di tengah dan ujung kepala pilar
b = lebar penampang
t_f = tebal sayap (*flens*)
t_w = tebal badan (*web*)

Fungsi dari ketinggian penampang boks $h(x)$ dapat didekati dengan menggunakan bentuk persamaan sebagai berikut:

Fungsi linear:

$$h(x) = \frac{(h_2 - h_1) \cdot x}{L_2} + h_1 \quad (1)$$

Fungsi parabolik:

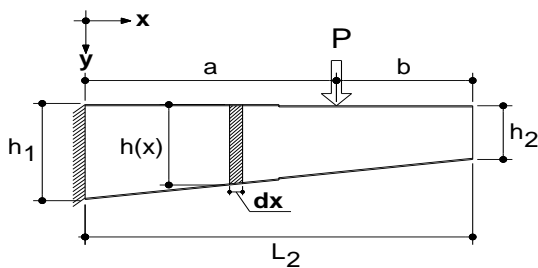
$$h(x) = \frac{(h_2 - h_1) \cdot x^2}{L_2^2} + h_1 \quad (2)$$

Sebagai penyederhanaan dalam perhitungan, maka fungsi ketinggian yang digunakan adalah fungsi linear (1). **Gambar 4** menunjukkan deformasi kepala pilar akibat beban mati (DL) dan beban balok gelagar (SDL) yang dihitung menggunakan persamaan:

$$E_s \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{M(x)}{I(x)} \quad (3)$$

dimana:

- E_s = modulus elastisitas material baja
- $M(x)$ = bidang momen sepanjang sumbu - x
- $I(x)$ = momen inersia sepanjang sumbu - x



Gambar 4 Definisi Beban DL dan SDL pada *Steel Box Telescopic* Kepala Pilar Jembatan

(a). Deformasi akibat beban mati (DL)

Momen jepit:

$$M_0 = \gamma_s \int_0^{L_2} As(x)x dx \quad (4)$$

Gaya geser ujung:

$$V_0 = \gamma_s \int_0^{L_2} As(x) dx \quad (5)$$

Bidang momen:

$$M(x) = V_0 x - M_0 - \gamma_s \int_0^x As(x) dx \left\{ x - \frac{\int_0^x As(x)x dx}{\int_0^x As(x) dx} \right\} \quad (6)$$

Rotasi:

$$dy(x) = \int_0^x \frac{M(x)}{E_s I_s(x)} dx \quad (7)$$

Defleksi:

$$y(x) = \int_0^x dy(x) dx \quad (8)$$

(b). Deformasi akibat beban balok gelagar (SDL)

Momen jepit:

$$M_0 = P \cdot a \quad (9)$$

Gaya geser ujung:

$$V_0 = P \quad (10)$$

Bidang momen:

$$0 < x < a$$

$$MP(x) = Px - Pa \quad (11)$$

$$x > a$$

$$MP(x) = 0$$

Rotasi:

$$dyP(x) = \int_0^x \frac{MP(x)}{E_s I_s(x)} dx \quad (12)$$

Defleksi:

$$yP(x) = \int_0^x dyP(x) dx \quad (13)$$

(c). Tegangan akibat beban DL dan SDL

$$\sigma_x = \frac{\{MP(x) + M(x)\}}{I_s(x)} \times \frac{h(x)}{2} \quad (14)$$

di mana:

- E_s = modulus elastisitas material (200,000 MPa)
- γ_s = berat jenis material baja (7.85 tonf/m³)

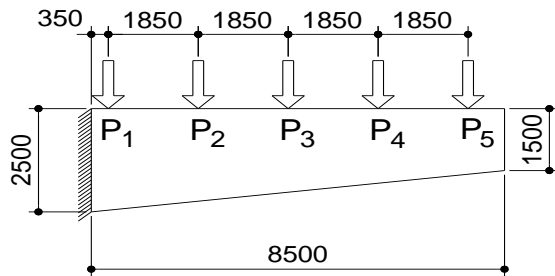
Metode numerik digunakan untuk penyelesaian persamaan-persamaan di atas, di mana dilakukan perhitungan menggunakan skema integrasi persamaan-persamaan tersebut sebagai fungsi x dengan mengaplikasikan *trapezoidal's rule* [10]. Perangkat lunak yang digunakan sebagai alat bantu perhitungan adalah *Mathcad 14.0* [11].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menggunakan model perhitungan di atas, berikut diberikan contoh perhitungan *steel box telescopic* pada kepala pilar jembatan dengan spasi antar *I-girder* sebesar 1,850 mm dan berat 200 tonf. Berat *I-girder* sebesar 200 tonf tersebut mewakili untuk jembatan standar dengan panjang bentang antara 50-55 meter. Pemilihan bentang jembatan antara 50-55 meter tersebut digunakan sebagai dasar untuk melihat sejauh mana efektifitas penggunaan material baja khususnya sistem *steel box telescopic* terhadap sistem konvensional menggunakan material beton *cast in situ* berdasarkan aspek teknis strukturalnya.

