

ANALISIS STRUKTUR ATAP RANGKA RUANG SPACE TRUSS

Fajrin Fuad^{1*}, Arbain Tata¹, Imran¹

*Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Khairun
Jln. Pertamina Gambesi Ternate 55281 INDONESIA*

^{1*}fajrinfuad@gmail.com

Abstrak: Sistem struktur atap rangka ruang *SpaceTruss* adalah salah satu dari jenis struktur atap rangka ruang yang biasa digunakan untuk konstruksi dengan bentang panjang. Sistem rangka batang ruang merupakan perakitan 3 dimensi dari elemen-elemen linear, sehingga beban yang dipikul akan didistribusikan secara 3 dimensi. Sambungan antara elemen tidak memikul momen atau torsi sehingga masing-masing elemen hanya memikul beban aksial tarik atau tekan. Sistem struktur ini relatif lebih ringan, mudah di-fabrikasi dan transportasi, mudah dalam pemasangan, dan durasi konstruksi relatif lebih pendek. Analisis dilakukan pada sebuah gedung olahraga yang direncanakan menggunakan atap rangka ruang (*Space Truss*). Analisa struktur menggunakan Finite Element. Selanjutnya dilakukan kontrol terhadap elemen struktur baja dan perencanaan elemen struktur beton yang meliputi pelat lantai, tribun, plat atap, balok, dan kolom dengan system rangka SRPMK sesuai dengan Standar Nasional yang diisyaratkan. Dari hasil analisis didapatkan profil atap baja menggunakan pipa ASTM A-252 dari brosur *Bakrie Pipe Industries* diameter antara 114,3 mm sampai dengan 273,1 mm dengan tebal las penyambung antar batang 5 mm plat dasar 15 mm dan diameter baut angkur 19 mm. Untuk struktur beton menggunakan mutu $f'c$ 35 MPa dan menggunakan tulangan baja BJTS 40 dan BJTP 24.

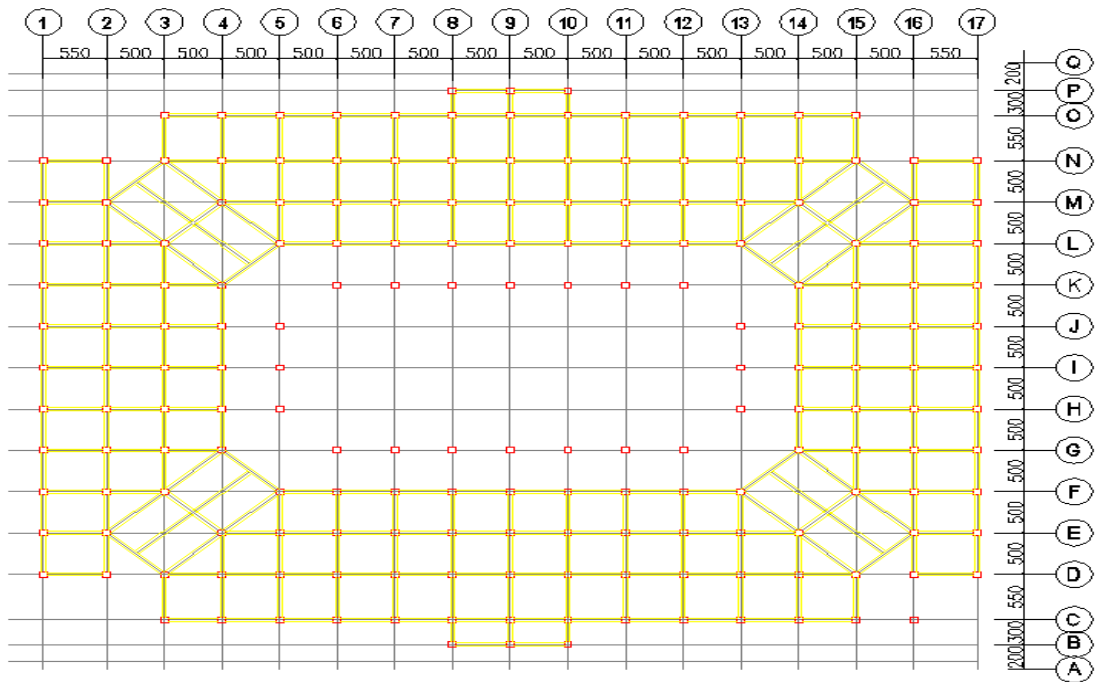
Kata kunci: Rangka ruang, profil pipa baja, finite element, SRPMK

