

Perilaku Kolom Precast Dan Kolom Cast Insitu Akibat Respons Statis Pada Jembatan Beton Prategang

* Haryo Koco Buwono¹, Hidayat Mughnie¹, Dimas Fajar Arifianto Essen¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta

^{*}haryo.koco@umj.ac.id

Abstract

The increasing number of residential development areas and the lack of vacant land are the main problem factors in the process of infrastructure development in the Jakarta area. Therefore, precast concrete is applied to concrete structures that do not require segment casting areas at the implementation site and do not need to use formwork that uses large support but still maintains the strength of the structure itself. By analysing the comparison of static responses due to all loading combinations that occur on cast insitu and precast columns based on SNI 1725: 2016, 2016 to calculate the dimensions of the column section. So that the column dimensions of 2.7 m x 3.3 m are obtained. For precast columns with the prestressed concrete method using 2 tendons on each side (0.5 m to the x-axis weight point, and 0.6 m to the y-axis weight point) with a given prestress force of 8072.4 KN. So that the static response is obtained at the largest extreme loading combination I (max) where the cast insitu column experiences a static response of shear = 1378.22 KN, moment = 13493.24 KN.m, bending = 3.492 mm. while the precast column experiences an increase in static response, namely shear = 4242.80 KN, moment = 40302.17 KN.m, bending = 10.280 mm.

Keywords: Bridge, prestressed, tendons, static_response, buckling

Abstrak

Meningkatnya angka perkembangan area permukiman warga dan minimnya lahan kosong menjadi faktor permasalahan utama dalam proses pembangunan infrastruktur di wilayah Jakarta. Oleh karena itu di terapkan pelaksanaan beton precast pada struktur beton yang tidak memerlukan area pengecoran segmen di lokasi pelaksanaan dan tidak perlu menggunakan bekisting yang menggunakan support yang besar namun tetap menjaga kekuatan struktur itu sendiri. Dengan menganalisis perbandingan respon statis akibat seluruh kombinasi pembebanan yang terjadi terhadap kolom cast insitu dan precast berdasarkan (SNI 1725:2016, 2016) untuk menghitung dimensi penampang kolom. Sehingga didapat dimensi kolom sebesar 2.7 m x 3.3 m. Untuk kolom precast dengan metode beton prategang menggunakan 2 buah tendon pada setiap sisi (0.5 m terhadap titik berat sumbu-x, dan 0.6 m terhadap titik berat sumbu-y) dengan gaya prategang yang diberikan sebesar 8072.4 KN. Sehingga didapatkan respon statis pada terbesar pada kombinasi pembebanan ekstrem I (max) dimana kolom cast insitu mengalami respons statis shear = 1378.22 KN, moment = 13493.24 KN.m, tekukan = 3.492 mm. sedangkan pada kolom precast mengalami kenaikan respon statis yaitu shear = 4242.80 KN, moment = 40302.17 KN.m, tekukan = 10.280 mm.

Kata Kunci: Jembatan, prategang, tendon, respons_statis, tekuk

PENDAHULUAN

Meningkatnya angka perkembangan area permukiman warga dan minimnya lahan kosong menjadi faktor permasalahan utama dalam proses pembangunan infrastruktur di wilayah Jakarta. Hal ini menjadi penyebab utama terhambatnya proses dalam bidang pembebasan lahan dan metode pelaksanaan di lapangan. Dalam bidang pelaksanaan di lapangan, keleluasaan area kerja menjadi faktor terpenting. Mulai dalam aspek metode pelaksanaan, aspek keselamatan kerja, hingga dampak terhadap kelancaran lalu lintas sekitar.

Tingginya angka perkembangan konstruksi di Jakarta sangat dipengaruhi oleh keleluasaan dalam metode pekerjaan konstruksi. seperti kesimpulan penelitian dari Mirnayani yang menjelaskan bahwa metode untuk pelaksanaan struktur bawah pada umumnya menggunakan metode *cast insitu* karena area pekerjaan yang mudah dijangkau, akan tetapi metode *cast insitu* agak sulit penerapannya untuk struktur atas terlebih yang tidak berkontak langsung dengan tanah karena membutuhkan support yang memadai dan membutuhkan area kerja yang luas [1]. Oleh karena itu dibutuhkan suatu metode yang memerlukan area pekerjaan seminim mungkin seperti metode *precast* atau *pracetak*.

Metode *precast* dilakukan dengan menggabungkan dua beton segmental atau lebih menjadi satu kesatuan. Hal ini mengakibatkan berkurangnya

kemampuan struktur terhadap gaya geser yang bekerja [2]. Untuk mengatasi efek tersebut, terdapat beberapa metode untuk mengatasinya. Salah satu metode yang dapat diterapkan yaitu metode prategang (*Prestressed*). Metode prategang hampir selalu digunakan dalam dunia konstruksi belakangan ini, disamping karena kekuatannya dan tingkat pengerjaannya yang cepat, beton prategang memiliki tingkat kekuatan yang sangat bagus terhadap gempa [3].

Metode prategang adalah metode dengan menetralkan tegangan tarik pada daerah kritis beton dengan memberi tegangan sampai dengan tingkat yang diinginkan [4]. Karena sifat beton yang kuat terhadap tekanan namun lemah dalam tegangan, maka dengan mengkombinasikan kabel baja tarik berkekuatan tinggi di daerah kritis beton dapat memberikan balasan terhadap tegangan tarik yang terjadi di daerah kritis beton dengan melakukan *prestressed* pada kabel baja sehingga tegangan yang terjadi menjadi berkurang.

$$f_{\text{serat atas}} = \frac{F}{A} + \frac{M.c}{I} \quad (1)$$

$$f_{\text{serat bawah}} = \frac{F}{A} - \frac{M.c}{I} \quad (2)$$

Dimana, f = tegangan pada serat beton, F = gaya prategang, A = luas penampang beton, M = momen akibat gaya mati, c = eksentrisitas terhadap titik berat, I = momen inersia penampang beton.

Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan pada struktur jembatan perlu memperhitungkan faktor dari pembebanan pada struktur itu sendiri γ_P , dimana γ_P adalah faktor pembebanan yang ditentukan berdasarkan batas layan dan batas ultimit serta jenis pembebanan dari struktur jembatan.

