

Evaluasi Perancangan Jembatan *Longspan* Cililitan Proyek LRT Jabodebek Menggunakan *Balanced Cantilever Precast Post-Tensioned Box Girder*

Muhammad Rifky Trisnawardhana, Bambang Pisceca, dan Priyo Suprobo
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: piscesa@ce.its.ac.id

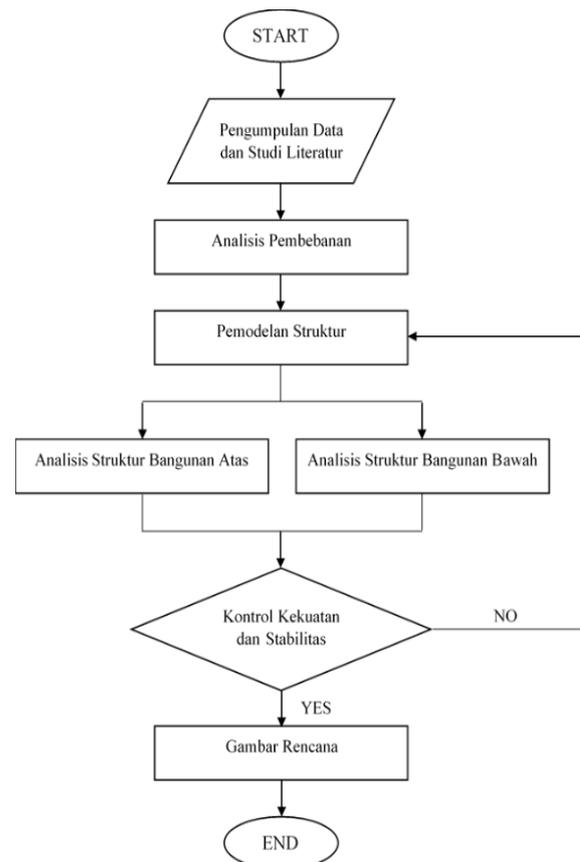
Abstrak—Dalam perencanaan proyek Longspan Cililitan Proyek LRT Jabodebek mengacu pada Perpres No 65 Tahun 2016, Kementerian Perhubungan selaku owner membawahi *supervising consultant* dan *Project Government Auditor* menunjuk PT Adhi Karya (Persero), Tbk. selaku *design and built contractor* dan PT. Kereta Api Indonesia sebagai operator. Kontraktor harus memiliki beberapa konsultan yang tertera dalam kontrak sebagai syarat wajib dalam perencanaan proyek tersebut. Yang pertama adalah konsultan untuk membuat *Detail Engineering Design (DED)*. Yang merencanakan detail dimensi dari proyek jembatan bentang panjang. Tetapi penyiapan dokumen *Detail Engineering Design* oleh konsultan perencana atau kontraktor belumlah cukup untuk meyakinkan dan menjamin kehandalan produk engineering dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien. Oleh karena itu diperlukannya pemeriksaan pembuktian oleh pihak ketiga seperti konsultan *Independent Proof Checker (IPC)* sebagai dasar pertimbangan dan memberikan masukan atau saran sebelum akhirnya desain yang digunakan dinyatakan layak untuk dilanjutkan ke tahap konstruksi. Dalam tugas akhir ini, penulis akan merencanakan ulang Jembatan Longspan LRT Cililitan dengan menggunakan *precast posttensioned box girder* sepanjang 198 meter yang terdiri dari 3 bentang, masing masing 54 m, 90 m dan 54 m. Struktur jembatan yang direncanakan untuk *double track*. Dengan menggunakan metode *balanced cantilever*. Perencanaan harus memperhatikan stabilitas struktur dalam tiap tahap pengerjaannya. Dalam perencanaannya dilakukan perhitungan sebagai *Independent Proof Checker (IPC)* yang diharapkan dapat menjadi pembanding dari perhitungan *Detail Engineering Design (DED)* yang sudah ada.

Kata Kunci—*Balanced Cantilever, Box Girder, Independent Proof Checker, LRT, Precast Posttensioned.*

I. PENDAHULUAN

PROYEK LRT Jabodebek adalah proyek transportasi berbasis rel dengan detail kompleks dan skala yang sangat besar. Pembangunan LRT dibagi dalam 6 rute pelayanan yang dibagi menjadi dua tahap pembangunan. Dimana, LRT Jabodebek tahap I terdiri dari 3 lintas layanan yaitu Lintas layanan 1 Cawang – Cibubur, Lintas Layanan 2 Cawang – Kuningan – Dukuh Atas, Lintas Layanan 3 Cawang – Bekasi Timur dengan total panjang 42,1 km. Sedangkan, LRT Jabodebek tahap II terdiri dari 3 lintas layanan yaitu Lintas Layanan 4 Dukuh Atas – Palmerah – Senayan, Lintas Layanan 5 Cibubur – Bogor dan Lintas Layanan 6 Palmerah – Grogol dengan total panjang 41,5 km.