I. PENDAHULUAN

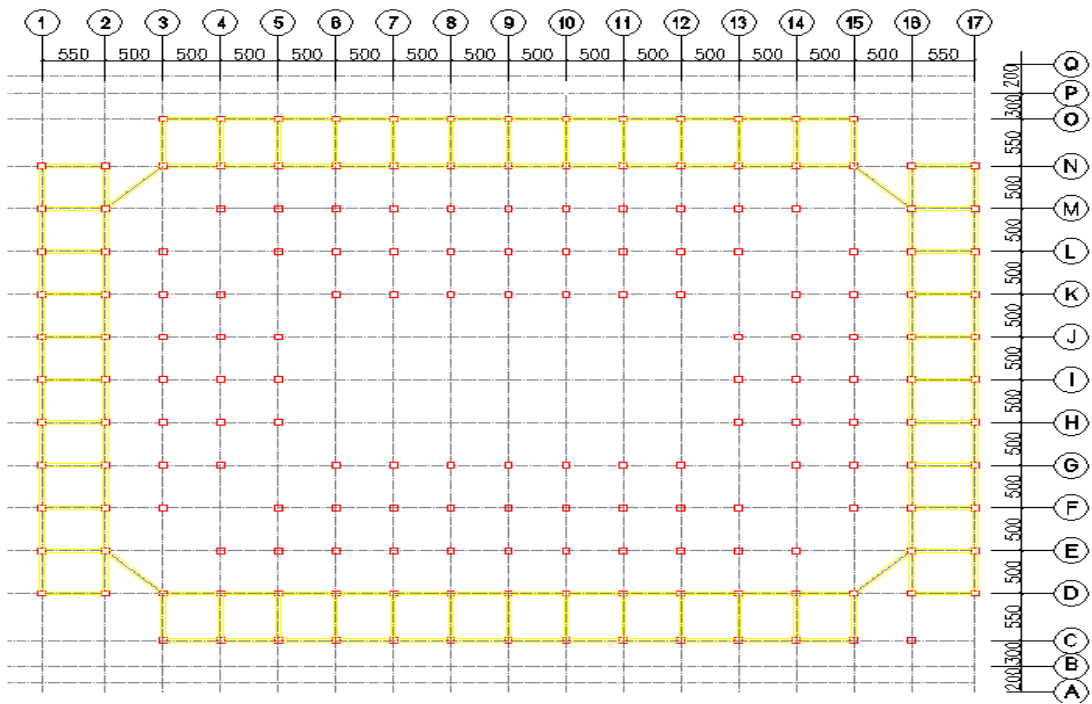
Konstruksi bangunan gedung olahraga memerlukan ruang yang besar tanpa tiang-tiang penyangga di tengah ruangan, sehingga diperlukan suatu konstruksi untuk bentang yang cukup panjang. Konstruksi tersebut adalah konstruksi atap rangka ruang (*Space Truss*). Konstruksi bangunan bentang panjang dengan bahan konstruksi yang digunakan adalah baja profil pipa dengan sambungan las. Balok, kolom, plat lantai menggunakan beton bertulang untuk mendukung atap dan tribun dengan menggunakan struktur rangka baja. Penggunaan sistem struktur rangka ruang dalam perencanaan mempunyai keunggulan yaitu memiliki berat total struktur ringan dengan nilai efisiensi berat sekitar 30% dibandingkan dengan rangka batang bidang, sehingga penggunaan struktur rangka ruang merupakan struktur yang lebih ekonomis [1].

Sistem rangka ruang merupakan perakitan 3 dimensi dari elemen-elemen linear, sehingga beban yang dipikul akan didistribusikan secara 3 dimensi. Sambungan antar elemen tidak memikul momen atau torsi. Masing-masing elemen hanya memikul beban aksial tarik atau tekan. Sistem struktur ini sering digunakan untuk struktur atap bangunan industri dan komersial untuk menutup area yang luas tanpa kolom penyangga di tengah bentang [1], [2]. Sistem rangka ruang juga mempunyai efektifitas dalam biaya dan aplikasi dalam struktur bentang besar jika dibandingkan dengan rangka batang bidang, balok konvensional, dan sistem plat [3].

