

Penggunaan *Cable* untuk Modifikasi Atap Stadion Utama Palaran Samarinda

Lina Febrianty, Endah Wahyuni, dan Bambang Piscesa

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: endah@ce.its.ac.id

Abstrak—“Pendapatan terbesar stadion didapat dari penjualan tiket tanpa tambahan fasilitas lain”. Untuk itu diperlukan sistem struktur yang dapat meningkatkan kapasitas penonton namun tidak mengurangi nilai estetis stadion tersebut. Salah satunya adalah dengan menggunakan sistem kabel. Sistem kabel merupakan sebuah sistem struktur yang terdiri dari dek orthotropic dan girder menerus yang diikat oleh *incline cable* dan didistribusikan ke menara yang terletak pada pilar utama. Pada tugas akhir ini dilakukan modifikasi atap Stadion Utama Palaran Samarinda, yang semula menggunakan struktur atap rangka batang konvensional menjadi struktur atap dengan menggunakan sistem kabel. Perencanaan stadion ini dibantu dengan menggunakan program komputer SAP2000 14.00 untuk menganalisa struktur utama maupun struktur sekunder. Struktur utama yang terdiri dari *steel box*, rangka atap melintang dan *cable*. Struktur sekunder terdiri dari rangka memanjang dan ikatan angin. Hasil dari perencanaan ini adalah didapatkan dimensi struktur rangka atap, *steel box*, kabel, serta tumpuan pada *box* dan kolom dengan menggunakan acuan peraturan SNI 2847-2002, PPIUG 1989, dan SNI 03-1729-2002.

Kata Kunci : *Cable*, estetis, stadion, *steel box*.

I. PENDAHULUAN

STADION adalah sebuah bangunan yang umumnya digunakan untuk menyelenggarakan acara olahraga dan konser, di mana di dalamnya terdapat lapangan atau pentas yang dikelilingi tempat berdiri atau duduk bagi penonton. Stadion tertua yang kita kenal adalah sebuah stadion di Olympia, Peloponnesos, Yunani yang telah menyelenggarakan Olimpiade Kuno sejak tahun 776 SM. Stadion umumnya digunakan untuk merujuk kepada bangunan yang menyelenggarakan kegiatan luar ruangan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh bagian olahraga *Franklin & Andrews*, sebuah konsultan konstruksi di Inggris, menyebutkan bahwa 59% pendapatan stadion didapat dari penjualan tiket tanpa tambahan fasilitas lain. Dengan demikian semakin banyak penonton yang masuk ke stadion, maka pendapatan yang dihasilkan juga semakin besar.

Stadion modern seringkali mempunyai atap di tribun penonton, namun ada pula stadion yang tak beratap sama sekali maupun yang malah menutupi keseluruhan stadion (stadion berbentuk kubah, *dome*). Stadion modern juga sering kali memperlihatkan dari keindahan arsitektur, mulai dari desain, estetika maupun kemegahan stadion. Adapun syarat dari atap yang digunakan pada stadion adalah anti bocor, awet,

tahan iklim dan perawatan yang mudah. Syarat lain dari sebuah perencanaan stadion adalah profil yang digunakan mudah didapat di pasaran dan juga ekonomis.

Perencanaan stadion berkapasitas besar berarti juga harus memperbesar atap stadion tanpa adanya penopang kolom yang diletakkan di dalam stadion. Penempatan kolom-kolom di luar stadion sehingga tidak mengganggu penonton untuk melihat ke arena stadion. Untuk perencanaan stadion dengan bentang atap yang lebar, dapat digunakan *cable stayed* yang membantu kolom-kolom stadion untuk menopang atap stadion.

Dari sini diharapkan dengan adanya tambahan *cable stayed* pada atap stadion bisa memperlebar ruang atap stadion sehingga kapasitas penonton lebih banyak dan memberikan dampak yang besar pula terhadap pendapatan stadion.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengumpulan Data dan Studi Literatur

1. Pengumpulan data untuk perencanaan gedung, meliputi:
 - Gambar Arsitektur
Gambar arsitektural diperoleh dari laboratorium struktur Teknik Sipil ITS
 - Data Tanah (*Soil investigation*)
Data tanah diperoleh dari laboratorium mekanika tanah Teknik Sipil ITS untuk menunjang perencanaan pondasi yang aman dan efisien.
2. Studi Literatur
Mempelajari literature yang berkaitan dengan perancangan diantaranya:
 - Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002) [1].
 - Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002) [2].
 - Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG 1983) [3].
 - California Departement of Transportation (CalTrans 2004) [4].
 - Text book *Cable Stayed Bridge* karangan Rene Walter tahun 1985 [5]