Mempertimbangkan aspek *detailing* dan komponen aksesoris lainnya, maka nilai berat jenis material baja tersebut dikalikan dengan faktor keamanan (*SF*) sebesar 1.5; sehingga berat jenis baja menjadi 7.85 tonf/m³ x 1.5 = 11.775 tonf/m³. Lebar perkerasan yang dapat diakomodir oleh kepala pilar direncanakan untuk

lalu lintas 2 lajur 2 arah. Besaran dimensi dari model *steel box telescopic* sebagai kepala pilar jembatan diperlihatkan pada **Gambar 5** dan **Tabel 2**.

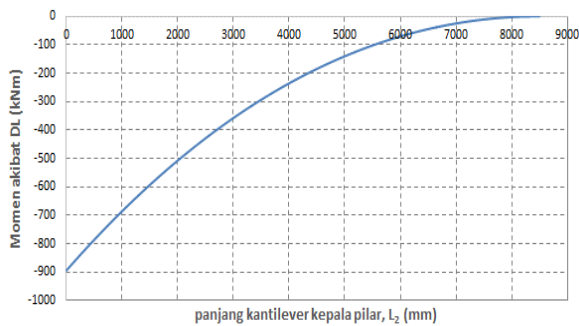


Gambar 5 Dimensi Model *Steel Box Telescopic*

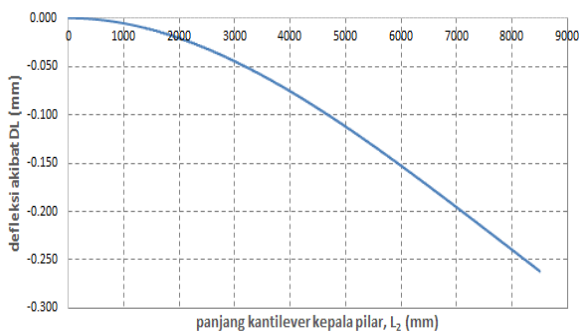
Tabel 2 Dimensi Model *Steel Box Telescopic*

No.	Parameter	Nilai
1	h_1	2500 mm
2	h_2	1500 mm
3	L_2	8500 mm
4	t_f, t_w	30 mm
5	b	2000 mm
6	P_1, P_2, P_3, P_4, P_5	200 tonf

Hasil dari perhitungan mengenai bidang momen dan defleksi pada sistem *steel box telescopic* diperlihatkan pada **Gambar 6** dan **Gambar 7** untuk beban mati (*DL*), serta **Gambar 8** dan **Gambar 9** untuk beban mati (*DL*) dan beban balok gelagar (*SDL*).

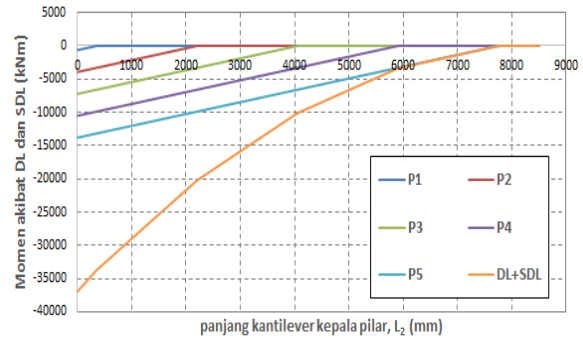


Gambar 6 Momen Akibat Beban Mati (*DL*)



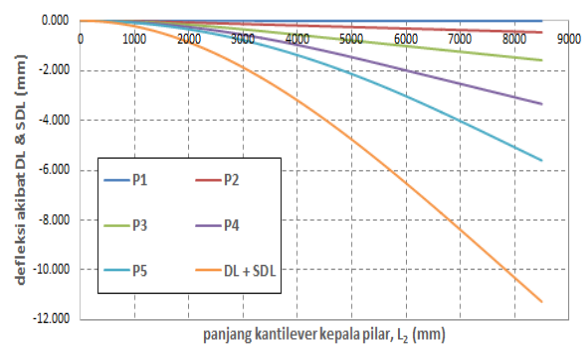
Gambar 7 Defleksi Akibat Beban Mati (*DL*)

Gambar 6 memperlihatkan bidang momen pada sistem *steel box telescopic* akibat Beban Mati (*DL*), dimana momen jepit maksimum yang terjadi adalah sebesar -893.489 kN-m. **Gambar 7** memperlihatkan defleksi pada sistem *steel box telescopic* akibat Beban Mati (*DL*), di mana besarnya defleksi maksimum yang terjadi adalah sebesar -0.262 mm (↓).