Tabel 1 kombinasi pembebanan [5]

Keadaan batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EWs	EWL	BF	EU _n	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_P	1.8	1	-	-	1	0.5/1.2	γ_{rg}	γ_{es}	-	-	-
Kuat II	γ_P	1.4	1	-	-	1	0.5/1.2	γ_{rg}	γ_{es}	-	-	-
Kuat III	γ_P	-	1	1.4	-	1	0.5/1.2	γ_{rg}	γ_{es}	-	-	-
Kuat IV	γ_P	-	1	-	-	1	0.5/1.2	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_P	-	1	0.4	1	1	0.5/1.2	γ_{rg}	γ_{es}	-	-	-
Ekstrem I	γ_P	γ_{EQ}	1	-	-	1	-	-	-	1	-	-
Ekstrem II	γ_P	0.5	1	-	-	1	-	-	-	-	1	1
Daya Layan I	1	1	1	0.3	1	1	0.5/1.2	γ_{rg}	γ_{es}	-	-	-
Daya Layan II	1	1.3	1	-	-	1	0.5/1.2	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1	0.8	1	-	-	1	0.5/1.2	γ_{rg}	γ_{es}	-	-	-
Daya Layan IV	1	-	1	0.7	-	1	0.5/1.2	-	1	-	-	-
Fatig (TD, TR)	-	0.75	-	-	-	-	0.5/1.2	-	-	-	-	-

Analisis Pembebanan

Analisis pembebanan dilakukan untuk mendapatkan besar seluruh beban yang bekerja pada struktur kolom jembatan yang akan dimodelkan kedalam kombinasi pembebanan melalui *software* SAP2000. Seluruh pembebanan memiliki faktor berdasarkan kondisi batas dari struktur jembatan (γ_P).

- Beban mati komponen atau beban mati tambahan (MA), beban yang berasal dari berat struktur itu sendiri dan material-material yang digunakan di dalamnya.

$$MA = W \times A \quad (3)$$

dimana, W = berat struktur, A = luas penampang struktur.

- Beban mati (MS), merupakan beban yang berasal dari komponen permanen yang bekerja terhadap struktur. Beban mati dapat berupa beban terpusat dan beban merata.

$$MS = P_i \quad (4)$$

$$MS = q \times L \quad (5)$$

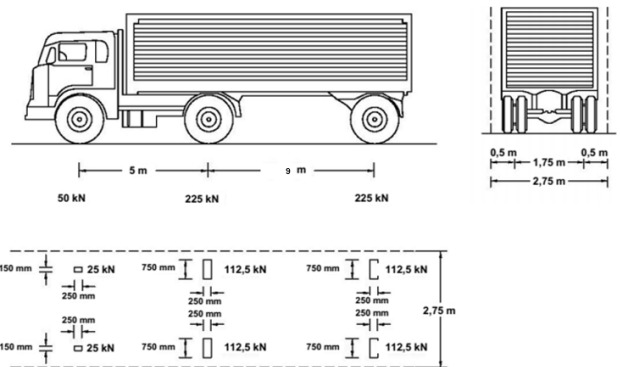
Dimana, P_i = beban mati terpusat, q = beban mati terbagi rata, dan L = panjang bentang.

- Gaya prategang (PR), merupakan total gaya prategang yang terjadi terhadap struktur beton *precast* dengan metode *prestressed*.

$$PR = f_{p.total} \quad (6)$$

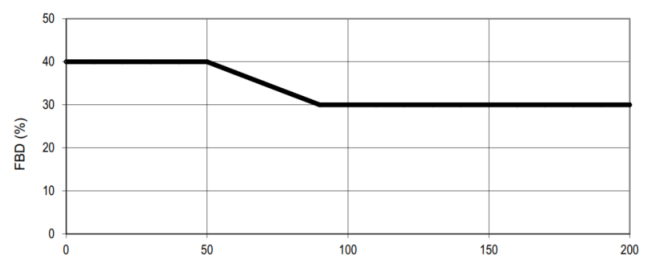
Dimana, $f_{p.total}$ = gaya prategang yang diberikan.

- Beban truk (TT), Untuk pembebanan menggunakan truk dengan berat 500 kN dengan pendistribusian beban.



Gambar 1 Distribusi pembebanan truk

beban truk (TT) harus ditambah dengan faktor beban dinamis (FBD). Faktor beban dinamis merupakan hasil interaksi dari kendaraan yang bergerak dengan jembatan.



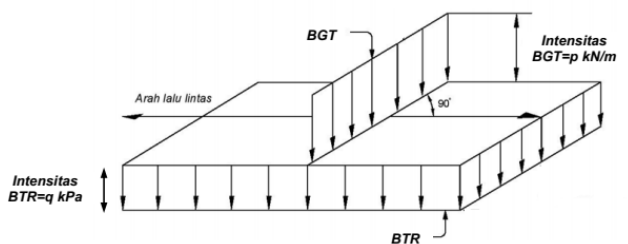
Gambar 2 Grafik FBD untuk beban truk (TT) [5]

- Beban lajur (TD), mempunyai intensitas pembebanan beban terpusat dan beban terbagi rata.

$$L \leq 30 \text{ m}: q = 9,0 \text{ Kpa} \quad (7)$$

$$L > 30 \text{ m}: q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ Kpa} \quad (8)$$

Dimana, q = intensitas beban terbagi rata (BTR), dan L = panjang bentang.



Gambar 3 Beban lajur [5]

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p KN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 KN/m.

- Gaya rem (TB), gaya rem harus diambil 25% dari berat gandar truk desain, atau 5% dari berat truk desain ditambah beban lajur terbagi rata (BTR).

- Beban angin pada struktur (EW_s)

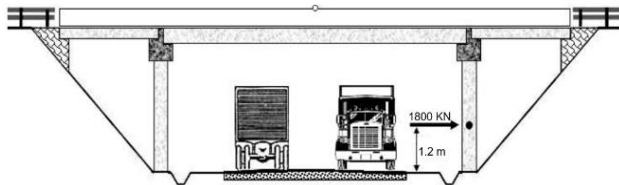
$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (9)$$

$$V_{DZ} = 2,5 V_o \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_o} \right) \quad (10)$$

Dimana, P_D = Beban angin pada struktur, P_B = Tekanan angin dasar, V_{DZ} = Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, V_B = Kecepatan

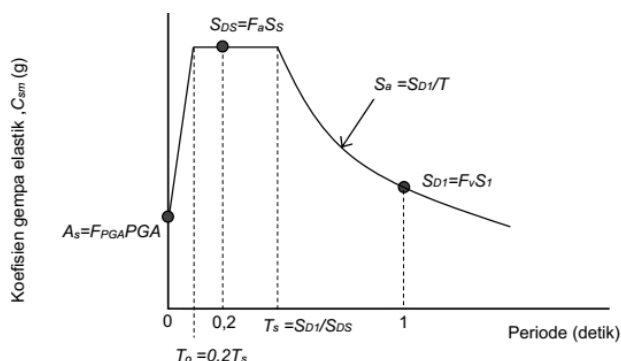
angin rencana, V_o = Kecepatan gesekan angin,
 V_{10} = Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di
atas permukaan tanah, Z = Ketinggian struktur,
dan Z_0 = Panjang gesekan.

- h. Beban angin pada kendaraan (EW_1), diasumsikan sebesar 1.46 N/mm tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan.
- i. Beban akibat tumbukan kendaraan dengan jembatan (TC), direncanakan untuk mampu memikul beban statik ekuivalen sebesar 1800 KN yang mempunyai arah sembarang dalam bidang horizontal, bekerja pada ketinggian 1200 mm di atas permukaan tanah terhadap kolom.