B. Diagram Alur Perencanaan

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini dimulai dengan preliminary design, perencanaan struktur sekunder lalu

menentukan pembebanan dan kombinasinya. Analisa struktur menggunakan SAP2000. Hasil dari SAP2000 setiap profil akan dikontrol design. Hasil dari profil yang telah memenuhi persyaratan design akan direncanakan sambungan maupun tumpuan-tumpuan yang menopang struktur tersebut. Terakhir yaitu menggambarkan hasil analisa struktur berupa : denah stadion, profil yang dipakai, sambungan dan tumpuan.

C. Modifikasi dan Kriteria Pemilihan Struktur

Stadion Utama Samarinda :

- Lokasi : Samarinda
- Fungsi : Stadion serbaguna
- Tinggi Bangunan : 24 m
- Bentuk atap : elips
- Dimensi : 224 x 304 x 42 m
- Kapasitas : 35000 penonton

Setelah modifikasi:

- Lokasi : Samarinda
- Fungsi : Stadion PON XVII
- Tinggi Bangunan : 45 m
- Bentuk atap : Pelengkung dengan sistem cable
- Dimensi : 304 x 224 x 109 m
- Kapasitas : 70000 penonton

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perencanaan Struktur Atap

Untuk desain awal stadion dapat dilihat pada Gambar 1- 4. Sedangkan dimensi rangka yang digunakan pada atap sesuai dengan SNI 03-1729-2002 dapat dilihat pada Tabel 1.

B. Pembebanan

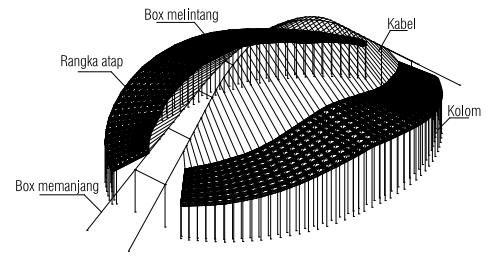
Kombinasi Beban Berfaktor sesuai dengan SNI 03-1729-2002 pasal 6.2.2

- $1.4D \pm 1.2T$
- $1.2D + 1,6 L \pm 1.2T$
- $1.2D + 0.5 L \pm 1.3 W \pm 1.2T$
- $0.9D \pm 1,3W \pm 1.2T$
- $1.2D + 0.5L \pm T \pm 1.2Eq$
- $1.2D + 0.5L \pm 1.2T \pm Ey$
- $0.9D \pm 1.2T \pm Eq$
- $0.9D \pm 1.2T \pm Ey$
- $D \pm 1.2T$
- $D + L \pm 1.2T$

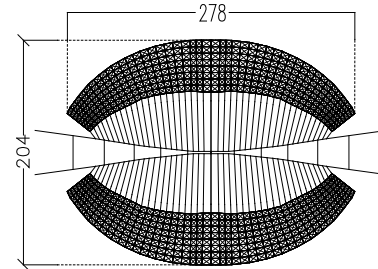
C. Analisa Respon Spektrum

Sesuai dengan SNI 03-1726-2002 tanah di Samarinda termasuk jenis tanah lunak. Grafik persamaan respon spektrum untuk wilayah ini dapat dilihat pada Gambar 5.

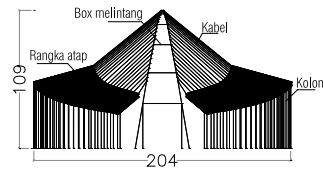
Hasil dari periode dan deformasi untuk tiap mode shape pada Tabel 2.



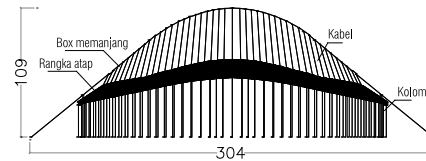
Gambar. 1. Tampak 3D stadion.



Gambar. 2. Tampak atas atap stadion.



