

TUGAS AKHIR

STUDI ANALISIS STRUKTUR *SPACE FRAME DOUBLE LAYER BARREL VAULTS* DAN *FLAT COVER*

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammdiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

RIAN HIDAYAT

1407210266



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400
Website <http://www.umsu.ac.id> Email: rektor@umsu.ac.id

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Rian Hidayat

NPM : 1407210266

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Studi Analisis Struktur *Space Frame Double Layer Barrel Vaults*
dan *Flat Cover*

Bidang Ilmu : Struktur

Disetujui Untuk Disampaikan Kepada
Panitia Ujian

Medan, 12 November 2020

Pembimbing I

Pembimbing II

Tondi Amirsyah Putera P. ST. MT

DR. Fahrizal Zulkarnain, S.T.M.Sc

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Rian Hidayat

NPM : 1407210266

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Studi Analisis Struktur *Space Frame Double Layer Barrel Vaults*
dan *Flat Cover*

Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 12 November 2020

Mengetahui dan menyetujui

Dosen Pembimbing I/Penguji


Tondi Amirsyah Putera P. ST. MT

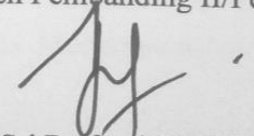
Dosen Pembimbing II/Penguji


DR. Fahrizal Zulkarnain, S.T.M.Sc

Dosen Pembimbing I/Penguji

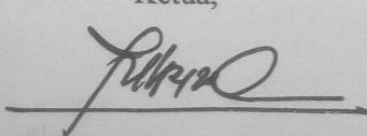

DR. Ade Faisal.S.T.M.Sc

Dosen Pembimbing II/Penguji


Sri Prafanti.S.T.M.T

Program Studi Teknik Sipil

Ketua,


DR. Fahrizal Zulkarnain, S.T.M.Sc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Rian Hidayat

Tempat/Tanggal Lahir : Dusun Kayu Lima / 19 September 1995

NPM : 1407210266

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil

Manyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul:

“Studi Analisis Struktur *Space Frame Double Layer Barrel Vaults* dan *Flat Cover*”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 12 November 2020

Saya yang menyatakan



Rian Hidayat

ABSTRAK

STUDI ANALISIS STRUKTUR *SPACE FRAME DOUBLE LAYER BARREL VAULTS* DAN *FLAT COVER*

Rian Hidayat

1407210266

Tondi Amirsyah Putera P. ST. MT

Dr. Fahrizal Zulkarnain

Seiring perkembangan zaman banyak bangunan yang memiliki bentang ruang besar sehingga perlu suatu struktur atap yang tepat untuk diterapkan pada bangunan tersebut salah satunya adalah struktur rangka ruang (*space frame*). *Space frame* merupakan sistem struktural rangka tiga dimensi yang terdiri dari batang-batang yang saling menyambung dan tidak menerima gaya momen dan torsi sehingga gaya yang terjadi hanya gaya aksial. Sistem sambungan pada *space frame* merupakan sistem sambungan tunggal salah satunya adalah mero sistem. Dalam kajian ini menggunakan data perencanaan Hanggar Pesawat dengan perbandingan dua model yaitu *barrel vaults dan flat cover* pada bandar udara yang direncanakan di Banda Aceh dengan bentang 50 m.

Dari hasil analisis *software* terjadi *Strength* (Kekakuan) tetapi tidak terjadi *Deflection* (Lendutan) pada arah X dan Y pada struktur *space frame barrel vaults* maupun *flat cover* terhadap beban gempa, hasil itu juga sama halnya dengan beban angin. Namun nilai pengaruh beban gempa yang terjadi pada struktur *space frame barrel vaults* yaitu arah X nilai *Base Shear* = 98112.96 Kgf dan arah Y nilai *Base Shear* = 98112.96 Kgf. Sedangkan beban gempa yang terjadi pada struktur *space frame flat cover* yaitu arah X nilai *Base Shear* = 113619.41Kgf dan arah Y nilai *Base Shear* = 131260.24 Kgf.

Sedangkan nilai pengaruh beban angin pada struktur *space frame barrel vaults* angin arah X *Rafter 1* nilai *FX*= -137.73Kgf dan *Rafter 2* nilai *FX*= 0 Kgf. Beban angin arah Y *Rafter 1* nilai *FX*= 137.73Kgf, dan *Rafter 2* nilai *FX*= 0 Kgf. Sedangkan untuk struktur *space frame flat cover* terhadap beban angin arah X *Rafter 1* nilai *FX*= -3.881E-10 Kgf, dan *Rafter 2* nilai *FX*= 0 Kgf. Beban angin arah Y *Rafter 1* nilai *FX*= 3.881E-10 Kgf, dan *Rafter 2* nilai *FX*= 0.

Hasil analisis diameter sambungan *space frame barrel vaults rafter 1* = Ø200mm, *rafter 2* = Ø125mm dan tumpuan = Ø250mm sedangkan *flat cover rafter 1* = Ø235mm, *rafter 2* = Ø150mm dan tumpuan = Ø250mm. Sehingga dari hasil analisis menunjukkan bahwa struktur *space frame barrel vaults* yang lebih tepat untuk digunakan di daerah Banda Aceh dikarenakan rasio kekuatan rangka *space frame* lebih kaku dan jugak penggunaan sambungan yang lebih efisien.

Kata kunci: *space frame*, perbandingan *barrel vaults* dan *flat cover*.

ABSTRACT

STUDY OF STRUCTURE SPACE FRAME ANALYSIS DOUBLE LAYER BARREL VAULTS AND FLAT COVER

Rian Hidayat

1407210266

Tondi Amirsyah Putera P. ST. MT

Dr. Fahrizal Zulkarnain

Along with the development of the times, many buildings have large spans so that a proper roof structure is needed to be applied to these buildings, one of which is the space frame structure. Space frame is a three-dimensional frame structural system consisting of interlocking rods and does not accept momentary and torsional forces so that only axial forces occur. The connection system in the space frame is a single connection system, one of which is the mero system. In this study, the aircraft hangar planning data is used with a comparison of two models, namely barrel vaults and flat cover at the planned airport in Banda Aceh with a span of 50 m.

From the results of software analysis, there is strength but there is no deflection in the X and Y directions on the structure of the space frame barrel vaults and flat cover against earthquake loads, the result is also the same as the wind load. However, the effect value of the earthquake load that occurs on the structure of the space frame barrel vaults is the X direction of the Base Shear value = 98112.96 Kgf and the Y direction the Base Shear value = 98112.96 Kgf. While the earthquake load that occurs in the flat cover space frame structure is the X direction of the Base Shear value = 113619.41Kgf and the Y direction the Base Shear value = 131260.24Kgf.

While the value of the effect of wind loads on the structure of the space frame barrel vaults in the direction of X Rafter 1, the FX value = -137.73Kgf and the Rafter 2 value FX = 0 Kgf. Wind load in Y direction of Rafter 1, FX value = 137.73Kgf, and Rafter 2, FX value = 0 Kgf. Whereas for the flat cover space frame structure against the wind load in the direction of X Rafter 1, the FX value = -3.881E-10 Kgf, and the Rafter 2 value FX = 0 Kgf. Wind load in Y direction of Rafter 1, FX value = 3.881E-10 Kgf, and Rafter 2, FX value = 0.

The results of the analysis of the joint diameter of the space frame barrel vaults rafter 1 = Ø200mm, rafter 2 = Ø125mm and pedestal = Ø250mm while flat cover rafter 1 = Ø235mm, rafter 2 = Ø150mm and support = Ø250mm. So the results of the analysis show that the structure of the space frame barrel vaults is more appropriate for use in the Banda Aceh area because the strength ratio of the space frame is stiffer and the use of joints is also more efficient.

Keywords: space frame, comparison of barrel vaults and flat cover.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan Kehadirat Allah Subhanahu Wata'ala yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Studi Analisis Struktur *Space Frame Double Layer Barrel Vaults Dan Flat Cover*” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Tondi Amirsyah Putera P. ST. MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak DR. Fahrizal Zulkarnain, S.T.M.Sc, selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, dan selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak DR. Ade Faisal.S.T.M.Sc selaku Dosen penguji I yang telah memberi perbaikan dan arahan kepada penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini, dan selaku Wakil Dekan-1 Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Sri Prafanti.S.T.M.T, selaku Dosen penguji II yang telah memberikan masukan dan arahan kepada penulis untuk memperbaiki Tugas Akhir ini.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T.M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.

7. Orang tua penulis: Ayahanda Yahya dan Ibunda Masalamah yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulisan ini.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Istri penulis: Ela pujianto yang terus memberi semangat dan support dalam penyusunan penelitian ini.
10. Sahabat-sahabat penulis, baik yang di kampus maupun diluar kampus.

Laporan tugas akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, 12 November 2020

Rian Hidayat

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR NOTASI	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.5.1. Manfaat Teoritis	3
1.5.2. Manfaat Praktis	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pengertian <i>Space Frame</i>	5
2.1.1. Elemen-Elemen Penyusun <i>Space Frame</i>	6
2.2. Jenis-Jenis Struktur <i>Space Frame</i>	7
2.2.1 Berdasarkan Bentuk <i>Space Frame</i>	7
2.2.2 Berdasarkan <i>Layer Space Frame</i>	11
2.2.3 Berdasarkan Bentuk modul <i>Space Frame</i>	12
2.2.4 Jenis-Jenis Sambungan Struktur <i>Space Frame</i>	14
2.3. Prinsip Yang Bekerja	17
2.3.1 Prinsip Umum	17
2.3.2 Prinsip Mekanik	19

2.4. Dasar Teori <i>Space Frame</i>	20
2.4.1. Pembebanan Struktur	20
2.4.2. Ketentuan Umum	37
2.4.3. Desain Batang	41
2.5. Sambungan dan Pengencang	45
2.5.1. Umum	45
2.5.2. Konus	48
2.5.3. <i>Hexagon (Hexnut)</i>	49
2.5.4. Diameter, Tebal, dan Panjang Baut	50
2.5.5. Diameter dari <i>Ball Joint</i> Sistem Mero	54
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Bagan Alir Penelitian	58
3.2. Pengumpulan Data	59
3.2.1. Data Kecepatan Angin	60
3.2.2. Data Intensitas Curah Hujan	61
3.2.3. Data Gempa	62
3.3. Pemodelan Bangunan Struktur <i>Space Frame</i>	62
3.4. Modeling <i>Space Frame</i> dan Analisis	64
3.4.1. <i>Modelling Berrel Vaults</i> dan <i>Flat Cover</i>	64
3.4.2. Analisis <i>Berrel Vaults</i> dan <i>Flat Cover</i>	73
3.5. Desain Batang dan Sambungan <i>Space Frame</i>	83
3.5.1. Desain Batang	83
3.5.2. Desain Sambungan	84
3.6. <i>Spectrum Respons</i> Desain Menurut SNI 1726 – 2012	85
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil Analisa <i>Software</i>	88
4.1.1. <i>Check Modelling Space Frame</i>	88
4.1.2. Hasil Analisis <i>Modelling Space Frame</i>	89
4.1.3. Simpangan Antarlantai	97
4.1.4. Analisis Terhadap Beban Angin	101
4.2. <i>Check Kekauan</i> dan <i>Lendutan Space Frame</i>	102
4.2.1. Terhadap Struktur <i>Space Frame Barrel Vaults</i>	102

4.2.2. Terhadap Struktur <i>Space Frame Flat Cover</i>	103
4.3. Analisis Desain Batang <i>Space Frame Barrel Vaults</i>	104
4.3.1. Kontrol Batas Leleh dan Keruntuhan Tarik	104
4.3.2. Kontrol Kuat Tekan Batang <i>Rafter 1</i> dan <i>Rafter 2</i>	106
4.4. Analisis Desain Batang <i>Space Frame Flat Cover</i>	107
4.4.1. Kontrol Batas Leleh dan Keruntuhan Tarik	107
4.4.2. Kontrol Kuat Tekan Batang <i>Rafter 1</i> dan <i>Rafter 2</i>	109
4.5. Analisis Sambungan Sistem Mero	110
4.5.1. Analisis Desain Sambungan Pada <i>Space Frame Barrel Vaults</i>	110
4.5.2. Analisis Desain Sambungan Pada <i>Space Frame Flat Cover</i>	114
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	119
5.2. Saran	120
DAFTAR PUSTAKA	122
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Faktor arah angin, K_d	23
Tabel 2.2.	Kategori Risiko bangunan dan struktur lainnya untuk beban banjir, angin, salju, gempa dan es	23
Tabel 2.3.	Koefisien Tekanan Internal, (GCpl)	26
Tabel 2.4.	Koefisien Eksposur tekan Velositas, K_h dan K_z	26
Tabel 2.5.	Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa	29
Tabel 2.6.	Faktor keutamaan gempa	30
Tabel 2.7.	Klasifikasi situs	31
Tabel 2.8.	Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa	33
Tabel 2.9.	Tipe sambungan dengan menggunakan noda	45
Tabel 2.10.	Tipe sambungan dengan menggunakan noda <i>silinder</i>	46
Tabel 2.11.	Tipe sambungan dengan menggunakan noda lempengan	46
Tabel 2.12.	Tipe sambungan dengan menggunakan noda prisma	47
Tabel 2.13.	Tipe sambungan tanpa noda	47
Tabel 2.14.	Sambungan dengan menggunakan fabrikasi	47
Tabel 2.15.	Sistem sambungan yang umum digunakan	48
Tabel 2.16.	Kekuatan nominal baut per satuan luas	52
Tabel 2.17.	Pratarik Baut Minimum, kN	52
Tabel 2.18.	Ukuran baut dari ASTM325 dan ASTM 490	53
Tabel 3.1.	Tabel data kecepatan angin	60
Tabel 3.2.	Tabel data intensitas curah hujan	62
Tabel 3.3.	Tabel data gaya <i>Axial Rafter 1</i> dan <i>Rafter 2 Barrel Vaults</i>	84
Tabel 3.4.	Tabel data gaya <i>Axial Rafter 1</i> dan <i>Rafter 2 Flat Cover</i>	85
Tabel 3.5.	Tabel hasil hitung nilai S_a	86
Tabel 4.1.	<i>Check</i> beban angin struktur <i>space frame model Barrel Vaults</i>	90
Tabel 4.2.	<i>Check</i> beban gempa struktur <i>space frame</i> pada tiap-tiap <i>groups model Barrel Vaults</i>	90
Tabel 4.3.	<i>Check</i> beban angin struktur <i>space frame model Flat Cover</i>	91

Tabel 4.4.	<i>Check</i> beban angin struktur <i>space frame</i> pada tiap-tiap <i>groups model Flat Cover</i>	91
Tabel 4.5.	<i>Check</i> beban gempa struktur <i>space frame model Barrel Vaults</i>	92
Tabel 4.6.	<i>Check</i> beban gempa struktur <i>space frame</i> pada tiap-tiap <i>groups model Barrel Vaults</i>	93
Tabel 4.7.	<i>Check</i> beban gempa struktur <i>space frame model Flat Cover</i>	94
Tabel 4.8.	<i>Check</i> beban gempa struktur <i>space frame</i> pada tiap-tiap <i>groups model Flat Cover</i>	95
Tabel 4.9.	<i>Base reactions</i> struktur <i>space frame barrel vaults</i>	96
Tabel 4.10.	<i>Base reactions</i> struktur <i>space frame flat cover</i>	96
Tabel 4.11.	Tabel nilai perpindahan beban gempa arah X dan arah Y	97
Tabel 4.12.	Tabel simpangan antarlantai <i>space frame barrel vaults</i> arah X	99
Tabel 4.13.	Tabel simpangan antarlantai <i>space frame barrel vaults</i> arah Y	99
Tabel 4.14.	Tabel simpangan antarlantai <i>space frame flat cover</i> arah X	99
Tabel 4.15.	Tabel simpangan antarlantai <i>space frame flat cover</i> arah Y	99
Tabel 4.16.	Tabel hasil kekakuan dan lendutan	102
Tabel 4.17.	Tabel hasil kekakuan dan lendutan	103
Tabel 4.18.	Tabel batas leleh dan keruntuhan terhadap tarik	105
Tabel 4.19.	Tabel data untuk analisis kuat tekan	106
Tabel 4.20.	Tabel batas leleh dan keruntuhan terhadap tarik	108
Tabel 4.21.	Tabel data untuk analisis kuat tekan	109
Tabel 4.22.	Keterangan batang pada Node 2253	110
Tabel 4.23.	Keterangan batang pada Node 1436	112
Tabel 4.24.	Keterangan batang pada Node 3	113
Tabel 4.25.	Keterangan batang pada node 532	115
Tabel 4.26.	Keterangan batang pada node 2168	116
Tabel 4.27.	Keterangan batang pada node 1307	117

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1:	Elemen dasar pembentukan struktur <i>space frame</i>	6
Gambar 2.2:	<i>Space frame</i> dan konektor	6
Gambar 2.3:	Struktur <i>space frame flat cover</i>	7
Gambar 2.4:	Hanggat GMF Bandara Soekarno Hatta	7
Gambar 2.5:	Struktur <i>space frame barrel vaults</i>	8
Gambar 2.6:	<i>Coal Shed</i> PLTU Tanjung Selaki Lampung	8
Gambar 2.7:	Struktur <i>space frame spherical domes</i>	9
Gambar 2.8:	Gedung serba guna Medan	9
Gambar 2.9:	Struktur <i>space frame freefoam</i>	10
Gambar 2.10:	<i>Heydar aliyev cultural center</i> Azerbaijan	10
Gambar 2.11:	Struktur <i>space frame single layer</i>	11
Gambar 2.12:	Struktur <i>space frame double layer</i>	11
Gambar 2.13:	Struktur <i>space frame triple layer</i>	12
Gambar 2.14:	Struktur <i>space frame square grid</i>	12
Gambar 2.15:	Struktur <i>space frame tetrahedron grid</i>	13
Gambar 2.16:	Struktur <i>space frame hexagon grid</i>	13
Gambar 2.17:	Struktur <i>space frame octagon grid</i>	13
Gambar 2.18:	Struktur <i>space frame</i> sambungan sistem mero	14
Gambar 2.19:	Struktur <i>space frame</i> sambungan sistem <i>unistrud</i>	15
Gambar 2.20:	Struktur <i>space frame</i> sambungan sistem <i>oktaplat</i>	16
Gambar 2.21:	Struktur <i>space frame</i> sambungan sistem <i>space deck</i>	16
Gambar 2.22:	Struktur <i>space frame</i> sambungan sistem <i>triodek</i>	17
Gambar 2.23:	Konfigurasi tidak stabil	18
Gambar 2.24:	Konfigurasi stabil	18
Gambar 2.25:	Gaya batang	18
Gambar 2.26:	Rangka batang stabil: pola batang yang seluruhnya segitiga	19
Gambar 2.27:	Penanganan terhadap tegangan tekuk dapat diterapkan dengan metode – metode yang mudah dan efisien	19
Gambar 2.28:	<i>Tetrahedron</i>	20
Gambar 2.29:	Gaya batang	20

Gambar 2.30: Distribusi gaya pada rangka batang	20
Gambar 2.31: Detail batang	48
Gambar 2.32: Baut, <i>Hexagon (Hexnut)</i> , dan <i>Conus</i>	49
Gambar 2.33: Ukuran baut berdasarkan ASTM 325 dan ASTM 490	53
Gambar 2.34: Sambungan MERO konektor	55
Gambar 2.35: Bagian <i>Conus</i> , <i>Hexagon (Hexnut)</i> dan Baut	56
Gambar 3.1: Bagan alir penelitian	58
Gambar 3.2: Denah rencana hanggar pesawat	63
Gambar 3.3: Struktur atap hanggar pesawat model <i>barrel vaults</i>	63
Gambar 3.4: Struktur atap hanggar pesawat model <i>flat cover</i>	64
Gambar 3.5: <i>New Model</i>	65
Gambar 3.6: Input data <i>Quick Grid Lines</i>	65
Gambar 3.7: Edit <i>Define Grid System Data</i> model <i>space frame Barrel Vaults</i>	66
Gambar 3.8: Edit <i>Define Grid System Data</i> model <i>space frame Flat Cover</i>	66
Gambar 3.9: <i>Define Materials</i>	67
Gambar 3.10: <i>Add Material Property ASTM A53 Gr B</i>	67
Gambar 3.11: <i>Add Material Property BJ37</i>	68
Gambar 3.12: Input <i>Material Property Data BJ37</i>	68
Gambar 3.13: Input <i>Material Property Data Cold Formed</i>	69
Gambar 3.14: Input <i>Frame Sections Rafter 1</i>	70
Gambar 3.15: Input <i>Frame Sections Rafter 2</i>	70
Gambar 3.16: Input <i>Frame Sections Gording Light Lip Channels</i>	71
Gambar 3.17: Input <i>Frame Properties</i>	71
Gambar 3.18: Input <i>Area Properties</i>	72
Gambar 3.19: Input <i>Shell Section Data</i>	72
Gambar 3.20: <i>Modelling</i> struktur <i>space frame barrel vaults</i>	73
Gambar 3.21: <i>Modelling</i> struktur <i>space frame flat cover</i>	73
Gambar 3.22: <i>Select Groups Frame</i>	74
Gambar 3.23: Input <i>Define Load Pattern</i>	75
Gambar 3.24: <i>Modify Lateral Load Pattern IBC 2009</i>	76
Gambar 3.25: <i>Modify ASCE 7-10 Wind Load Pattern</i>	76

Gambar 3.26: Input <i>Define Load Combinations</i>	77
Gambar 3.27: Input Beban Hidup pada atap <i>Flat Cover</i> dan <i>Barrel Vaults</i>	78
Gambar 3.28: Input Beban Hujan pada atap <i>Flat Cover</i> dan <i>Barrel Vaults</i>	79
Gambar 3.29: Input <i>Define Constraints</i>	79
Gambar 3.30: Input <i>Analysis Options</i>	80
Gambar 3.31: Input <i>Select Design Combos</i>	80
Gambar 3.32: Input <i>Add Select Design Combos</i>	81
Gambar 3.33: Input <i>Select Design Combos</i>	81
Gambar 3.34: Input <i>Add Select Design Combos</i>	82
Gambar 3.35: Input <i>Run Analyze</i>	83
Gambar 3.36: <i>Deformed Shape</i> pembebanan	83
Gambar 3.37: <i>Spectrum respons</i> gempa rencana SNI 1726-2012	87
Gambar 4.1: <i>Start Design/Check Of Structure Space Frame</i> model <i>Barrel Vaults</i>	88
Gambar 4.2: <i>Start Design/Check Of Structure Space Frame</i> model <i>Flat Cover</i>	88
Gambar 4.3: <i>Start Design/Check Of Structure Gording</i> model <i>Barrel Vaults</i>	89
Gambar 4.4: <i>Start Design/Check Of Structure Gording</i> model <i>Flat Cover</i>	89
Gambar 4.5: Grafik perpindahan struktur terhadap gempa arah X	98
Gambar 4.6: Grafik perpindahan struktur terhadap gempa arah Y	98
Gambar 4.7: Grafik simpangan antarlantai terhadap gempa arah X	100
Gambar 4.8: Grafik simpangan antarlantai terhadap gempa arah Y	100
Gambar 4.9: Penomoran Batang pada Node 2253	110
Gambar 4.10: Penomoran Batang pada Node 1436	111
Gambar 4.11: Penomoran Batang pada Node 3	113
Gambar 4.12: Penomoran Batang pada Node 532	114
Gambar 4.13: Penomoran Batang pada Node 2168	116
Gambar 4.14: Penomoran Batang pada Node 1307	117

DAFTAR NOTASI

- R = Beban Air hujan pada atap yang tidak melendut , dalam lb/ft² (kN/m²). Apabila istilah atap yang tidak melendut digunakan, lendutan dari beban (termasuk beban mati) tidak perlu diperhitungkan ketika menentukan jumlah air hujan pada atap.
- ds = kedalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder apabila sistem drainase primer tertutup (tinggi statis), dalam in. (*mm*).
- dh = tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut diatas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran air rencana (tinggi hidrolik) dalam in. (*mm*).
- A_{og} = Luas total bukaan pada amplop bangunan gedung (dinding-dinding dan atap, dalam ft²).
- V_i = Volume Internal ruang tanpa partisi, dalam ft³.
- K_d = Faktor Arah angin.
- K_z = Koefisien Eksposur tekanan velositas.
- K_{zt} = Faktor topografi tertentu.
- V = Kecepatan angin dasar.
- Q_z = Tekanan velositas di hitung dengan persamaan (2.2-4) pada ketinggian z .
- Q_h = Tekanan velositas di hitung menggunakan persamaan (2.2-4) pada ketinggian atap rata-rata h .
- q_h = Tekanan velositas dievaluasi pada tinggi atap rata-rata h menggunakan eksposur seperti didefinisikan dalam pasal 26.7.3 yang mengakibatkan beban angin tertinggi untuk setiap arah angin di lokasi.
- G = Faktor efek-tiupan angin, lihat *Pasal 26.9 SNI 1727-2013* dapat diambil (0.85).
- C_N = Koefisien tekanan neto ditentukan dari *Gambar 27.4-4, 27.4-2 sampai 27.4-7 SNI 1727-2013*.
- D = Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai atap, plafond, partisi tetap, tangga dan peralatan layan tetap.

- L = Beban hidup yang di timbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk beban kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan dan lain – lain. Faktor beban untuk L harus sama dengan 1.0 untuk garasi parkir, daerah yang digunakan untuk pertemuan umum dan semua daerah yang memikul beban hidup lebih besar dari 5.0 kPa.
- L_r = Beban hidup diatap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.
- H = Beban akibat tekanan tanah lateral, tekanan air tanah atau tekanan dari material dalam jumlah besar.
- W = Beban angin.
- E = Beban gempa.
- R_u = Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBK.
- R_n = Kekuatan nominal, disyaratkan dalam Bab B sampai K.
- Φ = Faktor ketahanan, disyaratkan dalam Bab B sampai K.
- ΦR_n = Kekuatan desain.
- R_a = Kekuatan perlu yang menggunakan kombinasi beban DKI.
- R_n = Kekuatan nominal, disyaratkan dalam Bab B sampai K.
- Ω = Faktor keamanan, disyaratkan dalam Bab B sampai K.
- R_n/Ω = Kekuatan izin.
- L = Panjang sambungan dalam arah pembebanan (mm).
- D = Diameter terluar dari HSS bulat (mm).
- I = Panjang sambungan, in (mm).
- x = Eksentrisitas sambungan, in (mm).
- A_e = Luas netto efektif, in² (mm²).
- A_g = Luas Bruto dari komponen Struktur, in² (mm²).
- f_y = Tegangan leleh minimum yang disyaratkan, ksi (MPa).
- f_u = Kekuatan Tarik Minimum yang disyaratkan, ksi (MPa).
- P_n = Tegangan nominal aksial, ksi (MPa).
- E = Modulus elastisitas baja = 29.000 ksi (200.000 Mpa).
- F_y = Tegangan leleh minimum yang di syaratkan, ksi (Mpa).
- F_e = Tegangan tekuk kritis elastis (Mpa).