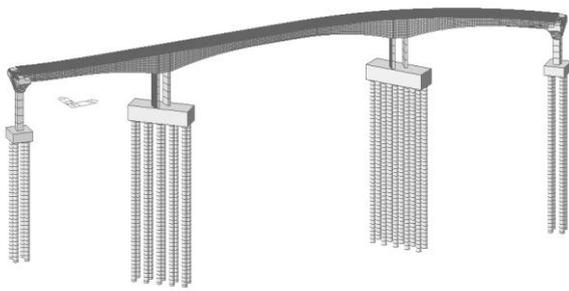
Struktur Jembatan Longspan LRT Cililitan sendiri direncanakan dengan struktur *elevated* menggunakan *box girder segmental* dan perencanaannya melintasi di atas Tol



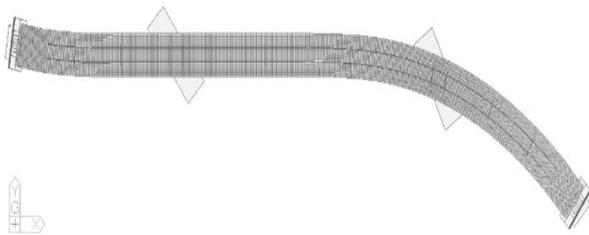
Gambar 1. Bagan alir penyelesaian tugas akhir.

Jagorawi dan Tol Cililitan 2. Kondisi lalu lintas di Tol Jagorawi dan Tol Cililitan 2 yang cukup padat sehingga dalam pembangunan jembatan bentang panjang ini perlu memperhatikan aspek tersebut sehingga diperlukan metode paling efektif. Pada kedua jalan tol diusahakan hanya terdapat sedikit gangguan dalam kegiatan pembangunan juga harus cepat, sehingga semakin sedikit waktu gangguan yang diakibatkan oleh adanya konstruksi jembatan bentang panjang pada jalan layng LRT Jabodebek.

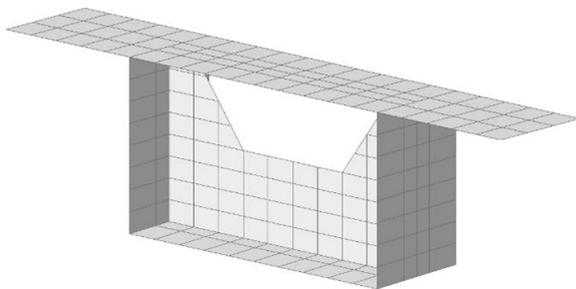
Konsultan *Independent Proof Checker (IPC)* bertugas untuk mengevaluasi tersendiri bagian kritis desain, dan mereview dengan memanfaatkan tim dengan pengalaman dan kemampuan yang memadai. Konsultan *Independent Proof Checker (IPC)* bertujuan sebagai manajemen resiko yaitu: meyakinkan kehandalan dan keamanan dari struktur, meyakinkan pemenuhan standar-standar dan kriteria desain, mereview kemungkinan pelaksanaan, identifikasi setiap dokumentasi yang tidak jelas untuk menghindari kelebihan



Gambar 6. Global view pemodelan longspan Cililitan.



Gambar 7. Tampak atas pemodelan longspan Cililitan.



Gambar 8. Pemodelan box girder dan deviator pada super structure.

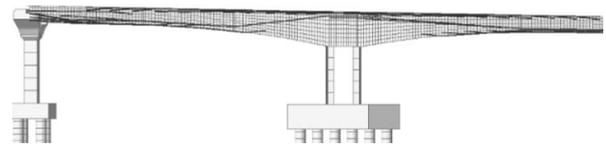
biaya konstruksi dan perselisihan kontrak, dan juga sebagai tambahan evaluasi [1].

Dalam tugas akhir ini, penulis akan merencanakan ulang Jembatan Longspan LRT Cililitan dengan menggunakan *precast posttensioned box girder* sepanjang 198 meter yang terdiri dari 3 bentang, masing masing 54 m, 90 m dan 54 m. Struktur jembatan yang direncanakan untuk double track. Dengan menggunakan metode *balanced cantilever* dengan menggunakan *lifting frame*. Perencanaan harus memperhatikan stabilitas struktur dalam tiap tahap pengerjaannya. Dalam perencanaannya dilakukan perhitungan sebagai *Independent Proof Checker (IPC)* yang diharapkan dapat menjadi pembanding dari perhitungan *Detail Engineering Design (DED)* yang sudah ada.

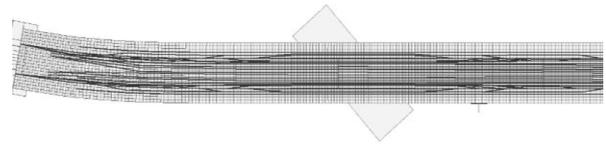
A. Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dari pembahasan ini adalah:

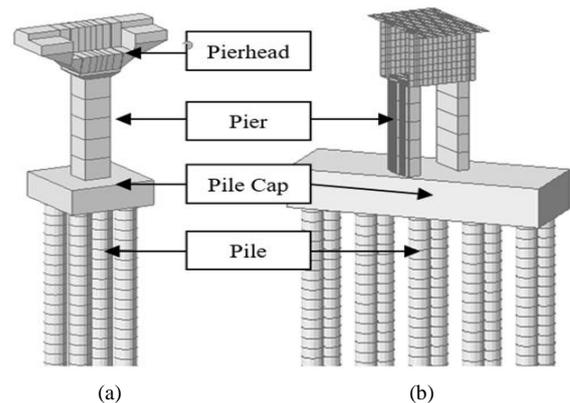
1. Mengetahui cara pemodelan struktur jembatan bentang panjang dengan metode shell menggunakan program bantu MIDAS/Civil.
2. Mengetahui cara menganalisa pembebanan pada struktur atas jembatan.
3. Mengetahui cara mengontrol desain *posttensioned box girder* terhadap kekuatan dan kestabilan struktur.
4. Mengetahui cara menganalisa perhitungan kekuatan *box girder* untuk menahan gaya gaya yang bekerja.
5. Mengetahui cara mengontrol desain bangunan bawah terhadap kekuatan dan kestabilan struktur.