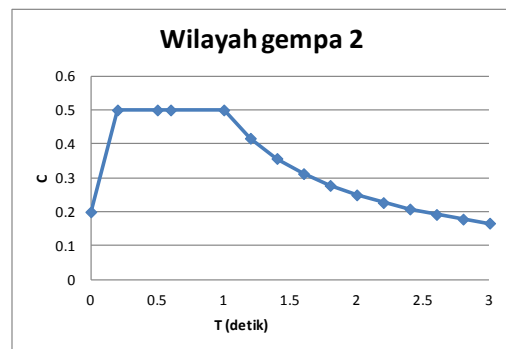
Gambar. 3. Potongan melintang stadion.



Gambar. 4. Potongan memanjang stadion.

Tabel 1. Profil rangka atap

Rangka	Tipe profil	Dimensi (mm)	Tebal (mm)
Ikatan Angin	Baja bulat	25	
Gording	CHS	165.2	4.5
HA1	CHS	273	25
HB1	CHS	457	40
V1	CHS	60.3	3.2
D1	CHS	114.3	10



Gambar. 5. Grafik respon spektrum.

Tabel 2.
Deformasi untuk tiap mode shape

Output Case	Step Type	Mode No.	Period	UX	UY	UZ
MODAL	Mode	1	6.6403	0.000011	4.69E-11	2.17E-09
MODAL	Mode	2	5.0764	0.448774	1.35E-08	2.8E-09
MODAL	Mode	3	1.7244	0.264642	3.62E-08	6.72E-09
MODAL	Mode	4	1.4487	1.04E-08	1.1E-07	1.99E-09
MODAL	Mode	5	1.4093	1.68E-08	0.148773	1.92E-10
MODAL	Mode	6	1.1644	4.37E-10	4.51E-06	0.06177
MODAL	Mode	7	1.1429	4.91E-08	0.048485	5.17E-06
MODAL	Mode	8	1.0137	1.98E-08	3.09E-09	1.38E-08
MODAL	Mode	9	0.9231	3.58E-08	7.51E-09	3.36E-09
MODAL	Mode	10	0.8718	0.020186	1.53E-07	1.84E-07

Tabel 3.
Modal participation mass ratio

Output Case	Step Type	Mode No.	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
MODAL	Mode	200	0.1042	1.6E-11	0.00022	8.81E-06	0.967	0.627	0.758

Tabel 4.
Gaya reaksi dasar (belum dikoreksi)

Output case text	Global Fx (t)	Global Fy (t)	Global Fz (t)
Dead	2.154 10 ¹¹	7.854 10 ¹²	7950.95
Live	1.16 10 ¹²	5.575 10 ¹²	563.33
RSPx	335.35	210.7303	0.7145
RSPy	100.75	375.605	2.1641

Tabel 5.
Kebutuhan kabel

No. Kabel	n kabel	Asc kabel (cm ²)	P aksial (kg)	P aksial Maks (kg)	Cek Pn>Pu
C-1	10	14	100711.4	117180	Oke
C-2	9	12.6	90918.6	105462	Oke
C-3	6	8.4	63937.7	70308	Oke
C-4	7	9.8	71709.6	82026	Oke
C-5	6	8.4	66805.7	70308	Oke
C-6	6	8.4	62167.8	70308	Oke
C-7	6	8.4	67861.9	70308	Oke
C-8	6	8.4	70039.9	70308	Oke
C-9	7	9.8	63798.9	82026	Oke
C-10	7	9.8	69148	82026	Oke
C-11	7	9.8	80035.6	82026	Oke
C-12	8	11.2	80935.7	93744	Oke
C-13	8	11.2	86466.8	93744	Oke
C-14	8	11.2	92459.5	93744	Oke
C-15	9	12.6	94615.3	105462	Oke
C-16	9	12.6	102147.3	105462	Oke
C-17	10	14	105923.8	117180	Oke
C-18	10	14	111089.4	117180	Oke
C-19	11	15.4	116944.4	128898	Oke
C-20	12	16.8	136926.6	140616	Oke
C-21	8	11.2	82877.1	93744	Oke
C-22	8	11.2	85339.9	93744	Oke
C-23	9	12.6	96297.8	105462	Oke

1. Kontrol partisipasi massa

Sesuai dengan SNI 1726 pasal 7.2.1 jumlah ragam vibrasi (jumlah mode shape) yang ditinjau dalam penjumlahan respon ragam harus sedemikian rupa sehingga menghasilkan respon total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%. Hasil partisipasi massa dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari Tabel 3 didapatkan repon total mencapai 96.7% untuk arah x dan 62.7% untuk arah y, dengan demikian ketentuan menurut SNI 1726 pasal 7.2.1 dapat dipenuhi untuk arah x.