Gambar 4 Beban akibat tumbukan (TC)

- j. Beban gempa (EQ), dihitung dengan menentukan respon spektrum dari lokasi struktur [6]. Cara menentukan respon spektrum dari struktur jembatan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :
 - Menentukan definisi kelas situs.
 - Menentukan percepatan puncak di batuan dasar.
 - Menghitung respon spectra rencana.
$$A_s = F_{PGA} \times PGA \quad (11)$$
$$S_{DS} = F_a \times S_s \quad (12)$$
$$S_{D1} = F_v \times S_1 \quad (13)$$
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (14)$$
$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (15)$$
$$T_0 = 0.2 \times T_s \quad (16)$$
 - Menentukan faktor modifikasi respon (R)
Setelah seluruh faktor diperhitungkan, maka respon spectrum gempa diinput ke dalam permodelan kolom jembatan di *software* SAP2000.



Gambar 5 Grafik respon spectra di permukaan tanah

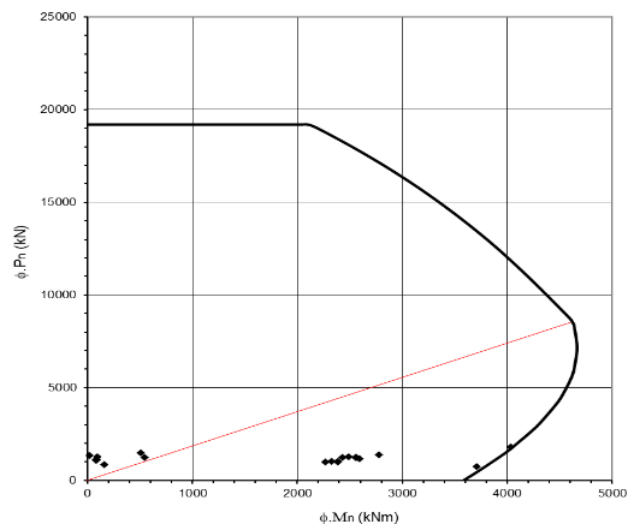
Permodelan Kombinasi Pembebanan

Permodelan kombinasi pembebanan dilakukan dengan menggunakan *software* (*Computers and Structures*) CSI SAP2000. Permodelan dilakukan dengan meng-input data perhitungan pembebanan serta kombinasi-kombinasi pembebanan yang digunakan pada struktur jembatan ke dalam desain struktur jembatan atas. Sehingga didapat respon statis dari pembebanan yang diberikan sebagai nilai P_u dan M_u .

Desain Penampang Kolom

Analisis kapasitas struktur kolom ditentukan dengan menggunakan diagram interaksi kolom bertulang. Analisis diagram interaksi dilakukan dengan menentukan besaran ϕP_n dan ϕM_n terfaktor pada tiap luasan masing-masing section.

Setelah mendapat nilai ϕP_n dan ϕM_n pada tiap interval garis netral, maka hasil dari persamaan tersebut dimasukan ke dalam diagram interaksi kolom kemudian dibandingkan dengan nilai P_u dan M_u untuk menentukan kemampuan kapasitas desain kolom tersebut. Apabila titik P_u dan M_u berada diatas garis kondisi balance maka pembebanan berada pada area kerusakan tekan, namun apabila titik P_u dan M_u berada dibawah garis kondisi balance maka pembebanan berada pada area kerusakan tarik.



Gambar 6 Diagram interaksi kolom

Gaya Prategang Pakai

Setelah mendapatkan desain dimensi penampang kolom langkah selanjutnya adalah menentukan momen inersia, letak titik berat kolom serta jarak desain posisi lubang tendon terhadap titik berat.

Prinsip dari beton prategang adalah mengurangi atau menghilangkan tegangan pada serat bawah menjadi 0 ($f_t < 0$). Besar tegangan pada serat yang dipengaruhi oleh gaya prategang dan momen M_n yang bekerja terhadap struktur. Besar momen ultimit terjadi pada kolom menggunakan respon statis dari kolom *cast insitu* pada permodelan SAP2000.

$$f_t = \frac{Pe}{A_{total}} + \frac{Pe \times e \times Y_b}{I} - \frac{M_n \times Y_b}{I} \quad (17)$$

$$f_{ca} = \frac{Pe}{A_{total}} - \frac{Pe \times e \times Y_a}{I} + \frac{M_n \times Y_a}{I} \quad (18)$$

Menentukan jenis tendon, setelah menentukan jenis tendon maka akan didapat besar tendon yang dibutuhkan serta nilai tegangan putus tendon (f_{pu}). setelah didapatnya besar tendon maka dicari luasan dari tendon sebesar A_1 . Sedangkan untuk luasan perlu tendon prategang A_{tendon} diperhitungkan dengan perbandingan nilai tegangan tarik (P_e) dengan tegangan putus tendon (f_{pu}). maka untuk mendapatkan kebutuhan tendon luasan perlu tendon prategang (A_{tendon}) dibagi dengan Luasan dari tendon itu sendiri (A_1).

$$P_i = f_{pu} \times A_1 \quad (19)$$

Dimana, P_i = gaya prategang pakai, f_{pu} = tegangan putus tendon, dan A_1 = luas penampang tendon.

Kehilangan Sebagian Prategang

Kehilangan sebagian prategang adalah keadaan pada saat gaya prategang awal yang diberikan kedalam elemen beton mengalami proses reduksi dalam waktu berkala.

- Kehilangan karena perpendekan elastis beton (ES), terjadi karena tendon yang melekat pada beton di sekitarnya menerima gaya prategang mengalami perpendekan.

$$f_{pES} = E_s \cdot \epsilon_{ES} = \frac{n \cdot P_i}{A_c} = n \cdot f_{cs} \quad (20)$$

Dimana, E_s = modulus elastisitas baja prategang, ϵ_{ES} = perpendekan elastisitas beton, n = rasio modulus, P_i = gaya prategang, A_c = luas penampang struktur, dan f_{cs} = tegangan serat beton di pusat berat baja.

- Kehilangan karena relaksasi baja (R), terjadi pada baja prategang dengan perpanjangan tetap selama satu periode yang mengalami pengurangan gaya prategang. Pengurangan gaya prategang ini akan tergantung pada lamanya waktu berjalan dan rasio antara prategang awal (f_{pi}) dan prategang akhir (f_{py}).

$$f_{pR} = C [K_{re} - J (f_{pSH} + f_{pCR} + f_{pES})] \quad (21)$$

Dimana, C = faktor relaksasi, K_{re} = koefisien relaksasi berdasarkan jenis baja prategang, J = faktor waktu berdasarkan jenis baja prategang.

- Kehilangan karena rangkai atau *creep* (CR), diakibatkan oleh proses penuaan dari beton selama pemakaian.

$$f_{pCR} = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{ci} - f_{cd}) \quad (22)$$

Dimana, K_{cr} = koefisien rangkai, E_s = modulus elastisitas baja, E_c = modulus elastisitas beton, f_{ci} = tegangan serat beton di pusat berat baja, dan f_{cd} = tegangan beton pada pusat berat tendon akibat beban mati.