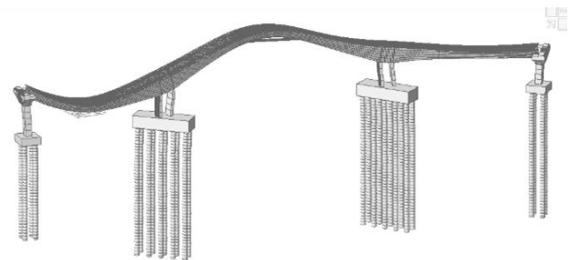
Gambar 2. Tampak samping layout prategang pada super structure.



Gambar 3. Tampak atas layout prategang pada super structure.



Gambar 4. (a) Pemodelan Bangunan Bawah pada C1TM 028 dan C1TM 031, (b) Pemodelan Bangunan Bawah pada C1TM 029 dan C1TM 030.



Gambar 5. Mode shape 6 (mode vertikal pertama).

6. Mengetahui cara menuangkan hasil perancangan ke dalam bentuk gambar Teknik yang sesuai standar.

B. Batasan Masalah

Lingkup pekerjaan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah:

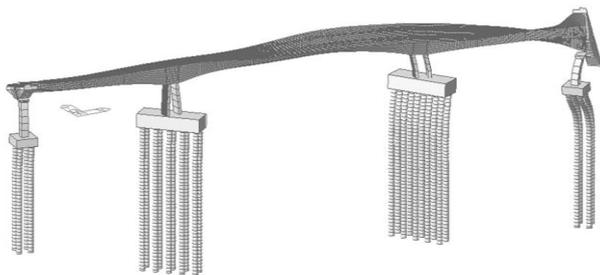
1. Perencanaan tidak meninjau analisis waktu dan biaya konstruksi
2. Tidak merencanakan sambungan rel dan balas untuk Kereta
3. Tidak merencanakan mechanical, electrical, dan plumbing proyek.
4. Tidak meninjau metode pelaksanaan konstruksi.
5. Tidak meninjau kehilangan prategang.
6. Tidak meninjau pembebanan akibat konstruksi.

C. Manfaat

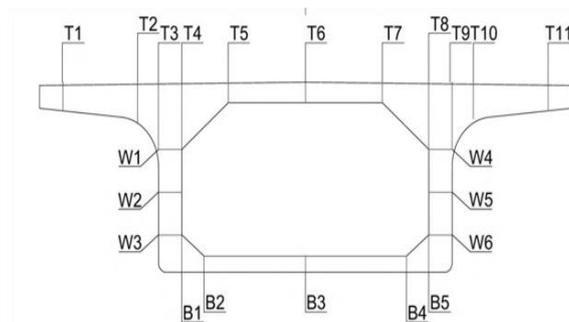
Manfaat dari tugas akhir ini antara lain memahami perencanaan sebagai *Independent Proof Checker (IPC)* dari proyek Jembatan Longspan LRT Cililitan yang nantinya bisa menjadi pertimbangan dalam perencanaan konstruksi jembatan. Diharapkan menjadi inspirasi pembangunan jembatan *balanced cantilever* pada masa depan yang lebih

Tabel 4.
Hasil analisis eigenvalue pada struktur

No	TRANS X	TRANS Y	TRANS Z	ROT X	ROT Y	ROT Z
1	1.08 %	18.35 %	0 %	15.66 %	0.11 %	18.56 %
2	20.67 %	20 %	0.02 %	16.23 %	2.17 %	19.86 %
3	25.2 %	23.59 %	0.04 %	18.37 %	2.45 %	33.58 %
4	27.61 %	23.72 %	0.05 %	18.46 %	2.5 %	33.58 %
6	40.11 %	36.97 %	0.06 %	28.24 %	4.09 %	39.51 %
19	52.83 %	56.4 %	16.53 %	32.25 %	19.46 %	54.42 %
179	73.09 %	72.88 %	93.48 %	57.97 %	91.5 %	73.58 %



Gambar 9: Mode shape 19 (mode torsi pertama).



Gambar 10. Pembagian pias pada segmen box girder.

modern serta menjadi acuan bagi para pembaca tentang perencanaan jembatan bentang panjang khususnya *box girder segmental*.

II. METODOLOGI

Data bangunan yang akan digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yaitu:

- Panjang jembatan : 198 m (54 + 90 + 54 m)
- Lebar jembatan : 10,3 m
- Jenis jembatan : *Balanced Cantilever Posttensioned Box Girder*
- Peruntukan jembatan : Kereta double track
- Lokasi jembatan : Daerah Cililitan Jakarta Timur atas Tol Jagorawi
- Tinggi Bebas : 6 meter

Bagan alir pengerjaan tugas akhir dapat dilihat pada Gambar 1.

III. DATA DAN HASIL PERHITUNGAN

A. Pemodelan Struktur pada MIDAS/Civil

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan program bantu MIDAS/Civil dengan bentuk yang disesuaikan dengan data gambar proyek konstruksi pada *Detail Engineering Design (DED)* oleh konsultan perencanaan.