2. Kontrol base shear

Hasil dari reaksi yang terjadi pada base shear disajikan pada Tabel 4.

$$V \geq 0.8V_1 \text{ dan } V_1 = \frac{CI}{R} W_t$$

Evaluasi gempa arah x :

$$T = 6.64 \text{ det, maka } C = \frac{0.5}{T} = \frac{0.5}{6.64} = 0.0753$$

$$V_1 = \frac{0.0753 \times 1.6}{4.5} \times (7950.95 + 0.3 \times 563.33) = 217.4 \text{ ton}$$

Hasil analisa respon spektrum :

$$V_x = 335.35 \text{ ton} > 0.8V_1 = 173.92 \text{ ton}$$

Jadi spektrum respon arah x tidak perlu diperbesar.

Evaluasi gempa arah y :

$$T = 1.7086 \text{ det}$$

$$T = 6.64 \text{ det}$$

$$C = \frac{0.5}{T} = \frac{0.5}{6.64} = 0.0753$$

$$V_1 = \frac{0.0753 \times 1.6}{4.5} \times (7950.95 + 0.3 \times 563.33) = 217.4 \text{ ton}$$

Hasil analisa respon spektrum :

$$V_y = 375.605 \text{ ton} > 0.8V_1 = 173.92 \text{ ton}$$

Jadi spektrum respon arah y tidak perlu diperbesar.

3. Kontrol kabel

Kebutuhan luasan kabel yang digunakan berdasarkan gaya aksial yang terjadi pada kabel. Pada modifikasi stadion ini akan digunakan kabel ASTM A416-74 grade 270 dengan tegangan ultimate sebesar 1860 Mpa. Kebutuhan luasan tiap kabel ditampilkan pada tabel 5.

D. Analisa Steel Box

Kontrol profil steel box yang digunakan sesuai dengan Caltrans 1996. Pada perencanaan ini digunakan steel box BJ 50 sehingga diperoleh dimensi box dan stiffener sebagai berikut :

1. Profil Steel box memanjang

Dimensi profil box memanjang dapat dilihat pada gambar 6.

$$A_g = 5489.8 \text{ cm}^2 \quad I_x = 0499874 \text{ cm}^4$$

$$A = 300 \text{ mm} \quad I_y = 4714729 \text{ cm}^4$$

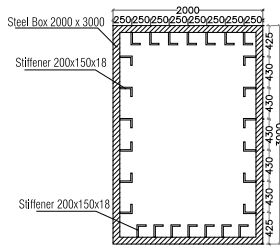
$$B = 2000 \text{ mm} \quad i_x = 113.323 \text{ cm}$$

$$t_w = 40 \text{ mm} \quad i_y = 79.521 \text{ cm}$$

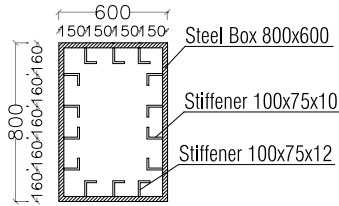
$$t_f = 40 \text{ mm} \quad Z_x = 566319 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 403666 \text{ cm}^3 \quad S_y = 345725 \text{ cm}^3$$

$$S_x = 469999 \text{ cm}^3$$



Gambar. 6. Profil steel box memanjang.



Gambar. 7. Profil steel box melintang.

Tabel 6.

Stiffener yang digunakan pada profil box memanjang

Jenis	Posisi	Tinggi h (mm)	Lebar b (mm)	Tebal t (mm)	Jarak pengaku w (mm)
Flange	Longitudinal atas	200	150	18	250
	Longitudinal bawah	200	150	18	250
Web	Longitudinal kanan	200	150	18	430
	Longitudinal kiri	200	150	18	430

Tabel 7.

Stiffener yang digunakan pada profil box melintang

Jenis	Posisi	Tinggi h (mm)	Lebar b (mm)	Tebal t (mm)	Jarak pengaku w (mm)
Flange	Longitudinal atas	100	75	12	150
	Longitudinal bawah	100	75	12	150
Web	Longitudinal kanan	100	75	10	160
	Longitudinal kiri	100	75	10	160

Stiffener yang digunakan adalah profil siku dengan detail ukuran stiffener yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 6.