- A_g = Luas penampang bruto.
 K = Faktor panjang efektif.
 L = Panjang batang tekuk.
 r = Radius girasi atau jari – jari girasi.
 P = Gaya tekan batang.
 W_r = Wrech (diambil dari tabel).
 H_I = *Hexagon Hole* (diambil dari tabel).
 A = Luas Bidang Tekan.
 A_b = Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir, in.² (mm²).
 F_n = Tegangan tarik nominal, F_{nt} , atau tegangan geser, F_{nv} dari tabel J3.2 (SNI 1729-2015), ksi (Mpa).
 D/d = Diameter dari bola baja (mm).
 ϕ = Besar sudut terkecil yang dibentuk dari 2 baut (rad).
 d_1, d_2 = Diameter dari baut1 dan baut2 (mm).
 ζ, η = Ditentukan dari nilai tarik atau kekuatan tekanan baut.
 ζ = 1.1
 η = 1.8
 K = Keliling permukaan tengah bola.
 a, b, c = Koordinat dari vektor 1.
 i, j, k = Koordinat dari vektor 2.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada konstruksi suatu bangunan peran teknik sipil sangatlah penting sebagai penunjang keberhasilan suatu perencanaan pembangunan. Seiring perkembangan zaman banyak bangunan yang memiliki konsep dan desain bentuk arsitektural sehingga dalam perencanaannya teknik sipil harus mampu mengikuti perkembangan tersebut, salah satunya adalah struktur atap. Atap adalah bagian bangunan yang berfungsi sebagai pelindung bagi isi dan pengguna bangunan dari hujan, panas dan dingin. Ada beberapa bangunan seperti stadion, gedung serbaguna, hangar pesawat, Bandar udara, kubah masjid, gedung auditorium dan masih banyak lagi yang memiliki bentangan besar. Sehingga perlu suatu struktur atap yang tepat untuk diterapkan pada bangunan tersebut salah satunya adalah struktur rangka ruang (*space frame*).

Space frame adalah sistem struktural rangka tiga dimensi yang terdiri dari batang-batang yang saling menyambung dan tidak menerima gaya momen dan torsi sehingga gaya yang terjadi hanya gaya aksial. Ada beberapa jenis dari *space frame* diantaranya adalah *flat cover* dan *barrel vaults*. *Flat cover* yaitu hasil dari gubahan dari struktur planar. Bidanganya disusun melalui batang *horizontal* dan gaya lateralnya disokong oleh batang diagonal. Sedangkan *barrel vaults* yaitu jenis *space frame* yang memiliki potongan diagonal dari suatu lengkungan sederhana, Sehingga tidak membutuhkan modul tetrahedral atau pyramid sebagai bagian pendukungnya. Dengan mengetahui perilaku dari dua jenis bentuk *space frame* tersebut, maka akan mempermudah manusia dalam melakukan pemilihan perencanaan struktur atap yang sesuai dengan konsep maupun kondisi alam. Dan tentunya setiap jenis bentuk dari *space frame* memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing.

1.2. Rumusan Masalah

Setiap jenis struktur memiliki perilaku struktur yang berbeda-beda. Sehingga, ada beberapa analisa yang perlu dilakukan yaitu:

1. Bagaimana kekakuan dan lendutan pada struktur *space frame double layer barrel vaults* dan *flat cover* terhadap beban angin dan beban gempa?
2. Struktur atap *space frame* manakah yang tepat untuk diterapkan sebagai hanggar pesawat dari dua model yaitu *barrel vaults* dan *flat cover* yang direncanakan di daerah Banda Aceh?

1.3. Batasan Masalah

Karena keterbatasan beberapa hal maka penulisan skripsi ini akan dibatasi oleh hal-hal antara lain:

1. Jenis struktur yang akan digunakan adalah *Space Frame Double Layer*
2. Model struktur *Space Farme* yang akan digunakan adalah *Barrel Vaults* dan *Flat Cover*
3. Penampang bangunan
 - a. Panjang : 50 m
 - b. Lebar : 40 m
 - c. Tinggi kelengkungan *barrel vaults* : 10 m
 - d. Kemiringan *flat cover* : 10°
 - e. Tinggi kolom beton bertulang : 8 m
4. Digunakan untuk hanggar pesawat yang terletak di Banda Aceh
5. Beban yang diperhitungkan adalah beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa
6. *Member joint* menggunakan *ball joint* terintegrasi dengan *mero system*
7. Analisa *member joint*/sambungan dilakukan secara manual
8. Pemodelan dan analisis menggunakan *software* perangkat lunak
9. Analisa struktur kolom dan pondasi diabaikan

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian skripsi ini adalah untuk menganalisis dua struktur *space frame* yaitu *barrel vaults* dan *flat cover*, Ada beberapa analisis yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Menganalisis kekakuan dan lendutan pada struktur *space frame double layer barrel vaults* dan *flat cover* terhadap beban angin maupun beban gempa.
2. Untuk mengetahui diameter *ball joint* yang digunakan pada sambungan *space frame* dari analisa yang dilakukan.
3. Untuk mengetahui manakah model struktur *space frame* yang tepat untuk diterapkan sebagai hanggar pesawat yang terletak di kawasan Banda Aceh.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini dibagi menjadi dua bagian yaitu:

1.5.1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini mengambil masukan-masukan atau panduan dari teori yang bermanfaat memberikan hasil yang sesuai dengan analisis struktur *space frame double layer barrel vaults* dan *flat cover*.

1.5.2. Manfaat Praktis

Manfaat dari penelitian ini adalah melakukan analisis perhitungan pada dua jenis struktur *space frame* yaitu *barrel vaults* dan *flat cover* sehingga hasil yang diperoleh dapat ditentukan manakah jenis struktur yang tepat untuk digunakan sebagai hanggar pesawat di daerah banda aceh.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk mencapai tujuan penelitian ini dilakukan beberapa tahapan yang dianggap perlu. Metode dan prosedur pelaksanaannya secara garis besar adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Merupakan bab yang berisikan tentang kajian berbagai literatur serta hasil studi terdahulu yang relevan dengan pembahasan ini. Selain itu pada bab ini juga akan dibahas mengenai acuan ataupun pedoman yang dipakai dalam penyusunan analisis data.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisikan tentang metode yang dipakai dalam penelitian serta ruang lingkup penelitian dan langkah penelitian analisis data.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Merupakan bab yang berisikan pembahasan mengenai data-data yang dianalisis atau diolah sesuai dengan desain *modelling* struktur atap hanggar pesawat yaitu *space frame* menggunakan analisis *software* perangkat lunak.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan tentang kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan pada bab sebelumnya dan saran mengenai hasil dari penelitian yang dapat dijadikan masukan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian *Space Frame*

Pembangunan *space frame* pertama kali dipelopori oleh insinyur Jerman, Schwedler dan Zimmermann pada ke-19. Zimmermann membuat bentang sepanjang 361 ft (108,3 m) pada *Exhibition Structures* di Lyons di awal tahun 1894. *Space frame* juga dibangun oleh Schwedler di *Civil Centre* di Charlotte, Carolina Utara, Amerika Serikat setelah perang dunia ke-2 dengan panjang bentang 332 ft (99,6 m) pencapaian tersebut adalah hal yang luar biasa pada waktu itu. Sistem ini dilanjutkan pada 1937, ketika Dr. Mengerinhausen tertarik kepada struktur *space frame*. Dia menyadari bahwa penggunaan *space frame* dalam skala besar akan menjadi mungkin jika produksi dipindahkan ke pabrik dan dilakukan perakitan di lapangan.

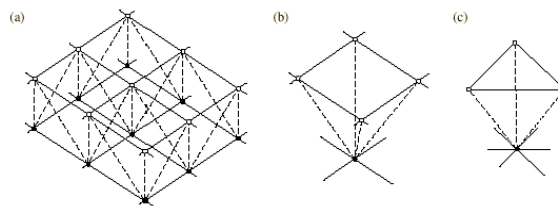
Space frame terdiri dari batang aksial, yang biasa digunakan adalah tube, yang lebih dikenal dengan *circular hollow sections* atau *rectangular hollow sections*, dan sambungan, yang menyambung semua anggota batang. Anggota struktural batang lainnya seperti WF, juga bisa digunakan terutama jika beban yang didistribusikan ke node menyebabkan *bending* pada batang aksial. Ketika beban yang didistribusikan hanya berupa beban aksial, *circular hollow sections* dan *rectangular hollow sections* lebih banyak digunakan karena lebih efisien, memiliki jari-jari girasi yang lebih tinggi untuk area yang sama.

Space frame dikembangkan dari sistem struktur rangka batang dengan penambahan rangka batang ke arah tiga dimensinya. Struktur *space frame* merupakan komposisi dari batang-batang yang masing-masing berdiri sendiri memikul gaya tekan yang sentris dan dikaitkan satu sama lain dengan sistem dalam tiga dimensi atau ruang. Bentuk rangka ruang dikembangkan dari pola grid dua lapis (*double-layer grids*), dengan batang-batang yang menghubungkan titik-titik grid secara tiga dimensional. Sistem konstruksi rangka ruang (*space frame*) menggunakan sistem sambungan antara batang/member satu sama lain yang menggunakan bola/*ball joint* terintegrasi dengan mero sistem sebagai sendi penyambungan dalam bentuk modul-modul segitiga. Dr. Mengerinhausen

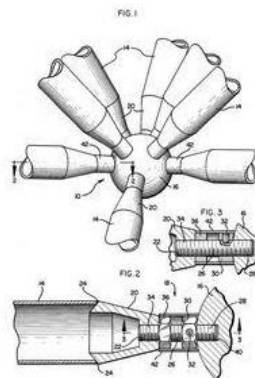
mengembangkan studi yang bertujuan untuk mereduksi perakitan dan penemuannya tentang mero konektor menjadi solusi dalam perakitan yang lebih mudah.

Elemen dasar pembentuk struktur rangka ini adalah :

1. Rangka batang bidang
2. Piramid dengan dasar segiempat membentuk *octahedron*
3. Piramid dengan dasarsegitiga membentuk *tetrahedron*



Gambar 2.1: Elemen dasar pembentukan struktur *space frame*.



Gambar 2.2: *Space frame* dan konektor.

2.1.1. Elemen-Elemen Penyusun *Space Frame*

Struktur rangka *space frame* adalah sistem yang terdiri dari beberapa elemen struktur yaitu:

1. Sambungan
2. Pipa besi
3. Bola baja/*ball joint*
4. Konektor
5. Baut

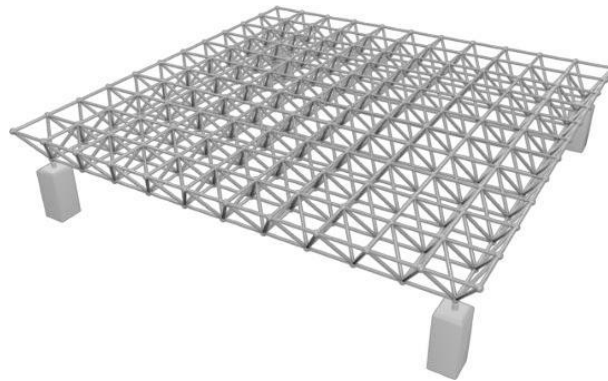
6. Pelat support

2.2. Jenis-Jenis Struktur *Space Frame*

2.2.1. Berdasarkan Bentuk *Space Frame*

A. *Flat Cover*

Flat cover yaitu hasil gubahan dari struktur planar. Bidangannya disusun melalui batang horizontal dan gaya lateralnya disokong oleh barang diagonal.



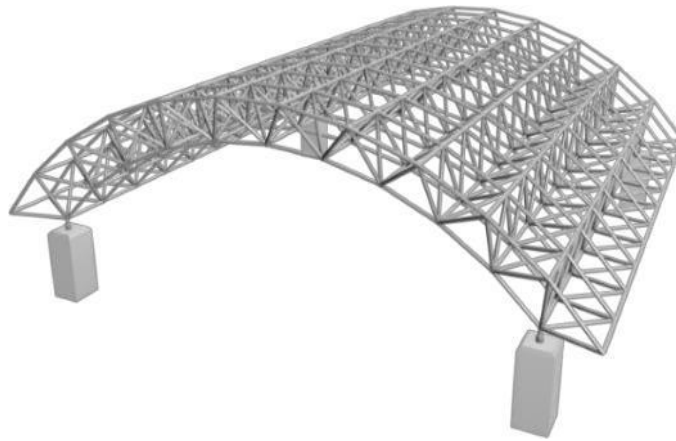
Gambar 2.3: Struktur *space frame Flat cover*.



Gambar 2.4: Hanggar GMF Bandara Soekarno Hatta.

B. *Barrel Vaults*

Barrel vaults yaitu jenis space frame yang memiliki potongan diagonal dari suatu lengkungan sederhana sehingga tidak membutuhkan modul tetrahedral atau piramid sebagai bagian pendukungnya.



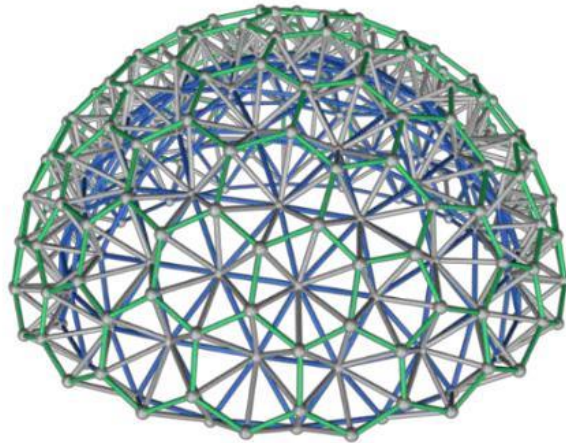
Gambar 2.5: Struktur *space frame barrel vaults*.



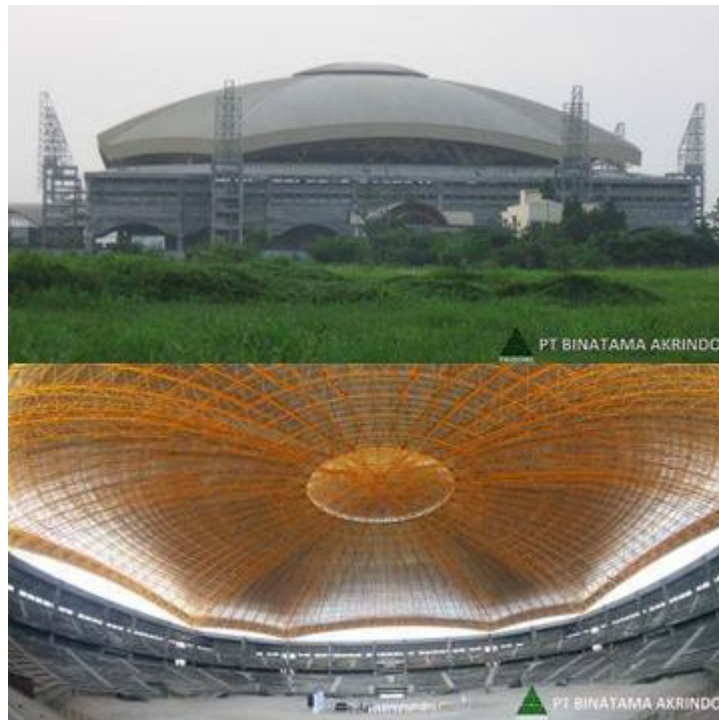
Gambar 2.6: *Coal Shed PLTU Tanjung Selaki Lampung*.

C. *Spherical Domes*

Spherical domes yaitu bentuk kubah yang membutuhkan modul *tetrahedral* atau *piramid* dari struktur membran (kulit).



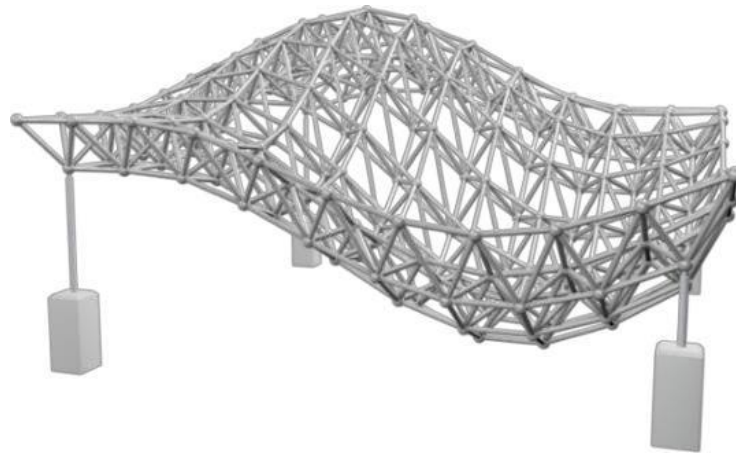
Gambar 2.7: Struktur *space frame spherical domes*.



Gambar 2.8: Gedung serba guna Medan.

D. *Freefoam*

Jenis model *space frame* ini memiliki potongan diagonal yang sama dengan model *barrel vaults*, membentuk lengkungan tetapi *non-simetris* atau tidak beraturan dan memiliki titik sumbu yang unik. Bentuk *freefoam* tersusun dari elemen pembentuk struktur rangka piramid dengan dasar segitiga.



Gambar 2.9: Struktur *space frame freefoam*.

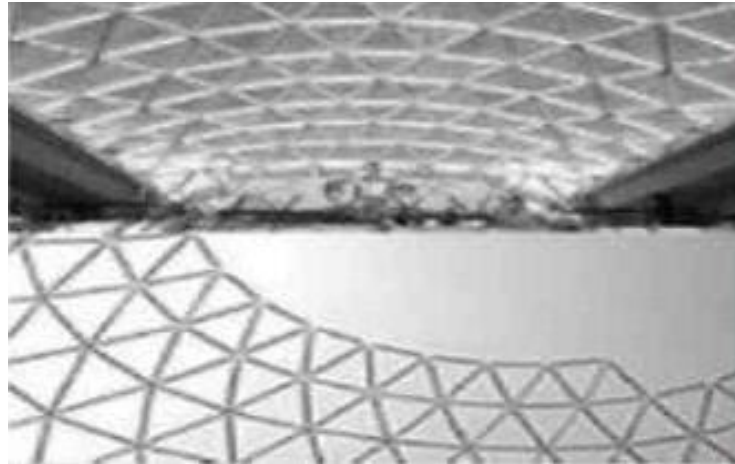


Gambar 2.10: *Heydar aliyevev cultural center Azerbaijan*.

2.2.2. Berdasarkan *Layer Space Frame*

A. *Single Layer*

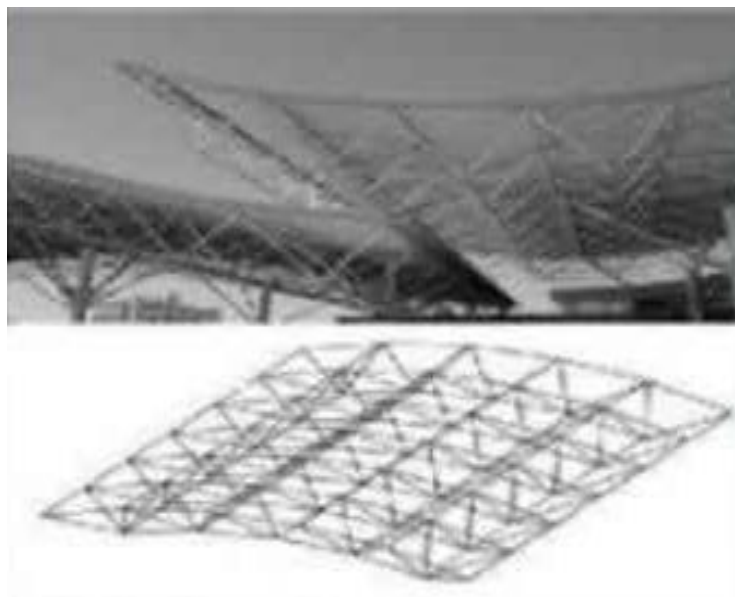
Single layer yaitu seluruh elemen disusun dalam satu permukaan.



Gambar 2.11: Struktur *space frame single layer*.

B. *Double Layer*

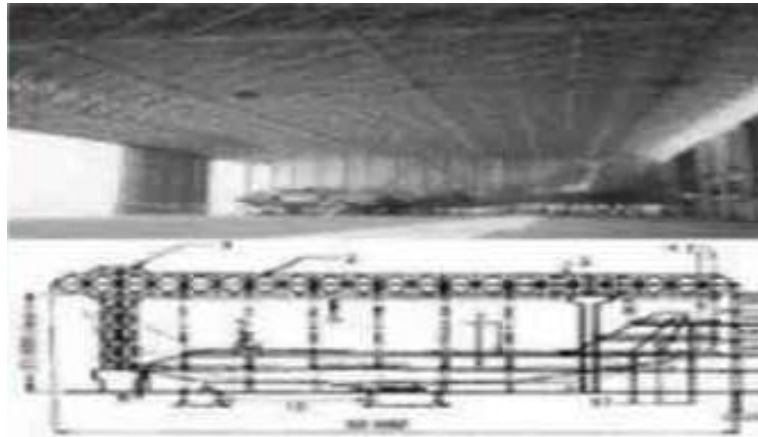
Double layer yaitu setiap elemen dikelompokkan dalam dua lapisan (bidang) paralel dengan nilai jarak antar lapisan tertentu. batang diagonal menghubungkan titik dari kedua lapisan dengan arah berbeda.



Gambar 2.12: Struktur *space frame double layer*.

C. Triple Layer

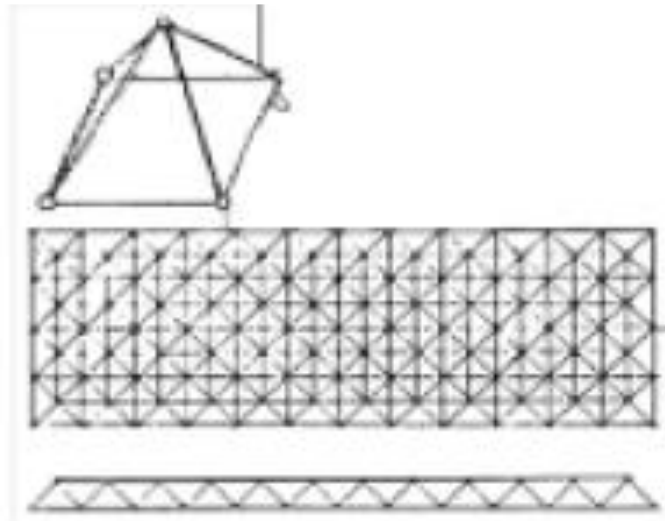
Triple layer yaitu setiap elemen ditempatkan dalam tiga lapisan paralel yang dihubungkan batang diagonal, keseluruhannya nyaris datar. Sistem ini sebagai solusi untuk mengurangi panjang batang diagonal.



Gambar 2.13: Struktur *space frame triple layer*.

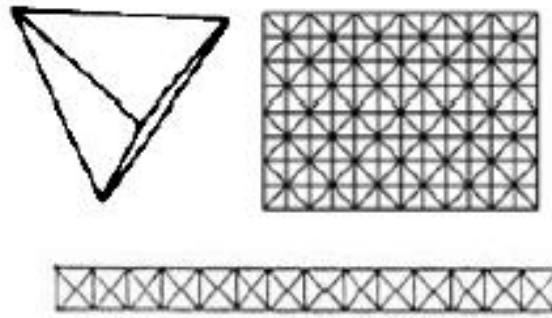
2.2.3. Berdasarkan Bentuk Modul *Space Frame*

A. *Square Grid*



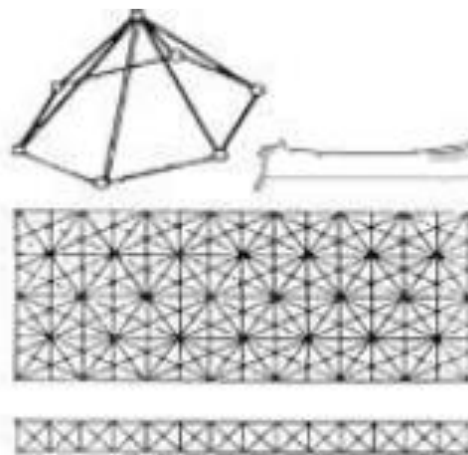
Gambar 2.14: Struktur *space frame square grid*.

B. Tetrahedron Grid



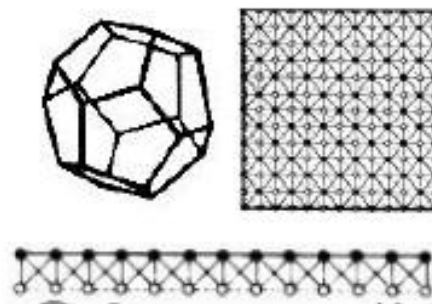
Gambar 2.15: Struktur *space frame tetrahedron grid*.

C. Hexagon Grid



Gambar 2.16: Struktur *space frame hexagon grid*.

D. Octagon Grid



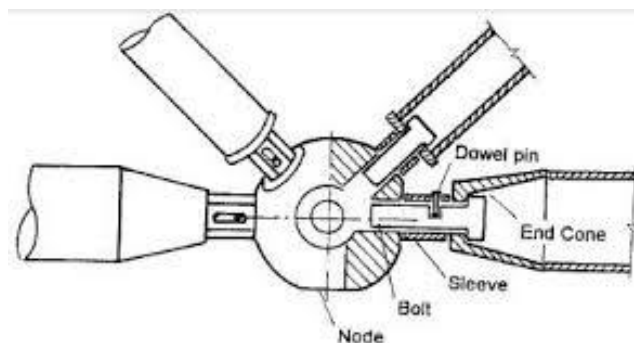
Gambar 2.17: Struktur *space frame octagon grid*.

2.2.4. Jenis Sambungan Struktur *Space Frame*

Ada beberapa jenis sambungan yang menghubungkan antara node dengan member (batang) dalam rangkaian *space frame*. Penggunaan jenis sambungan disesuaikan dengan beban yang akan diterima, lebar bentang *space frame* dan kebutuhan estetika pada bangunan. Ada 5 jenis macam sambungan sesuai dengan pemasangannya yaitu sistem mero, sistem *unistrud*, sistem *oktaplat*, sistem *space deck*, dan sistem *triode*.

1. Sistem Mero

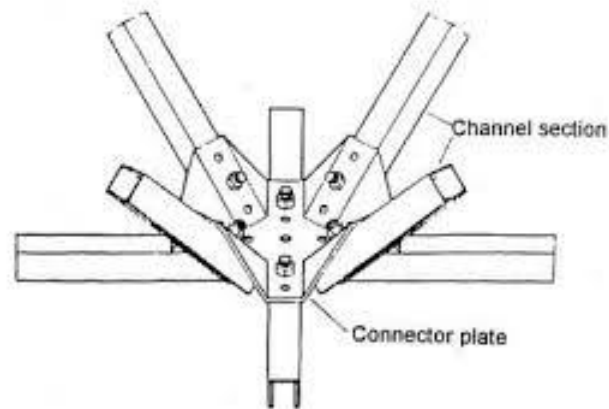
- a. Sistem sambungan terdiri dari sebuah benda yang berfungsi sebagai titik sambung dari baja press (*hot pressed steel*) ditempa dengan permukaan-permukaan gosok dan lubang-lubang tepuk. Batang-batang (*member*) merupakan potongan baja *hollow* dengan baja tempaan berbentuk kerucut yang dilas pada pinggirannya yang dibuat sambungan (*bolt*) pasang yang dapat dilepas. Sambungan (*bolt*) dirapatkan menggunakan pin pengunci (*dowel pin*) yang sudah ditata secara rapi.
- b. Hingga 18 batang member yang dapat disambungkan melalui sistem sambungan ini secara seragam.
- c. Pabrik dapat menghasilkan sambungan ini dengan kisaran diameter dari 46,5 - 350 mm, kemungkinan bentangan berkisar antara M12-M64 dengan batas penanganan gaya maksimum 1413 kN.



Gambar 2.18: Struktur *space frame* sambungan sistem mero.