Gambar 8. Momen Akibat Beban Mati (*DL*) dan Beban Balok Gelagar (*SDL*)

Gambar 8 memperlihatkan bidang momen pada sistem *steel box telescopic* akibat Beban Balok Gelagar (*SDL*) dan kombinasi beban *DL + SDL*. Momen jepit yang terjadi akibat beban P_1 adalah -613.855 kN-m, akibat beban P_2 adalah -3,906.00 kN-m, akibat beban P_3 adalah -7,197.00 kN-m, akibat beban P_4 adalah -10,490.00 kN-m, dan akibat beban P_5 adalah -13,780.00 kN-m. Besarnya momen jepit akibat kombinasi *DL + SDL* adalah -36,880.334 kN-m.



Gambar 9. Defleksi Akibat Beban Mati (*DL*) dan Beban Balok Gelagar (*SDL*)

Gambar 9 memperlihatkan defleksi pada sistem *steel box telescopic* akibat Beban Balok Gelagar (*SDL*) dan kombinasi beban *DL + SDL*, di mana besarnya defleksi maksimum akibat beban P_1 adalah -0.012 mm (↓), akibat beban P_2 adalah -0.467 mm (↓), akibat beban P_3 adalah -1.586 mm (↓), akibat beban P_4 adalah -3.337 mm (↓), dan akibat beban P_5 adalah -5.605 mm (↓). Besarnya defleksi maksimum akibat kombinasi *DL + SDL* adalah -11.269 mm (↓).

Tabel 3 Momen Maksimum dan Defleksi Maksimum Hasil Perhitungan

No	Beban	M _{max} (kN-m)	δ _{max} (mm)
1	DL	-893.489	-0.262
2	SDL		
	P1	-613.855	-0.012
	P2	-3,906.00	-0.467
	P3	-7,197.00	-1.586
	P4	-10,490.00	-3.337
	P5	-13,780.00	-5.605
3	Total DL+SDL	-36,880.344	-11.269

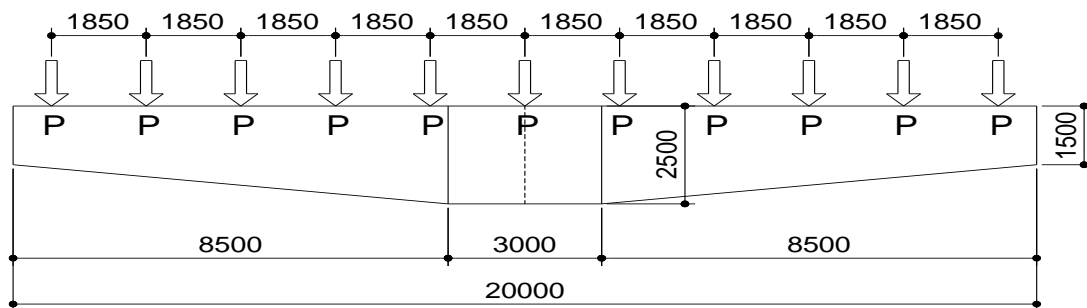
Tabel 4 Karakteristik Penampang, Batasan Tegangan Izin, dan Defleksi Izin

No	Parameter	Besaran	Ket.
1	Inersia (x10 ⁹ mm ⁴)	396.900 (h=h _i)	
2	Momen maks. (x10 ⁹ N-mm)	36.880	
3	Defleksi maks. (mm)	11.269	δ _{max} < δ _{izin}
4	Tegangan maks. (MPa)	116.15	σ _{max} < σ _{izin}
5	Batas tegangan (MPa)	141.00	
6	Batas deformasi (mm)	21.25	