2. Profil steel box melintang

Dimensi profil box memanjang dapat dilihat pada Gambar 7.

$$A_g = 732.28 \text{ cm}^2 \quad I_x = 610154.55 \text{ cm}^4$$

$$A = 800 \text{ mm} \quad I_y = 375733.5 \text{ cm}^4$$

$$B = 600 \text{ mm} \quad i_x = 28.87 \text{ cm}$$

$$t_w = 18 \text{ mm} \quad i_y = 22.65 \text{ cm}$$

$$t_f = 18 \text{ mm} \quad Z_y = 15175.82 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 19093.5 \text{ cm}^3 \quad S_x = 15211.12 \text{ cm}^3$$

$$S_y = 12511.76 \text{ cm}^3$$

Stiffener yang digunakan adalah profil siku dengan detail ukuran stiffener yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 7.

E. Sambungan

1. Sambungan las rangka atap

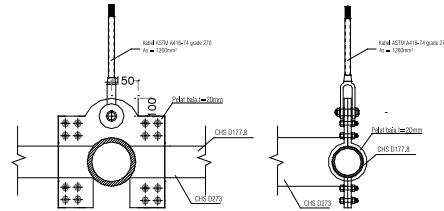
Berikut adalah hasil tebal las yang dibutuhkan untuk sambungan pada rangka atap As 23 ditampilkan pada tabel 9.

2. Sambungan kabel pada rangka

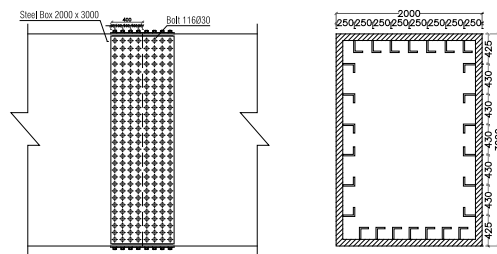
Sambungan kabel pada rangka dapat dilihat pada Gambar 8

Tabel 8. Tebal las masing-masing sambungan

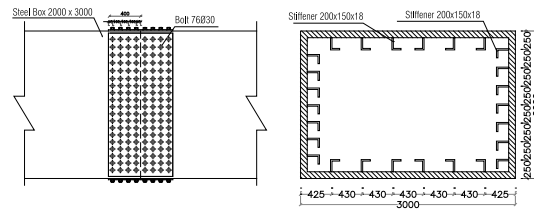
No	Sambungan	Syarat (mm)			a pakai (mm)
		amin	amax	aef max	
1	HA1 dan V1	3	3.2	3.76	3
2	HA1 dan D1	4	4	11.75	4
3	HA1 dan HA1	6	23.4	29.37	20
4	HB1 dan HB1	6	23.4	29.37	20
5	HB1 dan V1	3	3.2	3.76	3
6	HB1 dan D1	4	4	11.75	4



Gambar. 8. Sambungan kabel pada rangka.



Gambar. 9. Sambungan badan profil memanjang steel box.



Gambar. 10. Sambungan flange profil memanjang steel box.

Spesifikasi baut A325 :

D = 22 mm tp = 20 mm

$f_u = 8300 \text{ kg/cm}^2$ n = 16 buah

3. Sambungan Profil Steel Box memanjang

Baut A325 $f_u = 8300 \text{ kg/cm}^2$

D = 30 mm

a. Sambungan pada badan menggunakan baut n=116 dapat dilihat pada Gambar 9.

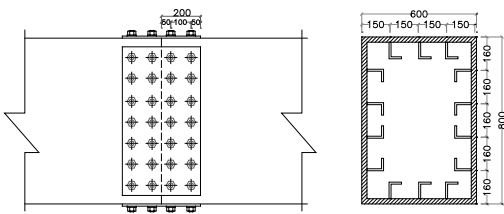
b. Sambungan pada sayap menggunakan baut n=76 dapat dilihat pada Gambar 10.