2. Sistem Unistrud

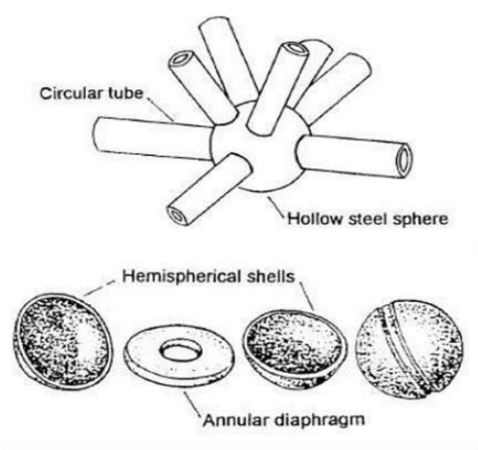
1. Sistem sambungan ini terdiri dari plat penghubung yang merupakan plat baja press.
2. Hanya terdiri atas 4 (empat) komponen, yaitu plat konektor, strud, sambungan (*bolt*) dan *nut*.
3. Batang-batang member merupakan potongan batang yang dibuat untuk fungsi lubang saluran dan diikat oleh plat konektor dengan menggunakan sambungan tunggal pada masing-masing ujungnya.
4. Bentangan maksimal untuk sistem ini sekitar 40 m dengan standar modul 1,2-1,5 m. Nama *moduspan* juga merupakan sebutan untuk sistem ini.



Gambar 2.19: Struktur *space frame* sambungan sistem *unistrud*.

3. Sistem Oktaplat

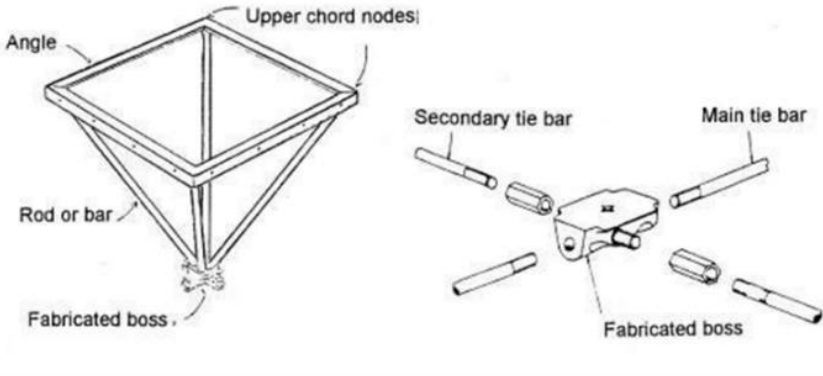
1. Memanfaatkan material bola baja *hollow* dan batang *member* silinder yang disambungkan dengan sistem las. Titik sambung terbentuk dari hasil penyambungan las dua cangkang setengah bola secara bersamaan yang terbuat dari plat baja baik melalui sistem press panas, maupun dingin.
2. Bola baja *hollow* mungkin diperkuat dengan semacam diafragma tahunan.
3. Bola *hollow* sudah pernah digunakan dengan diameter hingga 500 mm.



Gambar 2.20: Struktur *space frame* sambungan sistem *oktaplat*.

4. Sistem *Space Deck*

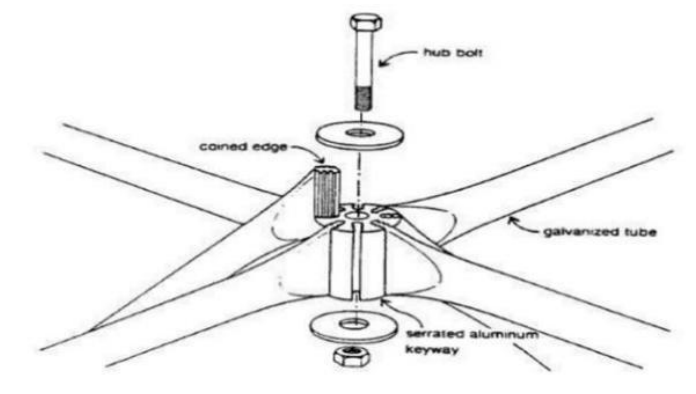
1. Empat diagonalnya dibuat dari tiang tangkai atau batang yang dihubungkan (dengan sistem las) pada pojok-pojok dari sudut rangkanya dan dihubungkan pada suatu pada bagian yang menempati puncak strukturnya. Hal ini didasarkan pada unit limas segiempat.
2. Sistem *space deck* umumnya digunakan untuk bentangan yang lebih kurang dari 40 m dengan suatu standar modul dan kedalaman 1,2 m. sebuah kedalaman *structural* minimum pada 0.75 m juga diterapkan.
3. Untuk pembebanan desain yang lebih tinggi dan bentangan yang lebih besar, modul alternatif produksi berkisar antara 1,5 m dan 2,0 m dengan kedalaman yang sama dengan modul.



Gambar 2.21: Struktur *space frame* sambungan sistem *space deck*.

5. Sistem *Triodetik*

1. Terdiri dari sebuah pusat konektor aluminium yang dibentangkan dengan kunci penyambung (*hub*) yang tajam. Tiap-tiap ujung member dipress dengan tujuan untuk membentuk suatu pinggiran berbentuk koin yang cocok untuk dihubungkan dengan kunci penyambung.
2. Sambungan ini selesai ketika seluruh batang member sudah dimasukkan pada pusat konektor (*hub*), *washer* diletakkan pada tiap-tiap ujung dari pusat konektor (*hub*), dan sebuah baut ditancapkan pada pusat konektor (*hub*).
3. Murni menggunakan material aluminium dan diluruskan menggunakan tabung baja yang digalvanisasikan dan penghubung aluminium (*aluminium hub*).
4. Sistem *double layer grids* yang menggunakan sambungan triodetik sudah pernah digunakan pada bangunan dengan bentangan hingga 33 m. Modul dasarnya hampir dapat diterapkan hingga 2,7 m. Kedalaman permukaan umumnya 70% dari ukuran modul.



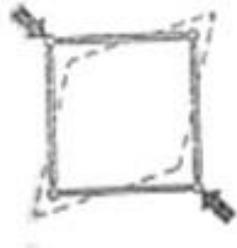
Gambar 2.22: Struktur *space frame* sambungan sistem *triodetik*.

2.3. Prinsip Yang Bekerja

2.3.1. Prinsip Umum

1. Struktur rangka batang dari elemen segitiga akan semakin efektif (juga efisien) apabila struktur tersebut dibuat menjadi rangkaian yang meruang (3 dimensi).

2. Penyusunan elemen-elemen menjadi himpunan segitiga yang membentuk komposisi lengkap dan stabil.
3. Penahan gaya (tarik-tekan) diharapkan tidak melentur.
4. Bentuk segitiga dapat menahan gaya-gaya eksternal dari berbagai vektor arah sehingga efisien dalam menahan tegangan tekuk (*buckling*), sangat efisien dan teratur apabila sistem sambungan memiliki kemiringan vektor 45 – 60 derajat.
5. Struktur *space frame* tidak membedakan antara batang utama (*major*) dan batang pendukung (*minor*).



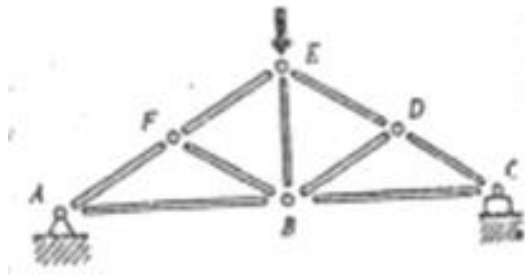
Gambar 2.23: Konfigurasi tidak stabil.



Gambar 2.24: Konfigurasi stabil.

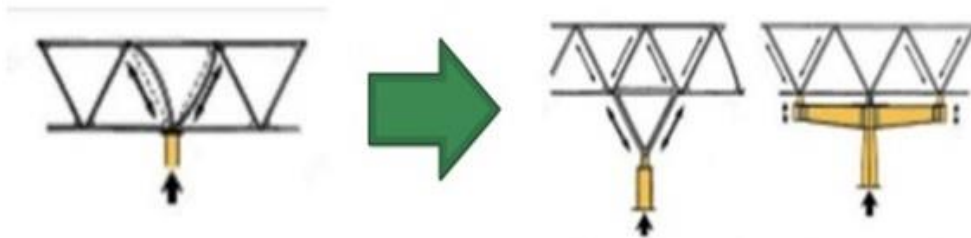


Gambar 2.25: Gaya batang.



Gambar 2.26: Rangka batang stabil pola batang yang seluruhnya segitiga.

Sembarang susunan segitiga akan menghasilkan struktur yang stabil dan kaku (*rigid*).



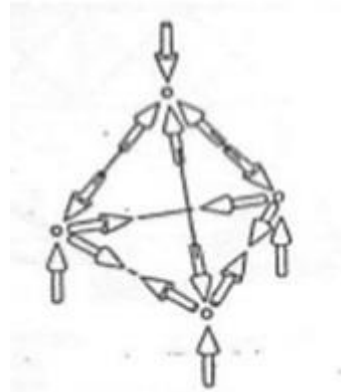
Gambar 2.27: Penanganan terhadap tegangan tekuk dapat diterapkan dengan metode – metode yang mudah dan efisien.

2.3.2. Prinsip Mekanik

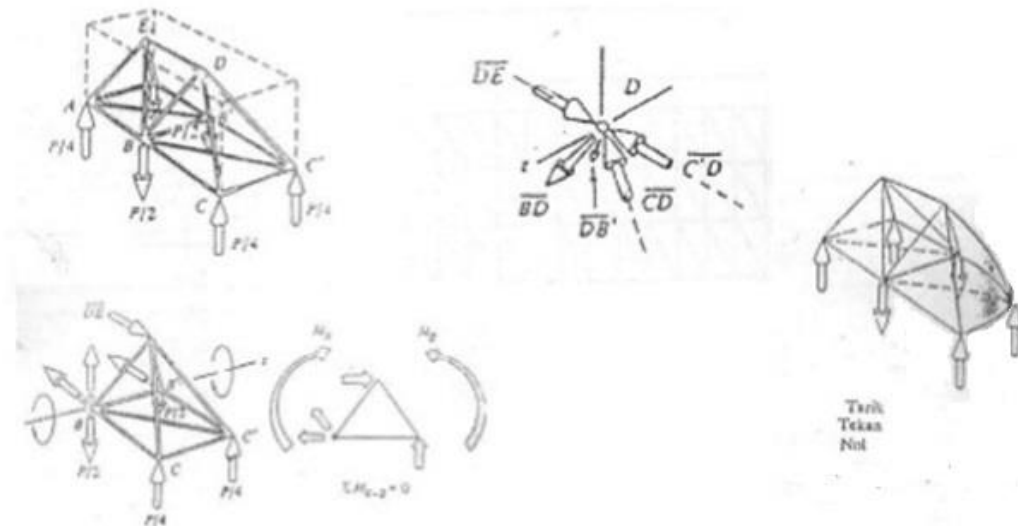
1. Bentuk dasar rangka ruang adalah *tetrahedron* yang susunannya dapat berulang apabila bentangan struktur rangka diperlebar.
2. Kumpulan segitiga dengan system meruang menerima gaya-gaya dari berbagai sumbu koordinat melalui titik-titik kumpul yang terdiri atas gaya batang dan beban eksternal.
3. Didapatkan kemungkinan lebar bentang 6x s.d. 36x unit modul jika diukur berdasarkan kemiringan 45-60 derajat terhadap rusuk bentang.



Gambar 2.28: *Tetrahedron*.



Gambar 2.29: Gaya batang.



Gambar 2.30: Distribusi gaya pada rangka batang.

2.4. Dasar Teori *Space Frame*

2.4.1. Pembebanan Struktur

Beban yang bekerja pada struktur *space frame* yaitu beban mati (berat sendiri *space frame* dan beban mati tambahan), beban hidup, beban angin dan beban gempa. Untuk kombinasi pembebanan dapat mengacu pada beberapa peraturan seperti SNI 1726-2012 dan SNI 1727-2013.

Beban-beban yang bekerja struktur *space frame* secara detail dijabarkan sebagai berikut :

1. Beban Mati

Menurut SNI 1727-2013 Pasal 3 hal 15 dari 195, Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural lainnya serta peralatan lain termasuk berat keran.

Beban mati yang bekerja terhadap struktur atap berupa beban yang berasal dari berat sendiri elemen struktur dan beban mati tambahan yang berupa :

- *Ball Joint, Conus, hexagon (Hexnut)*, baut
- Gording
- *Mecanical dan electrical*
- Lampu *Spot Light*
- Penutup atap hangar
- Struktur rangka baja

2. Beban Hidup

Menurut SNI 1727-2013 Pasal 4, Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati dan beban hidup atap adalah beban pada atap yang diakibatkan oleh :

- a. Pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan dan material.
- b. Selama masa layan struktur yang diakibatkan oleh benda bergerak, seperti tanaman atau benda dekorasi kecil yang tidak berhubungan dengan penghuni.

3. Beban Hujan

Menurut SNI 1727-2013, Setiap bagian dari suatu atap harus dirancang mampu menahan beban dari semua air hujan yang terkumpul apabila sistem drainase primer untuk bagian tersebut tertutup di tambah beban merata yang disebabkan oleh kenaikan air diatas lubang masuk sistem drainase sekunder pada

aliran rencananya.

$$R = 0.0098 \times (ds + dh) \quad (2.1)$$

Dimana :

R = Beban Air hujan pada atap yang tidak melendut , dalam lb/ft² (kN/m²).

Apabila istilah atap yang tidak melendut digunakan, lendutan dari beban (termasuk beban mati) tidak perlu diperhitungkan ketika menentukan jumlah air hujan pada atap.

ds = kedalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder apabila sistem drainase primer tertutup (tinggi statis), dalam in. (mm).

dh = tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut diatas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran air rencana (tinggi hidrolik) dalam in. (mm).

4. Beban Angin

Bangunan gedung dan struktur lain, termasuk Sistem Penahan Beban Angin Utama (SPBAU) dan seluruh komponen dan klading gedung, harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angin seperti yang ditetapkan menurut Pasal 26 sampai Pasal 31. Ketentuan dalam pasal ini mendefinisikan parameter angin dasar untuk digunakan dengan ketentuan lainnya yang terdapat dalam SNI 1727-2013.

Dalam wilayah rawan-badai, kecepatan angin yang berasal dari teknik simulasi hanya dapat digunakan sebagai pengganti dari kecepatan angin dasar bila prosedur analisis statistik nilai ekstrem dan prosedur simulasi teruji digunakan.

Di luar daerah wilayah rawan badai, bila kecepatan angin dasar diperkirakan dari data iklim regional, kecepatan angin dasar tidak boleh kurang dari kecepatan angin yang terkait dengan interval ulang rata-rata yang disyaratkan, dan estimasi harus disesuaikan untuk kesetaraan dengan kecepatan tiupan angin 3-detik pada 33ft (10 m) di atas tanah pada eksposur C. Analisis data harus dilakukan sesuai dengan SNI 1727-2013 pasal 26.5.3.

5. Arah Angin

Faktor arah angin, K_d , harus ditentukan dari Tabel 1. Faktor arah ini hanya akan dimasukkan dalam menentukan beban angin bila kombinasi beban yang disyaratkan dalam Pasal 2.3 dan 2.4 SNI 1727-2013 digunakan untuk desain. Pengaruh arah angin dalam menentukan beban angin sesuai dengan Pasal 31 harus didasarkan pada analisis untuk kecepatan angin yang sesuai dengan persyaratan Pasal 26.5.3 SNI 1727-2013.

Tabel 2.1: Faktor Arah Angin, K_d .

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin K_d
Bangunan Gedung	
Sistem Penahan Beban Angin Utama	0,85
Komponen dan Klading Bangunan Gedung	0,85
Atap lengkung	0,85
Cerobong Asap, Tangki, dan Struktur Yang Sama	
Segi empat	0,90
Segi enam	0,95
Bundar	0,95
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebas dan papan reklame terikat	0,85
Papan reklame terbuka dan kerangka kisi	0,85
Rangka batang menara	
Segi tiga, segi empat, persegi panjang	0,85
Penampang lainnya	0,95

6. Menentukan Kategori Resiko

Faktor kategori resiko mempengaruhi besar kecilnya kategori yang digunakan, sehingga untuk menentukan kategori resiko suatu bangunan dapat ditentukan pada Tabel 2.2 :

Tabel 2.2: Kategori Risiko bangunan dan struktur lainnya untuk beban banjir, angin, salju, gempa dan es.

Penggunaan atau pemamfaatan fungsi bangunan gedung dan struktur	Kategori Risiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan	I
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam Kategori Risiko I, III, dan IV	II

Tabel 2.2: (Lanjutan).

<p>Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam Kategori Risiko IV, dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi substansial dan/atau gangguan massa dari hari-ke-hari kehidupan sipil pada saat terjadi kegagalan.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain tidak termasuk dalam Risiko Kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak di mana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada publik jika dirilis.</p>	<p>III</p>
<p>Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas penting.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat beracun di mana kuantitas melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup menimbulkan ancaman bagi masyarakat jika dirilis^a.</p> <p>Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari Kategori Risiko IV struktur lainnya.</p>	<p>IV</p>

7. Menentukan Kecepatan Angin Dasar.

Bangunan gedung dan struktur lain, termasuk sistem penahan beban angin utama (*SPBAU*). Kecepatan angin dasar, *V* adalah kecepatan tiupan angin dalam tiga detik pada ketinggian 33 ft (10 m) di atas tanah pada eksposur yang ditentukan sesuai dengan pasal 26.5.1.

Angin harus diasumsikan datang dari segala arah horizontal. Kecepatan angin

dasar harus diperbesar jika catatan atau pengalaman menunjukkan bahwa kecepatan angin lebih tinggi dari pada yang ditentukan.

8. Kategori Ekspour

Untuk setiap arah angin yang diperhitungkan, ekspor lawan angin didasarkan pada kekerasan permukaan tanah yang di tentukan dari topografi alam, vegetasi, dan fasilitas di bangunan. Lokasi dari bangunan merupakan faktor untuk menentukan kategori Ekspour, karena lokasi bangunan merupakan di daerah perkotaan maka kategori yang di gunakan adalah kategori B.

Kategori kekasaran permukaan pada ekspour B berlaku pada daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan, atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat yang banyak memiliki ukuran dari tempat tinggal keluarga- tunggal atau lebih besar.

9. Faktor Topografi

Efek peningkatan kecepatan angin pada bukit, bukit memanjang, dan tebing curam yang terisolasi akan menimbulkan perubahan mendadak dalam topografi umum, terletak dalam setiap kategori ekspour, harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin bila kondisi bangunan gedung dan kondisi lokasi dan lokasi struktur memenuhi kondisi pada Pasal 26.8.

Efek peningkatan kecepatan angin harus dimasukkan dalam perhitungan beban angin desain dengan menggunakan faktor K_{zt} .

$$K_{zt} = (1 + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3)^2 \quad (2.2)$$

10. Faktor Efek Tiupan Angin

Faktor efek tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0.85.

11. Klasifikasi Ketertutupan

Untuk menentukan koefisien tekanan internal, semua bangunan gedung harus diklasifikasikan sebagai bangunan tertutup, tertutup sebagian, atau terbuka.

12. Koefisien Tekanan Internal

Koefisien tekanan Internal, (GC_{pi}), harus ditentukan dari Tabel 2.2 berdasarkan pada klasifikasi ketertutupan bangunan gedung. Namun Untuk bangunan tertutup sebagian yang memiliki sebuah ruangan besar tanpa sekat, koefisien tekanan internal, (GC_{pi}), harus dikalikan dengan faktor reduksi, R_i pada pers. 2.3.

$$R_i = 0.5 \left(1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{V_i}{22.800 \cdot A_{og}}}} \right) < 1.0 \quad (2.3)$$

Di mana :

A_{og} = Luas total bukaan pada amplop bangunan gedung (dinding-dinding dan atap, dalam ft²).

V_i = Volume Internal ruang tanpa partisi, dalam ft³.

Tabel 2.3: Koefisien Tekanan Internal, (GC_{pi}).

Klasifikasi Ketertutupan	(GC_{pi})
Bangunan gedung terbuka	0,00
Bangunan gedung tertutup sebagian	+ 0,55 - 0,55
Bangunan gedung tertutup	+ 0,18 - 0,18

13. Tekanan Velocitas

Berdasarkan kategori eksposur yang ditentukan, koefisien eksposur tekanan velocitas K_z atau K_h , sebagaimana yang berlaku, harus ditentukan dari Tabel 2.3.

Tabel 2.4: Koefisien eksposur tekan velocitas, K_h dan K_z .

Tinggi di atas level tanah, z		Eksposur		
		B	C	D
ft	(m)			
0-15	0-4.6	0.57	0.85	1.03
20	6.1	0.62	0.90	1.08
25	7.6	0.66	0.94	1.12

Tabel 2.4: (Lanjutan).

30	9.1	0.70	0.98	1.16
40	12.2	0.76	1.04	1.22
50	15.2	0.81	1.09	1.27
60	18	0.85	1.13	1.31
70	21.3	0.89	1.17	1.34
80	24.4	0.93	1.21	1.38
90	27.4	0.96	1.24	1.40
100	30.5	0.99	1.26	1.43
120	36.6	1.04	1.31	1.48
140	42.7	1.09	1.36	1.52
160	48.8	1.13	1.39	1.55
180	54.9	1.17	1.43	1.58
200	61.0	1.20	1.46	1.61
250	76.2	1.28	1.53	1.68
300	91.4	1.35	1.59	1.73
350	106.7	1.41	1.64	1.78
400	121.9	1.47	1.69	1.82
450	137.2	1.52	1.73	1.86
500	152.4	1.56	1.77	1.89

Tekanan vesolitas, q_z , di evaluasi pada ketinggian Z harus di hitung dengan pers. 2.4.

$$q_z = 0.00256.K_z.K_{zt}.K_d.V^2 \text{ (lb/ft}^2\text{)} \quad (2.4)$$

[Dalam SI $q_z = 0.613.K_z.K_{zt}.K_d.V^2 \text{ (N/m}^2\text{)}$; V dalam m/s].

Dimana :

Kd = Faktor Arah angin.

Kz = Koefisien Eksposur tekanan velositas.

Kzt = Faktor topografi tertentu.

V = Kecepatan angin dasar.

Qz = Tekanan velositas di hitung dengan pers. (2.4) pada ketinggian z.

Qh = Tekanan velositas di hitung menggunakan pers. (2.4) pada ketinggian atap rata-rata h.

14. Beban Angin

Tekanan desain neto untuk SPBAU dari bangunan gedung terbuka dengan

atap miring sepihak, berbubung, atau cekung harus ditentukan oleh pers. 2.5.

$$p = q_h G C_N \quad (2.5)$$

Di mana:

q_h = tekanan velositas dievaluasi pada tinggi atap rata-rata h menggunakan eksposur seperti didefinisikan dalam pasal 26.7.3 yang mengakibatkan beban angin tertinggi untuk setiap arah angin di lokasi.

G = Faktor efek-tiupan angin, lihat Pasal 26.9 SNI 1727-2013 dapat diambil (0.85).

C_N = Koefisien tekanan neto ditentukan dari gambar 27.4-4, 27.4-2 sampai 27.4-7 SNI 1727-2013.

15. Beban Gempa

Peninjauan beban gempa pada perencanaan struktur bangunan ini ditinjau secara analisa dinamis 3 dimensi. Fungsi *response spectrum* ditetapkan sesuai peta wilayah gempa sebagaimana ketentuan dalam SNI 1726-2012 serta mempertimbangkan kondisi tanah dilokasi rencana struktur bangunan. Parameter-parameter perhitungan gaya gempa berupa *base shear* mengacu pada ketentuan yang telah diatur dalam SNI 1726-2012.

16. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Menurut SNI 1726-2012 untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 1 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 2. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 2.5: Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa.

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III

Tabel 2.5: (Lanjutan).

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Tabel 2.6: Faktor keutamaan gempa.

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

17. Klasifikasi Situs

Menurut SNI 1726-2012 5.1 pasal ini memberikan penjelasan mengenai prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain

seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Dalam hal ini, kelas situs dengan kondisi yang lebih buruk harus diberlakukan. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs sampai kedalaman 30 m, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang memiliki sertifikat/ijin keahlian yang menyiapkan laporan penyelidikan tanah berdasarkan kondisi getekniknya. Penetapan kelas situs *SA* dan kelas situs *SB* tidak diperkenankan jika terdapat lebih dari 3 m lapisan tanah antara dasar telapak atau rakit fondasi dan permukaan batuan dasar.

18. Definisi Kelas Situs

Tipe kelas situs harus ditetapkan sesuai dengan definisi dari Tabel 2.7.

Tabel 2.7: Klasifikasi situs.

Kelas situs	\bar{v} (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{ch}	\bar{S}_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau tiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organic dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa		

CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai

19. Pemilihan Sistem Struktur

Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.2.1 Sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan dalam Tabel 9 atau kombinasi sistem seperti dalam 7.2.2, 7.2.3 dan 7.2.4. Pembagian setiap tipe berdasarkan pada elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya gempa lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang ditunjukkan Tabel 9. Koefisien modifikasi respons yang sesuai, R , faktor kuat lebih sistem, Ω_0 , dan koefisien amplifikasi defleksi, C_d , sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 9 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar lantai tingkat desain.

Setiap sistem penahan gaya gempa yang dipilih harus dirancang dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem tersebut yang ditetapkan dalam dokumen yang ditetapkan dalam 7.14.

Sistem penahan gaya gempa yang tidak termuat dalam Tabel 9 diijinkan apabila data analisis dan data uji diserahkan kepada pihak yang berwenang memberikan persetujuan, yang membentuk karakteristik dinamis dan menunjukkan tahanan gaya lateral dan kapasitas disipasi energi agar ekuivalen dengan sistem struktur yang terdaftar dalam Tabel 9 untuk nilai-nilai ekuivalen dari koefisien modifikasi respons, R , koefisien kuat-lebih sistem, Ω_0 , dan factor amplifikasi defleksi, C_d .

20. Kombinasi Sistem Perangkai Dalam Arah Yang Berbeda

Sistem penahan-gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai R , C_d , dan Ω_0 harus dikenakan pada seriap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 2.8.

Tabel 2.8: Faktor R, C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa.

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggistruktur, $h_n(m)^c$				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
A. Sistem dinding penumpu	7.1.1	7.1.2	7.1.3	7.1.4	7.1.5	7.1.6	7.1.7	7.1.8
1. Dinding geser beton bertulang khusus	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah	4	2½	4	TB	TB	12 ^k	12 ^k	12 ^k
6. Dinding geser pracetak biasa	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	2½	2¼	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1¾	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3½	TB	TB	20	20	20
B. Sistem rangka bangunan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3¼	2	3¼	TB	TB	10j	10j	TIj

Tabel 2.8: (Lanjutan).

4. Dinding geser beton bertulang khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah	5	2½	4½	TB	TB	12k	12k	12k
9. Dinding geser pracetak biasa	4	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4½	TB	TB	48	48	30
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6½	2½	5½	TB	TB	48	48	30
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	2½	4	TB	TB	48	48	30
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	2	TB	48	TI	TI	TI
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10h, i	Tih	Tii

Tabel 2.8: (Lanjutan).

4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	Tih	Tih	Tli
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3½	3o	3½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempayang ditetapkan								

Tabel 2.8: (Lanjutan).

1. Rangka baja dengan bresing konsentris khususf	6	2½	5	TB	TB	10	TI	Tlh,k
2. Dinding geser beton bertulang khusus	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5½	2½	4½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3½	2½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan betonkomposit biasa	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa	5½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
F.Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa	4½	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
G.Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1¼	1¼	1¼	10	10	TI	Tlh,i	Tlh,i
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1½	1¼	1½	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1¼	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1½	1½	1½	10	10	10	TI	TI
H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

21. Beban Temperatur

Beban temperatur yang digunakan diambil dari penentuan ekstrim perubahan suhu malam dan siang di daerah bangunan.