Tabel 1.
Rekapitulasi penulangan box girder tipe 1

Type	Section	Reinforcement
Longitudinal	T1-T11	Top D22-150mm
	T1-T4; T8-T11	Bottom D13-150mm
	T5-T7	Bottom D16-150mm
	B1-B5	Top D22-150mm
	B1-B5	Bottom D22-150mm
	W1-W6	Right D19-150mm
Transversal	W1-W6	Left D19-150mm
	T5-T7	-
	B1-B5	-
	W1-W6	- D13-100mm

Tabel 2.
Rekapitulasi penulangan box girder tipe 2

Type	Section	Reinforcement
Longitudinal	T1-T11	Top D22-150mm
	T1-T4; T8-T11	Bottom D13-150mm
	T5-T7	Bottom D16-150mm
	B1-B5	Top D22-150mm
	B1-B5	Bottom D22-150mm
	W1-W6	Right D19-150mm
Transversal	W1-W6	Left D19-150mm
	T5-T7	-
	B1-B5	-
	W1-W6	- D13-100mm

Tabel 3.
Rekapitulasi penulangan box girder tipe 3

Type	Section	Reinforcement
Longitudinal	T1-T11	Top D22-150mm
	T1-T4; T8-T11	Bottom D13-150mm
	T5-T7	Bottom D16-150mm
	B1-B5	Top D22-150mm
	B1-B5	Bottom D22-150mm
	W1-W6	Right D19-150mm
Transversal	W1-W6	Left D19-150mm
	T5-T7	-
	B1-B5	-
	W1-W6	- D13-100mm

1) Geometri Pemodelan Long Span Cililitan

Pemodelan struktur longspan Cililitan dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.

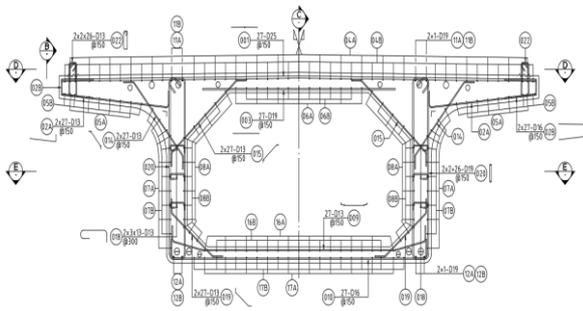
2) Pemodelan Super Structure

Pemodelan *box girder* dan *deviator* dilakukan menggunakan *plate element*. Dimana *box girder* dan *deviator* didesain menggunakan $f'c$ 50 MPa seperti pada Gambar 4. *Deviator* diberikan pada beberapa segmen box girder yang direncanakan akan diberikan tendon external.

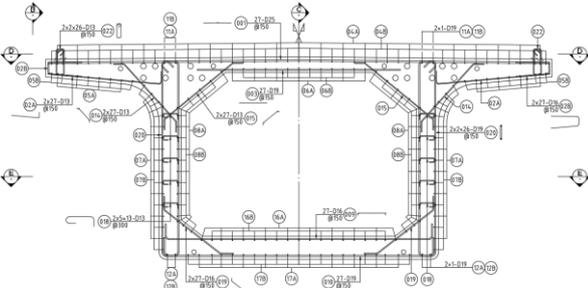
Pemodelan prategang diasumsikan menggunakan tension-only element dengan beban tarik diasumsikan terjadi kehilangan sebesar 20% sehingga beban tarik pada tendon internal sebesar 1190.4 MPa dan pada tendon external sebesar 1116 MPa. Layout untuk pemodelan prategang pada stuktur dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.

3) Pemodelan Sub Structure

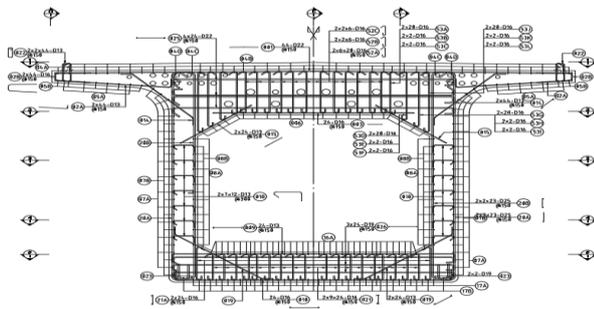
Pemodelan bangunan bawah dilakukan menggunakan *frame element*. Dimana *pierhead* dan *pier* pada C1TM 029 dan C1TM 031 didesain dengan dua *pier* menggunakan $f'c$ 40 MPa, sedangkan *pier* pada C1TM 028 dan C1TM 031, *pile cap* dan *pile* didesain menggunakan $f'c$ 33,2 MPa seperti pada Gambar 7.



Gambar 13. Detail penulangan box girder tipe 1.



Gambar 14. Detail penulangan box girder tipe 2.



Gambar 15: Detail penulangan box girder tipe 3.

B. Pembebanan Struktur

Berikut adalah beban yang digunakan dalam perencanaan desain struktur beton untuk jalan kereta menurut ACI 343.1R-12 [2]:

1) Pembebanan Statik

Pembebanan statik meliputi beban mati (DC), beban mati tambahan (DW, SIDL), Gaya Prategang (PS), Beban Hidup (LL), Gaya Sentrifugal (CE), Gaya Hunting (HF), Gaya Longitudinal (LF), Beban Benturan (IM), Beban Angin pada Struktur (WS), Beban Angin pada Kendaraan (WL) dan Temperatur (TU, TG)

2) Pembebanan Seismic

Pembebanan seismic meliputi beban gempa (EQ), beban seismic vertikal dan kombinasi gaya efek seismik.

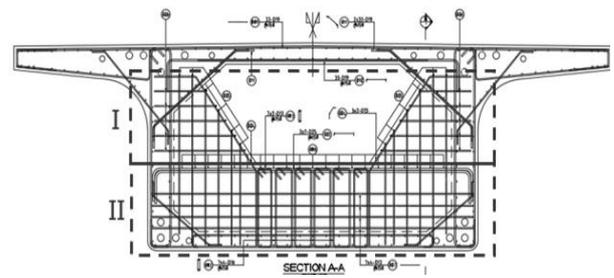
3) Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan saat layan dan ultimate, faktor tahanan diambil sebesar 1.0. Semua kondisi batas dianggap memegang kepentingan yang sama besar sesuai dengan AASHTO LRFD 2012 [3].