Untuk perencanaan struktur atap Stadion Utama Riau didapat perbedaan nilai antara rangka ruang dan bidang dalam 3 parameter, yaitu kekakuan struktur, berat struktur, dan kekuatan struktur. Space truss-pipa secara signifikan dapat memberikan kekakuan lateral yang lebih baik ketika menerima beban yang bekerja sehingga dapat mengurangi simpangan/Displacements horizontal yang terjadi dibanding dengan struktur Plane truss dengan prosentase penurunan paling besar yaitu rata-rata sebesar 29,74.

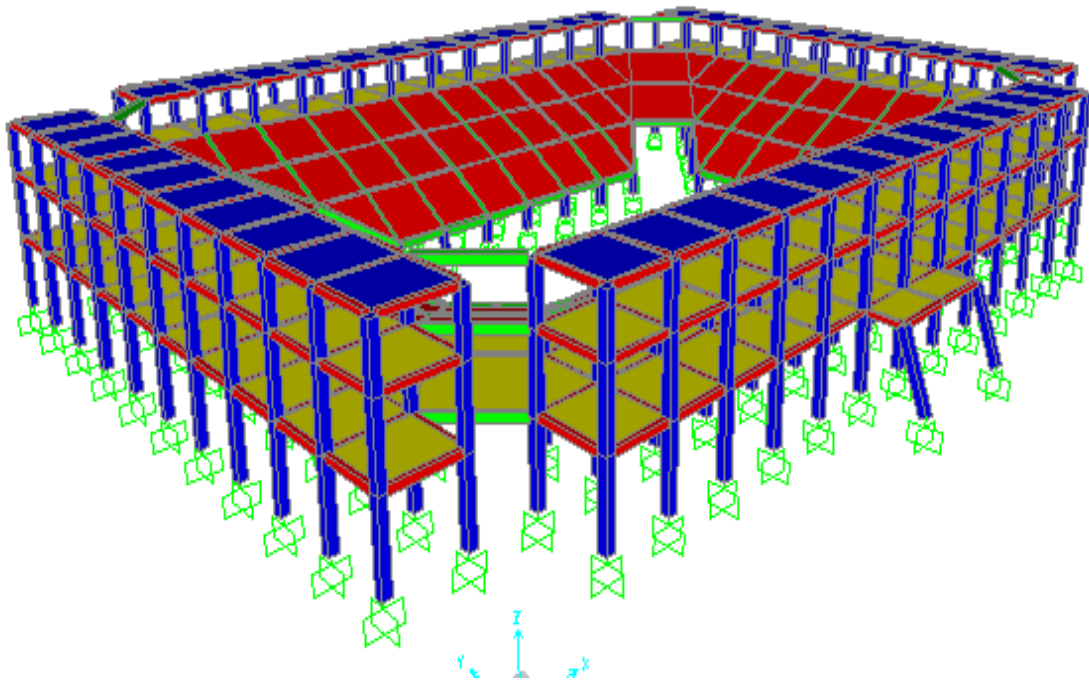


a. Denah Gedung elv.+5 m

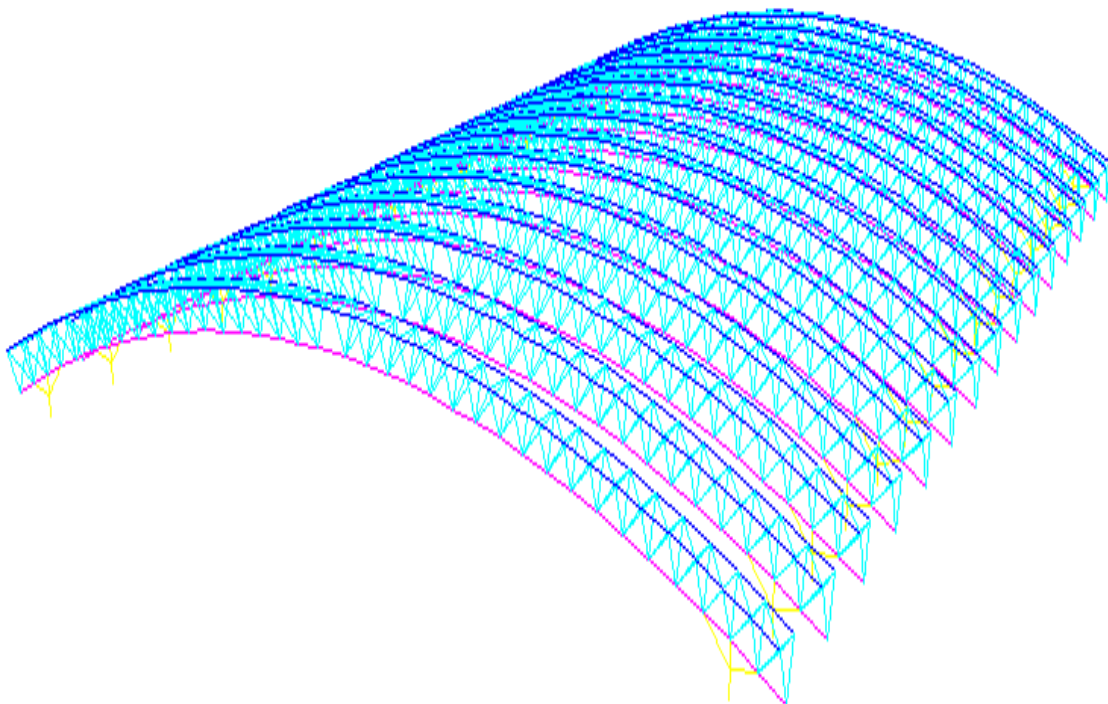


b. Denah Gedung elv.+9.50 m dan + 13 m

Gambar 1. Denah Gedung elv.+9.50 m dan + 13 m



a. Model struktur 3D



b. Atap rangka ruang (*space truss*)

Gambar 2. Model yang dianalisis

Space truss mengalami penurunan total berat struktur sebesar 23,19% dan struktur Space truss-kombinasi sebesar 19,91%. Hal ini berarti dengan penggunaan struktur Space truss-pipa lebih ringan dan lebih ekonomis untuk digunakan. Space truss-pipa dan kombinasi memiliki efisiensi kekuatan rata-rata 14,270% - 16,50% yang lebih baik dibandingkan Plane [3]. Secara umum elemen penyusun struktur rangka ruang terdiri dari batang tekan dan tarik yang masing-masing elemen memiliki sifat dan fungsi khusus dalam struktur. Suatu struktur rangka ruang dibentuk oleh kombinasi elemen-elemen tersebut dan disambungkan satu dengan yang lain menggunakan sambungan baut atau las sehingga terbentuklah suatu struktur utuh.