22. Kombinasi Pembebanan

Struktur, komponen, dan fondasi harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desainya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi menurut SNI 1727-2013 Pasal 2.3, sebagai berikut:

- $1.4D$
- $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $1.2 + 1.6(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + 0.5(L_r \text{ atau } 0.5W)$
- $1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- $1.2 D + 1.0E + L + 0.25S$
- $0.9D + 1.0W$
- $0.9D + 1.0E$

Di mana:

- D = Beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai atap, plafon, partisi tetap, tangga dan peralatan tetap.
- L = beban hidup yang di timbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk beban kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan dan lain – lain. Faktor beban untuk L harus sama dengan 1.0 untuk garasi parkir, daerah yang digunakan untuk pertemuan umum dan semua daerah yang memikul beban hidup lebih besar dari 5.0 kPa.
- L_r = beban hidup diatap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.
- H = beban akibat tekanan tanah lateral, tekanan air tanah atau tekanan dari material dalam jumlah besar.
- W = beban angin.
- E = beban gempa.

2.4.2. Ketentuan Umum

A. Lingkup

Spesifikasi ini ditujukan untuk desain ERW bulat yang digunakan sebagai batang bangunan yang menggunakan ERW (*Electric Resistant Welded*). ERW yang digunakan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Bentuk prisma struktural; dan
2. Produk pipa atau tabung yang memenuhi persyaratan toleransi geometrik, persyaratan tarik dan persyaratan kimia dari standar yang ditetapkan.

B. Material

1. Baja Struktural

Material ERW yang digunakan harus memenuhi salah satu persyaratan sebagai berikut:

- Spesifikasi standar untuk Pipa, Baja, *Black and Hot Dipped*, lapisan zink, *Welded and Seamless*. ASTM A53/A53M-99b Gr.B.
- Spesifikasi standar *Cold- Formed Welded* dan *Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes*, ASTM A500-99.
- Spesifikasi standar untuk *Hot-Formed* dan *Seamless Carbon Steel Structural Tubing*, ASTM A501-99.
- Spesifikasi standar untuk *Hot- Formed Welded* dan *Seamless High-Strength Low-Alloy Structural Tubing*, ASTM A501-99.
- Spesifikasi standar untuk *Cold-Formed Welded* dan *Seamless High Strength, Low-Alloy Structural Tubing with Improved Atmospheric Corrosion Resistance*, ASTM A847-99a.

2. Desain Kekuatan Berdasarkan Desain Faktor Beban dan Ketahanan

Desain 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. Semua ketentuan Spesifikasi ini, kecuali untuk Pasal B3.4 ini, harus digunakan pada pers. 2.6.

$$R_u \leq \Phi R_n \quad (2.6)$$

Di mana:

R_u = Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBK.

R_n = Kekuatan nominal, disyaratkan dalam Bab B sampai K.

Φ = Faktor ketahanan, disyaratkan dalam Bab B sampai K.

ΦR_n = Kekuatan desain.

3. Desain Kekuatan Berdasarkan Desain Kekuatan Izin

Desain yang sesuai dengan ketentuan Desain Kekuatan Izin (DKI) memenuhi persyaratan spesifikasi ini bila kekuatan izin dari setiap komponen struktur sama atau melebihi kekuatan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban DKI. Semua ketentuan spesifikasi ini, kecuali pasal B3.3, harus digunakan pada pers. 2.7.

$$R_a \leq \Phi R_n / \Omega_a \quad (2.7)$$

Di mana:

R_a = Kekuatan perlu yang menggunakan kombinasi beban DKI.

R_n = Kekuatan nominal, disyaratkan dalam Bab B sampai K.

Ω = Faktor keamanan, disyaratkan dalam Bab B sampai K.

R_n / Ω = Kekuatan izin.

4. Desain Ketebalan Dinding

Desain ketebalan dinding t harus digunakan dalam perhitungan dengan melibatkan ketebalan dinding HSS. Ketebalan dinding desain t , harus digunakan dalam perhitungan yang melibatkan ketebalan dinding profil struktur berongga (PSB). Ketebalan dinding desain, t , harus diambil sama dengan 0.93 kali ketebalan dinding nominal untuk PSB *Electric-resistant-Welded* (ERW) dan sama dengan ketebalan nominal untuk PSB *Submerged-Arc-Welded* (SAW). Desain ketebalan dinding tersebut dijelaskan dalam SNI 1729 – 2015 Pasal B4 Ayat 2.

Sebuah pipa dapat dirancang menggunakan ketentuan dari spesifikasi untuk profil PSB bulat selama pipa tersebut sesuai dengan ASTM A53 kelas B dan pembatasan sesuai dari spesifikasi digunakan. ASTM A500 PSB dan ASTM A53 pipa mutu B yang diproduksi melalui proses sebuah ERW. Suatu proses SAW digunakan untuk penampang melintang yang lebih besar dari yang diizinkan oleh ASTM A500.

5. Persyaratan Desain

Luas neto efektif dari komponen struktur tarik harus di tentukan sesuai dengan yang dijelaskan Menurut SNI 1729-2015 Pasal D3 pada pers. 2.8:

$$A_e = A_x U \quad (2.8)$$

Dimana U adalah faktor *shear lag*.

Faktor *shear lag* dapat di tentukan sebagai berikut :

- a. Untuk semua komponen struktur tarik di salurkan secara langsung kesetiap dari elemen profil melintang melalui sarana sambungan las, $A = A_g$, di mana adalah luas area total dengan faktor *shear lag* $U = 1.0$.

$$I \geq 1.3 D \quad (2.9)$$

Di mana: I adalah panjang sambungan, in. (mm)

- b. Untuk sambungan dengan pelat buhul, $A = A_n$, di mana A_n adalah luas area total dikurangi dengan luas area yang diganti dengan sambungan.

$D \leq I < 1.3 D$ maka *shear lag* (U) yang di gunakan adalah

$$U = 1 - \frac{x}{L} \quad (2.10)$$

Pada persamaan di atas, x adalah jarak tegak lurus dari sambungan ke titik *centroid* dari luas area total. Untuk HSS yang berbentuk bulat,

$$x = \frac{D}{\pi} \quad (2.11)$$

Dimana:

L = Panjang sambungan dalam arah pembebanan (mm).

D = Diameter terluar dari HSS bulat (mm).

I = Panjang sambungan, in (mm).

x = Eksentrisitas sambungan, in (mm).

2.4.3. Desain Batang

1. Pembatasan Kelangsingan Komponen Struktur Tarik

Tidak ada batasan kelangsingan maksimum untuk komponen struktur dalam tarik. Untuk komponen struktur yang dirancang berdasarkan tarik, rasio kelangsingan L/r lebih baik tidak melebihi 300. Saran ini tidak berlaku pada batang atau gantungan dalam gaya tarik.

2. Desain Kekuatan Tarik

Perencanaan batang tarik pada hakekatnya menentukan luas penampang lintang yang cukup untuk menahan beban yang diberikan batang tarik tanpa lubang akan mencapai kekuatan maksimum apabila semua serat penampang lintang batang leleh, dengan kata lain distribusi tegangan tarik sudah merata pada penampang.

Menurut SNI 1729-2015 Pasal B4.3 desain yang sesuai dengan ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) memenuhi persyaratan spesifikasi bila kekuatan desain setiap komponen struktural sama atau melebihi kekuatan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban DFBK.

$$Ru \leq \phi Rn \quad (2.12)$$

Dimana :

Ru = Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBK.

Rn = Kekuatan nominal, di syatkan dalam bab B sampai Bab K.

ϕ = Faktor ketahanan, di syatkan dalam bab B sampai Bab K .

ϕRn = Kekuatan desain.

Menurut SNI 1729-2015 Pasal D2 kekuatan tarik desain, $\Phi_t P_n$, dan kekuatan tarik tersedia, P_n/Ω_t , dari komponen struktur tarik, harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang neto.

a. Menghitung tegangan leleh tarik pada penampang bruto

$$P_n = F_y \times A_g \quad (2.13)$$

$$\Phi_t = 0,90 \text{ (DFBK)} \quad (2.14)$$

$$\Omega_t = 1,67 \text{ (DKI)} \quad (2.15)$$

b. Untuk keruntuhan tarik (putus) pada penampang neto

$$P_n = F_u \times A_n \quad (2.16)$$

$$\Phi_t = 0,75 \text{ (DFBK)} \quad (2.17)$$

$$\Omega_t = 2,00 \text{ (DKI)} \quad (2.18)$$

Dimana :

A_e = Luas Neto Efektif, in^2 (mm^2).

A_g = Luas Bruto dari komponen Struktur, in^2 (mm^2).

f_y = Tegangan leleh minimum yang disyaratkan, ksi (MPa).

f_u = Kekuatan Tarik Minimum yang disyaratkan, ksi (MPa).

P_n = Tegangan nominal aksial, ksi (MPa).

3. Luas Neto Efektif

Luas bruto A_g , dan luas Netto, A_n , dari komponen struktur tarik harus di tentukan sesuai dengan ketentuan SNI 1729-2015 Pasal B4.3. dimana luas neto A_n , untuk PSB terslot yang di las pada plat buhul, luas neto A_n , adalah luas bruto di kurangi hasil ketebalan dan lebar total material yang dihilangkan untuk membentuk slot tersebut, namun untuk komponen struktur tanpa lubang, luas neto tersebut, A_n adalah sama dengan luas bruto, A_g .

4. Desain Kekuatan Tekan

Batang tekan jarang sekali mengalami tekanan aksial saja. Namun bila pembebanan ditata sedemikian rupa hingga rotasi ujung dapat diabaikan atau beban dari batang-batang yang bertemu pada titik simpul bersifat simetris, maka batang tekan dapat direncanakan dengan aman sebagai batang yang dibebani secara konsentris.

Menurut SNI 1729-2015 Pasal E1 kekuatan tekan desain, $\phi_c.P_n$, dan kekuatan Tekan tersedia, P_n/Ω_c , di tentukan sebagai berikut :

Ketentuan tekan nominal, P_n harus nilai terendah yang di peroleh berdasarkan pada keadaan batas dari tekuk lentur, tekuk torsi-lentur.

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.12)$$

$$\Phi_t = 0,90 \text{ (DFBK)} \quad (2.14)$$

$$\Omega_t = 1.67 \text{ (DKI)} \quad (2.15)$$

Untuk kondisi tekan, penampang di klasifikasikan sebagai elemen nonlangsing atau penampang elemen langsing. Untuk profil elemen nonlangsing, rasio tebal terhadap lebar dari elemen tekan tidak boleh melebihi λ_r . Jika rasio tersebut melebihi λ_r di sebut penampang dengan elemen-langsing.

Untuk kondisi lentur, penampang di klasifikasikan sebagai penampang kompak, non kompak atau penampang elemen-langsing. Untuk penampang kompak, sayap-sayapnya harus menyatu dengan bagian badan dan rasio tebal-terhadap-lebar dari elemen tekannya tidak boleh melebihi batasnya, λ_p , jika rasio tebal-terhadap-lebar dari satu atau lebih elemen tekan melebihi λ_p tetapi tidak boleh melebihi λ_r , maka penampang tersebut di sebut nonkompak. Jika rasio tebal-terhadap-lebar dari setiap elemen tekan melebihi λ_r , di sebut penampang dengan elemen langsing. Rasio tebal terhadap lebar elemen tekan komponen struktur yang menahan tekan aksial untuk PSB bulat:

- Rasio ketebalan terhadap lebar D/t.
- Batasan rasio tebal terhadap lebar = $0.11 \times \frac{E}{F_y}$.

Rasio tebal terhadap lebar elemen tekan komponen struktur menahan lentur untuk PSB bulat :

- Rasio Ketebalan-terhadap-lebar D/t

$$\lambda_p = 0.07 \times \frac{E}{F_y} \quad (2.19)$$

$$\lambda r = 0.31 \times \frac{E}{F_y} \quad (2.20)$$

Dimana:

E = Modulus elastisitas baja = 29.000 ksi (200.000 Mpa).

F_y = Tegangan leleh minimum yang di syaratkan, ksi (Mpa).

5. Panjang Efektif

Untuk komponen struktur yang dirancang berdasarkan tekan, rasio kelangsingan efektif dapat memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$(K \times L)/r < 200 \quad (2.21)$$

Kekuatan tekan nominal, P_n , harus nilai terendah berdasarkan pada keadaan batas dari tekuk lentur, tekuk torsi dan tekuk-lentur yang sesuai.

$$P_n = A_g \times f_{cr} \quad (2.22)$$

Tegangan kritis, F_{cr} , harus di tentukan sebagai berikut :

$$a. \text{ Bila } \frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ (atau } \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \text{)} \quad (2.23)$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] \cdot F_y \quad (2.24)$$

$$b. \text{ Bila } \frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ (atau } \frac{Q \cdot F_y}{F_e} \leq 2.25 \text{)} \quad (2.25)$$

$$F_{cr} = 0.877 \cdot F_e \quad (2.26)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2} \quad (2.27)$$

Dimana :

F_e = Tegangan tekuk kritis elastis (Mpa).

A_g = Luas penampang bruto.

K = Faktor panjang efektif.

L = Panjang batang tekuk.

r = Radius girasi atau jari – jari girasi.

2.5. Sambungan dan Pengencang

2.5.1. Umum



Sambungan adalah bagian yang sangat penting dalam *space frame*. Penggunaan sambungan yang sesuai adalah bagian yang sangat menentukan kesuksesan desain dan konstruksi. Berbagai macam tipe sambungan tergantung pada tipe sambungan, termasuk baut, las atau sambungan konektor mekanik yang khusus. Berbagai macam tipe sambungan telah dikembangkan, menghasilkan beberapa penemuan tentang berbagai macam sambungan yang sudah lama digunakan.

Sistem sambungan pada *space frame* lebih penting daripada beberapa tipe lain, dikarenakan batang yang disambung akan menjadi system sambungan tunggal. Lebih jauh lagi, members 6 yang terletak pada area 3 dimensi yang membuat transfer beban menjadi lebih kompleks.


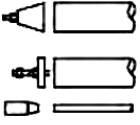


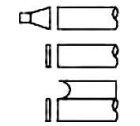


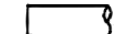







Sampai saat ini, telah ditemukan kurang lebih 250 macam tipe sambungan di seluruh dunia, dan lebih dari 50 perusahaan yang bergerak di bidang sambungan *space frame*. Sayangnya, banyak dari tipe sambungan ini yang tidak sukses karena terlalu rumitnya sistem sambungan ini. Berbagai macam tipe sambungan yang umum digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.9, Tabel 2.10, dan Tabel 2.11. Secara umum, tipe sambungan dapat dibedakan menjadi 3:

- a. Dengan noda
- b. Tanpa noda
- c. Sistem fabrikasi khusus







Tabel 2.9: Tipe sambungan dengan menggunakan noda bola.

Node	Connector Member	Cross Section	Examples
Sphare			Mero KK, Germany : Montal, Germany; Uzay, Italy; Zublin, Germany Steve Baer, United States, Van tiel, netherlands, KT Space Truss, Lapan Mero MT, Germany








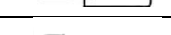










Tabel 2.9: (Lanjutan).

Sphere	 Solid			Mero KK, Germany : Montal, Germany; Uzay, Italy; Zublin, Germany Steve Baer, United States, Van tiel, netherlands, KT Space Truss, Lapan Mero MT, Germany
	 Hollow			Spherobat, France NS Space Trusses, Japan; Tubal, Netherlands; Orbik, United Kingdom NS Space Trusses, Japan; Tubal, Netherlands; Orbik, United Kingdom
	 Hollow			SDC, France
	 Hollow			Oktaplatta, Germany WHSI, China
	 Hollow			Vestrut, Italy




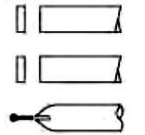
Tabel 2.10: Tipe sambungan dengan menggunakan noda *silinder*.

Node	Connector Member	Cross Section	Examples
Cylinder	 Solid		 Triodetic, Canada; Nameless, East Germany
	 Hollow		 Octatube Plus, Netherlands; ameless, Singapore Pieter HuyBers, Netherlands Nameless System, United Kingdom

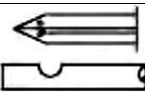
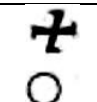
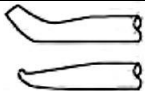
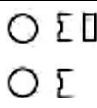


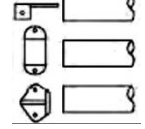
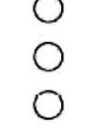
Tabel 2.11: Tipe sambungan dengan menggunakan noda lempengan.

Node	Connector Member	Cross Section	Examples
Disc	 Flat		 Palc, Spain Power Strut, United States Pieter Huybers, Netherlands
	 Flat		 Palc, Spain Power Strut, United States Pieter Huybers, Netherlands
	 Flat		 Tridimatec, France
	 Flat		 Moduspan (Unistrut), United States; Space Truss System VI (Unistrut), United States
	 Welded		 Boyd Auger, United States; Octatube, Netherlands Piramodul Large Span, Netherlands
	 Welded		 Nodus, United Kingdom

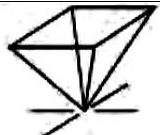
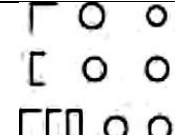
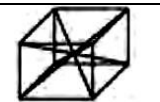
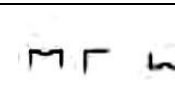

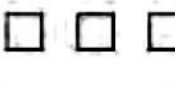

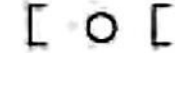
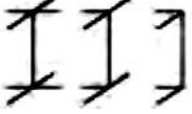

Tabel 2.12: Tipe sambungan dengan menggunakan noda prisma.

Node	Connector Member	Cross Section	Examples
Prisma	 Solid		Montal, Germany Mero BK, Germany
			Mero TK and ZK, Germany Mero NK, Germany Stterwhite, United States

Tabel 2.13: Tipe sambungan tanpa noda.

Node	Connector Member	Cross Section	Examples
Form Of Member	Forming 		Buckminster Fuller Nonadome, Netherlands
	Flattened and Bending 		Radial, Australia Harley, Australia
	Plate (S) 		Mai Sky, United States
	Member end 		Pieter Huybers, Netherlands Pierce, United States Buckminster Fuller

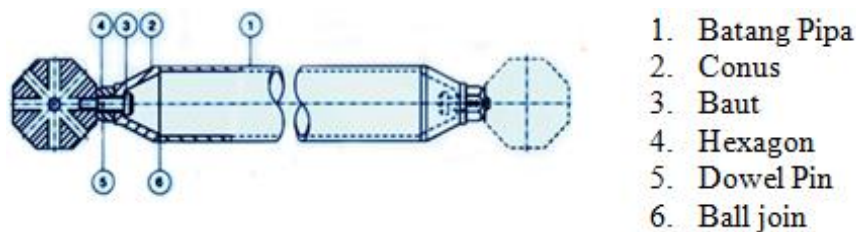
Tabel 2.14: Sambungan dengan menggunakan fabrikasi.

Node	Prefabricated Unit	Member Cross- Section top/bracing/ballom	Examples
<i>Geometrical Solid</i>			<i>Space Deck</i> , United Kingdom Mero DE, Germany Unistrut, France
			<i>Nameless System</i> Italy
<i>2D Compon ents</i>			<i>Ruter</i> , Germany
			<i>Nameless System</i> , Italy
<i>3D Compon ents</i>			<i>Cubic</i> , United Kingdom

Tabel 2.15: Sistem sambungan yang umum digunakan.

Names	Germany	Periode Of Development	Material	Connecting Method
MERO	United Kingdom Canada	1940 - 1950	Steel Aluminium	Bolting
Space Deck Triodetic	United Kingdom Canada	1950 – 1960 1950 - 1960	Steel Aluminium Steel	Bolting Insert member ends into hub
Unistrut (moduspan)	United States	1950 – 1960	Steel	Bolting
Oktaplatte	Germany	1950 – 1960	Steel	Welding
Unibat	France	1950 – 1970	Steel	Bolting
Nodus	United Kingdom	1960 - 1970	Steel	Bolting and Using Pins
NS	Japan	1970 - 1980	Steel	Bolting

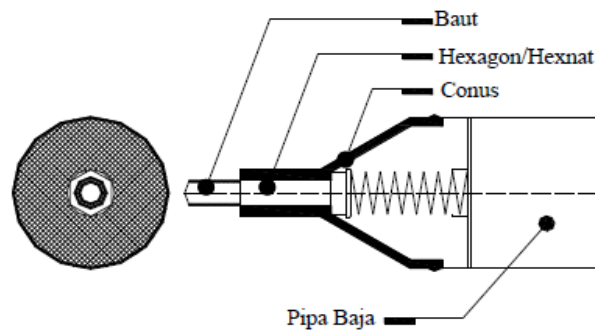
Di Indonesia perencanaan struktur rangka ruang masih sangat terbatas untuk profil bulat dan sambungan dengan sistem mero. Mengeringhausen (*Jerman, 1942*) menyebutkan bahwa sistem mero mempunyai dua elemen dasar sebuah batang dan bola penghubung yang mempunyai delapan belas lubang berulir. Sistem mero memiliki perangkat sambungan berupa *Conus*, *Hexagon* (*Hexnut*), baut dan bola baja.



Gambar 2.31: Detail batang.

2.5.2. Konus

Konus merupakan perangkat yang berfungsi menghubungkan batang pipa kesisistem sambungan yang menerima dan menyalurkan beban yang bekerja. Bentuk konus merupakan bentuk lingkaran dengan model tertentu yang diameternya sesuai dengan pipa yang dipakai. Melalui *conus* inilah beban atau gaya batang pada penampang lingkaran disalurkan keperangkat lain, yaitu *hexagon*. Hubungan *conus* dengan pipa disambung dengan las.



Gambar 2.32: Baut, *Hexagon (Hexnut)*, dan *Conus*.

Diameter terluar dari *conus* dapat diambil seperti rumus berikut.

$$D_c = n \cdot x t_3 \quad (2.28)$$

Dimana:

n = rasio perbandingan diameter konus dan diameter *frame*

Tebal dari *conus* dapat diambil dengan rumus berikut:

$$t w_c = \frac{P_{max}}{f_y} \quad (2.29)$$

Untuk mempermudah desain tebal *conus*, maka tebal konus digunakan sebagai kelipatan 0.1.

2.5.3. *Hexagon (Hexnut)*

Hexagon bisa juga disebut *Hexnut*, merupakan perangkat bantu yang digunakan untuk memutar baut hingga masuk terikat ke bola baja. Selain itu juga untuk menyalurkan beban dan gaya, *Hexnut* berbentuk segi enam dengan tinggi tertentu.

Ukuran *hexnut* bermacam-macam sesuai dengan batang pipa yang disambung, tetapi tebalnya hampir sama yaitu antara 6-10 Cm, walaupun lebih tebal itu di perlukan karena keadaan konstruksi. *Hexnut* ini akan bekerja pada saat gaya aksial tekan, karena perangkat inilah yang menumpu langsung ke bola baja.

Dalam perencanaan kekuatan *Hexagon* di dasarkan pada luas penampang,

karena selain sebagai pengunci *hexagon* berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya pada saat tekan. Pemilihan *insert to node*, *conus insert* dan *hexagon lengh* disesuaikan dengan dimensi baut dan dimensi batang yang digunakan. Untuk menganalisa dimensi *hexagon* maka dapat direncanakan dengan rumus sebagai berikut :

$$a = \left[\frac{0,5 \times \text{Hex Hole}}{\cos \theta} \right] \quad (2.30)$$

$$b = \left[\frac{0,5 \times Wr}{\cos \theta} \right] \quad (2.31)$$

$$t = \left[\frac{Wrech - Hl}{2} \right] \quad (2.32)$$

$$A = 6 \times \left[\frac{a+b}{2} \right] \times t \quad (2.33)$$

$$d = (b + (t \operatorname{tg} \theta \times 0,5 \times Wr) \times 2) \quad (2.34)$$

Kapasitas tekan maksimum *hexagon* :

$$P = \frac{fy}{1,5} \times A \quad (2.35)$$

Kontrol desain *hexagon (hexnut)*

$$P_{\text{perencanaan}} > P_{\text{maks. Tekan}} \quad (2.36)$$

Di mana:

P = Gaya tekan batang.

Wr = *Wrech* (diambil dari tabel).

Hl = *Hexagon Hole* (diambil dari tabel).

A = Luas Bidang Tekan.

2.5.4. Diameter, Tebal dan Panjang Baut

Baut yang biasa digunakan pada perencanaan sambungan sistem mero merupakan baut berkekuatan tinggi (*High Tensile Bolt-HT Bolt*). Baut mutu tinggi atau baut berkekuatan tinggi tidak diragukan lagi merupakan alat sambung mekanis yang paling banyak digunakan untuk baja struktural. Baut mutu tinggi dapat disebut sebagai baut struktural heksa berat, yang bias digunakan bersama

mur heksa berat. Panjang ulirnya lebih kecil daripada baut lain yang digunakan untuk aplikasi lain.

Baut mutu tinggi tersedia dalam berbagai jenis, jenis yang dipilih tergantung pada kondisi yang ada atau tampilan yang dikehendaki, misalnya untuk digunakan pada temperatur tinggi, atau yang digunakan pada kondisi temperatur rendah, atau juga karakteristik cuaca tertentu.

Penggunaan baut kekuatan tinggi harus menurut ketentuan spesifikasi untuk *joint* struktur yang menggunakan baut kekuatan-tinggi, selanjutnya diacu seperti Spesifikasi RCSC, yang disetujui oleh *The Research Council on Structural Connection*, kecuali disyaratkan lain dalam spesifikasi ini. Baut kekuatan-tinggi dalam spesifikasi ini dikelompokkan sesuai dengan kekuatan material sebagai berikut:

- Group A-ASTM A325, A325M, F1852, A354 Kelas BC, dan A449
- Group B-ASTM A490, A490M, F2280, dan A354 Kelas BD

Kondisi *snug tight* yang didefinisikan sebagai kekencangan yang diperlukan untuk memberi lapisan tersambung ke kontak kuat/teguh. Baut yang dikencangkan pada suatu kondisi selain dari *snug tight* harus secara jelas diidentifikasi pada gambar desain. Semua baut kekuatan tinggi yang disyaratkan pada gambar desain yang digunakan dalam pra-tarik atau *joint* kritis-slip harus dikencangkan dengan suatu ketegangan baut tidak kurang dari yang diberikan dalam tabel J3.1 atau J3.1M. Pemasangan harus melalui setiap dari metode berikut yaitu *metode turn of nut*, suatu indikator gaya tarik langsung, *twist off type tension control bolt*, kunci pas dikalibrasi atau baut desain alternatif.

Kekuatan tarik atau geser desain, ΦR_n dan kekuatan tarik atau geser yang diizinkan, R_n/Ω dari suatu baut *snug-tightened* atau baut kekuatan tinggi pratarik atau bagian berulir harus ditentukan sesuai dengan keadaan batas dari keruntuhan tarik dan keruntuhan geser.

$$R_n = F_n A_b \quad (2.37)$$

$$\Phi = 0.75 \text{ (DFBK)} \quad (2.38)$$

$$\Omega = 2.00 \text{ (DKI)} \quad (2.39)$$

Dimana :

A_b = Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir, in.² (mm²).

F_n = Tegangan tarik nominal, F_{nt} , atau tegangan geser, F_{nv} dari tabel J3.2 (SNI 1729-2015), ksi (Mpa).

Menurut persyaratan SNI 1729-2015 desain kekuatan berdasarkan desain vaktor beban dan ketahanan (DFBK) suatu baut yang memikul gaya terfaktor, R_u harus memenuhi dari pers. 2.40.

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.40)$$

Daftar spesifikasi tabel diameter baut untuk ASTM490 dapat dilihat pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16: Kekuatan nominal baut per satuan luas.