- Kehilangan karena susut atau *shrinkage* (SH), dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti proporsi campuran beton, jenis agregat, jenis semen, waktu perawatan beton, waktu perawatan, ukuran komponen struktur, kondisi lingkungan, ukuran dan bentuk komponen struktur.

$$f_{pSH} = \epsilon_{SH} \cdot K_{SH} \cdot E_s \quad (23)$$

Dimana, K_{SH} = koefisien penyusutan, dan ϵ_{SH} = susut efektif.

- Kehilangan karena gesekan atau *friction* (F), terjadi akibat adanya gesekan antara tendon dan beton disekelilingnya, besarnya kehilangan ini merupakan fungsi dari alinyemen tendon yang disebut efek kelengkungan dan deviasi lokal didalam alinyemen tendon yang disebut efek "wobble".

$$f_{p1} - f_{p2} = -K \cdot L \cdot f_{p1} - \mu \cdot \alpha \quad (24)$$

Dimana, f_{p1} = gaya prategang di titik 1, f_{p2} gaya prategang di titik 2, K = koefisien wobble, L = panjang lintasan 1-2, μ = koefisien gesekan, α = sudut pada tendon.

- Kehilangan karena dudukan angkur (A), diakibatkan karena adanya blok-blok pada angkur saat gaya pendongkrak ditransfer ke angkur.

$$f_{pA} = P_i \times \frac{\Delta}{\Delta L} \quad (25)$$

Dimana, P_i = gaya prategang pakai, Δ = slip pada angkur, ΔL = perpanjangan kabel tendon.

METODOLOGI

Permodelan diawali dengan Pengolahan data dilakukan dengan memasukkan parameter-parameter yang sudah dikumpul dan diolah untuk mendapatkan analisis yang dibutuhkan. Pengolahan data dilakukan berurutan sesuai alur kerja pembebanan terhadap struktur kolom beton prategang sebagai berikut :

- Menganalisis pembebanan statis terhadap struktur kolom beton prategang
- Analisis pembebanan statis
- Desain dimensi penampang dan susunan tulangan pada beton kolom berdasarkan parameter dan pembebanan statis yang terjadi menggunakan diagram interaksi.
- Menentukan section properties dan momen inersia penampakan beton precast.
- Menentukan eksentrisitas dan jalur lubang tendon terhadap titik berat penampang beton *precast*.
- Menghitung momen nominal dan maksimum akibat semua beban statis yang bekerja.
- Menghitung dan kontrol besar tegangan leleh maksimum dan tegangan tarik pada serat beton *precast*.
- Menentukan jenis dan jumlah tendon dan baja prategang yang akan digunakan.
- Menghitung gaya prategang yang akan digunakan.
- Permodelan Struktur Kolom Dengan Software CSI SAP2000, dilakukan dengan membuat dua permodelan struktur, yaitu struktur kolom beton precast dengan metode prategang, dan struktur kolom beton cast insitu.
- Analisis Perbandingan Struktur, dilakukan dengan membandingkan antara respon statis struktur kolom beton *precast* dengan metode prategang dengan struktur kolom *cast* insitu. Respon statis yang ditinjau yaitu membandingkan besar respon struktur terhadap gaya lintang atau normal ΔH_i , momen M_i , dan besar tekuk Δi yang terjadi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan data yang digunakan yaitu meliputi data-data standar, mutu, dan metode-metode analisis yang digunakan pada struktur jembatan.

Data-data terkait struktur atas yang dikumpulkan adalah data-data terkait dimensi dan mutu dari struktur atas yang kemudian akan bekerja sebagai beban mati yang bekerja terhadap struktur kolom jembatan.

Tabel 2 Data struktur atas

Keterangan	Mutu	Satuan
Box Girder		
Mutu beton	41.5	MPa
Mutu tulangan fy	410	MPa
Mutu tulangan fu	250	MPa
Panjang box	23.8	m'
Berat jenis	$22 + 0,022 \cdot f_c = 22.913$	KN/m ³
Aspal		
Tebal lapisan	10	cm
Berat jenis	22.0	KN/m ³
Parapet		
Mutu beton	29.05	MPa
Mutu tulangan fy	340	MPa
Mutu tulangan fu	210	MPa
Median		
Mutu beton	29.05	MPa
Lebar	1	m
Tinggi	0.3	m
Pierhead		
Mutu beton	37.35	MPa
Mutu tulangan fy	500	MPa
Mutu tulangan fu	290	MPa
Lebar	5	m
Tinggi	3	m
Panjang	9.9	m

Data-data yang dibutuhkan pada struktur kolom antara lain yaitu mutu beton dan tulangan kolom, pada struktur kolom prategang membutuhkan mutu baja prategang, serta dimensi struktur kolom jembatan.

Tabel 3 Data struktur kolom

Keterangan	Kolom	Satuan
Mutu		
Mutu beton	37.35	MPa
Mutu tulangan fy	500	MPa
Mutu tulangan fu	290	MPa
Tinggi kolom	10	m

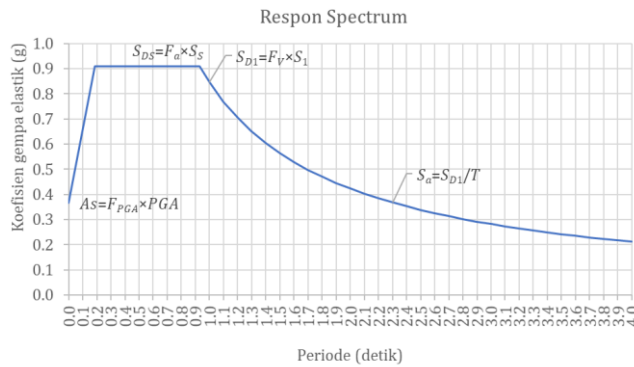
Berat jenis	$22 + 0,022 \cdot f_c = 22.8271$	KN/m ³
Baja prategang		
Tipe	Untaian kawat (<i>Strand</i>)	-
Diameter (D)	15.2	mm
Luas penampang (A1)	143	mm ²
Tegangan putus (<i>fpu</i>)	250	KN
Tegangan tarik (<i>Pe</i>)	1750	MPa

Permodelan Kombinasi Pembebanan

Permodelan dilakukan dengan *input* seluruh hasil perhitungan analisis pembebanan dan γ_p sesuai jenis pembebanan ke dalam *software* SAP2000. Permodelan dilakukan dengan membuat permodelan struktur yang bekerja terhadap kolom dan pembebanan terhadap struktur atas dan kolom.

Tabel 4 Rekapitulasi pembebanan rencana

Pembebanan	Kategori (P)	Besar	Satuan	γ_p
Parapet	MA	12.15	KN/m'	2.0
Aspal	MA	2.2	KN/m ²	2.0
Median	MA	7.5	KN/m ²	2.0
Girder	MS	Model	-	1.2
Pierhead	MS	Model	-	1.2
Beban lajur	TD (BTR)	9	KN/m ²	1.8
	TD (BGT)	49	KN/m	
Gaya rem	TB1	25	KN	-
	TB2	9	KN/m ²	-
Beban angin pada struktur	EW _s	0.68	KN/m ²	-
		0.68	KN/m ²	
		0.34	KN/m ²	
		0.68	KN/m ²	
		0.34	KN/m ²	
Beban angin pada kendaraan	EW ₁	1.46	N/mm	-
Beban akibat tumbukan kendaraan	TC	1800	KN	-
Beban Gempa	EQ	Respon spektrum	-	-



Gambar 7 Grafik respon spektrum rencana

Setelah seluruh pembebanan dimasukan kedalam permodelan *software* SAP2000 maka didapatkan respon statis dari kolom pada tabel 5 dan tabel 6.