C. Analisis Multimodal

1) Eigenvalue Analysis Value

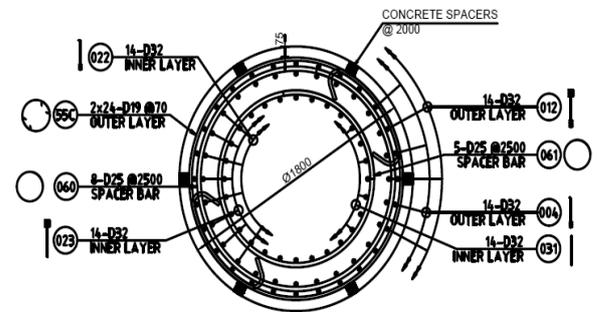
Hasil dari analisis eigenvalue pada struktur longspan Cililitan dapat dilihat pada Tabel 1. Pada mode 179 persentase massa untuk translasi z dan rotasi y sudah mencapai 90%.



Gambar 11. Detail penulangan deviator.

Tabel 5. Rekapitulasi penulangan deviator

Type	Section	Reinforcement
I	Left	Longitudinal Transversal
	Right	Longitudinal Transversal
II	Mid	Longitudinal Transversal



Gambar 12. Detail penulangan pile.

2) Main Mode

Pada mode shape 6 terjadi mode vertikal pertama dengan frekuensi alami sebesar 11.2572 rad/s dan pada mode shape 19 terjadi mode torsi pertama 39.2959 rad/s seperti pada Gambar 8 dan Gambar 9.

Persyaratan rasio frekuensi torsi terhadap vertikal pertama dinyatakan dengan perbandingan alami bending torsional pertama terhadap frekuensi alami vertikal pertama lebih besar atau sama dengan 2.5

$$\frac{f_t}{f_v} = \frac{39.2959}{11.2572} = 3.4907 \geq 2.5$$

D. Analisis Bangunan Atas

1) Kontrol Defleksi

Lendutan yang terjadi akibat kombinasi beban hidup (LL) dan beban impact (IM) adalah sebesar 32,26 mm lebih kecil dari syarat L/800 untuk double track pada tengah bentang sebesar 112,5 mm.

2) Perhitungan Penulangan Box Girder

Perhitungan box girder menggunakan shell element dibagi menjadi beberapa pias sesuai dengan Gambar 10, dan dibagi menjadi 3 tipe box girder sesuai jarak tinggi box girder.

Segmen yang termasuk pada tipe 1 adalah segmen 11, segmen 10, segmen 9, segmen 8, dan segmen 7. Penulangan box girder tipe 1 dapat dilihat pada Gambar 11. Rekapitulasi penulangan box girder tipe 1 arah longitudinal dan transversal dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 7.
Rekapitulasi analisis immediate settlement

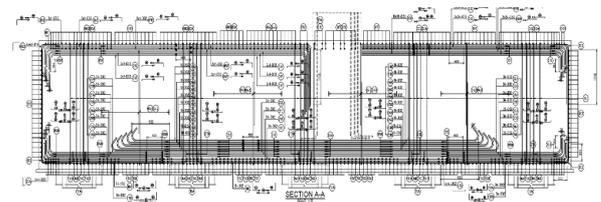
Bore Hole	Applied Load (kN)	Settlement (mm)	Differential	Status
C1TM 028	13921.2	3.23	-	-
C1TM 029	44376.04	14.22	10.98	OK
C1TM 030	44984.34	8.86	5.35	OK
C1TM 031	13642.66	1.57	7.30	OK

Tabel 8.
Rekapitulasi analisis consolidation settlement

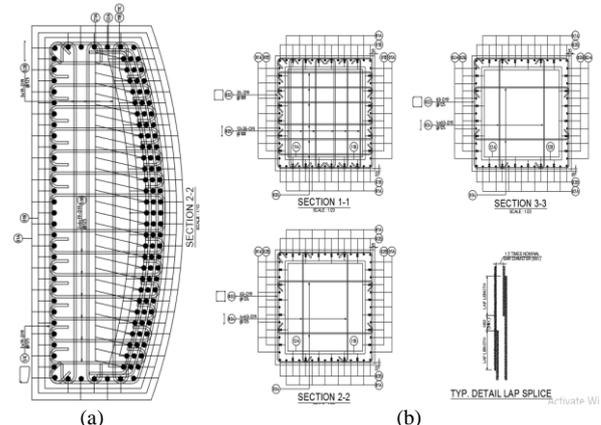
Bore Hole	HDR (m)	Waktu 90% Konsolidasi	Settlement (mm)	Diff.	Status
C1T M 028	1	200472813 Dtk 6.353 Thn	6.890	-	-
C1T M 029	1,2	288680851 Dtk 9.148 Thn	27.378	20.4 9	OK
C1T M 030	1,3	338799054 Dtk 10.736 Thn	30.533	3.16	OK
C1T M 031	1,4	392926714 Dtk 12.451 Thn	47.465	16.9 3	OK