Applied Load Condition		Nominal Strenght Per Unit Area F_n , ksi	
		Astm a325 OR f1852 Bolt	ASTM A490 Bolt
Tension ^a	Static	90	113
	Fatigue	See section 5.5	
Shear ^{ab}	Threads included in shear plane	48	60
	Threads included from shear plane	60	75

^a Except as required in section 5.2.
^b In shear connections that transmit axial force and have length between extreme bolts measured parallel to the line of force exceeds 50 in., tabulated values shall be reduced by 20 percent.

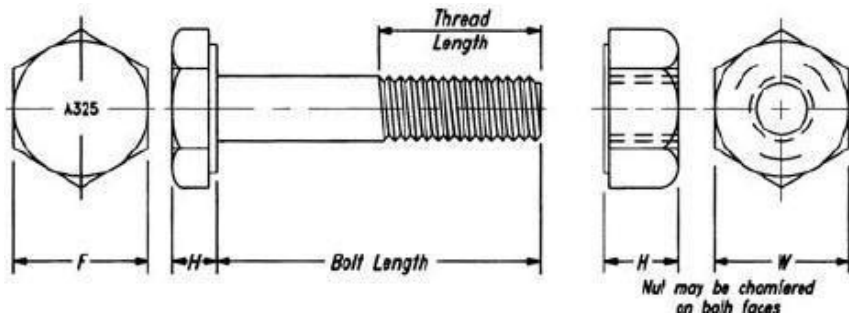
Tabel 2.17: Pratarik baut minimum, kN.

Ukuran Baut, mm	Baut A325M	Baut A490M
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

* Sama dengan 0,70 dikalikan kekuatan tarik minimum baut, dibulatkan mendekati K_n , seperti disyaratkan dalam spesifikasi untuk baut ASTM A325M dan A490M dengan ulir UNC.

Tabel 2.18: Ukuran baut dari ASTM325 dan ASTM 490.

Nominal Bolt Diameter d_b , in	Heavy hex structural bolt dimensions			Heavy hex nut dimensions	
	Width across flats F , in.	Height H_1 , in.	Thread Length T , in.	Width across flats W , in.	Height H_2 , in.
$1/2$	$7/8$	$5/16$	1	$7/8$	$31/64$
$5/8$	$1^{1/16}$	$25/64$	$1^{1/4}$	$1^{1/16}$	$39/64$
$3/4$	$1^{1/4}$	$15/32$	$1^{3/8}$	$1^{1/4}$	$47/64$
$7/8$	$1^{7/16}$	$35/64$	$1^{1/2}$	$1^{7/16}$	$55/64$
1	$1^{5/8}$	$39/64$	$1^{3/4}$	$1^{5/8}$	$63/64$
$1^{1/8}$	$1^{13/16}$	$11/16$	2	$1^{13/16}$	$17/64$
$1^{1/4}$	2	$25/32$	2	2	$17/32$
$1^{3/8}$	$2^{3/16}$	$27/32$	$2^{1/4}$	$2^{3/16}$	$1^{11/32}$
$1^{1/2}$	$2^{3/8}$	$15/16$	$2^{1/4}$	$2^{3/8}$	$1^{15/32}$



Gambar 2.33: Ukuran baut berdasarkan ASTM 325 dan ASTM 490.

Baut memiliki bagian-bagian ulir yaitu :

- 1) Sudut ulir
- 2) Puncak ulir luar
- 3) Jarak bagi
- 4) Diameter inti dari ulir luar
- 5) Diameter luar dari ulir luar
- 6) Diameter dalam dari ulir dalam
- 7) Diameter dari ulir dalam

2.5.5. Diameter dari *Ball Joint* Sistem Mero

MERO *conector*, diperkenalkan pertama kali oleh Dr. Mengerlinghausen, 50 tahun lalu, dan menjadi sangat populer pada bangunan semi permanen dan permanen. Konektor ini terbuat dari noda yang difabrikasi dengan sistem *hot-press*. Bagian batang dari noda adalah *hollow sections* dengan ujung *cone* tajam yang dilas pada sambungan, diakomodasi dengan sambungan baut. Baut yang digunakan dipertebal dengan *hexagonal sleeve* dan sambungan *dowel pin*, yang berakhir pada sambungan joint. Noda ini dapat menyambung lebih dari 18 batang, dimana tidak terdapat eksentrisitas. Pabrikan dapat memproduksi noda dengan ukuran 46.5 to 350 mm, dengan ukuran baut yang berkisar antara M12 sampai dengan M64 dengan gaya maksimum yang diijinkan adalah 1413 kN.

MERO *conector* mempunyai beberapa keunggulan, di antaranya semua member dari *space truss* melewati satu sambungan, yang mengurangi eksentrisitas beban pada *joint*. Hal ini membuat beban yang terjadi pada sambungan hanyalah beban aksial. Gaya pada batang juga 8 ditahan oleh baut dan *cone* pada ujung *truss*. Bentuk *ball joint* dapat dilihat seperti Gambar 2.30.

Bola baja atau juga disebut nodes berbentuk bola pejal yang terbuat dari baja, aluminium, atau kuningan. Penggunaannya tergantung dari fungsi struktur yang direncanakan. Untuk bola baja selalu digunakan pada struktur besar yang membutuhkan kekuatan sambungan yang tinggi, selain faktor artistik yang juga diperhatikan.

Bola baja kemungkinan mengalami korosi sangat tinggi, oleh karena itu harus dilakukan pencegahan seperti proses *galvanis*, lapisan *chrom* atau pengecatan. Untuk tipe dan ukuran dari bola baja disesuaikan dengan struktur yang direncanakan, dengan panduan dari *Tridome*. Dalam proses produksi bola baja ketepatan arah sudut dan jarak lubang menjadi hal yang penting diperhatikan, karena penyimpangan yang kecil sekalipun akan mempengaruhi perilaku struktur dan mempersulit pelaksanaan pemasangan dilapangan.

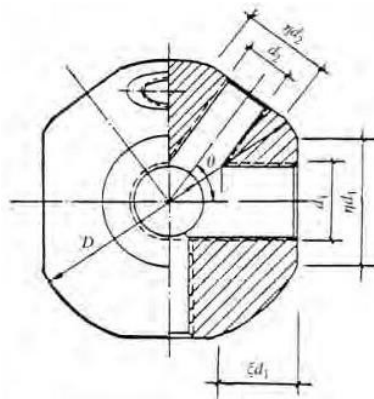
Jenis bola baja diklasifikasikan berdasarkan lubang baut yang ada, dan keberadaan lubang ini oleh perencana disesuaikan dengan struktur yang dibuat. Bola baja di bedakan menjadi dua tipe yaitu :

1. Tipe Standart

Bola baja mempunyai lubang baut dengan arah yang teratur, yaitu arah yang diambil dari sudut ruang dua buah kubus yang tersusun yang mengarah kepusatnya sebagai posisi bola baja. Maksimum lubang baut adalah 18 buah lubang sesuai dengan arah sudut dan sumbu ruang tersebut.

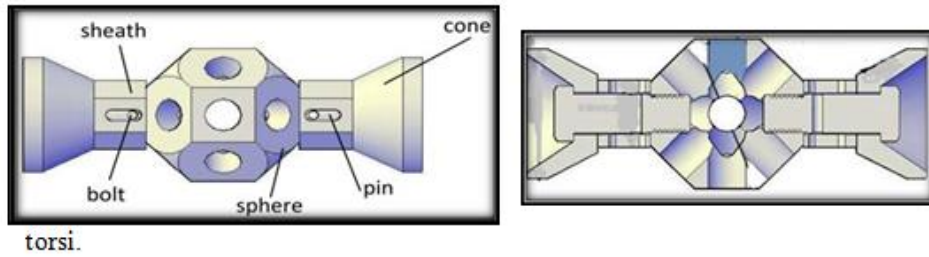
2. Tipe Khusus

Disediakan untuk struktur dengan arah batang yang tidak *standart*, sehingga lubang baut pada bola baja harus direncanakan sesuai dengan kebutuhan. Berbeda dengan tipe *standart* yang sudah disediakan. Pada tipe ini produksi bola baja baru dilaksanakan setelah bentuk konstruksi sudah didapat dan arah batang penyusun diketahui kemiringannya. Tipe khusus ini sering digunakan pada struktur lengkung, Kubah atau struktur lain yang arah batangnya tidak *standart*.



Gambar 2.34: Sambungan mero konektor.

Mero konektor pertama kali dikembangkan untuk *double layer grid*. Sambungan tipe terbaru dari sistem sambungan ini, bernama *mero plus* sistem yang dapat digunakan untuk berbagai macam tipe struktur. *Hollow* tipe persegi atau persegi panjang dapat digunakan untuk berbagai macam tipe sambungan. Sambungan dari bentuk *ball joint* dapat menyalurkan beban geser, dan menahan.



Gambar 2.35: Bagian *Conus*, *Hexagon (Hexnut)* dan *Baut*.

Diameter *ball joint* dengan menggunakan sistem mero dihitung dengan menggunakan pers. 2.42.

$$D \geq \sqrt{\left(\frac{d_2}{\sin \theta} + d_1 \cot \theta + 2\xi d_1\right)^2 + \eta^2 d_1^2} \quad (2.41)$$

Atau

$$K = \pi x d \quad (2.42)$$

Bagaimanapun, untuk memenuhi persyaratan dari sambungan antar *frame*, diameter harus dipenuhi dengan pers. 2.44.

$$D \geq \sqrt{\left(\frac{\eta d_2}{\sin \theta} + \eta d_1 \cot \theta + 2\xi d_1\right)^2 + \eta^2 d_1^2} \quad (2.43)$$

Atau

$$K_{Perlu} \leq K_{Desain} \quad (2.44)$$

Dimana:

D/d = Diameter dari bola baja (mm).

ϕ = Besar sudut terkecil yang dibentuk dari 2 baut (*rad*).

d_1, d_2 = Diameter dari baut1 dan baut2 (mm).

ξ, η = Ditentukan dari nilai tarik atau kekuatan tekanan baut.

ξ = 1.1

η = 1.8

K = Keliling permukaan tengah bola.

Untuk perhitungan besar sudut antar batang, menggunakan rumus pers. 2.45.

$$\cos \phi = \frac{ai+bj+ck}{\sqrt{a^2+b^2+c^2} \times \sqrt{i^2+j^2+k^2}} \quad (2.45)$$

Dimana:

a,b,c = koordinat dari vektor 1

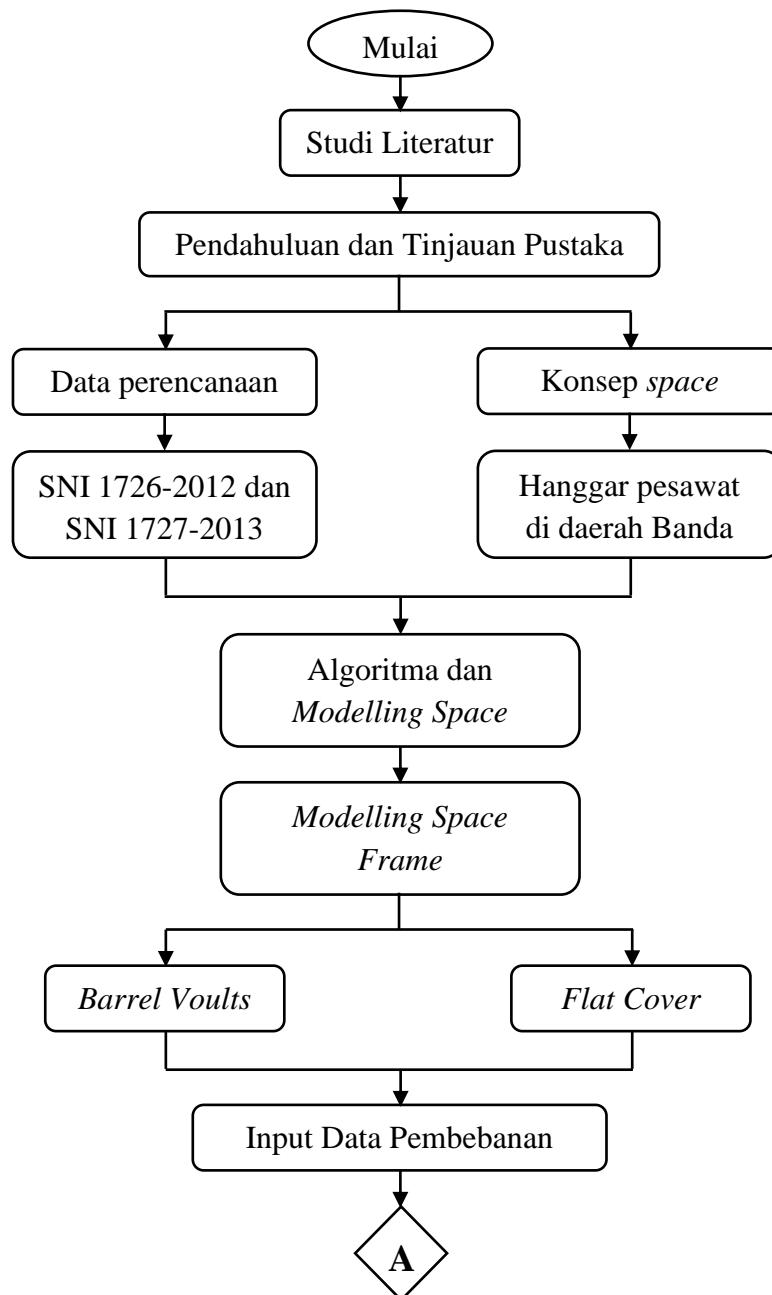
i,j,k = koordinat dari vektor 2

Jika $\phi > 160$ atau $\phi < 20$, maka $D = 2.25 \times \text{bolt length}$, dikarenakan sudut yang terlalu kecil, membuat ukuran diameter *ball joint* menjadi sangat besar. Sambungan dari bentuk *ball joint* dapat menyalurkan beban geser, dan menahan torsi.

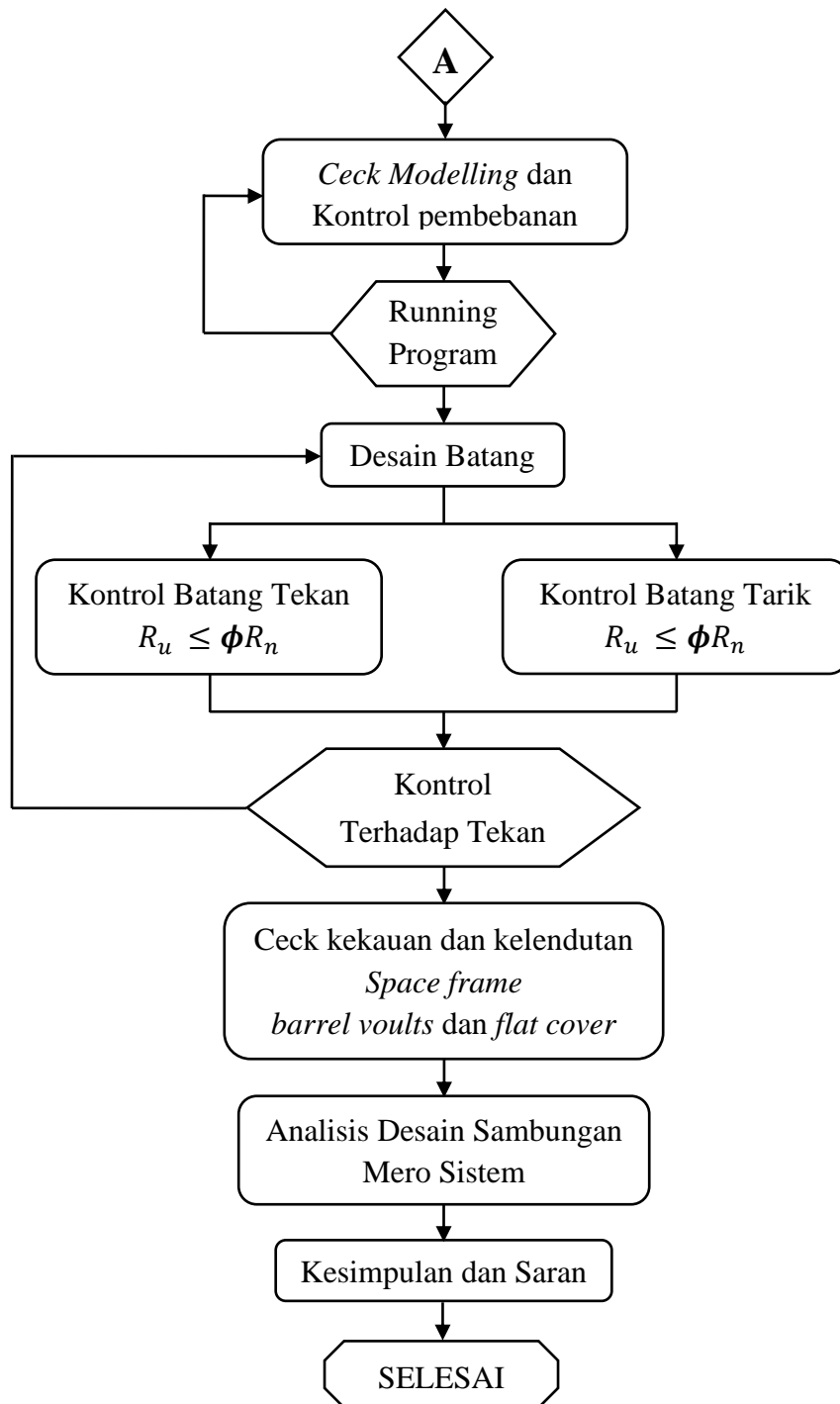
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bagan Alir Penelitian

Untuk memudahkan dalam pembahasan dan analisa dibuat suatu bagan alir untuk memperjelas langkah-langkah dalam penelitian, seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian.



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian (*Lanjutan*).

3.2. Pengumpulan Data

Dalam pengumpulan data pada penelitian ini sumber yang didapat dari internet berupa website untuk mendapat kan bahan acuan dan pendukung dalam penyusunan penelitian ini diantaranya yaitu:

1. Jurnal
2. Skripsi terdahulu
3. Standart Nasional Indonesia (SNI)
4. Serta data dari kondisi dan kejadian alam dari situs website Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).

Pada penelitian ini direncanakan bangunan hangar pesawat dengan konstruksi atap menggunakan struktur *space frame* yang terletak didaerah Banda Aceh, Nanggro Aceh Darussalam.

Aceh terletak di ujung barat laut Sumatera (2°- 6° Lintang Utara dan 94°-98° Bujur Timur) dengan ibu kota Banda Aceh. Pada tahun 2010 kepadatan penduduk di Aceh sebesar 76 orang/km² dengan kepadatan tertinggi adalah Kota Banda Aceh. Kepadatan penduduk Kota Banda Aceh mencapai 3.654 orang per km², diikuti oleh Kota Lhokseumawe (942 jiwa/km²) dan Kota Langsa (567 jiwa/km²).

Ada beberapa data yang perlu ditinjau pada daerah yang telah ditentukan tersebut yaitu data kecepatan angin, data intensitas curah hujan, dan data gempa.

3.2.1. Data Kecepatan Angin

Data ini di peroleh dari website resmi Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang telah di publikasikan pada websitenya tersebut. Data kecepatan angin tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1: Tabel data kecepatan angin. (BMKG kota Banda Aceh).

No.	Tahun		Stasiun BMKG			
			Blang Bintang 1	Cut Bau	Cut Nyak Dhien	Malikussaleh
1	2000	Kecepatan Angin (knot)	2.08	-	-	-
2		Kelembaban (%)	90.06	-	-	-
3	2001	Kecepatan Angin (knot)	10.04	-	-	-
4		Kelembaban (%)	69.48	-	-	-
5	2002	Kecepatan Angin (knot)	9.85	-	-	-
6		Kelembaban (%)	68.75	-	-	-

Tabel 3.1: (Lanjutan).

7	2003	Kecepatan Angin (km/jam)	0.00	0.00	0.00	0.00
8			9.68	13.46	14.30	9.37
9			28.00	50.00	80.00	22.00
10		Kelembaban (%)	44.20	48.20	59.20	36.80
11			70.66	75.56	75.16	73.68
12			97.5	97.7	98.8	97.5
13	2005	Kecepatan Angin (knot)	3,40	-	-	-
14			9,80	-	-	-
15			18,00	-	-	-
16		Kelembaban (%)	41,00	-	-	-
17			79,50	-	-	-
18			98,00	-	-	-
19	2006	Kecepatan Angin (m/det)	2,40	-	-	-
20		Kelembaban (%)	80,80	-	-	-
21	2007	Kecepatan Angin (m/det)	-	-	-	-
22		Kelembaban (%)	-	-	-	-
23	2008	Kecepatan Angin (m/det)	4.00	-	-	-
24		Kelembaban (%)	78.50	-	-	-
25	2009	Kecepatan Angin (m/det)	4.80	-	-	-
26		Kelembaban (%)	78.70	-	-	-
27	2010	Kecepatan Angin (m/det)	4,8	-	-	-
28		Kelembaban (%)	81,4	-	-	-

Dalam penelitian ini dari Tabel 3.1 diatas maka ditentukan bahwa data kecepatan angin yang digunakan adalah pada tahun 2001 dengan kecepatan 10.04 knot atau setara dengan 11.55 Mph atau 5.165 m/det di Stasiun Blang Bintang 1.

3.2.2. Data Intensitas Curah Hujan

Untuk data curah hujan di peroleh dari *website* resmi Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang telah di publikasikan pada *website* nya tersebut. Data intensitas curah hujan dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2: Tabel data intensitas curah hujan. (BMKG kota Banda Aceh).

No.	Tahun	Stasiun BMKG Blang Bintang 1 Jumlah Curah Hujan (mm)
1	2000	1974.70
2	2001	1688.70
3	2002	1296.80
4	2003	1507.20
5	2005	710.50
6	2006	506.70
7	2007	-
8	2008	1207.40
9	2009	1577.00
10	2010	1986.00
11	2011	1268.00

Dalam penelitian ini dari Tabel 3.2 diatas maka ditentukan bahwa data curah hujan yang digunakan adalah pada tahun 2010 dengan jumlah curah hujan yaitu 1986mm di Stasiun Blang Bintang 1.

3.2.3. Data Gempa

Beberapa kejadian gempa besar tercatat pernah terjadi di Aceh dan menimbulkan kerugian korban jiwa atau kerusakan terjadi pada tahun 1936, 1983, 1998, 2000, 2004, 2005, 2008 dan 2009 di kabupaten/kota Banda Aceh, Aceh Besar, Pidie, Aceh Utara, Aceh Timur, Simeulue, Aceh Singkil, Aceh Selatan, Aceh Barat, Aceh Tengah dan Aceh Tenggara.

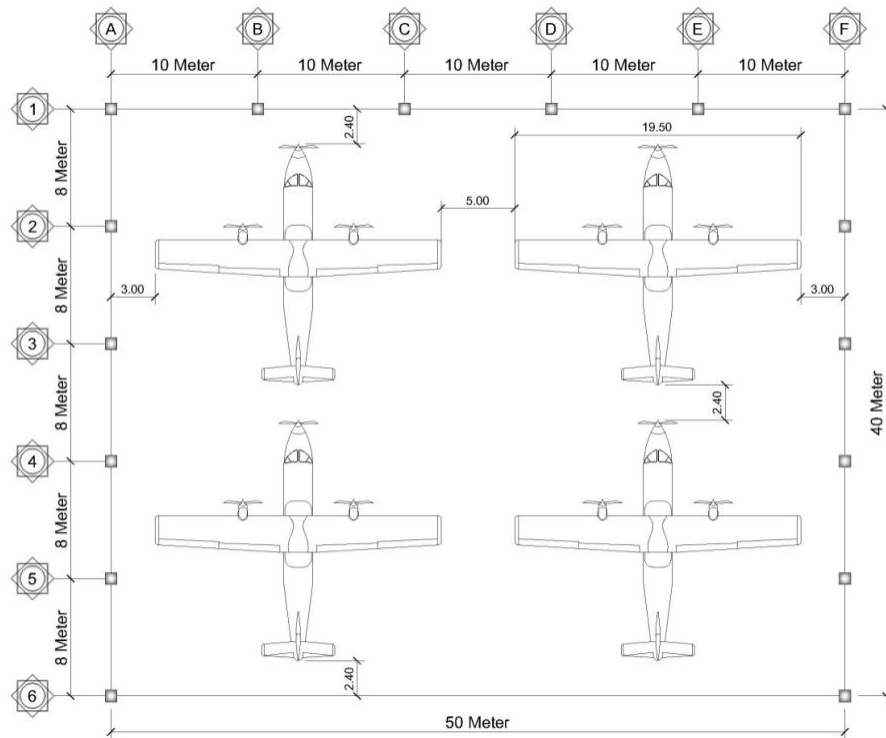
Sebagian besar gempa-gempa tersebut berkedudukan di laut sekitar Pulau Simeulue dan Bukit Barisan berarah barat daya-timur laut dan menerus sampai ke lautan di Kepulauan Andaman dan Burma (Myanmar). Gempa 26 Desember 2004 berskala 9,2 SR dengan kedalaman 30 km dengan pusat gempa berada pada 225 km di selatan Kota Banda Aceh merupakan gempa terbesar yang pernah terjadi di daerah ini sesudah tahun 1900.

Data ini diperoleh dari dokumen Rencana Penanggulangan Bencana (RPB) Aceh Tahun 2012-2017.

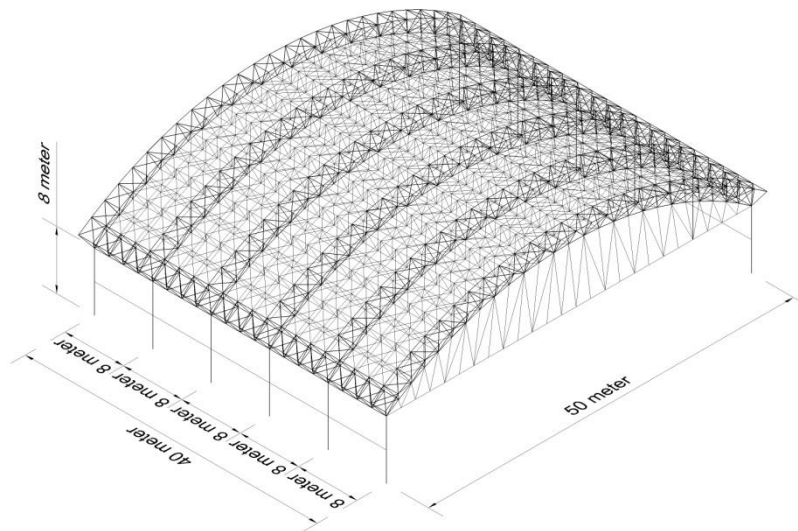
3.3. Pemodelan Bangunan Struktur *Space Frame*

Pada penelitian ini dua model struktur *space frame* yang harus di analisis yaitu *barrel vaults* dan *flat cover*, bangunan direncanakan sebagai hanggar pesawat dengan

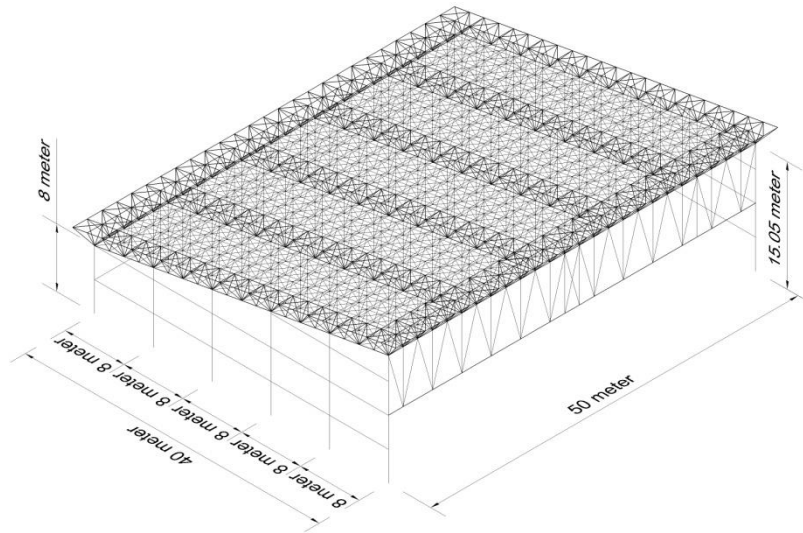
dimensi bangunan yaitu 40 x 50 meter. Pesawat yang dapat ditampung adalah pesawat N-219 dengan panjang 16.49 meter lebar 19.5 meter dan tinggi 6.18 meter sebanyak 4 unit.