Tabel 5 Tabel respon statis kolom - 1

OutputCase	Pu	V2	V3
	KN	KN	KN
MS	8918.02	0.00	0.00
KUAT I	46530.84	0.00	0.00
KUAT II	58821.46	-7.97	47.37
KUAT III	40617.05	577.78	659.50
KUAT IV	40255.80	0.00	-0.09
KUAT V	40359.00	165.09	188.37
EKSTREM I (max)	45315.96	-9942.81	-11313.03
EKSTREM I (min)	43151.69	9939.40	11333.20
EKSTREM II	44791.33	0.00	-1800.48
DAYA LAYAN I	39397.39	118.12	175.18
DAYA LAYAN II	43298.34	-7.40	44.01
DAYA LAYAN III	36667.75	-4.56	27.06
DAYA LAYAN IV	26609.25	-218.96	-1105.03
FATIK	13440.98	-4.27	25.42

Tabel 6 Tabel respon statis - 2

OutputCase	Pu	Mu2	Mu3
	KN	KN-m	KN-m
MS	8918.02	0.00	0.00
KUAT I	46530.84	0.00	0.00
KUAT II	58821.46	-473.66	-79.70
KUAT III	40617.05	-6666.01	5777.84
KUAT IV	40255.80	0.87	0.05
KUAT V	40359.00	-1903.96	1650.85
EKSTREM I (max)	45315.96	113130.34	-99428.13
EKSTREM I (min)	43151.69	-113331.96	99394.04

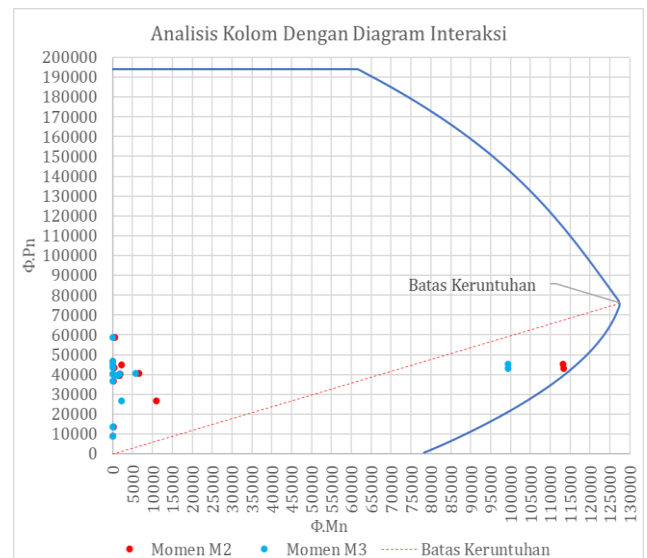
EKSTREM II	44791.33	2164.84	0.00
DAYA LAYAN I	39397.39	-1767.03	1181.16
DAYA LAYAN II	43298.34	-440.11	-74.03
DAYA LAYAN III	36667.75	-270.62	-45.55
DAYA LAYAN IV	26609.25	11035.12	-2189.60
FATIK	13440.98	-254.22	-42.73

Diagram Interaksi Kolom

Berdasarkan output respon statis pembebanan terhadap permodelan kolom didapatkan nilai P_u dan M_u pada setiap kombinasi pembebanan. Desain kolom menggunakan parameter berikut

Mutu beton kolom	: 37.35 MPa
Mutu tulangan	: 500 MPa
Panjang (b)	: 3300 mm
Lebar (h)	: 2700 mm
Tebal selimut brutto (ds)	: 50 mm
Diameter tulangan utama (D)	: 32 mm
Jumlah tulangan horizontal (H)	: 54 buah
Jumlah tulangan vertikal (V)	: 186 buah
Total tulangan (n)	: 124 buah

Desain penampang beton kolom menggunakan metode diagram internal dengan menentukan besar ΦP_n dan ΦM_n . Nilai ΦP_n dan ΦM_n kemudian dibuat grafik sebagai perbandingan terhadap nilai P_u dan M_u untuk menentukan kapasitas kolom dalam menerima seluruh beban dan momen yang bekerja dari setiap kombinasi pembebanan yang bekerja. kondisi balance menunjukan batas kerusakan pada kolom.



Gambar 8 Diagram interaksi kolom desain

Gaya Prategang Pakai

Berdasarkan perhitungan pada persamaan (17) dan persamaan (18) gaya prategang diberikan pada tendon sumbu x sebesar 14388.53 KN, dan gaya prategang yang diberikan pada tendon sumbu y sebesar 9989.56 KN.

Untuk jenis strand yang digunakan pada struktur kolom prategang ini yaitu tipe *seven – wire strand stress-*

relieved mutu 250 tegangan putus (f_{pu}) sebesar 1860 MPa dan tegangan leleh (f_y) sebesar 1581 MPa, dengan diameter strand (A) 15.24 mm dan luas 140 mm² dengan susunan tendon (n_{strand}) 31 strand/tendon Sehingga untuk menentukan kebutuhan tendon dimana A_{tendon} berbanding dengan besar luas tendon satuan (A_1).

Berdasarkan analisis perhitungan didapatkan kebutuhan tendon pada sumbu x yaitu 2 tendon dan sumbu y 2 tendon dengan masing-masing tendon terdiri dari 31 susun strand. Kemudian untuk gaya prategang yang diberikan pada masing-masing tendon yaitu sebesar 8072.4 KN.

Kehilangan Sebagian Gaya Prategang

Berdasarkan hasil analisis, kehilangan gaya prategang didapatkan rekapitulasi seperti pada tabel 7.

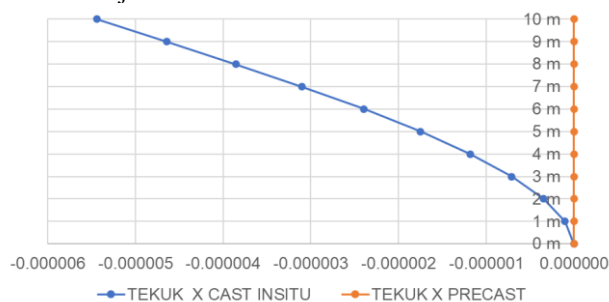
Tabel 7 Rekapitulasi kehilangan sebagian gaya prategang

Kehilangan Sebagian Gaya Prategang	Besar Kehilangan Gaya Prategang	Satuan
Akibat elastisitas (ES)	6308.29	KN/m ²
Akibat susut (SH)	8446.66	KN/m ²
Akibat rangkai (CR) sumbu x	12340.82	KN/m ²
Akibat rangkai (CR) sumbu y	12351.49	KN/m ²
Akibat relaksasi baja (R) sumbu x	14706.59	KN/m ²
Akibat relaksasi baja (R) sumbu y	14705.10	KN/m ²
Akibat friksi (F)	532.78	KN
Akibat pengurangan (A)	445.50	KN

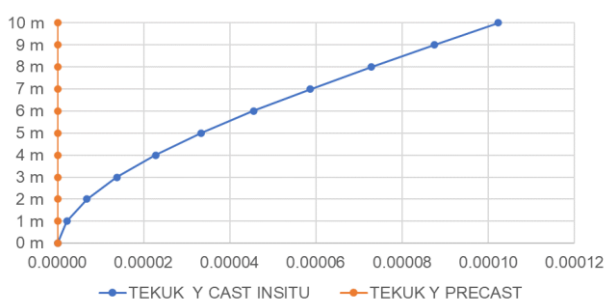
Analisa Perbandingan Struktur

Berdasarkan hasil permodelan struktur kolom *cast insitu* dan kolom *precast* dengan metode prategang lampiran pada, didapatkan perbandingan respon statis dan besar tekukan yang terjadi pada kedua kolom.