Tabel 3 dan Tabel 4 merupakan hasil perhitungan gaya dalam dan deformasi dengan menggunakan pendekatan di atas, didapatkan

bahwa besarnya tegangan maksimum dan momen lentur maksimum pada kombinasi pembebanan DL + SDL adalah 116.15 MPa dan 36,880.344 kN-m, sedangkan deformasi maksimum (DL + SDL) pada ujung kepala pilar adalah sebesar 11.269 mm. Perlu dicatat bahwa material baja dalam contoh perhitungan ini mengacu kepada JIS SS-400, di mana besarnya tegangan leleh untuk material baja dengan ketebalan lebih dari 16 mm (dalam hal ini 30 mm) adalah sebesar 235 MPa, sehingga besarnya tegangan izin akibat momen lentur menurut AISC-ASD 1989 [12] ditetapkan sebesar 60% dari tegangan lelehnya, yaitu: 60% x 235 MPa = 141 MPa.

Untuk deformasi, batas deformasi izin ditetapkan sebesar L/400 (balok kantilever), sehingga nilai batas deformasi izin adalah sebesar 8500 / 400 = 21.25 mm. Memperhatikan batasan nilai-nilai dan deformasi hasil perhitungan sebelumnya, dapat dikatakan bahwa baik tegangan dan deformasi yang terjadi masih berada di bawah ambang batas izin sehingga dimensi steel box yang digunakan dapat memberikan kapasitas yang memadai dalam menahan kombinasi beban DL dan SDL. Berat profil (WT) dari kepala pilar steel box telescopic dengan dimensi seperti pada Gambar 10 adalah sebesar 60.80 tonf (SF = 1.5).



Gambar 10 Penampang Melintang Keseluruhan Kepala Pilar Steel Box Telescopic (WT = 60,80 tonf) dengan Lebar Perkerasan 2 Lajur 2 Arah

Sebagai perbandingan mengenai penggunaan kepala pilar steel box telescopic terhadap sistem konvensional dengan menggunakan beton cast in situ, pada Error! Reference source not found. diperlihatkan berat kepala pilar sesuai dengan dimensi yang terdapat pada SNI 2451:2008 [13]. Pada SNI tersebut, konfigurasi lebar perkerasan yang digunakan adalah 1+7+1 (1 lajur 2 arah), sehingga apabila dikehendaki lebar perkerasan 2 lajur 2 arah maka berat kepala pilar berdasarkan SNI 2451:2008 tersebut dikalikan dengan 2 (dua). Berat kepala pilar didasarkan pada dimensi kepala pilar (volume) dikalikan dengan berat jenis material beton, di mana besarnya

berat jenis untuk material beton tersebut adalah sebesar γ_c = 2.5 tonf/m³.

Tabel 5 Berat Kepala Pilar Beton Cast In Situ

No.	Bentang (m)	Berat (tonf)	
		1 lajur 2 arah	2 lajur 2 arah
1	5	35.28	70.56
2	6	35.28	70.56
3	8	35.28	70.56
4	10	43.61	87.22
5	12	48.02	96.04
6	14	49.49	98.98
7	16	50.96	101.92

No.	Bentang (m)	Berat (tonf)	
		1 lajur 2 arah	2 lajur 2 arah
8	18	52.43	104.86
9	20	56.84	113.68
10	22	59.78	119.56
11	24	59.78	119.56
12	25	59.78	119.56

Sumber: BSN, 2008 (data diolah oleh penulis)

Memperhatikan hasil perhitungan berat kepala pilar didapatkan bahwa penggunaan sistem *steel box telescopic* pada kepala pilar jembatan dapat mereduksi berat kepala pilar jembatan secara signifikan. Hal ini terlihat pada jembatan yang menggunakan sistem *steel box telescopic* dengan panjang bentang antara 50-55 meter memiliki berat sekitar 60.80 tonf, dibandingkan bila menggunakan sistem konvensional dengan beton *cast in situ* untuk bentang jembatan 5-8 meter relatif masih lebih berat, yaitu sekitar 70.56 tonf.

KESIMPULAN

Simulasi perhitungan aplikasi sistem *steel box telescopic* pada kepala pilar jembatan dengan bentang 50 – 55 m dan lebar perkerasan 2 lajur 2 arah, serta berat *I-girder* 200 tonf telah dilakukan. Dimensi boks baja yang digunakan memiliki ketinggian bervariasi dari 1500 mm sampai 2500 mm dengan ketebalan plat 30 mm dan panjang total 20.0 meter. Dari kajian yang dilakukan, didapatkan berat total struktur *steel box telescopic* adalah 60.80 tonf. Akibat kombinasi pembebanan *DL+SDL*, diperoleh besarnya momen maksimum yang terjadi sebesar 36,880.344 kN-m, tegangan maksimum sebesar 116.15 MPa, dan defleksi maksimum sebesar 11.269 mm.