Tabel 6.
Rekapitulasi penulangan pile

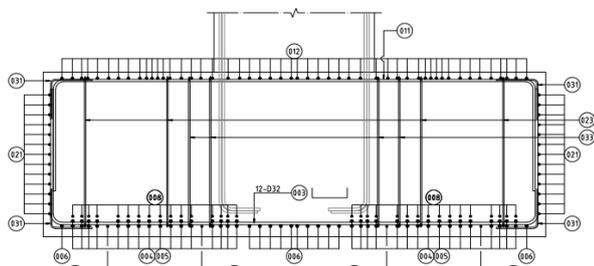
Section	Check Point	Long Reinf.	Trans Reinf.
C1TM 028	0-10 m	28D32	D19-150mm
	10-32 m	14D32	D19-200mm
C1TM 029	0-8.5 m	84D32	D19-150mm
	8.5-13.5 m	56D32	D19-150mm
	29-43 m	28D32	D19-200mm
C1TM 030	29-43 m	14D32	D19-300mm
	0-10.5 m	84D32	D19-150mm
C1TM 031	10.5-15.5 m	42D32	D19-150mm
	15.5-29 m	28D32	D19-200mm
	29-43.5 m	14D32	D19-300mm
C1TM 031	0-14 m	56D32	D19-150mm
	17-31.5 m	28D32	D19-200mm
	31.5-42 m	14D32	D19-300mm



Gambar 16. Detail penulangan pil ecap C1TM 29 dan C1TM 030.



Gambar 18: (a) Detail penulangan pier C1TM 028 dan C1TM 031, (b) Detail penulangan pier C1TM 029 dan C1TM 030.



Gambar 17. Detail penulangan pile cap C1TM 028 dan C1TM 031.

Segmen yang termasuk pada tipe 1 adalah segmen 6, segmen 5, segmen 4, segmen 3, segmen 2, dan segmen 1. Penulangan box girder tipe 2 dapat dilihat pada Gambar 12. Rekapitulasi penulangan box girder tipe 2 arah longitudinal dan transversal dapat dilihat pada Tabel 3. Segmen yang termasuk pada tipe 3 adalah segmen 0. Penulangan box girder tipe 3 dapat dilihat pada Gambar 13. Rekapitulasi penulangan box girder tipe 3 arah longitudinal dan transversal dapat dilihat pada Tabel 4. Perhitungan Penulangan Deviator

Penulangan deviator dibagi menjadi 2 bagian; bagian atas dan bagian bawah. Detail penulangan deviator dapat dilihat pada Gambar 14 dan rekapitulasi penulangan dapat dilihat pada Tabel 5.

E. Analisis Bangunan Bawah

1) Analisis Penurunan Tanah

Hasil analisis penurunan tanah berupa analisis *immediate settlement* menghitung penurunan langsung saat terdapat

struktur diatas tanah dan analisis *consolidation settlement* menghitung penurunan tanah jangka panjang dengan asumsi terjadi 90% dari yang direncanakan, hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

2) Perhitungan Penulangan Pile

Penulangan pile dilakukan pengecekan secara longitudinal menggunakan program bantu spColumn dan pengecekan secara transversal dengan output adalah jarak dan diameter Senggang. Detail penulangan pile dapat dilihat pada Gambar 15 dan rekapitulasi penulangan dapat dilihat pada Tabel 8.

3) Perhitungan Penulangan Pile Cap

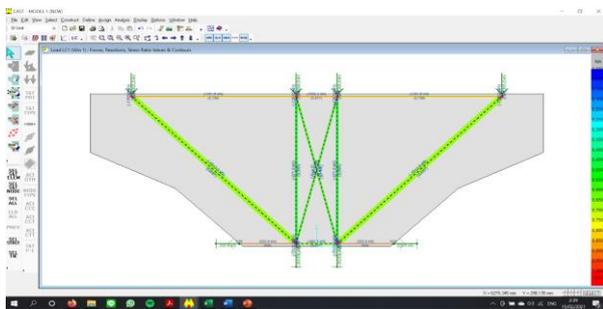
Pada analisis penulangan pile cap dilakukan analisis tulangan longitudinal pile cap dan pengecekan geser satu arah dan dua arah pilecap. Pada pile cap C1TM 028 dan C1TM 031 panjang dan lebar pile cap adalah 7,2 meter, tinggi 2,5 meter, dan jumlah pile sebanyak 4 buah. Sedangkan pada pile C1TM 029 dan C1TM 030 panjang pile cap adalah 21,2 meter, lebar pile cap adalah 7,2 meter, tinggi 4 meter, dan jumlah pile sebanyak 10 buah. Detail penulangan dapat

Tabel 9.
Rekapitulasi penulangan pilecap

Section	Location and Direction	Tulangan Digunakan
C1TM 028,	Tulangan Bawah, Arah X	3 layer; D32-125
C1TM 031	Tulangan Atas, Arah X	3 layer; D32-125
	Tulangan Bawah, Arah Y	3 layer; D32-125
	Tulangan Atas, Arah Y	3 layer; D32-125
C1TM 029,	Tulangan Bawah, Arah X	10 layer; D32-125
C1TM 030	Tulangan Atas, Arah X	5 layer; D32-125
	Tulangan Bawah, Arah Y	3 layer; D32-125
	Tulangan Atas, Arah Y	3 layer; D32-125

Tabel 10.
Rekapitulasi penulangan pier

Pier	Section	Long Reinf.	Trans Reinf.	
			Arah X	Arah Y
C1TM 028,	Sendi	2 layer; 80D32	D19-8 leg @ 100mm	D19-8 leg @ 100mm
C1TM 031	Plastis	2 layer; 80D32	D19-4 leg @ 125mm	D19-4 leg @ 125mm
C1TM 029,	LR Zone 1	3 layer; 144D32	D19-5 leg @ 100mm	D19-16 leg @ 100mm
C1TM 030	LR Zone 2	2layer; 86D32	D19-5 leg @ 125mm	D19-16 leg @ 125mm
	LR Zone 3	3layer; 130D32	D19-5 leg @ 100mm	D19-16 leg @ 100mm



Gambar 20. Pemodelan strut and tie pierhead arah memanjang.