Desain dengan kekuatan penampang yang sesuai dengan ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) memenuhi persyaratan spesifikasi ini bila kekuatan desain setiap komponen struktural sama atau melebihi kekuatan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban DFBK sehingga memenuhi persyaratan sebagai berikut [2]:

$$R_u \leq \phi R_n \quad (1)$$

Keterangan:

R_u = Kekuatan perlu

R_n = Kekuatan nominal

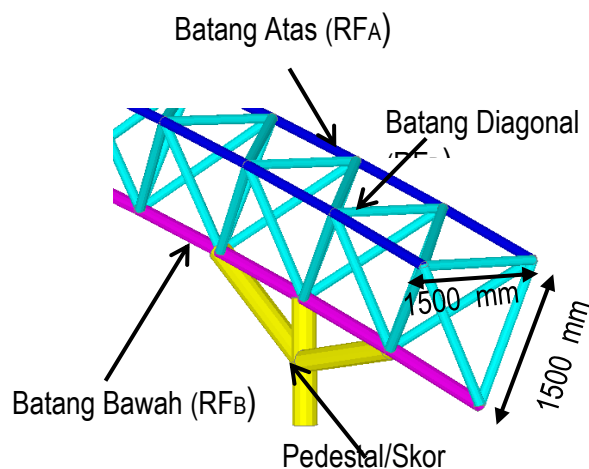
ϕ = Faktor ketahanan

ϕR_n = Kekuatan desain

II. METODOLOGI

Stadion adalah sebuah bangunan yang umumnya digunakan untuk menyelenggarakan kegiatan olahraga dan kegiatan seni yang membutuhkan ruang besar. Data umum bangunan yang dianalisis adalah disesuaikan gedung olah raga yang ada di kota ternate dengan Panjang 81 m lebar 71 m. Tinggi Gedung 18,50 m dengan menggunakan struktur atap rangka ruang dari pipa baja dan menggunakan struktur rangka pemikul momen khusus dari beton. Beton yang direncanakan adalah kuat tekan 35 MPa sedangkan rangka baja menggunakan baja polos BjTP 24, sirip menggunakan BjTS 40. Pada pengelasan digunakan Fe 70xx, baut A36 dengan batas leleh 250 MPa dan batas retak 400 MPa. Penutupp atap menggunakan Galvalum tebal 0,5 mm dengan berat 12 kg/m².