- Pada kondisi kuat I, *Shear* dan *moment* yang terjadi menjadi semakin kecil akibat penambahan tendon pada kolom *precast*. Dimana *shear* terbesar terjadi pada ketinggian 10 m yaitu sebesar 0.00 KN menjadi 0.00 KN pada sumbu x, dan 0.57 KN menjadi 0.00 KN pada sumbu y. Untuk *moment* yang bekerja pemberian gaya prategang mengurangi momen yang bekerja pada struktur kolom yaitu 0.57 KN.m menjadi 0.00 KN.m pada sumbu y, dan -0.02 KN.m menjadi 0.00 KN.m pada sumbu x. Untuk tekukan yang terjadi kurang dari 0.001 mm, namun pemberian tendon prategang mampu memperkecil tekukan yang terjadi



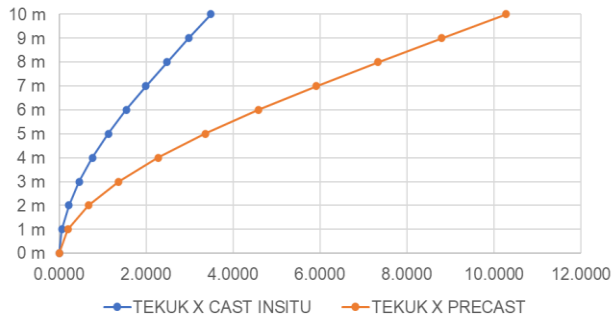
Gambar 9 Grafik tekuk sumbu x kombinasi KUAT I



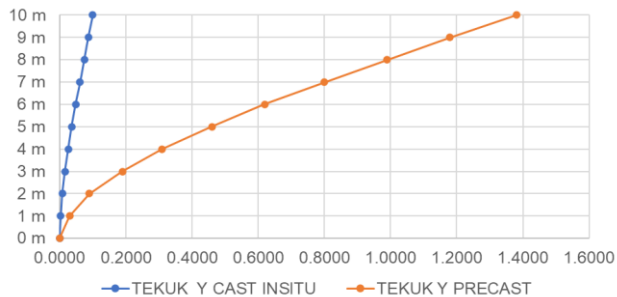
Gambar 10 Grafik tekuk sumbu Y kombinasi KUAT I

- Pada kondisi kuat II, *shear* yang terjadi berkurang yaitu sebesar -1.20 KN menjadi 0.01 KN di sumbu x, dan -32.10 KN menjadi -0.82 KN di sumbu y. Untuk *moment* yang bekerja pemberian tendon mengurangi *moment* pada struktur kolom yaitu -321.04 KN.m menjadi -7.99 KN.m di tumpuan kolom sumbu y, dan -11.95 KN.m menjadi 0.09 KN.m di tumpuan kolom sumbu x. Sedangkan tekukan yang terjadi yaitu sebesar -0.003 mm menjadi 0.000 mm arah sumbu x, dan -0.057 mm menjadi 0.000 mm arah sumbu y.
- Pada kondisi kuat III, *shear* yang terjadi meningkat -15.61 KN menjadi 70.81 KN di sumbu x, dan -3.80 KN menjadi -1265.55 KN di sumbu y. Untuk *moment* yang bekerja pemberian tendon meningkatkan *moment* yang bekerja pada struktur kolom yaitu -38.01 KN.m menjadi -1265.55 KN.m di tumpuan kolom sumbu y, dan -156.12 KN.m menjadi 677.03 KN.m di tumpuan kolom sumbu x. Sedangkan tekukan yang terjadi bertambah akibat tendon yaitu sebesar -0.041 mm menjadi 0.170 mm arah sumbu x, dan -0.007 mm menjadi -2.170 mm arah sumbu y.
- Pada kondisi kuat IV, *shear* yang bekerja di sumbu x tidak melebihi 0.01, sedangkan pada sumbu y *shear* yang terjadi berkurang dari 0.05 KN menjadi 0.00 KN. Untuk momen yang bekerja pemberian tendon mengurangi momen pada struktur kolom dari 0.49 KN.m menjadi 0.00 KN.m di tumpuan kolom sumbu y, dan -0.02 KN.m menjadi 0.00 KN.m di tumpuan kolom sumbu x. Sedangkan untuk tekuk yang terjadi kurang dari 0.001 mm, namun pemberian tendon mampu memperkecil tekukan yang terjadi.
- Pada kondisi kuat V, *shear* yang terjadi meningkat dari -4.19 KN menjadi 20.23 KN di sumbu x, dan -1.03 KN menjadi -361.59 KN di sumbu y. Untuk momen yang bekerja pemberian tendon meningkatkan momen yang bekerja pada struktur kolom yaitu -10.28 KN.m menjadi -3506.55 KN.m di tumpuan kolom sumbu y, dan -41.94 KN.m menjadi 193.44 KN.m di tumpuan kolom sumbu x. Sedangkan tekukan yang terjadi bertambah akibat tendon yaitu sebesar -0.011 mm menjadi 0.050 mm arah sumbu x, dan -0.002 mm menjadi -0.
- Pada kondisi ekstrem I (max), *shear* yang terjadi meningkat dari 1378.22 KN menjadi 4242.80 KN di sumbu x, dan 92.40 KN menjadi 839.30 KN di sumbu y. Sedangkan pemberian tendon

meningkatkan momen yang bekerja pada struktur kolom yaitu 653.63 KN.m menjadi 7884.78 KN.m di tumpuan kolom sumbu y, dan 13493.24 KN.m menjadi 40302.17 KN.m di tumpuan kolom sumbu x. Sedangkan tekukan yang terjadi bertambah akibat tendon yaitu sebesar 3.492 mm menjadi 10.280 mm arah sumbu x, dan 0.100 mm menjadi 1.380 mm arah sumbu y.