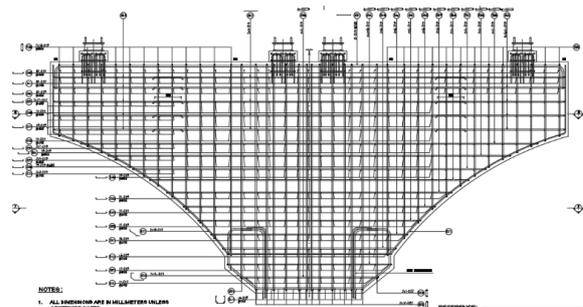
dilihat pada Gambar 16 dan Gambar 17. Dan rekapitulasi penulangan pile cap dapat dilihat pada Tabel 9.

4) Perhitungan Penulangan Pier

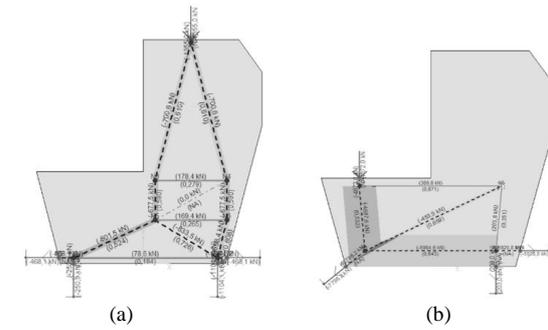
Pada kontrol penulangan pier, dilakukan pengecekan tulangan longitudinal pada pier C1TM 028 dan C1TM 031, juga pengecekan tulangan longitudinal pada arah X dan arah Y pada pier bentuk irregular pada C1TM 029 dan C1TM 030 menggunakan spColumn. Dan dilanjutkan dengan pengecekan tulangan transversal untuk mendapatkan jarak dan diameter sengkang. Tinggi pier pada C1TM 028 adalah x meter, pier C1TM 029 adalah X meter, pier C1TM 030 adalah X meter, dan pier C1TM 031 adalah X meter. Detail penulangan pier dapat dilihat pada Gambar 18 dan rekapitulasi penulangan pier dapat dilihat pada Tabel 10.

5) Perhitungan Penulangan Pierhead

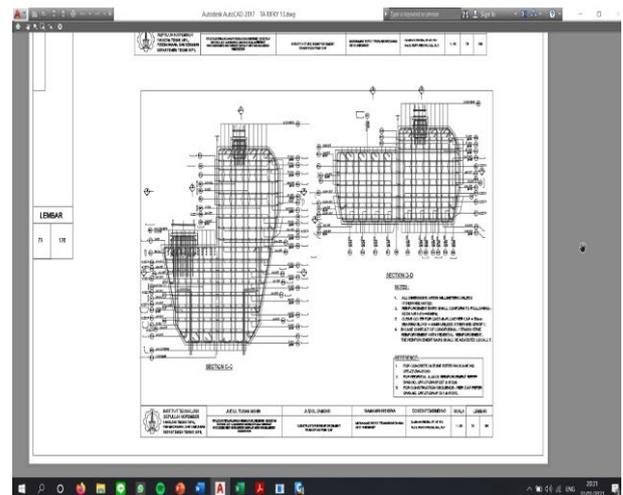
Pada penulangan *pierhead*, dikarenakan termasuk kategori balok tinggi. Maka analisis yang digunakan membutuhkan program bantu CAST dengan metode *strut and tie*. Dilakukan pemodelan 2D pada arah memanjang dan melintang untuk melihat daerah tarik dan tekan pada pemodelan yang nantinya akan diberikan tulangan. Pada pemodelan *strut and tie* arah memanjang dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 18. Detail penulangan pierhead arah memanjang.



Gambar 19. (a) Pemodelan strut and tie akibat beban u-girder arah melintang, (b) Pemodelan strut and tie akibat beban box girder arah melintang.



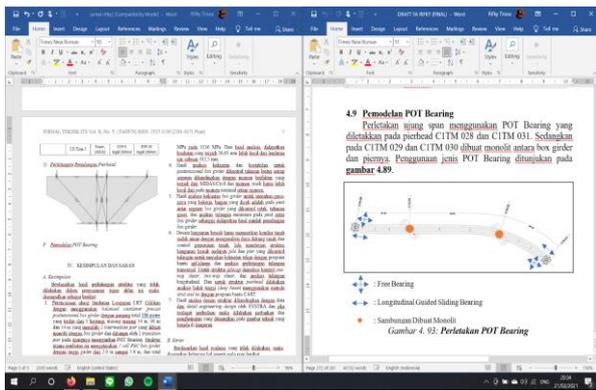
Gambar 22. Detail penulangan pierhead arah melintang.

Pada pemodelan *strut and tie* diatas dapat disimpulkan untuk *pierhead* dengan panjang 11 meter dan tinggi 4.95 meter, penulangan akibat susut dan rangkai digunakan D19-300mm dan akibat crossing strut juga digunakan D19-300mm. penulangan akibat tarik pada atas bentang digunakan 12D19. Detail penulangan *pierhead* dapat dilihat pada Gambar 20. Selanjutnya diperlukan pengecekan pada pemodelan *strut and tie* arah melintang seperti pada Gambar 21.