Gambar 3.2: Denah rencana hanggar pesawat.



Gambar 3.3: Struktur atap hanggar pesawat model *barrel vaults*.



Gambar 3.4: Struktur atap hanggar pesawat model *flat cover*.

3.4. Modelling *Space Frame* dan Analisis

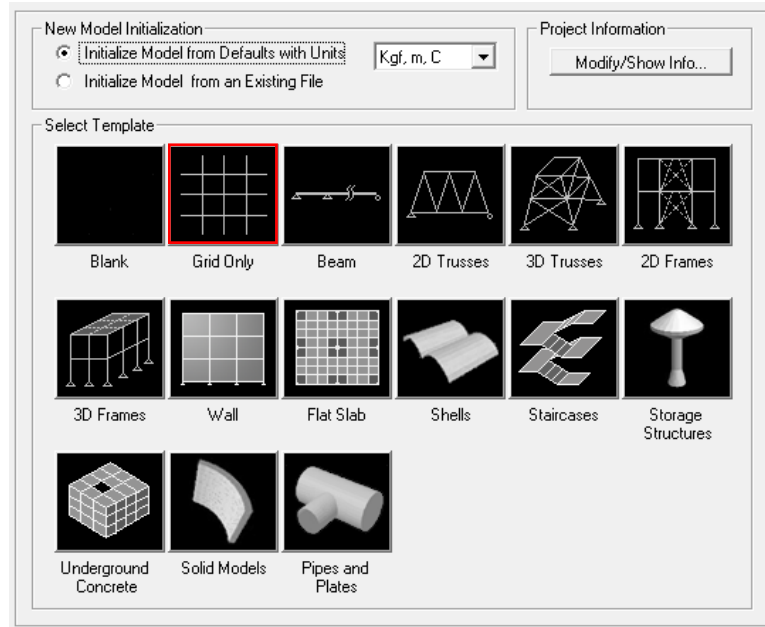
Untuk mengetahui perilaku struktur atap *space frame barrel vaults* dan *flat cover* terhadap beban gempa dan beban angin maka, perlu analisis terhadap kedua model struktur tersebut. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan *software* prangkat lunak dan perhitungan manual menggunakan data hasil dari desain dan analisis *software* yaitu SAP2000, sehingga dapat diketahui kekauan dan kelendutan struktur terhadap beban tersebut.

Dikarenakan permodelan yang digunakan cukup kompleks, maka untuk pembuatan permodelannya terlebih dahulu dikerjakan menggunakan Autocad 2007. Pemodelan menggunakan SAP2000 cukup rumit dalam penggunaan *frame* yang rumit pada kedua model struktur *space frame* yang digunakan.

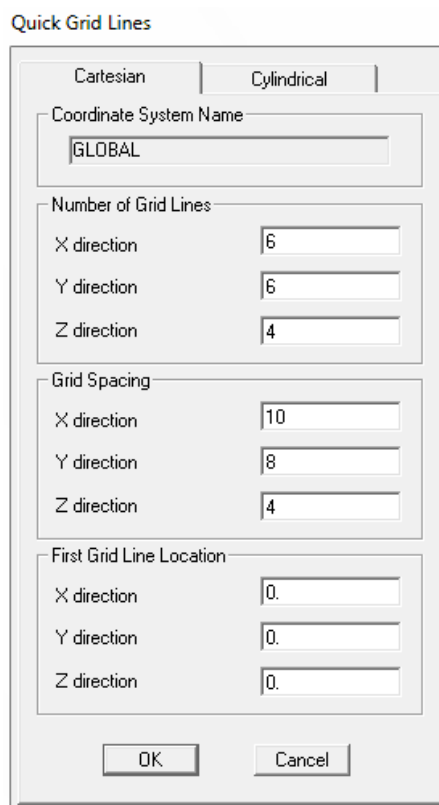
3.4.1. Modelling *Berrel Vaults* dan *Flat Cover*

Langkah - langkah yang dilakukan dalam pemodelan ini antara lain :

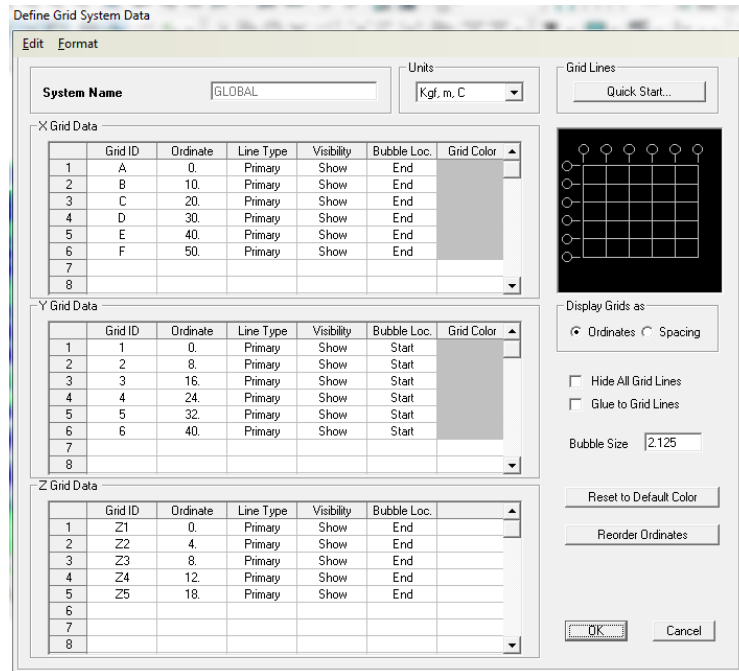
1. Input 1 : *File > New Model > Grid Only*
 - Masukkan data *Number of Grid Lines*,
 - Masukkan data *Grid Spacing*,
 - Pilih *Ok* (lihat Gambar 3.5 dan Gambar 3.6)



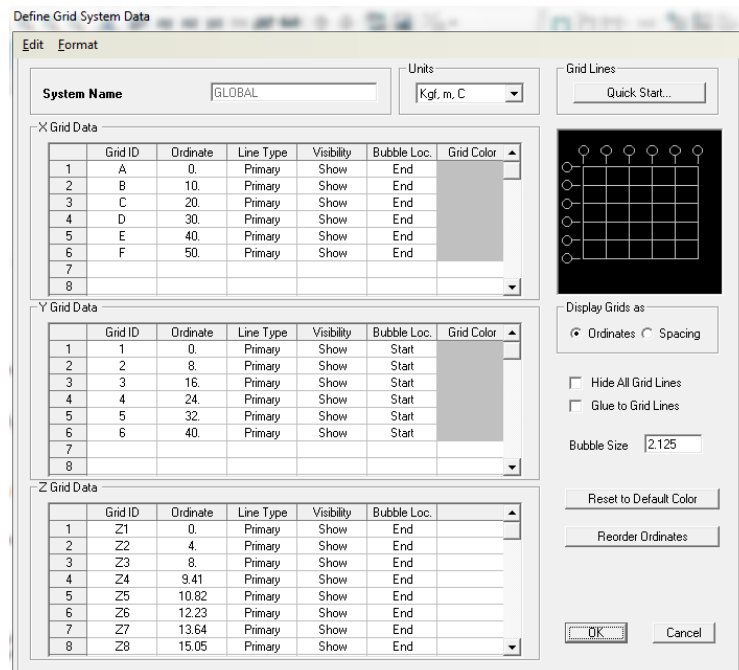
Gambar 3.5: *New Model.*



Gambar 3.6: Input data *Quick Grid Lines.*



Gambar 3.7: Edit *Define Grid System Data* model space frame Barrel Vaults.

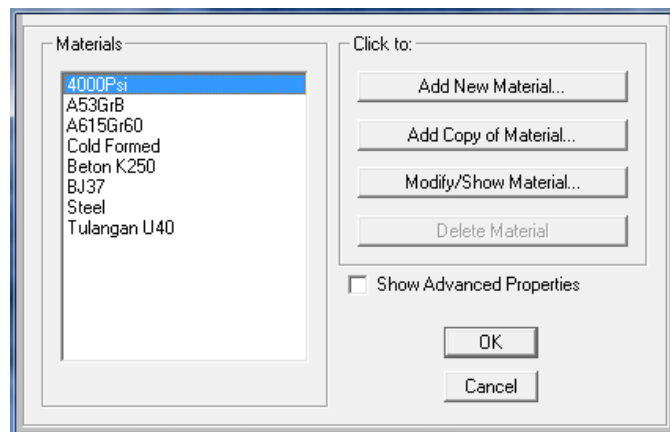


Gambar 3.8: Edit *Define Grid System Data* model space frame Flat Cover.

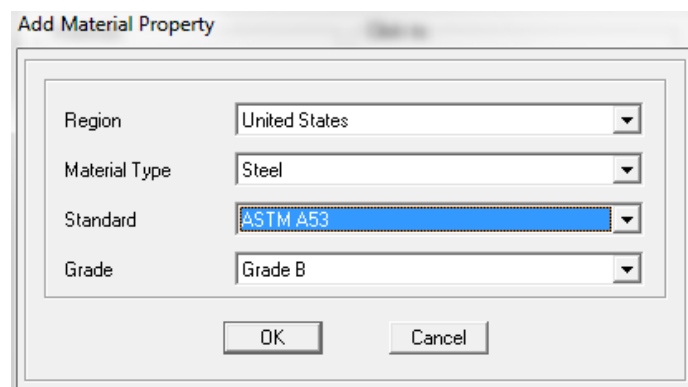
2. Input 2 : Define > Materials > Add New Material

- Masukkan: Region > United States, Material Type > Steel, Standard > ASTM A53, Grade > Grade B > Pilih Ok (Lihat Gambar 3.10)

- Masukkan: *Region* > *User*, *Material Type* > *Steel*, Pilih *Ok*
 - Masukkan: *Material Name* = *BJ37*
 - Masukkan: Strength, $f_y = 240$ Mpa
 - Masukkan: Strength, $f_u = 370$ Mpa
 - Pilih *Ok* (Lihat gambar 3.11 dan Lihat Gambar 3.12)
- Masukkan: *Region* > *User*, *Material Type* > *Cold Formed*, Pilih *Ok*
 - Masukkan: *Material Name* = *Cold Formed*
 - Masukkan: Strength, $f_y = 550$ Mpa
 - Masukkan: Strength, $f_u = 550$ Mpa
 - Pilih *Ok* (Lihat Gambar 3.13)
- Pilih *Ok* (Lihat Gambar 3.9).



Gambar 3.9: *Define Materials.*



Gambar 3.10: *Add Material Property ASTM A53 Gr B.*

Add Material Property

Region: User

Material Type: Steel

Standard: User

Grade:

OK Cancel

Gambar 3.11: Add Material Property BJ37.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: BJ37

Material Type: Steel

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7849.0476

Mass per Unit Volume: 800.3801

Units

Kgf, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2.039E+10

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 7.842E+09

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 24473189

Minimum Tensile Stress, Fu: 37729499

Effective Yield Stress, Fye: 38668829

Effective Tensile Stress, Fue: 50269478

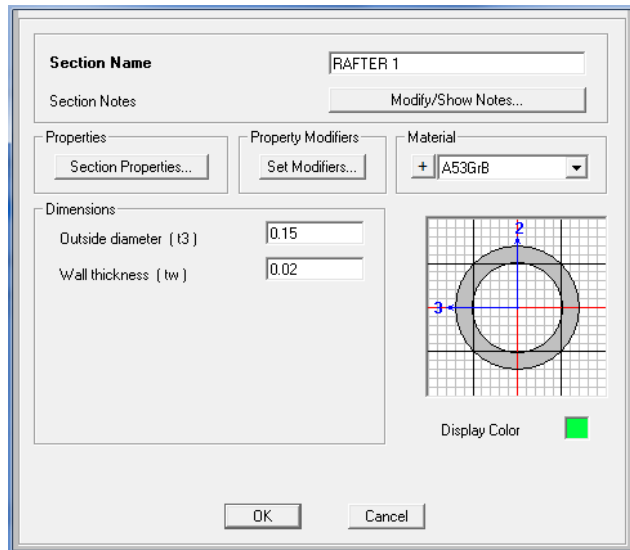
Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

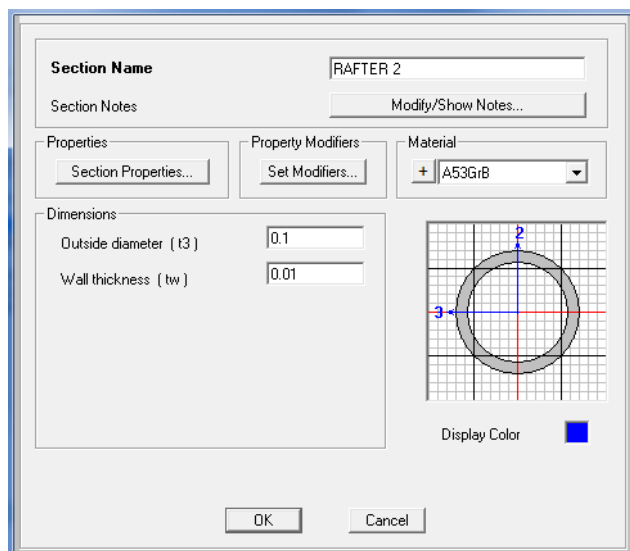
Gambar 3.12: Input Material Property Data BJ37

Gambar 3.13: Input *Material Property Data Cold Formed*.

3. Input 3: *Define > Section Properties > Frame Sections > New Sections > Pipe*
 - Masukkan: *Rafter 1*: $t_3 = 0.15\text{m}$, $t_w = 0.02\text{m}$
 - Masukkan: *Rafter 2*: $t_3 = 0.10\text{m}$, $t_w = 0.01\text{m}$
 - Masukkan: Material > A53GrB (*Rafter 1* dan *Rafter 2*),
 - Pilih *Ok* (Lihat Gambar 3.14 dan Gambar 3.15)



Gambar 3.14: Input *Frame Sections Rafter 1*.

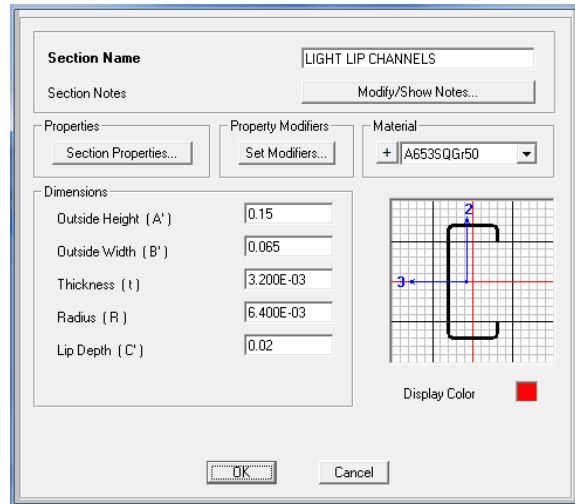


Gambar 3.15: Input *Frame Sections Rafter 2*.

4. Input 4: *Define > Section Properties > Frame Sections > New Sections > Cold Formed*

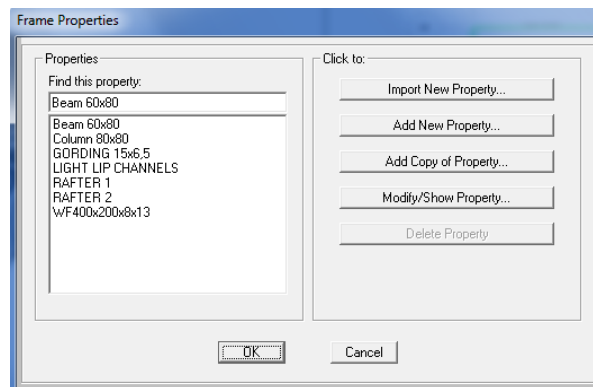
- Masukkan: *Section Name > Light Lip Channels 150.65.20.3,2*
- Masukkan: $A = 0.15\text{m}$
- Masukkan: $B = 0.065\text{m}$
- Masukkan: $t = 0.0032\text{m}$ (3.2mm)
- Masukkan: $R = 0.0064\text{m}$ (6.4mm)
- Masukkan: $C = 0.02\text{m}$ (20mm)

- Masukkan: Material > *Cold Formed*,
- Pilih *Ok* (Lihat Gambar 3.16)



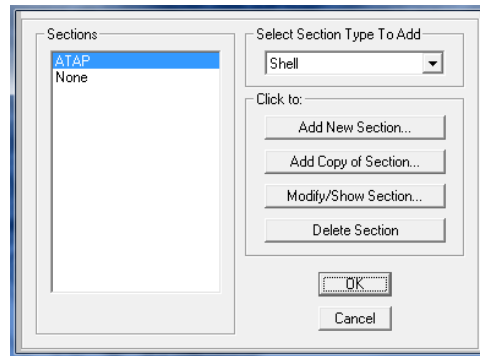
Gambar 3.16: Input *Frame Sections* Gording *Light Lip Channels*.

5. Pilih *Ok Frame Properties* (Lihat Gambar 3.17)

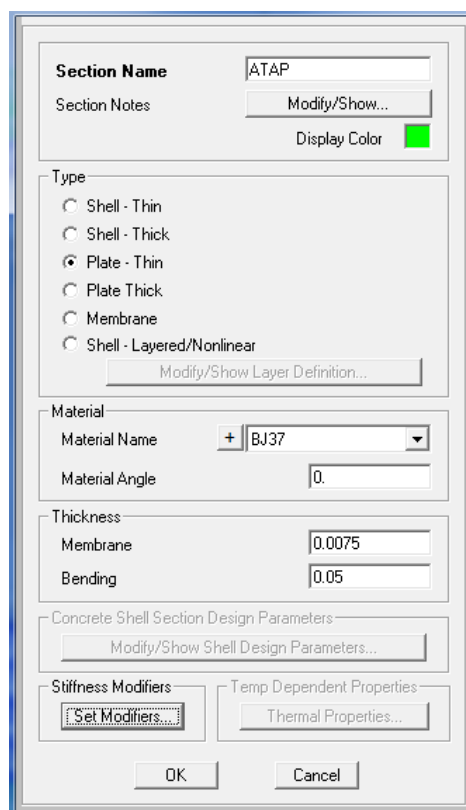


Gambar 3.17: Input *Frame Properties*.

6. Input 5: *Define* > *Section Properties* > *Area Sections* > *Select section Type to Add* > *Shell*, > *Add New Sections*
 - Masukkan: *Section Name* > *Atap*
 - Masukkan: *Type* > *Plate - Thin*
 - Masukkan: *Material* > *BJ37*
 - Masukkan: *Thickness* > *Membrane* = 0.0075 m, *Banding* = 0.05
 - Pilih *Ok* (Lihat Gambar 3.18)



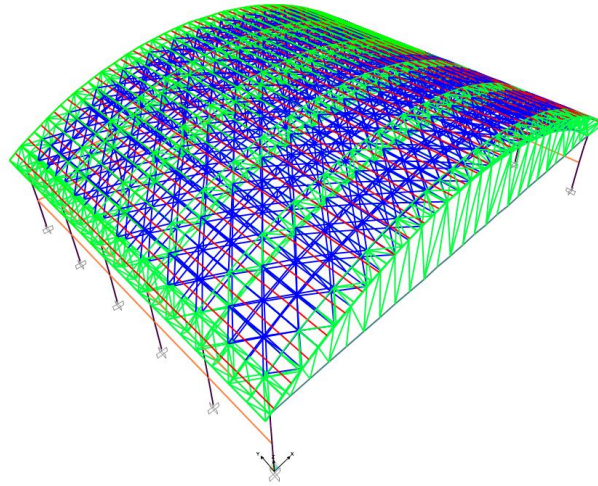
Gambar 3.18: Input *Area Properties*.



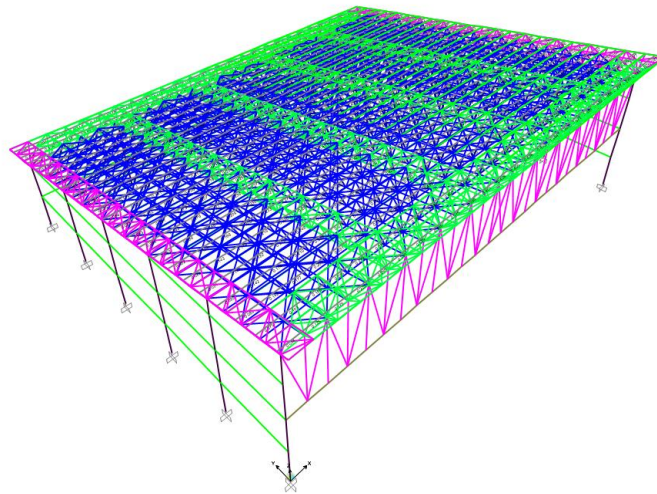
Gambar 3.19: Input *Shell Section Data*.

7. Pemodelan terlebih dahulu dikerjakan di aplikasi Autocad lalu setelah itu *save as* gambar ubah format file menjadi *dxf* file agar gambar pemodelan dapat dibuka pada aplikasi SAP2000.

Input 6: *File > import > Autocad .dxf File > Pilih file > Pilih Ok* (gambar pemodelan lihat Gambar 3.20 dan Gambar 3.21)



Gambar 3.20: *Modelling struktur space frame barrel vaults.*

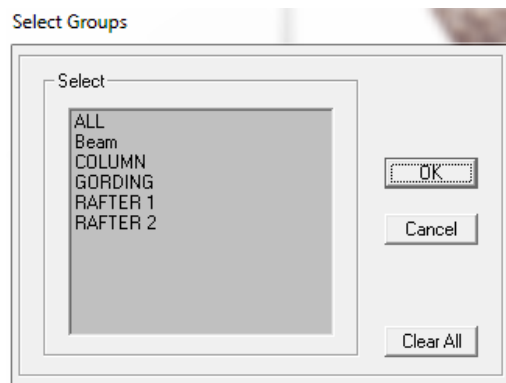


Gambar 3.21: *Modelling struktur space frame flat cover.*

3.4.2. Analisis Berrel Vaults dan Flat Cover

Untuk mempermudah pada saat analisi menggunakan SAP2000 maka perlu dilakukan pemetaan *frame* yaitu dengan cara *groups*, dikarenakan pemodelan kedua *space frame* yang cukup rumit dan banyak menggunakan *frame* sehingga *groups* adalah cara yang terbaik untuk dilakukan.

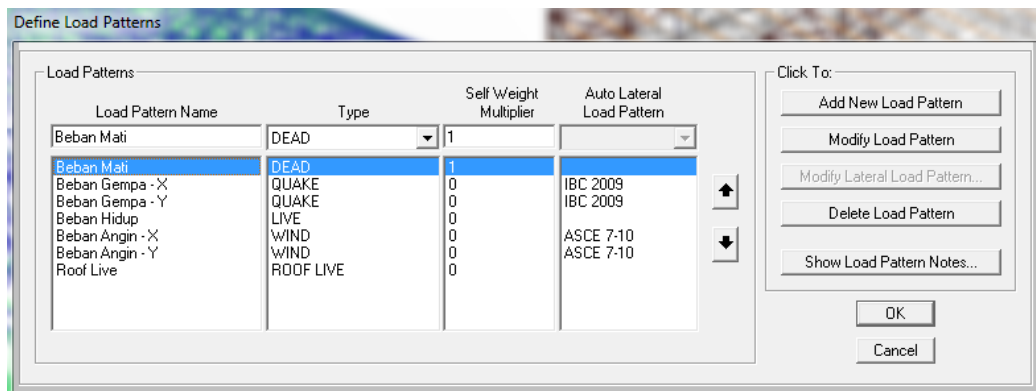
1. Input 1: *Assign > Assign to Group > Add New Group*
 - Masukkan: *Group Name > Gording, Rafter 1, Rafter 2 > Steel Frame design group*
 - Masukkan: *Group Name > Column, Beam > Concrete Frame design group*
 - Pilih *OK* (Lihat Gambar 3.22)



Gambar 3.22: *Select Groups Frame.*

2. Input 2: *Define > Load Pattern*
 - Masukkan: *Beban Mati, Beban Hidup, Beban Hujan, Beban Gempa dan Beban Angin.* (Lihat Gambar 3.21)
 - Masukkan: *Beban Gempa arah X dan arah Y > Auto Lateral Load Pattern > IBC 2009 > Modify Lateral Load Pattern* (Lihat Gambar 3.24 dan Gambar 3.22)
 - Masukkan: $S_s = 0.98$
 - Masukkan: $S_I = 0.23$
 - Masukkan: *long-period transition period = 50*
 - Masukkan: *Site Class = B*
 - Masukkan: $R = 8$
 - Masukkan: $\Omega = 3$
 - Masukkan: $C_d = 5.5$
 - Masukkan: $I = 1$
 - Pilih X atau Y,

- Pilih *OK*
- Masukkan: Beban Angin arah X dan arah Y > *Auto Lateral Load Pattern* > ASCE 7-10 > *Modify Lateral Load Pattern* (lihat Gambar 3.25 dan Gambar 3.23)
 - Masukkan: *Wind Speed* = 10.04 knot = 11.543 m/det
 - Masukkan: *Exposure Type* = B
 - Masukkan: *Kzt* = 1
 - Masukkan: *Gust Factor* = 0.85
 - Masukkan: *Kd* = 0.9
 - Masukkan: *Solid* = 0.2
 - Masukkan: *Wind Direction Angle* = 0 (Arah X) dan = 90 (Arah Y)
 - Pilih: *Exposure From Frame and Area Object* > *include Frame Objects*
 - Pilih *OK*.



Gambar 3.23: Input *Define Load Pattern*.