Pada perencanaan struktur bangunan penentuan dimensi komponen struktur seperti balok, pelat, kolom, dan profil baja struktur atap melalui proses *preliminary* desain. Dari hasil *preliminary* desain didapat dimensi awal komponen struktur sebagai berikut: *Rafter/kuda-kuda* (RF) direncanakan menggunakan rangka batang ruang dengan dimensi tinggi vertikal 1500 mm dan lebar 1500 mm seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Kuda-kuda Rangka Batang Ruang

Tabel 1. Data geomtri struktur

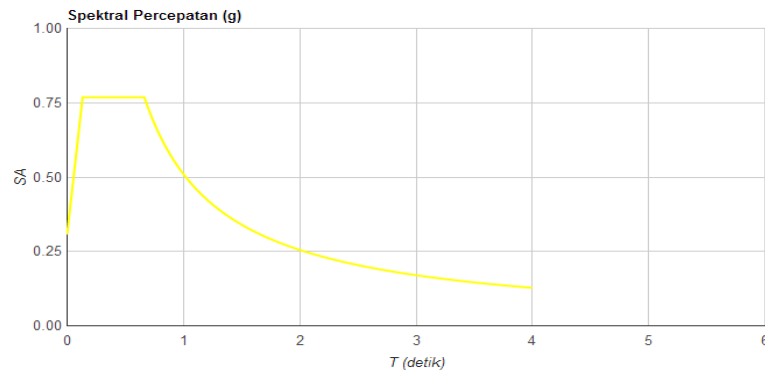
Rafter/kuda-kuda (RF)	Diimensi
Batang atas (RF_A), Pipa 4	
Diameter luar (\emptyset_{luar})	114,3 mm
Tebal	6,35 mm
Luas penampang	21,50 mm
Batang diagonal (RF_D), Pipa 4	
Diameter luar (\emptyset_{luar})	114,3 mm
Tebal	3,96 mm
Luas penampang	13,70 mm
Batang bawah (RF_B), Pipa 6	
Diameter luar (\emptyset_{luar})	168,3 mm
Tebal	5,56 mm
Luas penampang	19 mm
Pedestal/Skor , Pipa 10	
Diameter luar (\emptyset_{luar})	273,1 mm
Tebal	12,70 mm
Luas penampang	46,70 mm
Gording, Pipa 4	
Gording direncanakan menggunakan profil pipa baja dengan jarak antara gording 1000 mm.	
Diameter luar (\emptyset_{luar})	114,3 mm
Tebal	5,56 mm
Luas penampang	19 mm
Dimensi balok A	350 mm x 450 mm
Dimensi balok B	450 mm x 550 mm
Dimensi plat lantai dan tribun	130 mm
Dimensi Plat Atap	110 mm
Dimensi Kolom	650 mm x 650

Tabel 2. Pembebanan struktur

Beban untuk struktur beton	Nilai
Beban Mati (Dead Load)	
Beban mati pada plat lantai	147 kg/m ²
Beban mati pada plat tribung/m ²	825,561
Beban mati pada plat atap	85 kg/m ²
Beban mati pada balok elv +2	188 kg/m ²
Beban mati pada balok elv +5	1125 kg/m ²
Beban mati pada balok elv +9.5	875 kg/m ²
Beban Hidup (Live Load)	
Beban hidup untuk tribun	287 kg/m ²
Beban hidup lantai selain tribun	479 kg/m ²
Beban hidup atap	96 kg/m ²
Beban untuk struktur rangka atap	33,364 kg/m
Beban Mati Struktur Atap	83,409 kg
Beban Hidup Struktur Atap	53,209 kg

Beban Gempa Dinamik Respons Spectrum

Beban gempa sesuai dengan SNI 03-1726-2012 dan kurva respons spectrum desain tanah sedang Kota Ternate di dapat dari Puskim Pu. Perencanaan struktur mengacu ke AISC 2010, SNI 03-2847-2013, SNI 03-2847-2013, SNI 03-1729-2015, sni 03-1727-2013 [4], [5], [6], [7], [8], [9].