4. Sambungan Profil Melintang Steel Box

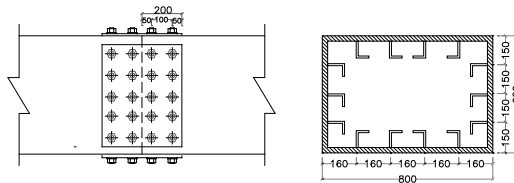
Baut A325 $f_u = 8300 \text{ kg/cm}^2$

D = 30 mm

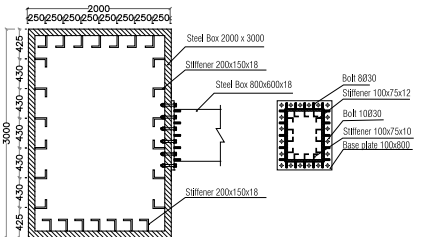
a. Sambungan pada badan menggunakan baut n=14 dapat dilihat pada Gambar 11.



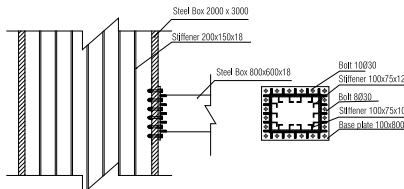
Gambar 11. Sambungan badan profil melintang *steel box*.



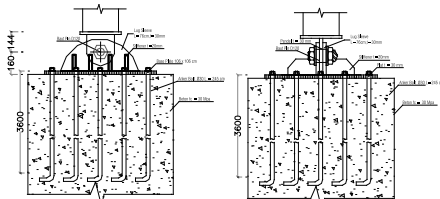
Gambar 12. Sambungan Flange Profil Melintang *Steel Box*



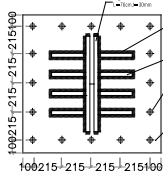
Gambar 13. Sambungan badan memanjang dan melintang *box*.



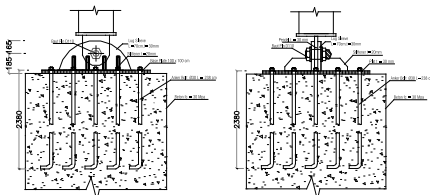
Gambar 14. Sambungan sayap memanjang dan melintang *box*.



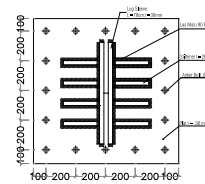
Gambar 15. Tumpuan pada kolom As 23-A.



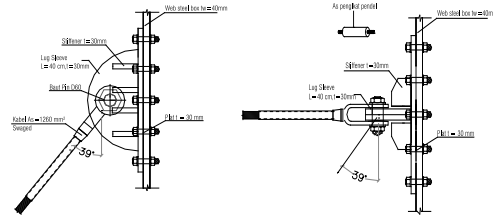
Gambar 16. Denah penempatan baut angkur.



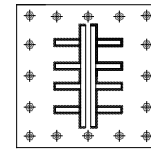
Gambar 17. Tumpuan pada kolom As 23-B



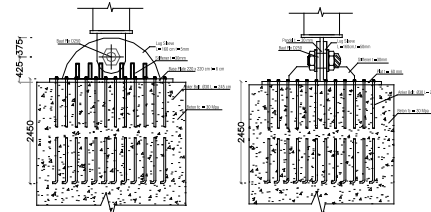
Gambar 18. Denah penempatan baut angkur.



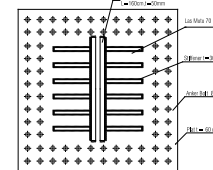
Gambar 19. Tumpuan kabel pada profil *steel box*.



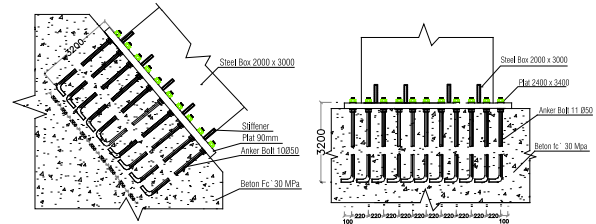
Gambar 20. Denah penempatan baut angkur.



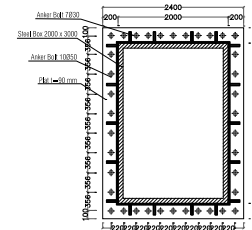
Gambar 21. Tumpuan pada kolom.



Gambar 22. Tumpuan pada kolom.



Gambar 23. Tumpuan *steel box*.



Gambar 24. Denah angkur tumpuan *steel box*.

b. Sambungan pada sayap menggunakan baut n=10 dapat dilihat pada Gambar 12.
 4. Sambungan profil melintang dan memanjang *steel box*
 Detail gambar sambungan badan profil melintang dan

memanjang *steel box* dapat dilihat pada Gambar 13.