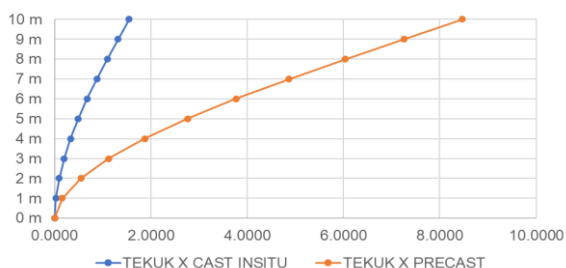


Gambar 11 Grafik tekuk sumbu x kombinasi EKSTREM I (max)

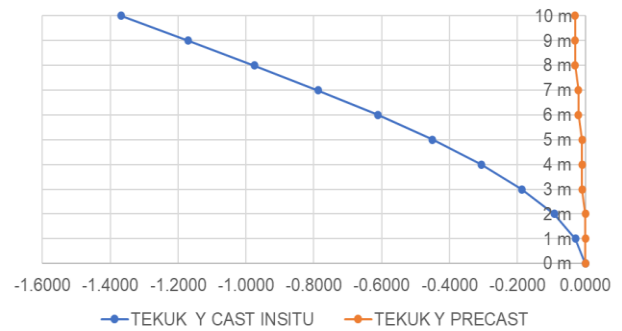


Gambar 12 Grafik tekuk sumbu Y kombinasi EKSTREM I (max)

- g. Pada kondisi ekstrem I (min), shear yang terjadi meningkat dari 555.18 KN menjadi 3426.15 KN di sumbu x, dan di sumbu y menurun dari -800.77 KN menjadi 839.30 KN. Momen yang bekerja pada struktur kolom menurun dari -7737.36 KN.m menjadi -265.85 KN.m di tumpuan kolom sumbu y, dan peningkatan di tumpuan kolom sumbu x dari 5840.70 KN.m menjadi 33024.65 KN.m. Sedangkan tekuk pada sumbu x meningkat dari 1.55 mm menjadi 8.47 mm, dan sumbu y mengalami penurunan dari -1.367 mm menjadi -0.030 mm di ketinggian 10 m

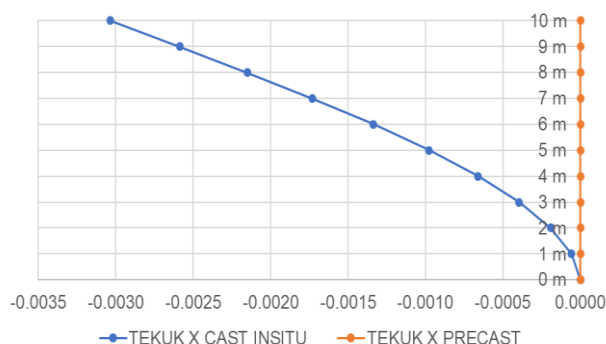


Gambar 13 Grafik tekuk sumbu x kombinasi EKSTREM I (min)

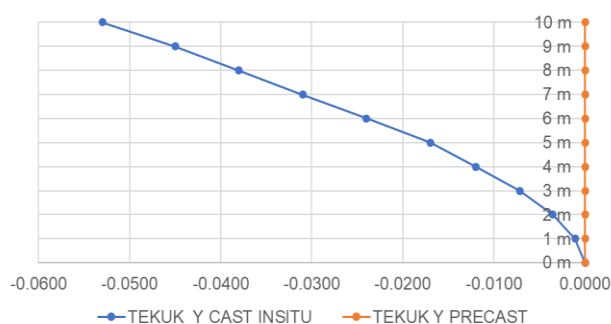


Gambar 14 Grafik tekuk sumbu Y kombinasi EKSTREM I (min)

- h. Pada kondisi ekstrem II, *shear* yang terjadi menurun dari -0.45 KN menjadi 0.00 KN di sumbu x, dan di sumbu y meningkat dari 1788.59 KN menjadi 1799.71KN. *Moment* yang bekerja pada struktur kolom meningkat dari 2045.87 KN.m menjadi 2149.32 KN.m di tumpuan kolom sumbu y, dan penurunan di tumpuan kolom sumbu x dari -4.47 KN.m menjadi 0.03 KN.m. Sedangkan tekuk pada sumbu x menurun dari -0.001 mm menjadi 0.000 mm, dan sumbu y mengalami peningkatan dari 0.070 mm menjadi 0.090 mm di ketinggian 10 m.
- i. Pada kondisi daya layan I, *shear* yang terjadi meningkat -4.04 KN menjadi 15.18 KN di sumbu x, dan -20.70 KN menjadi -267.26 KN di sumbu y. Untuk *moment* yang bekerja pemberian tendon meningkatkan *moment* yang bekerja pada struktur kolom yaitu -191.82 KN.m menjadi -2576.85 KN.m di tumpuan kolom sumbu y, dan -40.44 KN.m menjadi 145.15 KN.m di tumpuan kolom sumbu x. Sedangkan tekukan yang terjadi bertambah akibat tendon yaitu sebesar -0.011 mm menjadi 0.040 mm arah sumbu x, dan -0.035 mm menjadi -0.460 mm arah sumbu y.
- j. Pada kondisi daya layan II, *shear* yang terjadi berkurang yaitu sebesar -1.16 KN menjadi 0.01 KN di sumbu x, dan -29.77 KN menjadi -0.77 KN di sumbu y. Untuk *moment* yang bekerja pemberian tendon mengurangi *moment* pada struktur kolom yaitu -297.68 KN.m menjadi -7.42 KN.m di tumpuan kolom sumbu y, dan -11.63 KN.m menjadi 0.08 KN.m di tumpuan kolom sumbu x. Sedangkan tekukan yang terjadi yaitu sebesar -0.003 mm menjadi 0.000 mm arah sumbu x, dan -0.053 mm menjadi 0.000 mm arah sumbu y.

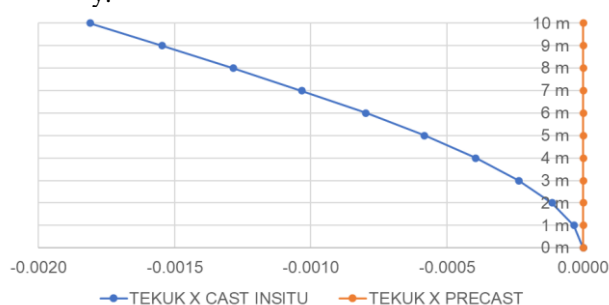


Gambar 15 Grafik tekuk sumbu x kombinasi DAYA LAYAN II

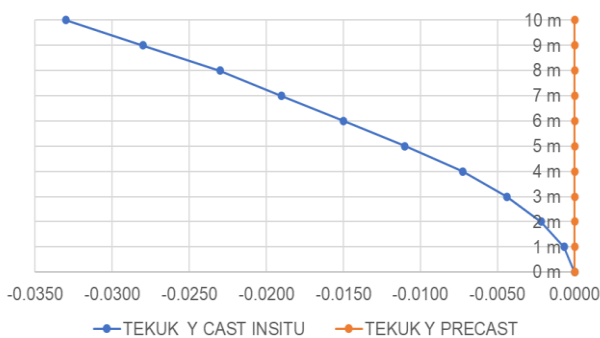


Gambar 16 Grafik tekuk sumbu Y kombinasi DAYA LAYAN II

- k. Pada kondisi daya layan III, *shear* yang terjadi berkurang yaitu sebesar -0.69 KN menjadi 0.01 KN di sumbu x, dan -18.32 KN menjadi -0.47 KN di sumbu y. Untuk *moment* yang bekerja pemberian tendon mengurangi *moment* pada struktur kolom yaitu -183.22 KN.m menjadi -4.57 KN.m di tumpuan kolom sumbu y, dan -6.94 KN.m menjadi 0.05 KN.m di tumpuan kolom sumbu x. Sedangkan tekukan yang terjadi yaitu sebesar -0.002 mm menjadi 0.000 mm arah sumbu x, dan -0.033 mm menjadi 0.000 mm arah sumbu y.