Gambar 4. Kurva Respons Spectrum Kota Ternate

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Partisipasi Massa

Tabel 3. Hasil dari *Modal Participating Mass Ratios*

OutputCase	StepType	StepNum	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	95	0,96	0,94
MODAL	Mode	96	0,96	0,94
MODAL	Mode	97	0,96	0,94
MODAL	Mode	98	0,96	0,94
MODAL	Mode	99	0,96	0,94
MODAL	Mode	100	0,96	0,99

Dari Tabel diatas menunjukkan jumlah partisipasi massa menghasilkan respons total untuk arah X mencapai 96 % dan 99 % arah Y dengan demikian ketentuan menurut SNI 1726-2012 Pasal 7.9.1 telah memenuhi syarat [5]. Analisis struktur menggunakan bantuan Finite element untuk menentukan dimensi dan control analisa struktur [10], [11].

Waktu Getar Alami

Tabel 4. Selisih Periode Waktu Getar

Mode	Periode (T)	ΔT (%)
1	1,347363	0,459
2	1,341183	0,007
3	1,341085	0,205
4	1,338332	0,146
5	1,336384	0,072
6	1,335428	0,031
7	1,335013	0,018
8	1,334779	0,003
9	1,334740	0,008
10	1,334634	0,001
11	1,334626	0,011
12	1,334485	0,011
Rata-Rata		0,081

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada tabel diatas didapatkan nilai waktu getar alami yang terjadi pada setiap mode dan dihitung selisih periode antara periode 1 sampai 12 selisih antara mode rata-rata adalah $0,081 < 15 \%$ maka perhitungan metode penjumlahan ragam respon dengan menggunakan metode CQC (Kombinasi Kuadrat Lengkap) Sudah Benar .

Gaya Geser Dasar

V respon spektrum $> 0,85 V$ static ekuivalen. Hasil analisa respon spektrum

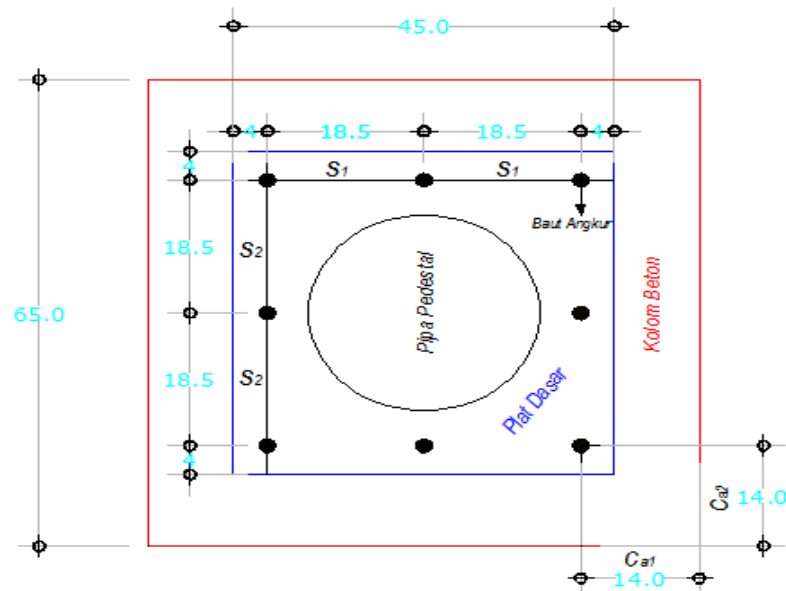
$V_x = 1.330.433,510 \text{ kg} > 0,85 V = 530.752,643 \text{ kg}$

$V_y = 1.166.485,480 \text{ kg} > 0,85 V = 533.198,284 \text{ kg}$

Tabel 5. Rekapitulasi Sambungan Las

Sambungan	Luas min	a min (mm)	a max (mm)	a pakai (mm)	Ru max	ϕR_n
RF _A -RF _D	35,908	5	4,350	5	10.153,510	923.743,694
RF _D -RF _B	35,908	5	5,560	5	2.708,86	136.015,803
RF _B -Skor	52,873	5	10,700	5	15.419,260	485.567,529

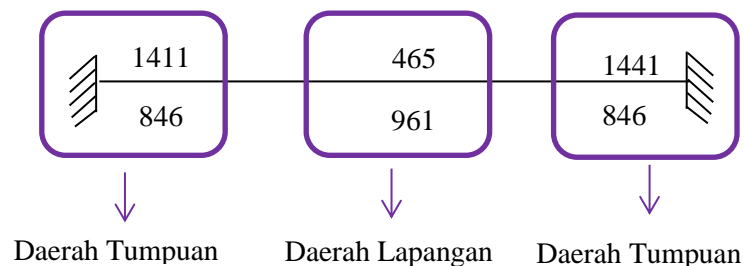
Base Plate



Gambar 5. Konfigurasi Base Plate

Detail Elemen Struktur Beton

Tulangan Utama Balok



Gambar 6. Detail luas tulangan utama yang ditinjau.