Berdasarkan ketentuan dalam *AISC-ASD 89*, apabila material baja yang digunakan berkesesuaian dengan *JIS SS-400* dengan tegangan leleh sebesar 235 MPa, maka tegangan yang terjadi masih lebih kecil dari pada tegangan izinnnya, yaitu sebesar 141 MPa. Demikian pula defleksi maksimum yang terjadi masih lebih kecil dibandingkan defleksi izin $L/400$ sebesar 21.25 mm.

Secara struktural, sistem *steel box telescopic* ini memiliki berat yang jauh lebih ringan $\pm 50\%$ dibandingkan sistem struktur beton bertulang konvensional. Penggunaan sistem modular tersebut akan memberikan kemudahan pada saat mobilisasi komponen dan percepatan pemasangan di lapangan. Selain itu, penggunaan sistem modular juga dapat memaksimalkan pemanfaatan ruang pada proses konstruksinya, khususnya pada kawasan terbatas dengan

kepadatan lalu lintas yang tinggi. Tahapan *mock-up* dan uji beban (*loading test*) dapat dilakukan di pabrik sebelum dimobilisasi ke lapangan, sehingga menghindari risiko adanya kesalahan dan kegagalan konstruksi.

SARAN

Tinjauan lebih lanjut terkait beberapa aspek *detailing* yang disampaikan sebelumnya perlu untuk dilakukan. Metode Elemen Hingga (*MEH*) dapat digunakan sebagai alat bantu analisis untuk mengetahui distribusi tegangan 3 dimensi pada model skala penuh, sehingga akan didapatkan konfigurasi *steel box telescopic* yang optimal dan memenuhi persyaratan minimum kriteria perancangan jembatan.

Perbandingan biaya *span by span* antara sistem konvensional beton *cast in situ* dan sistem *steel box telescopic* sebagai kepala pilar perlu juga dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kelayakan sistem *steel box telescopic* tersebut secara ekonomi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ditjen Bina Marga, *Laporan Kinerja Direktorat Jenderal Bina Marga 2019*. 2019.
- [2] M. A. Khan, *Accelerated Bridge Construction - Best Practices and Techniques*. Massachusetts: Elsevier Inc., 2015.
- [3] M. A. Alashari, "Accelerated Bridge Construction (ABC), A Better Approach to Bridge Construction?," *Int. J. Innov. Educ. Res.*, vol. 4, no. 8, pp. 42-71, 2016, doi: 10.31686/ijer.vol4.iss8.577.
- [4] A. Azizinamini, "Accelerated Bridge Construction," *J. Bridg. Eng.*, vol. 25, no. 12, 2020, doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001643](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001643).
- [5] The Concrete Society, *Fast Construction of Concrete Bridges*, 1st ed. Camberley: Concrete Bridge Development Group, 2005.
- [6] Ditjen Bina Marga, "SE Dirjen Bina Marga No. 05/SE/Db/2017 tentang Kriteria Disain Jembatan Standar." Jakarta, 2017.
- [7] Departemen Pekerjaan Umum, *Standar Bangunan Atas Jembatan Gelagar Beton Pratekan Kelas A*. Jakarta, 1993.
- [8] P. A. Jacob, S. Justin, and R. Mercy Shanthi, "Development of efficiency based standards for optimum design of stiffened plate girders," *Int. J. Civ. Eng. Technol.*, vol. 10, no.

- 1, pp. 891-903, 2019.
- [9] R. C. Hibbeler, *The Engineering Mechanics: Statics & Dynamics Series*, 14th ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2016.
- [10] R. L. Burden and J. D. Faires, *Numerical Analysis*, 9th ed. Boston, 2011.
- [11] Parametric Technology Corporation, *User's Guide Mathcad 14.0*. Massachusetts: Parametric Technology Corporation, 2007.
- [12] American Institute of Steel Construction, *(AISC 316-89) AISC Manual Committee-AISC ASD Manual-American Institute of Steel Construction (1989)*, 5th ed. Illinois: American Institute of Steel Construction, Inc.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, "Spesifikasi Pilar dan Kepala Jembatan Beton Sederhana Bentang 5 m sampai dengan 25 m dengan Fondasi Tiang Pancang," *SNI 2451-2008*, 2008.