IBC 2009 Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

Global X Direction
 Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

Time Period

Approx. Period Ct (ft), x =
 Program Calc Ct (ft), x =
 User Defined T =

Lateral Load Elevation Range

Program Calculated
 User Specified

Max Z
Min Z

Factors

Response Modification, R
 System Overstrength, Omega
 Deflection Amplification, Cd
 Occupancy Importance, I

Seismic Coefficients

Ss and S1 from USGS - by Lat./Long.
 Ss and S1 from USGS - by Zip Code
 Ss and S1 User Specified

Site Latitude (degrees)
 Site Longitude (degrees)
 Site Zip Code (5-Digits)

0.2 Sec Spectral Accel, Ss
 1 Sec Spectral Accel, S1
 Long-Period Transition Period

Site Class

Site Coefficient, Fa
Site Coefficient, Fv

Calculated Coefficients

SDS = (2/3) * Fa * Ss
 SD1 = (2/3) * Fv * S1

Gambar 3.24: *Modify Lateral Load Pattern IBC 2009.*

ASCE 7-10 Wind Load Pattern

Exposure and Pressure Coefficients

Exposure from Extents of Rigid Diaphragms
 Exposure from Frame and Area Objects
 Include Area Objects
 Include Frame Objects (Open Structure)

Wind Exposure Parameters

Wind Direction Angle
 Windward Coeff, Cp
 Leeward Coeff, Cp
 Case (ASCE 7-10 Fig. 27.4-8)
 e1 Ratio (ASCE 7-10 Fig. 27.4-8)
 e2 Ratio (ASCE 7-10 Fig. 27.4-8)

Exposure Height

Program Calculated
 User Specified

Maximum Global Z
Minimum Global Z

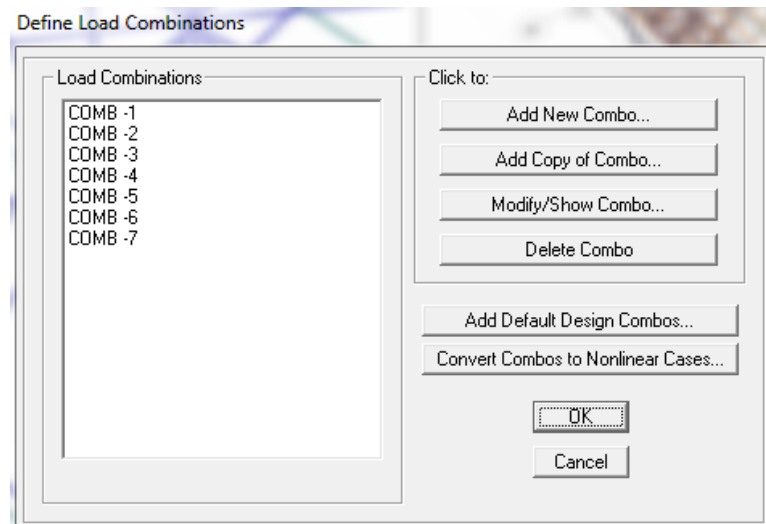
Wind Coefficients

Wind Speed (mph)
 Exposure Type
 Topographical Factor, Kzt
 Gust Factor
 Directionality Factor, Kd
 Solid / Gross Area Ratio

Gambar 3.25: *Modify ASCE 7-10 Wind Load Pattern.*

3. Input 3: *Define > Load Combinations > Add New Combo*

- Masukkan: COMB - 1 (1.4D)
- Masukkan: COMB - 2 (1.2D + 1.6L + 0.5R)
- Masukkan: COMB - 3 (1.2D + 1.6Lr + 0.5W)
- Masukkan: COMB - 4 (1.2D + 1W + 0.5Lr)
- Masukkan: COMB - 5 (1.2D + 1E + L)
- Masukkan: COMB - 6 (0.9D + 1W)
- Masukkan: COMB - 7 (0.9D + 1E)
- Pilih *OK* (Lihat Gambar 3.26)



Gambar 3.26: Input *Define Load Combinations*.

4. Pembebanan yang terjadi pada atap didistribusikan ke gording ke *frame Rafter 1* dan *Rafter 2* ke kolom, balok dan pondasi.

Diketahui:

- Beban hidup atap = 100 kg/m² (0.980 KN/m²)
- Beban hujan (*R*) = 19.6 kg/m² (0.192 KN/m²)

Direncanakan:

ds = kedalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder apabila sistem drainase primer tertutup (tinggi statis), dalam in. = 10mm.

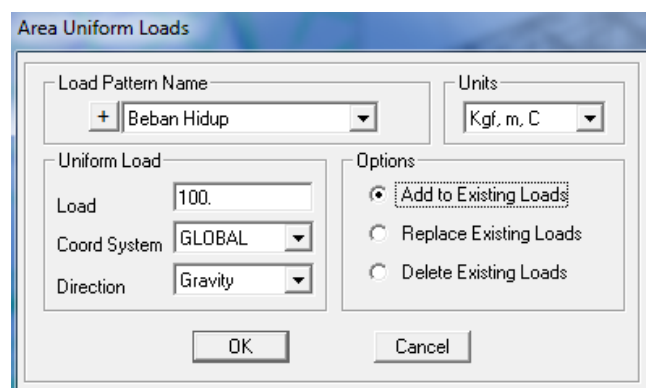
dh = tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut diatas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran air rencana (tinggi hidrolik) dalam in. = 10mm.

$$\begin{aligned} R &= 0.0098 \times (ds + dh) \\ &= 0.0098 \times (10 + 10) \\ &= 0.196 \text{ Kn/m}^2 \\ &= 19.6 \text{ kg/m}^2 \end{aligned} \tag{2.1}$$

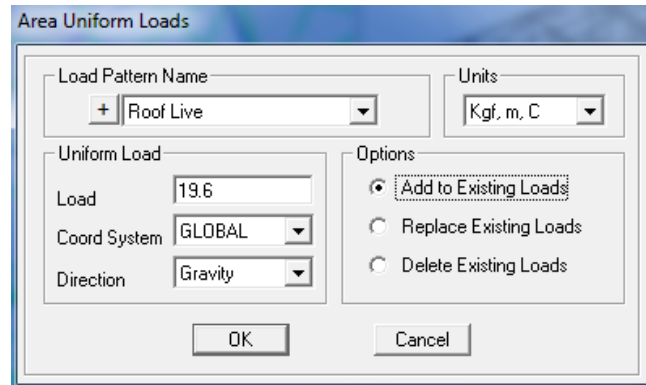
Input 4: *Assign > Area Loads > Uniform to Frame*

- Input beban hidup
 - Masukkan: *Load Pattern Name* > Beban hidup,
 - Masukkan: *Uniform Load* = 100 kg/m²,
 - Masukkan: *Options* > *Replace Existing Loads*,
 - Pilih *OK* (Lihat Gambar 3.27)

- Input beban hujan
 - Masukkan: *Load Pattern Name* > Roof Live,
 - Masukkan: *Uniform Load* = 19.6 kg/m²,
 - Masukkan: *Options* > *Replace Existing Loads*,
 - Pilih *OK* (Lihat Gambar 3.28)



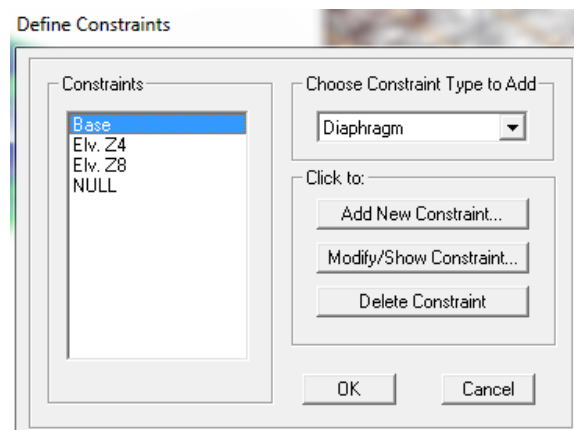
Gambar 3.27: Input Beban Hidup pada atap *Flat Cover* dan *Barrel Vaults*.



Gambar 3.28: Input Beban Hujan pada atap *Flat Cover* dan *Barrel Vaults*.

5. Input 5: *Assign > Joint > Constraints*

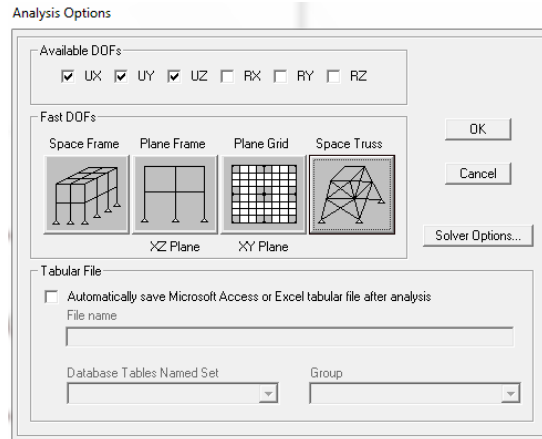
- Masukkan: *Choose constraint type to add > Diaphragm > Add new constraint > Constraint name: Base > Pilih OK*
Base: yaitu *Joint Frame Rafter* terhadap Kolom
- Masukkan: *Choose constraint type to add > Diaphragm > Add new constraint > Constraint name: Elv. Z4 > Pilih OK*
Elv. Z4: yaitu *Joint Frame Balok* terhadap Kolom Elevasi arah Z = 4 meter
- Masukkan: *Choose constraint type to add > Diaphragm > Add new constraint > Constraint name: Elv. Z8 > Pilih OK*
Elv. Z4: yaitu *Joint Frame Balok* terhadap Kolom Elevasi arah Z = 8 meter
- Pilih *OK* (Lihat Gambar 3.29)



Gambar 3.29: Input *Define Constraints*.

6. Input 6: *Analyze > Set Analysis options*

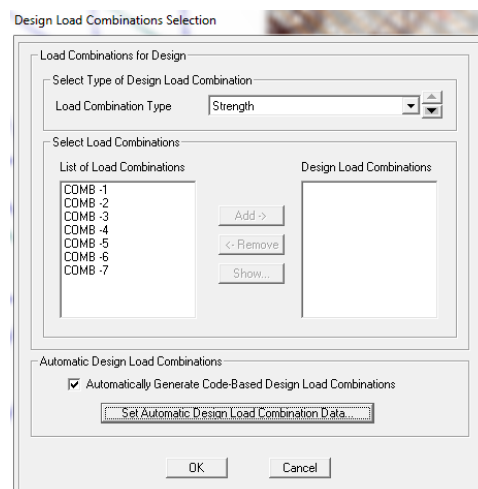
- Masukkan: *Available DOFs > Pilih UX, UY, dan UZ*
- Masukkan: *Fast DOFs > Pilih Space Truss*
- Pilih *OK* (Lihat Gambar 3.30)



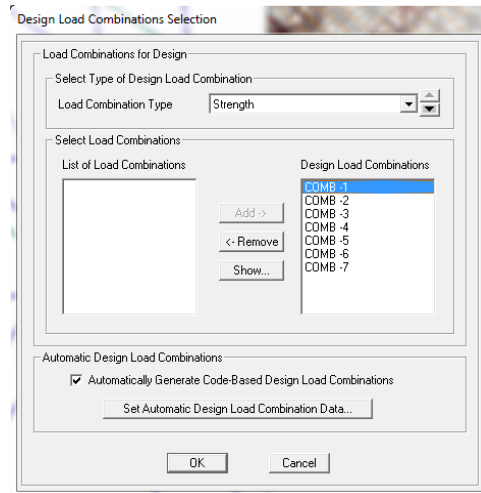
Gambar 3.30: Input *Analysis Options*.

7. Input 7: *Design > Steel Frame Design > Select Design Combos*

- Masukkan: *Load Combination Type > Pilih Strength*
- Masukkan: *Select Load Combinations*
 - *List Of Load Combinations > Pilih COMB -1 s/d COMB -7*
 - *Pilih Add*
- Pilih *OK* (Lihat Gambar 3.31 dan Gambar 3.32)

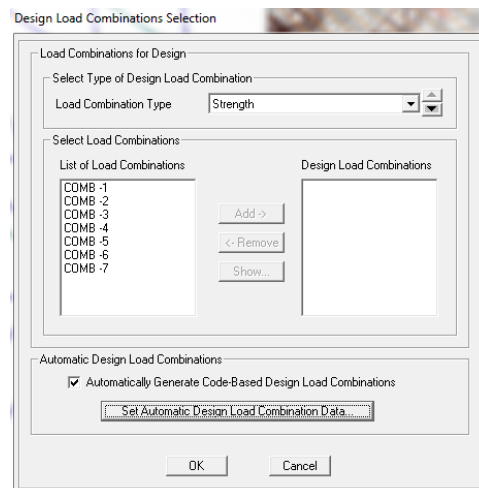


Gambar 3.31: Input *Select Design Combos*.

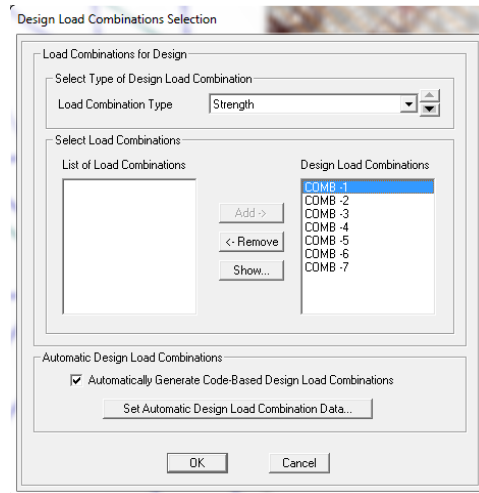


Gambar 3.32: Input Add Select Design Combos.

8. Input 8: *Design > Cold-Formed Steel Frame Design>Select Design Combos*
- Masukkan: *Load Combination Type > Pilih Strength*
 - Masukkan: *Select Load Combinations*
 - *List Of Load Combinations > Pilih COMB -1 s/d COMB -7*
 - *Pilih Add*
 - Pilih OK (Lihat Gambar 3.33 dan Gambar 3.34)



Gambar 3.33: Input Select Design Combos.



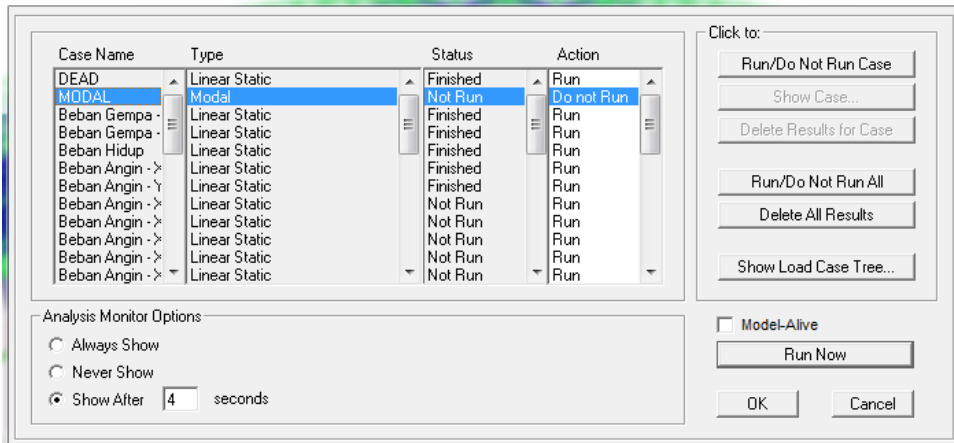
Gambar 3.34: Input Add Select Design Combos.

9. *Running program: Analyze > Run Analyze/F5*

- Masukkan: *Case Name > Modal > Run/Do Not Run Case*
- Masukkan: *Run Now* (Lihat Gambar 3.35)
- Masukkan: *Display > Show Deformed Shape/F6*
 - Masukkan: *Case/Combo Name > COMB - 1*
 - Masukkan: *Case/Combo Name > COMB - 2*
 - Masukkan: *Case/Combo Name > COMB - 3*
 - Masukkan: *Case/Combo Name > COMB - 4*
 - Masukkan: *Case/Combo Name > COMB - 5*
 - Masukkan: *Case/Combo Name > COMB - 6*
 - Masukkan: *Case/Combo Name > COMB - 7*
 - Pilih *OK* (Lihat Gambar 3.36)

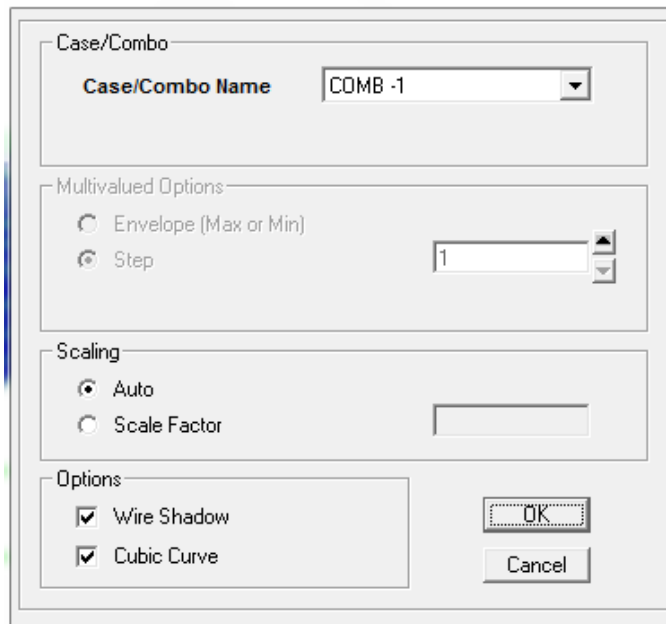
Running program dilakukan untuk mengetahui perilaku struktur terhadap kombinasi pembebanan yang dilakukan.

Set Load Cases to Run



Gambar 3.35: Input *Run Analyze*.

Deformed Shape



Gambar 3.36: *Deformed Shape* pembebanan.

3.5. Desain Batang Dan Sambungan *Space Frame*

3.5.1. Desain Batang

Desain profil batang yang digunakan pada rangka struktur *space frame barrel vaults* dan *flat cover* direncanakan pada *Rafter 1* D15 dan *Rafter 2* D10 (Lihat Gambar 3.14 dan Gambar 3.15).

Hal ini dilakukan untuk pemetaan rangka struktur *space frame* yang terdiri dari struktur utama atau kuda-kuda utama yaitu Rafter 1 dan rangka pendukung atap yaitu Rafter 2, Agar beban-beban yang terjadi pada atap tidak terjadi gagal struktur atau menggunakan profil yang lebih besar dikarenakan rangka atap *space frame* yang tidak mampu memikul beban-beban tersebut.

3.5.2. Desain Sambungan

Sambungan rangka *space frame* yang direncanakan menggunakan *ball joint*, desain dimensi sambungan dilakukan dengan analisis manual sehingga dalam perhitungannya membutuhkan data. Data yang diperlukan adalah data gaya *axial* batang *space frame* dari analisis *software* SAP2000 terhadap dua model struktur yaitu *barrel vaults* dan *flat cover*.

Rangka *space frame* ini terdapat dua pemetaan rangka struktur yaitu *rafter 1* dan *rafter 2*, sehingga dilakukan analisis sambungan batang terhadap masing-masing rangka struktur tersebut.

Tabel gaya *axial rafter 1* dan *rafter 2* dari dua model struktur *space frame barrel vaults* dan *flat cover*, yaitu sebagai berikut:

Tabel 3.3: Tabel data gaya *Axial Rafter 1* dan *Rafter 2 Barrel Vaults*.

Element Forces - Frames													
No.	Frame	Station	Output Case	Case Type	P	V2	V3	T	M2	M3	Frame Elem	Elem Station	Frame Kode
1	5685	1.89	COMB -2	Comb.	-62150.53	1395.74	-208.73	0	197.44	-1281.22	5685-1	1.89	Rafter 1
2	5912	0.00	COMB -2	Comb.	19384.46	-593.29	-39.78	0	-58.82	-768.15	5912-1	0.00	Rafter 1
3	3479	0.00	COMB -2	Comb.	-12553.30	-205.34	-13.36	0	-12.64	-180.37	3479-1	0.00	Rafter 2
4	1071	0.00	COMB -2	Comb.	7605.92	-30.13	12.67	0	17.44	-9.19	1071-1	0.00	Rafter 2

Tabel 3.4: Tabel data gaya *Axial Rafter 1* dan *Rafter 2 Flat Cover*.

Element Forces - Frames													
No.	Frame	Station	Output Case	Case Type	P	V2	V3	T	M2	M3	Frame Elem	Elem Station	Frame Kode
1	1943	2.0309	COMB -2	Comb.	-65831.7	3248.58	-70.73	0	71.82	-3246.61	1943-1	2.03	Rafter 1
2	3269	2	COMB -2	Comb.	58702.29	1245.61	-141.59	0	141.59	-1194.32	3269-1	2	Rafter 1
3	6477	0	COMB -2	Comb.	-24329.1	692.42	-136.38	0	-136.38	710.18	6477-1	0	Rafter 2
4	8080	2	COMB -2	Comb.	19804.79	-266.78	57.51	0	-57.51	284.53	8080-1	2	Rafter 2

3.6. *Spectrum Respons* Desain Menurut SNI 1726 – 2012

Spektrum respons gempa rencana desain harus dibuat terlebih dahulu dengan data percepatan batuan dasar $S_s = 0.98$ dan $S_1 = 0.23$ yang berada di kota Banda Aceh, tahap-tahap yang perlu dilakukan untuk membuat *spektrum respons* gempa rencana desain dapat dilakukan sebagai berikut:

Direncanakan:

- $S_s = 0.98$
- $S_1 = 0.23$
- $F_a = 1$
- $F_v = 1$
- $S_{MS} = F_a \times S_s = 1 \times 0.98 = 0.98$
- $S_{M1} = F_v \times S_1 = 1 \times 0.23 = 0.23$
- $S_{DS} = 2/3 S_{MS} = 2/3 \times 0.98 = 0.6533$
- $S_{D1} = 2/3 S_{M1} = 2/3 \times 0.23 = 0.1533$
- $T_0 = 0.2 S_{D1} / S_{DS} = 0.2 \times (0.1533 / 0.6533) = 0.047$
- $T_s = S_{D1} / S_{DS} = 0.235$

Penentuan nilai S_a

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respon percepatan desain S_a .

2. Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , respons spektrum desain S_a sama dengan S_{DS} .
3. Untuk periode lebih besar dari T_s , respons spektrum percepatan desain, S_a .

Hasil hitung nilai spektrum respon percepatan desain S_a dapat dilihat pada Tabel 3.5.

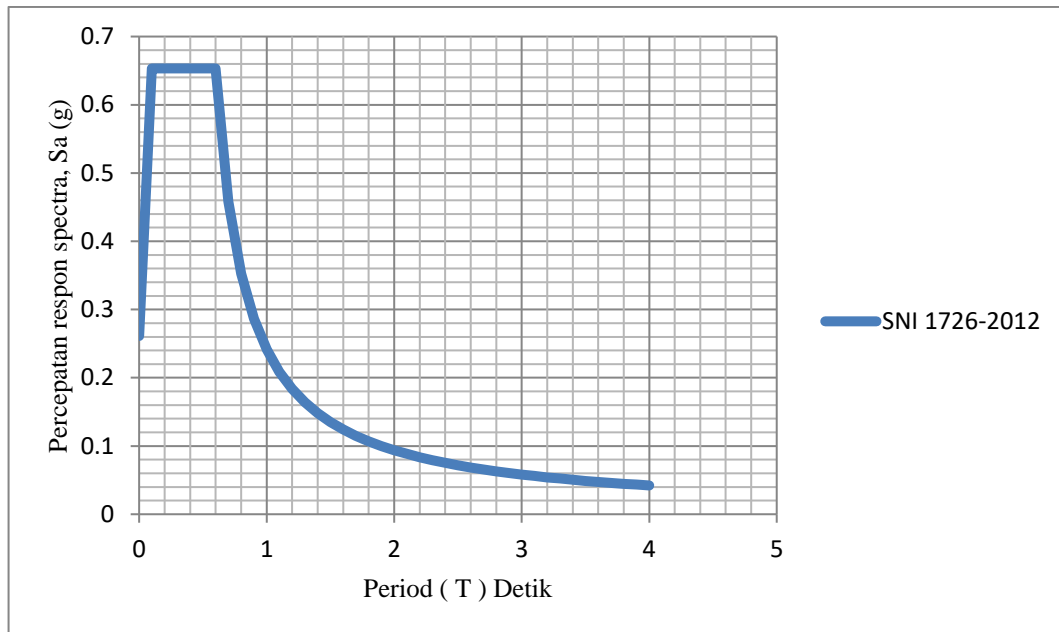
Tabel 3.5: Tabel hasil hitung nilai S_a .

T	T (detik)	S_a	Keterangan
0	0.000	0.261	0,4.SDS
T_0	0.047	0.653	$S_a = SDS$
T_s	0.235	0.653	$S_a = SDS$
$T_s + 0.1$	0.335	0.458	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 0.2$	0.435	0.353	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 0.3$	0.535	0.287	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 0.4$	0.635	0.242	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 0.5$	0.735	0.209	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 0.6$	0.835	0.184	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 0.7$	0.935	0.164	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 0.8$	1.035	0.148	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 0.9$	1.135	0.135	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 1.0$	1.235	0.124	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 1.1$	1.335	0.115	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 1.2$	1.435	0.107	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 1.3$	1.535	0.100	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 1.4$	1.635	0.094	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 1.5$	1.735	0.088	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 1.6$	1.835	0.084	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 1.7$	1.935	0.079	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 1.8$	2.035	0.075	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 1.9$	2.135	0.072	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 2.0$	2.235	0.069	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 2.1$	2.335	0.066	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 2.2$	2.435	0.063	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 2.3$	2.535	0.060	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 2.4$	2.635	0.058	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 2.5$	2.735	0.056	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 2.6$	2.835	0.054	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 2.7$	2.935	0.052	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 2.8$	3.035	0.051	$S_a = SD1 / T-n$
$T_s + 2.9$	3.135	0.049	$S_a = SD1 / T-n$

Tabel 3.5: (Lanjutan).

Ts + 3.0	3.235	0.047	$S_a = SD1 / T-n$
Ts + 3.1	3.335	0.046	$S_a = SD1 / T-n$
Ts + 3.2	3.435	0.045	$S_a = SD1 / T-n$
Ts + 3.3	3.535	0.043	$S_a = SD1 / T-n$
Ts + 3.4	3.635	0.042	$S_a = SD1 / T-n$

Dari tabel hasil nilai S_a untuk spektrum gempa rencana SNI 1726-2012 maka akan muncul grafik seperti pada Gambar 3.35.



Gambar 3.37: Respons spektrum gempa rencana SNI 1726-2012.

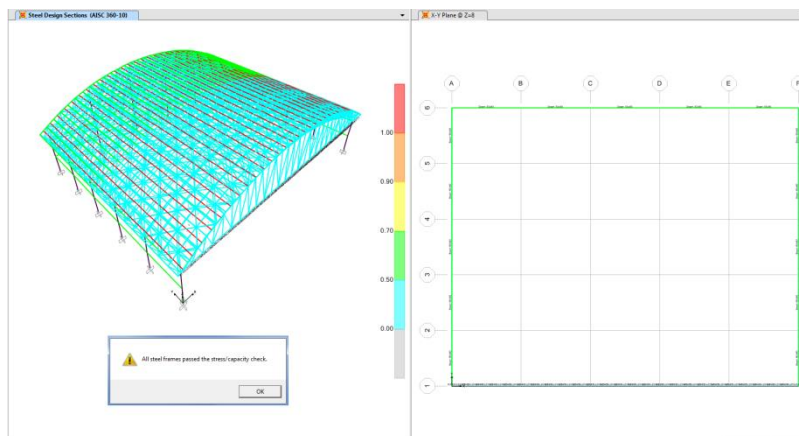
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Analisis Software

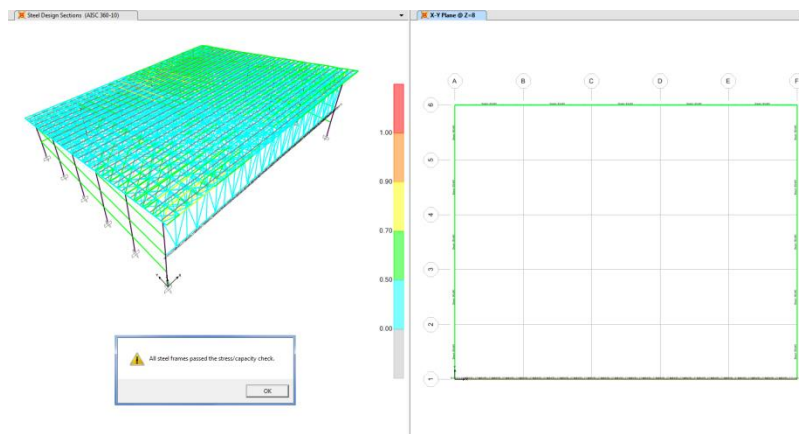
4.1.1. Check Modelling Space Frame

Untuk mengecek kekuatan rasio tiap profil *space frame* dan gording yang digunakan pada model *space frame barrel vaults* dan *flat cover*, maka perlu dilakukan langkah-langkah berikut:

- Masukkan: *Design > Steel Frame Design > Start Design/Check Of Structure* (Hasil pengecekan *Space Frame Barrel Vaults* Lihat Gambar 4.1 dan *Flat Cover* Lihat Gambar 4.2)

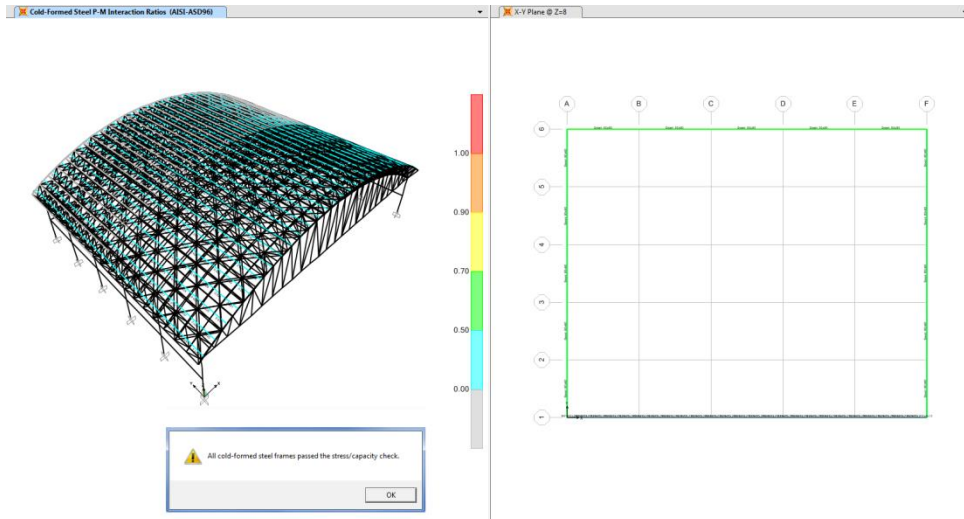


Gambar 4.1: *Start Design/Check Of Structure Space Frame* model *Barrel Vaults*.