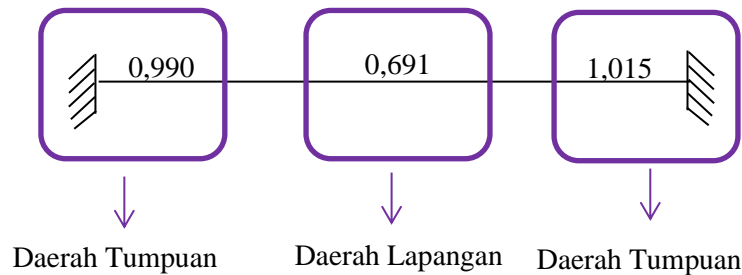
Tabel 6. Tulangan utama balok daerah tumpuan

Posisi	Luas Daerah Tulangan (As _{perlu}) (mm ²)	Dimensi Tulangan			Luas Tulangan Terpasang (As' _t) (mm ²)
		Diameter (mm)	Luas Daerah Tulangan (As _{ada}) (mm ²)	Jumlah	
Atas	1441	19	283,529	6	1.701,172
Bawah	846	19	283,529	3	850,586

Tabel 7. tulangan utama balok daerah lapangan

Posisi	Luas Daerah Tulangan (As _{perlu}) (mm ²)	Dimensi Tulangan			Luas Tulangan Terpasang (As' _t) (mm ²)
		Diameter (mm)	Luas Tulangan (As _{ada}) (mm ²)	Jumlah	
Atas	466	19	283,529	2	567,057
Bawah	961	19	201,602	4	1.134,115

Tulangan Geser (Senggang) Balok



Gambar 7. Detail luas tulangan geser (senggang) yang ditinjau

Tabel 8. Tulangan Geser (Senggang) Balok Daerah Tumpuan dan Lapangan

Posisi (ujung)	Dimensi Tulangan			As _{Perlu} (mm ²)	As/m (mm ²)	As/m Panjang (mm ² /mm)
	Diameter	Jarak (mm ²)	Luas (As _{sada}) (mm ²)			
Tumpuan	2 ø 13	100	132,732	1,015	2.654,646	2,655
Lapangan	2 ø 13	150	132,732	0,691	1.769,764	1,770

Tulangan Utama Kolom

Tabel 9. Tulangan utama kolom daerah tumpuan dan lapangan

Posisi	Luas Daerah Tulangan (As _{perlu}) (mm ²)	Dimensi Tulangan			Luas Tulangan Terpasang (As' _t) (mm ²)
		Diameter (mm)	Luas (As _{sada}) (mm ²)	Jumlah	
Kolom	4224	22	380.133	16	6.082,123

Tulangan Geser (Sengkang) Kolom

Dari SAP2000 luas tulangan geser (sengkang) kolom yang ditinjau = 5,566 mm². Digunakan tulangan polos 4 ϕ 13 (530,929 mm²); Jarak sengkang = 530,929/5,566 = 95,388 mm² digunakan 100 mm (sesuai persyaratan). Jadi, tulangan geser (sengkang) kolom di dalam bentang Lo 4 ϕ 13-100, diambil Lo = 715 mm dan di luar bentang Lo digunakan 4 ϕ 13-130.

Tulangan geser pada HBK digunakan tulangan 4 *Leg* D13-120

Plat Lantai

Tabel 10. Hasil Perhitungan Tulangan Plat Lantai Daerah Lapangan

Daerah	Diameter tulangan (mm)	Jarak antar tulangan (mm)
Lapangan	ϕ 10	250 mm

Tabel 11. Hasil Perhitungan Tulangan Plat Lantai Daerah Tumpuan

Daerah	Diameter tulangan (mm)	Jarak antar tulangan (mm)
Tumpuan	ϕ 10	250 mm

Plat Tribun

Tabel 12. Hasil Perhitungan Tulangan Plat Tribun

Daerah	Diameter tulangan (mm)	Jarak antar tulangan (mm)
Arah x	ϕ 10	100 mm
Arah y	ϕ 10	100 mm

Tabel 13. Hasil Perhitungan Tulangan Plat Atap Daerah Lapangan

Daerah	Diameter tulangan (mm)	Jarak antar tulangan (mm)
Lapangan	ϕ 10	200 mm

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis gedung olah raga yang menggunakan atap rangka ruang (*Space Truss*) studi kasus di Kota Ternate, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai hasil analisa sebagai berikut:

1. Dimensi profil struktur atap baja terdiri dari: batang atas (RF_A) berdiameter = 114,3 mm, tebal 6,35 mm. Batang diagonal (RF_D) berdiameter = 114,3 mm, tebal 3,96 mm. Batang Bawah (RF_B) berdiameter = 168,3 mm, tebal 5,56 mm. Pedestal/Skor berdiameter = 273,1 mm, tebal 12,70 mm. Gording berdiameter = 114,3 mm, tebal 5,56 mm. Penggantung goriding digunakan besi bulat ϕ 12 mm, Ikatan angin digunakan Besi Bulat ϕ 16 mm.
2. Sambungan Las terdiri dari: Sambungan las batang atas (RF_A) ke batang diagonal (RF_D) = 5 mm; Sambungan las batang diagonal (RF_D) ke batang bawah (RF_B) = 5 mm; Sambungan las batang bawah (RF_B) ke batang pedestal/skor = 5 mm; Sambungan las pedestal/skor ke plat landasan = 5 mm; Sambungan pada tumpuan kuda-kuda (*Base Plate*).
3. Ukuran plat landasan menggunakan 450 mm x 450 mm; tebal plat landasan 15 mm; ukuran baut angkur ϕ 19 mm; Panjang benam 300 mm; jumlah angkur 8 buah; Sambungan las (pedestal/skor) ke plat landasan 5 mm.

4. Balok digunakan dimensi 450 x 550 mm; tulangan tumpuan pada bagian atas 6 D19 mm; bagian bawah 3 D19 mm; Sengkang 2 Ø13-100; tulangan lapangan atas 2 D19 mm; bawah 4 D19 mm; sengkang 2 Ø13-150; tulangan gbdan 2 Ø12
5. Kolom digunakan dimensi 650 x 650 mm dengan tulangan longitudinal 16 D22; Sengkang dalam bentang Lo adalah 4 Ø13-100; sengkang dalam bentang Lo adalah 4 Ø13-130; tulangan geser HBK adalah 4 *Leg* D13-120
6. Plat lantai beton dengan tebal 130 mm; tulangan tumpuan X dan Y adalah Ø10-250; tulangan lapangan X dan Y adalah Ø10-250; Plat tribun dengan tebal 130 mm, tulangan arah X adalah Ø10-100 mm; tulangan arah Y adalah Ø10-100 mm.
7. Plat Atap yang digunakan dengan tebal 110 mm, tulangan tumpuan X dan Y adalah Ø10-200; Tulangan lapangan X dan Y adalah Ø10-200.

REFERENSI

- [1] Freitas, C. A. Silva, 2011. “*Numerical and Experimental Study of Steel Space Truss with Stamped Connection*”. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, ISSN 1934-7359, USA
- [2] Ihsan, M, Munawar, I. A, Tata, A, Togubu, J. Modifikasi Desain Menggunakan Struktur Baja dengan Kolom Komposit Pada Gedung Pasar Modern Ternate. *Jurnal Sipilains* 2019. Volume 08. No. 16. Pp 23-21.
- [3] Vacev, Todor, 2009. “*Experimental Analysis of An Original Type of Steel Space Truss Node Joint*”. FACTA UNIVERSITAS. Series : Architecture and Civil Engineering Vol. 7, No. 1, 2009, pp. 43-55
- [4] Wiryanto Dewobroto, 2016. *Struktur Baja Perilaku, Analisis Dan Design-AISC 2010 Edisi Ke-2*, Lumina Press, Jakarta
- [5] SNI 03-1726-2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [6] SNI 03-2847-2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [7] SNI 03-1729-2015. *Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [8] SNI 03-2052-2014. *Baja Tulangan Beton*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [9] SNI 03-1727-2013. *Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [10] Tata A, Imran, Sahputra F. I. Evaluasi Kinerja Struktur Beton Gedung Fakultas Ekonomi Unkhair dengan Analisis Pishover Berdasarkan ATC-40. *Jurnal Sipilains* 2018. Volume 08. No. 15. Pp 1-10.
- [11] Tata A, Imran, Rahmah F. Perilaku Struktur Baja Tahan Gempa Dengan Analisis *Pushover*. *Jurnal Sipilains* 2019. Volume 09. No. 17. Pp 17-25.