Pada pemodelan *strut and tie* diatas dapat disimpulkan untuk *pierhead* penulangan akibat susut dan rangkai digunakan D19-300mm dan akibat crossing strut juga digunakan D19-300mm. Penulangan akibat tarik pada beban akibat *u-girder* digunakan 6D19, dan akibat beban *box girder* digunakan 7D19. Detail penulangan *pierhead* dapat dilihat pada Gambar 22.

F. Pemodelan Perletakan

Perletakan pada stuktur longspan Cililitan digunakan POT Bearing dengan tipe *Free Sliding Bearing* dan *Guided Sliding*



Gambar 23. Detail perletakan pada longspan Cililitan.

Bearing pada C1TM 028 dan C1TM 031 sesuai pada Gambar 23. Sedangkan pada C1TM 029 dan C1TM 030 antara pier dan box girder dibuat monolit.

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan struktur yang telah dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini, maka disimpulkan sebagai berikut perencanaan ulang Jembatan Longspan LRT Cililitan dengan menggunakan *balanced cantilever precast posttensioned box girder* dengan panjang total 198 meter yang terdiri dari 3 bentang, masing masing 54 m, 90 m dan 54 m yang memiliki 2 *intermediate pier* yang dibuat monolit dengan *box girder* dan ditumpu oleh 2 *transition pier* pada ujungnya menggunakan POT Bearing. Struktur utama jembatan ini menggunakan 1 cell PSC *box girder* dengan tinggi girder dari 2.6 m sampai 5.6 m, dan total lebar adalah 10.3 m dari jumlah lebar PSC *box girder* dan parapet. Pemodelan jembatan dilakukan dengan MIDAS/Civil dengan *shell element* untuk bangunan atas dan *frame element* untuk bangunan bawah. Untuk pembebanan prestress diasumsikan pemodelan menjadi *tension-only element* dengan gaya tarik sesuai dengan kapasitas yang telah ditentukan.

Setelah dilakukan analisis, didapatkan bahwa penggunaan *shell element* untuk analisis struktur bangunan atas kurang efektif dikarenakan tidak dapat melakukan analisa lanjutan seperti kehilangan prategang dan metode konstruksi. Sehingga, diperlukan pemodelan dengan *frame element* untuk analisa longitudinal lainnya. Penggunaan *shell element* akan efektif untuk pengerjaan analisis transversal pada *box girder* dan *deviator* tanpa meninjau bangunan bawah dan beban prategang.

Pembebanan yang diberikan pada struktur jembatan dengan memberikan pembebanan statik dan seismik dengan kombinasi pembebanan *service* dan *strength* mengacu pada AASHTO LRFD 2012. Untuk pembebanan prategang,

kehilangan prategang diasumsikan mengalami penurunan 20% sehingga pada tendon internal diberikan beban tarik sebesar 80% dari 1488 MPa yaitu 1190.4 MPa, sedangkan pada tendon eksternal diberikan beban tarik sebesar 80% dari 1395 MPa yaitu 1116 MPa. Dari hasil analisis, didapatkan lendutan yang terjadi 26,63 mm lebih kecil dari lendutan ijin sebesar 112,5 mm.

Hasil analisis kekuatan dan kestabilan untuk *posttensioned box girder* dikontrol tahanan lentur setiap segmen dibandingkan dengan momen berfaktor yang terjadi dari MIDAS/Civil dan momen crack harus lebih kecil dari pada momen nominal setiap segmen.

Hasil analisis kekuatan *box girder* untuk menahan gaya-gaya yang bekerja, bagian yang dicek adalah pada joint antar segmen *box girder* yang dikontrol retak, tahanan geser, dan analisis tulangan minimum pada joint antar *box girder* sehingga didapatkan hasil jumlah penulangan *box girder*.

Desain bangunan bawah harus memastikan kondisi tanah sudah aman dengan menganalisis daya dukung tanah dan control penurunan tanah, lalu mendesain struktur bangunan bawah meliputi *pile* dan *pier* yang dikontrol tulangan untuk menahan kekuatan tekan dengan program bantu spColumn dan analisis perhitungan tulangan transversal. Untuk struktur *pilecap* dianalisis kontrol *one-way shear*, *two-way shear*, dan analisis tulangan longitudinal. Dan untuk struktur *pierhead* dilakukan analisis balok tinggi (*deep beam*) menggunakan metode *strut and tie* dengan program bantu CAST.

Hasil analisa desain struktur dibandingkan dengan data dari *detail engineering design* oleh SYSTRA dan jika terdapat perbedaan maka dilakukan perbaikan dan penghematan yang dituangkan pada gambar teknik yang berada di lampiran.

B. Saran

Berdasarkan hasil evaluasi yang telah dilakukan, maka disarankan beberapa hal seperti pada poin berikut dalam pemodelan pada program bantu MIDAS/Civil sebaiknya juga memasukan parameter prategang dan tulangan sehingga hasil analisa dari program bantu tersebut lebih akurat. Terutama untuk analisis lendutan dan tegangan yang terjadi.

Dalam perencanaan struktur jembatan bentang panjang, untuk mendapatkan hasil analisa eigenvalue yang akurat sebaiknya tinggi setiap pier disamakan. Sehingga pada mode 1 belum terdapat rotasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dirjen Bina Marga, "Kebijakan dan Strategi Penanganan Jembatan di Indonesia." Jakarta : Direktorat Jenderal Bina Marga RI, 2017.
- [2] ACI, "ACI 343.1R-12: Guide for the Analysis and Design of Reinforced and Prestressed Concrete Guideway Structures." , Michigan: American Concrete Institute, 2012.
- [3] AASHTO, *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. Customary U.S. Units*, New York: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012.