Gambar 17 Grafik tekuk sumbu x kombinasi DAYA LAYAN III



Gambar 18 Grafik tekuk sumbu Y kombinasi DAYA LAYAN III

- l. Pada kondisi daya layan IV, *shear* yang terjadi meningkat dari -3.97 KN menjadi 15.18 KN di sumbu x, dan -16.67 KN menjadi -261.23 KN di sumbu y. Untuk *moment* yang bekerja pemberian tendon meningkatkan *moment* pada struktur kolom yaitu -131.16 KN.m menjadi -2498.49 KN.m di tumpuan kolom sumbu y, dan -39.70 KN.m menjadi 145.16 KN.m di tumpuan kolom sumbu x. Sedangkan tekukan yang terjadi bertambah akibat tendon yaitu sebesar -0.010 mm menjadi 0.040 mm arah sumbu x, dan -0.025 mm menjadi -0.440 mm arah sumbu y.

Pada kondisi fatik, *shear* yang terjadi berkurang yaitu sebesar -0.66 KN menjadi 0.00 KN di sumbu x, dan -17.22 KN menjadi 0.00 KN di sumbu y. Untuk *moment* yang bekerja pemberian tendon mengurangi *moment* pada struktur kolom yaitu -172.17 KN.m menjadi 0.00 KN.m di tumpuan kolom sumbu y, dan -6.61 KN.m menjadi 0.01 KN.m di tumpuan kolom sumbu x. Sedangkan tekukan yang terjadi yaitu sebesar -0.002 mm menjadi 0.000 mm arah sumbu x, dan -0.031 mm menjadi 0.000 mm arah sumbu y.

KESIMPULAN

Shear pada kolom :

Shear permodelan kolom cast insitu terbesar terjadi pada kondisi ekstrem I (max) ke arah sumbu x yaitu sebesar 1378.22 KN, namun akibat pemberian tendon pada permodelan kolom precast *shear* meningkat menjadi 4242.80 KN.

Shear terkecil terjadi pada kombinasi pembebanan kuat I ke arah sumbu x yaitu sebesar -0.002086 KN untuk permodelan cast insitu, sedangkan akibat pemberian tendon pada kolom precast *shear* menurun menjadi -0.00003513 KN.

Momen pada kolom :

Akibat beban gempa pada kombinasi pembebanan ekstrem I (max), *moment* terbesar terjadi sebesar 13493.24 KN.m pada permodelan kolom cast insitu, sedangkan pada permodelan kolom cast insitu *moment* mengalami peningkatan yang signifikan yaitu sebesar 40302.17 KN.m pada sumbu x.

Momen terkecil terjadi pada kombinasi kuat I dengan *moment* sebesar -0.0209 KN.m di sumbu x untuk permodelan kolom cast insitu dan terjadi penurunan pada

permodelan kolom precast dengan penambahan tendon yaitu sebesar -0.0003359 KN.m.

Besar tekuk pada kolom :

Kolom pada kombinasi pembebanan ekstrem I (max) mengalami besar tekuk terbesar akibat menerima beban gempa yaitu 3.492 mm pada permodelan kolom cast insitu ke arah sumbu x . namun tekukan pada kolom mengalami peningkatan akibat tendon pada area serat tekan penampang kolom yaitu sebesar 10.280 mm seperti pada gambar 11.

Tekuk terkecil terjadi di kombinasi pembebanan kuat I yaitu -0.00000544 mm ke arah sumbu x pada permodelan kolom *cast insitu*, namun pada permodelan kolom *precast* pemberian tendon mengakibatkan tekuk pada kolom menurun menjadi 0.00 mm seperti pada gambar 9.

Shear terbesar terjadi pada kombinasi pembebanan ekstrem I (max) yaitu sebesar 4242.80 KN pada kolom beton *precast*. Dimana kombinasi pembebanan ekstrem I satu-satunya pembebanan yang dipengaruhi oleh beban gempa, oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa beban gempa sangat berpengaruh terhadap struktur kolom beton jembatan *cast insitu* dan *precast*.

Beban rem dan beban tumbukan bekerja bersama pada kombinasi pembebanan ekstrem II, dengan *shear* terbesar yaitu 1799.71 KN pada kolom beton *precast*. sedangkan pada kombinasi pembebanan ekstrem I (max) yang diakibatkan beban gempa, *shear* yang terjadi sebesar 4242.80 KN pada kolom beton *precast*. Maka dapat disimpulkan bahwa beban rem dan tumbukan tidak berpengaruh lebih besar dibandingkan dengan beban gempa yang bekerja pada struktur kolom beton jembatan *cast insitu* dan *precast*.

DAFTAR PUSTAKA

Jurnal

- Ibrahim, Izni Syahrizal, Khairul Hazman Padil, Hamid Mansoor, Ali Bady, Abdul Aziz Saim, and Noor Nabilah Sarbini. (2014). "Ultimate Shear Capacity and Failure of Shear Key Connection in Precast Concrete Construction". Malaysia : Malaysian Journal of Civil Engineering 26
- Yee, A. A. (2001). "Social and Environmental Benefits of Precast Concrete Technology". PCI Journal
- Singh, Manbhawan, Kapil Soni, and Jatin Mehta. (2008). "Study on Comparison of Precast and Cast In-Situ Construction of the Structure Based on Social Category". International Research Journal of Engineering and Technology.
- Yee, A. A. (2001). "Structural and Economic Benefits of Precast/Prestressed Concrete Construction". PCI Journal.

Buku

- Krishna Raju, N. (2008). "Prestressed Concrete". 4th Edition.
- SNI 1725:2016. (2016). "Pembebanan Untuk Jembatan".
- SNI 2833:2016. (2016). "Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa".

Nawy, Edward. (2001). "Beton Prategang – Suatu Pendekatan Mendasar".

Nawy, Edward. (2005). "Reinforced Concrete: A Fundamental Approach". ACI 318-05 Code Edition.

Laporan

- Mirnayani. (2016). "Analisis Waktu Dan Biaya Metode Pekerjaan Pier Head Cast In Situ Dan Pier Head Precast Pada Proyek Infrastruktur Fly Over".
- Kisty, Rr, and Nanda Putri. (2014). "Analisa Perbandingan Durasi Pada Proyek Pembangunan Rusunawa Berdasarkan Metode Pelaksanaan Konstruksi Konvensional Dan Pracetak".