Detail gambar sambungan flange(tampak atas)profil melintang dan memanjang *steel box* dapat dilihat pada Gambar 14.

F. Perencanaan Tumpuan

1. Tumpuan kuda-kuda ke kolom As 23-A

Gambar detail tumpuan As 23-A dapat dilihat pada Gambar 15 dan 16.

Baut A325 fu = 8300 kg/cm²

Diameter pin baut = 12 cm

Kuat geser :

$$V_u = 1.13 \times \mu \times m \times T_b \\ = 1.13 \times 0.35 \times 2 \times (0.25 \times 3.14 \times 12^2) \times 8300 \\ = 742141.51 \text{ kg} > V = 655748 \text{ kg}$$

2. Tumpuan kuda-kuda ke kolom As 23-B

Gambar detail tumpuan As 23-B dapat dilihat pada Gambar 17 dan 18.

Baut A325 fu = 8300 kg/cm²

Diameter pin baut = 11 cm

Kuat geser :

$$V_u = 1.13 \times \mu \times m \times T_b \\ = 1.13 \times 0.35 \times 2 \times (0.25 \times 3.14 \times 11^2) \times 8300 \\ = 623605.02 \text{ kg} > V = 621421 \text{ kg}$$

3. Tumpuan kabel pada *box*

Gambar detail tumpuan As 20-i dapat dilihat pada Gambar 19 dan 20.

Baut A325 fu = 8300 kg/cm²

Diameter pin baut = 6 cm

Kuat geser :

$$V_u = 1.13 \times \mu \times m \times T_b \\ = 1 \times 1.13 \times 0.35 \times 2 \times (0.25 \times 3.14 \times 6^2) \times 8300 \\ V_n = 185535.38 \text{ kg} > P_u = 136927 \text{ kg}$$

4. Tumpuan As K

Gambar detail tumpuan As K dapat dilihat pada Gambar 21 dan 22.

Baut A325 fu = 8300 kg/cm²

Diameter pin baut = 25 cm

Kuat geser :

$$V_u = 1.13 \times \mu \times m \times T_b \\ = 1 \times 1.13 \times 0.35 \times 2 \times (0.25 \times 3.14 \times 25^2) \times 8300 \\ V_n = 3221100.31 \text{ kg} > P_u = 3049079 \text{ kg}$$

$V_n = 3221100.31 \text{ kg} > P_u = 3049079 \text{ kg}$

5. Tumpuan base plate

Gambar detail tumpuan As J dapat dilihat pada Gambar 23 dan 24.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat dua kesimpulan yang dapat diambil, yaitu:

1. Kontrol Partisipasi massa:

Total partisipasi massa mencapai 96.7% untuk arah x dan 62.7% untuk arah y, dengan demikian ketentuan menurut SNI 1726 pasal 7.2.1 dapat dipenuhi untuk arah x.

2. Kontrol Base shear

$$V \geq 0.8V_1$$

$$V_x = 335.35 \text{ ton} > 0.8V_1 = 173.92 \text{ ton}$$

Jadi spektrum respon arah x tidak perlu diperbesar.

Evaluasi gempa arah y :

$$V_y = 375.605 \text{ ton} > 0.8V_1 = 173.92 \text{ ton}$$

Jadi spektrum respon arah y tidak perlu diperbesar.

3. Saran

Perlu dilakukan studi yang lebih mendalam untuk menghasilkan perencanaan struktur dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, dan estetika. Sehingga perencanaan dapat dilaksanakan mendekati kondisi sesungguhnya di lapangan dan hasil yang diperoleh sesuai dengan tujuan perencanaan yaitu kuat, ekonomis, dan tepat waktu dalam pelaksanaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Departemen Pekerjaan Umum.2002. "Tata Cara Perhitungan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002)," Yayasan LPMB, Bandung, (2002).
- [2] Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan. 2002. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002). Bandung : Badan Standarisasi Nasional.
- [3] Departemen Pekerjaan Umum, " Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG 1983)
- [4] CalTrans.2004."Bridge Design Specification,"California: California Departement of Transportation.
- [5] Rene Walter, "Cable Stayed Bridge," Text Book (1985)
- [6] Febrianty,Lina. 2013. Penggunaan Cable untuk Modifikasi Atap Stadion Utama Palaran Samarinda:Surabaya.