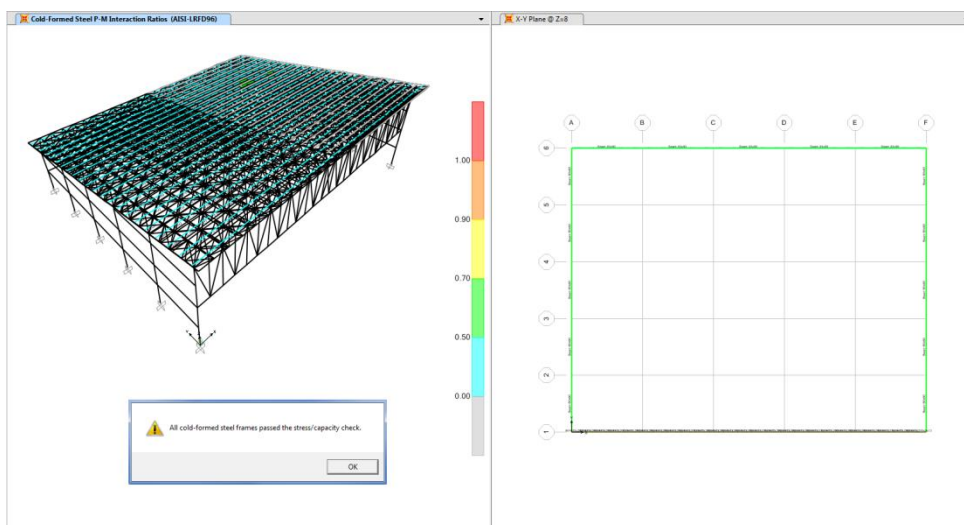


Gambar 4.2: *Start Design/Check Of Structure Space Frame* model *Flat Cover*.

- Masukkan: *Design > Cold-Formad Steel Frame Design > Start Design/Check Of Structure* (Hasil pengecekan Gording *Barrel Vaults* Lihat Gambar 4.3 dan *Flat Cover* Lihat Gambar 4.4)



Gambar 4.3: *Start Design/Check Of Structure Gording model Barrel Vaults.*



Gambar 4.4: *Start Design/Check Of Structure Gording model Flat Cover.*

4.1.2. Hasil analisis *Modelling Space Frame*

Hasil mengecek kekuatan rasio tiap profil *space frame Rafter 1* dan *Rafter 2* maupun gording struktur *space frame barrel vaults* dan *flat cover* terhadap beban angin dan gempa arah X maupun arah Y.

A. Hasil Cek Terhadap Beban Angin

• *Space Frame Barrel Vaults*

Hasil *check* struktur *space frame* terhadap beban angin arah X dan arah Y dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4.1: *Check* beban angin struktur *space frame* model *barrel vaults*.

Auto Wind - ASCE7 - 10 Barrel Vaults											
Load Pat	Expose From	Angle	User Z	Wind Speed	Exposure	I	Kzt	Gust Factor	Kd	Solid Ratio	Exp Width
Text	Text	Degrees	Yes/No	mph	Text	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Text
Beban Angin - X	Frames	0	No	11.54	B	1	1	0.85	0.9	0.2	From diaphs
Beban Angin - Y	Frames	90	No	11.54	B	1	1	0.85	0.9	0.2	From diaphs

Tabel 4.2: *Check* beban gempa struktur *space frame* pada tiap-tiap *groups* model *barrel vaults*.

Auto Wind Loads To Groups Barrel Vaults												
Load Pat	Auto Ld Type	Group	Group Avg Z	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	X	Y	Z
Text	Text	Text	m	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	m	m	m
Beban Angin - X	ASCE7-10	GORDING	15.26	0	0	0	0	0	0	0	0	10.19
Beban Angin - X	ASCE7-10	RAFTER 2	14.69	0	0	0	0	0	0	0	0	10.06
Beban Angin - X	ASCE7-10	RAFTER 1	13.77	-137.73	5.632E-07	3423.53	68470.69	-80762.96	2754.62	0	0	8
Beban Angin - X	ASCE7-10	COLUMN	13.30	0	0	0	0	0	0	0	0	13.30
Beban Angin - X	ASCE7-10	ATAP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30
Beban Angin - X	ASCE7-10	Beam	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30
Beban Angin - Y	ASCE7-10	GORDING	15.26	0	0	0	0	0	0	0	0	10.19
Beban Angin - Y	ASCE7-10	RAFTER 2	14.69	0	0	0	0	0	0	0	0	10.06
Beban Angin - Y	ASCE7-10	RAFTER 1	13.77	137.73	-5.632E-07	-3423.53	-68470.69	80762.96	-2754.62	0	0	8
Beban Angin - Y	ASCE7-10	COLUMN	13.30	0	0	0	0	0	0	0	0	13.30
Beban Angin - Y	ASCE7-10	ATAP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30
Beban Angin - Y	ASCE7-10	Beam	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30

Dari Tabel 4.2 struktur *space frame barrel vaults* hasil *check* terhadap beban angin arah X *Rafter 1* menunjukkan $FX = -137.73 \text{Kgf}$, $FY = 5.632E-07 \text{Kgf}$, $FZ = 3423.53 \text{Kgf}$, $MX = 68470.69 \text{Kgf}$, $MY = -80762.96 \text{Kgf}$, dan $MZ = 2754.62 \text{Kgf}$. Sedangkan *Rafter 2* menunjukkan $FX = 0 \text{Kgf}$, $FY = 0 \text{Kgf}$, $FZ = 0 \text{Kgf}$, $MX = 0 \text{Kgf}$,

MY= 0 Kgf, dan MZ=0 Kgf. Beban angin arah Y *Rafter 1* menunjukkan FX= 137.73Kgf, FY= -5.632E-07Kgf, FZ= -3423.53Kgf, MX= -68470.69 Kgf, MY= 80762.96 Kgf, dan MZ= -2754.62 Kgf. Sedangkan *Rafter 2* menunjukkan FX= 0 Kgf, FY= 0 Kgf, FZ= 0 Kgf, MX= 0 Kgf, MY= 0 Kgf, dan MZ=0 Kgf.

- **Space Frame Flat Cover**

Hasil *check* struktur *space frame* terhadap beban angin arah X dan arah Y dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3: *Check* beban angin struktur *space frame* model *flat cover*.

Auto Wind - ASCE7 - 10 Flat Cover											
Load Pat	Expose From	Angle	User Z	Wind Speed	Exposure	I	Kzt	Gust Factor	Kd	Solid Ratio	Exp Width
Text	Text	Degrees	Yes/No	mph	Text	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Text
Beban Angin - X	Frames	0	No	11.54	B	1	1	0.85	0.9	0.2	From diaphs
Beban Angin - Y	Frames	90	No	11.54	B	1	1	0.85	0.9	0.2	From diaphs

Tabel 4.4: *Check* beban angin struktur *space frame* pada tiap-tiap *groups* model *flat cover*.

Auto Wind Loads To Groups												
Load Pat	Auto Ld Type	Group	Group Avg Z	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	X	Y	Z
Text	Text	Text	m	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	m	m	m
Beban Angin - X	ASCE7-10	GORDING	13.53	0	0	0	0	0	0	0	0	9.82
Beban Angin - X	ASCE7-10	RAFTER 1	12.92	-3.881E-10	280.21	1589.12	25392.62	-37635.58	6636.17	0	0	8.35
Beban Angin - X	ASCE7-10	RAFTER 2	12.33	0	0	0	0	0	0	0	0	8.35
Beban Angin - X	ASCE7-10	ATAP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30
Beban Angin - X	ASCE7-10	Beam	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30
Beban Angin - X	ASCE7-10	COLUMN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30
Beban Angin - Y	ASCE7-10	GORDING	13.53	0	0	0	0	0	0	0	0	9.82
Beban Angin - Y	ASCE7-10	RAFTER 1	12.92	3.881E-10	-280.21	-1589.12	-25392.62	37635.58	-6636.17	0	0	8.35
Beban Angin - Y	ASCE7-10	RAFTER 2	12.33	0	0	0	0	0	0	0	0	8.35
Beban Angin - Y	ASCE7-10	ATAP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30
Beban Angin - Y	ASCE7-10	Beam	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30
Beban Angin - Y	ASCE7-10	COLUMN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30

Pada Tabel 4.4 struktur *space frame flat cover* hasil *check* terhadap beban angin arah X *Rafter 1* menunjukkan $FX= -3.881E-10$ Kgf, $FY= 280.21$ Kgf, $FZ= 1589.12$ Kgf, $MX= 25392.62$ Kgf, $MY= -37635.58$ Kgf, dan $MZ= 6636.17$ Kgf sedangkan *Rafter 2* menunjukkan $FX= 0$ Kgf, $FY= 0$ Kgf, $FZ= 0$ Kgf, $MX= 0$ Kgf, $MY= 0$ Kgf, dan $MZ= 0$ Kgf. Beban angin arah Y *Rafter 1* menunjukkan $FX= 3.881E-10$ Kgf, $FY= -280.21$ Kgf, $FZ= -1589.12$ Kgf, $MX= -25392.62$ Kgf, $MY= 37635.58$ Kgf, dan $MZ= -6636.17$ Kgf sedangkan *Rafter 2* menunjukkan $FX= 0$ Kgf, $FY= 0$ Kgf, $FZ= 0$ Kgf, $MX= 0$ Kgf, $MY= 0$ Kgf, dan $MZ= 0$ Kgf.

B. Hasil Cek Terhadap Beban Gempa

- *Space Frame Barrel Vaults*

Hasil *check* struktur *space frame* terhadap beban gempa arah X dan arah Y dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.5: *Check* beban gempa struktur *space frame model Barrel Vaults*.

Auto Seismic - IBC2009 Barrel Vaults			
Load Pat	Text	Beban Gempa - X	Beban Gempa - Y
Dir	Text	X	Y
Percent Ecc	Unitless	0.05	0.05
Ecc Override	Yes/No	No	No
Period Calc	Text	Prog Calc	Prog Calc
Ct And X	Text	0.028ft, 0.8	0.028ft, 0.8
User Z	Yes/No	No	No
R	Unitless	3	3
Omega	Unitless	3	3
Cd	Unitless	2.5	2.5
I	Unitless	1	1
Acc Option	Text	User	User
Ss	Unitless	0.98	0.98
S1	Unitless	0.23	0.23
TL	Sec	50	50
Site Class	Text	B	B
Fa	Unitless	1	1
Fv	Unitless	1	1
SDS	Unitless	0.653333	0.653333
SD1	Unitless	0.153333	0.153333
TU sed	Sec	0.2296	0.2181
Coeff Used	Unitless	0.081667	0.081667
Weight Used	Kgf	1201383.22	1201383.22
Base Shear	Kgf	98112.96	98112.96

Dari Tabel 4.5 struktur *space frame barrel vaults* hasil *check* terhadap beban gempa arah X menunjukkan nilai *TU sed* = 0.2296 Sec, *Coeff Used* = 0.081667 Unitless, *Weight Used* = 1201383.22 Kgf, dan *Base Shear* = 98112.96 Kgf sedangkan beban gempa arah Y menunjukkan nilai *TU sed* = 0.2181 Sec, *Coeff Used* = 0.081667 Unitless, *Weight Used* = 1201383.22 Kgf, dan *Base Shear* = 98112.96 Kgf.

Tabel 4.6: *Check* beban gempa struktur *space frame* pada tiap-tiap *groups model barrel vaults*.

Auto Seismic Loads To Groups												
Load Pat	Auto Ld Type	Group	Group Avg Z	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	X	Y	Z
Text	Text	Text	m	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	m	m	m
Beban Gempa - X	IBC2009	GORDING	15.26	4623.74	0	0	0	24471.84	-92341.95	0	0	10.19
Beban Gempa - X	IBC2009	RAFTER 2	14.69	15578.9	0	0	0	77453.78	-311136.32	0	0	10.06
Beban Gempa - X	IBC2009	RAFTER 1	13.77	58451.7	0	0	0	366107.41	-1140746.1	0	0	8
Beban Gempa - X	IBC2009	COLUMN	13.30	360.4	0	0	0	0	-15136.71	0	0	13.309
Beban Gempa - X	IBC2009	ATAP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30
Beban Gempa - X	IBC2009	Beam	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30
Beban Gempa - Y	IBC2009	GORDING	15.26	0	4623.74	0	-24471.84	0	117880.94	0	0	10.19
Beban Gempa - Y	IBC2009	RAFTER 2	14.69	0	15578.9	0	-77453.78	0	388548.9	0	0	10.06
Beban Gempa - Y	IBC2009	RAFTER 1	13.77	0	58451.7	0	-366107.41	0	1461927.97	0	0	8
Beban Gempa - Y	IBC2009	COLUMN	13.30	0	360.4	0	0	0	9910.94	0	0	13.30
Beban Gempa - Y	IBC2009	ATAP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30
Beban Gempa - Y	IBC2009	Beam	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30

Hasil *check* struktur *space frame barrel vaults* terhadap beban gempa arah X *Rafter 1* dari tabel di atas menunjukkan nilai $FX = 58451.7 \text{ Kgf}$, $FY = 0 \text{ Kgf}$, $FZ = 0 \text{ Kgf}$, $MX = 0 \text{ Kgf-m}$, $MY = 366107.41 \text{ Kgf-m}$, dan $MZ = -1140746.1 \text{ Kgf-m}$ sedangkan *Rafter 2* menunjukkan nilai $FX = 15578.9 \text{ Kgf}$, $FY = 0 \text{ Kgf}$, $FZ = 0 \text{ Kgf}$, $MX = 0 \text{ Kgf}$, $MY = 77453.78 \text{ Kgf-m}$, dan $MZ = -311136.32 \text{ Kgf}$.

Beban gempa arah Y *Rafter 1* menunjukkan nilai $FX = 0 \text{ Kgf}$, $FY = 58451.7 \text{ Kgf}$, $FZ = 0 \text{ Kgf}$, $MX = -366107.41 \text{ Kgf-m}$, $MY = 0 \text{ Kgf-m}$, dan $MZ = 1461927.97 \text{ Kgf-m}$ sedangkan *Rafter 2* menunjukkan nilai $FX = 0 \text{ Kgf}$, $FY = 15578.9 \text{ Kgf}$, $FZ = 0 \text{ Kgf}$, $MX = -77453.78 \text{ Kgf-m}$, $MY = 0 \text{ Kgf-m}$, dan $MZ = 388548.9 \text{ Kgf-m}$.

- ***Space Frame Flat Cover***

Hasil *check* struktur *space frame* terhadap beban gempa arah X dan arah Y dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

Tabel 4.7: *Check* beban gempa struktur *space frame model flat cover*.

Auto Seismic - IBC2009 Flat Cover			
Load Pat	Text	Beban Gempa - X	Beban Gempa - Y
Dir	Text	X	Y
Percent Ecc	Unitless	0.05	0.05
Ecc Override	Yes/No	No	No
Period Calc	Text	Prog Calc	Prog Calc
Ct And X	Text	0.028ft, 0.8	0.028ft, 0.8
User Z	Yes/No	No	No
R	Unitless	8	8
Omega	Unitless	3	3
Cd	Unitless	5.5	5.5
I	Unitless	1	1
Acc Option	Text	User	User
Ss	Unitless	0.98	0.98
S1	Unitless	0.23	0.23
TL	Sec	50	50
Site Class	Text	B	B
Fa	Unitless	1	1
Fv	Unitless	1	1
SDS	Unitless	0.653333	0.653333
SD1	Unitless	0.153333	0.153333
TU sed	Sec	0.3013	0.2608
Coeff Used	Unitless	0.063613	0.07349
Weight Used	Kgf	1786102.92	1786102.92
Base Shear	Kgf	113619.41	131260.24

Pasa Tabel 4.7 struktur *space frame flat cover* hasil *check* terhadap beban gempa arah X menunjukkan nilai $TU_{sed} = 0.3013$ Sec, $Coeff_{Used} = 0.063613$ Unitless, $Weight_{Used} = 1786102.92$ Kgf, dan $Base\ Shear = 113619.41$ Kgf sedangkan beban gempa arah Y menunjukkan nilai $TU_{sed} = 0.2608$ Sec, $Coeff_{Used} = 0.07349$ Unitless, $Weight_{Used} = 1786102.92$ Kgf, dan $Base\ Shear = 131260.24$ Kgf.

Tabel 4.8: *Check* beban gempa struktur *space frame* pada tiap-tiap *groups* model *flat cover*.

Auto Seismic Loads To Groups												
Load Pat	Auto Ld Type	Group	Group Avg Z	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	X	Y	Z
Text	Text	Text	m	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m	m	m	m
Beban Gempa - X	IBC2009	GORDING	13.53	2622.67	0	0	0	10681.91	-46949.37	0	0	9.82
Beban Gempa - X	IBC2009	RAFTER 1	12.92	31233.55	0	0	0	173443.33	-547004.2	0	0	8.35
Beban Gempa - X	IBC2009	RAFTER 2	12.33	9541.19	0	0	0	41588.75	-175960.8	0	0	8.35
Beban Gempa - X	IBC2009	ATAP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30
Beban Gempa - X	IBC2009	Beam	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30
Beban Gempa - X	IBC2009	COLUMN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30
Beban Gempa - Y	IBC2009	GORDING	13.53	0	3029.87	0	-12340.41	0	75746.82	0	0	9.82
Beban Gempa - Y	IBC2009	RAFTER 1	12.92	0	36082.95	0	-200372.57	0	862096.96	0	0	8.35
Beban Gempa - Y	IBC2009	RAFTER 2	12.33	0	11022.58	0	-48045.93	0	275544.83	0	0	8.35
Beban Gempa - Y	IBC2009	ATAP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30
Beban Gempa - Y	IBC2009	Beam	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30
Beban Gempa - Y	IBC2009	COLUMN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1E+30

Hasil *check* struktur *space frame flat cover* terhadap beban gempa arah X *Rafter 1* dari tabel di atas menunjukkan nilai $FX = 31233.55$ Kgf, $FY = 0$ Kgf, $FZ = 0$ Kgf, $MX = 0$ Kgf-m, $MY = 173443.33$ Kgf-m, dan $MZ = -547004.2$ Kgf-m sedangkan *Rafter 2* menunjukkan nilai $FX = 9541.19$ Kgf, $FY = 0$ Kgf, $FZ = 0$ Kgf, $MX = 0$ Kgf, $MY = 41588.75$ Kgf, dan $MZ = -175960.8$ Kgf.

Beban gempa arah Y *Rafter 1* menunjukkan nilai $FX = 0$ Kgf, $FY = 36082.95$ Kgf, $FZ = 0$ Kgf, $MX = -200372.57$ Kgf-m, $MY = 0$ Kgf-m, dan $MZ =$

862096.96Kgf-m sedangkan *Rafter 2* menunjukkan nilai $FX = 0\text{Kgf}$, $FY = 11022.58\text{Kgf}$, $FZ = 0\text{Kgf}$, $MX = -48045.93\text{Kgf-m}$, $MY = 0\text{Kgf-m}$, dan $MZ = 275544.83\text{Kgf-m}$.

C. Hasil *Base Reactions Space Frame Barrel Vaults dan Flat Cover*

Hasil *check base reactions* pada struktur *space frame* terhadap pembebanan dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10.

Tabel 4.9: *Base reactions* struktur *space frame barrel vaults*.

Base Reactions							
Output Case	Case Type	Global FX	Global FY	Global FZ	Global MX	Global MY	Global MZ
Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
DEAD	LinStatic	4.695E-08	-8.214E-09	1215098.2	28318324.34	-30000044.7	0.004275
Beban Gempa - X	LinStatic	150230.32	-3.628E-09	2.789E-08	-8845.42	719494.18	-3755758.11
Beban Gempa - Y	LinStatic	-2.025E-09	150230.32	-4.057E-09	-532330.42	947.82	3755758.11
Beban Hidup	LinStatic	1.448E-08	-3.903E-09	234443.81	4675589.54	-5860714.47	0.001054
Beban Angin - X	LinStatic	-2102.71	0.000002082	-3423.53	-73010.49	67225.77	52567.83
Beban Angin - Y	LinStatic	-137.73	-1738.14	3423.53	80687.63	-81131.94	-40010.22
Roof Live	LinStatic	2.843E-09	-7.632E-10	45950.99	916415.55	-1148700.04	0.0002065
COMB -1	Combination	6.573E-08	-1.15E-08	1701137.48	39645654.08	-42000063	0.005984
COMB -2	Combination	8.093E-08	-1.648E-08	1856203.43	41921140.25	-45951547	0.006918
COMB -3	Combination	6.089E-08	-1.108E-08	1531639.42	35448254.09	-37837974	0.00546
COMB -4	Combination	-2240.44	-1738.14	1481093.33	34447874.13	-36588310	12557.62
COMB -5	Combination	150230.32	150230.32	1692561.65	38116402.91	-41140326	0.008204
COMB -6	Combination	-2240.44	-1738.14	1093588.38	25494169.05	-27013946.4	12557.61
COMB -7	Combination	150230.32	150230.32	1093588.38	24945316.07	-26279598.3	0.005868

Tabel 4.10: *Base reactions* struktur *space frame flat cover*.

Base Reactions							
Output Case	Case Type	Global FX	Global FY	Global FZ	Global MX	Global MY	Global MZ
Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
DEAD	LinStatic	-3.962E-08	-2.053E-08	1214009.06	28241305.02	-30152243	4.773E-07
Beban Gempa - X	LinStatic	223348.23	5.154E-11	-3.865E-10	3172.34	819620.22	-5583705.87
Beban Gempa - Y	LinStatic	-7.976E-10	223348.23	-6.463E-10	-694562.88	-980.81	5583705.87
Beban Hidup	LinStatic	-2.792E-08	-1.519E-08	346729.61	8476634.66	-8574295.75	3.181E-07

Tabel 4.10: (Lanjutan).

Beban Angin - X	LinStatic	-1684.17	-589.04	-3340.62	-56219.53	77537.38	27378.2
Beban Angin - Y	LinStatic	-6.788E-10	-1351.5	3340.62	62845.33	-83613.95	-33787.54
Roof Live	LinStatic	-5.471E-09	-2.981E-09	67959	1661420.39	-1680561.97	6.225E-08
COMB -1	Combination	-5.547E-08	-2.874E-08	1699612.69	39537827.02	-42213140	6.682E-07
COMB -2	Combination	-9.495E-08	-5.044E-08	2045557.75	48282891.67	-50741846	0.000001113
COMB -3	Combination	-5.63E-08	-2.941E-08	1565545.28	36547838.65	-38871591	6.723E-07
COMB -4	Combination	-1684.17	-1940.54	1490790.38	34726902.02	-37029049	-6409.34
COMB -5	Combination	223348.23	223348.23	1803540.48	41674810.13	-43938348	-0.0000449
COMB -6	Combination	-1684.17	-1940.54	1092608.16	25423800.32	-27143095.3	-6409.34
COMB -7	Combination	223348.23	223348.23	1092608.16	24725783.97	-26318379.3	-0.00004536

Pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 menunjukkan nilai base reactions pada dua model struktur *space frame barrel vaults* maupun *flat cover*, Nilai pada tabel tersebut ditampilkan secara global yaitu akumulasi dari seluruh di struktur tersebut terhadap masing-masing pembebanan yang terjadi.

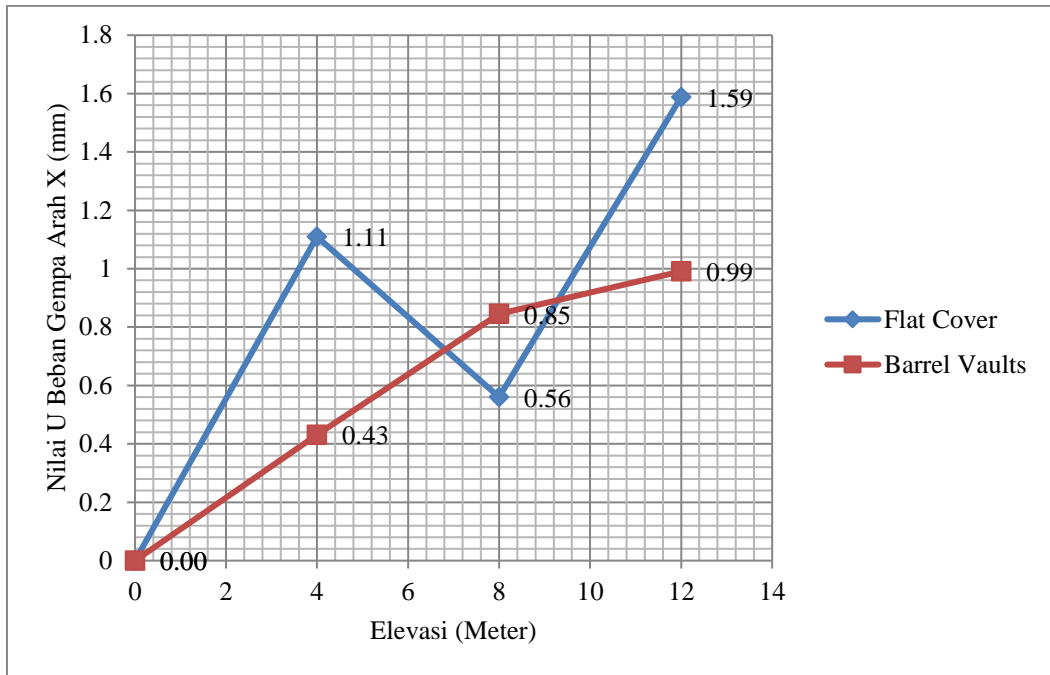
4.1.3. Simpangan Antarlantai

Hasil analisis beban gempa respon spektrum pada *software* maka dapat dilihat nilai perpindahan struktur terhadap beban gempa pada Tabel 4.11.

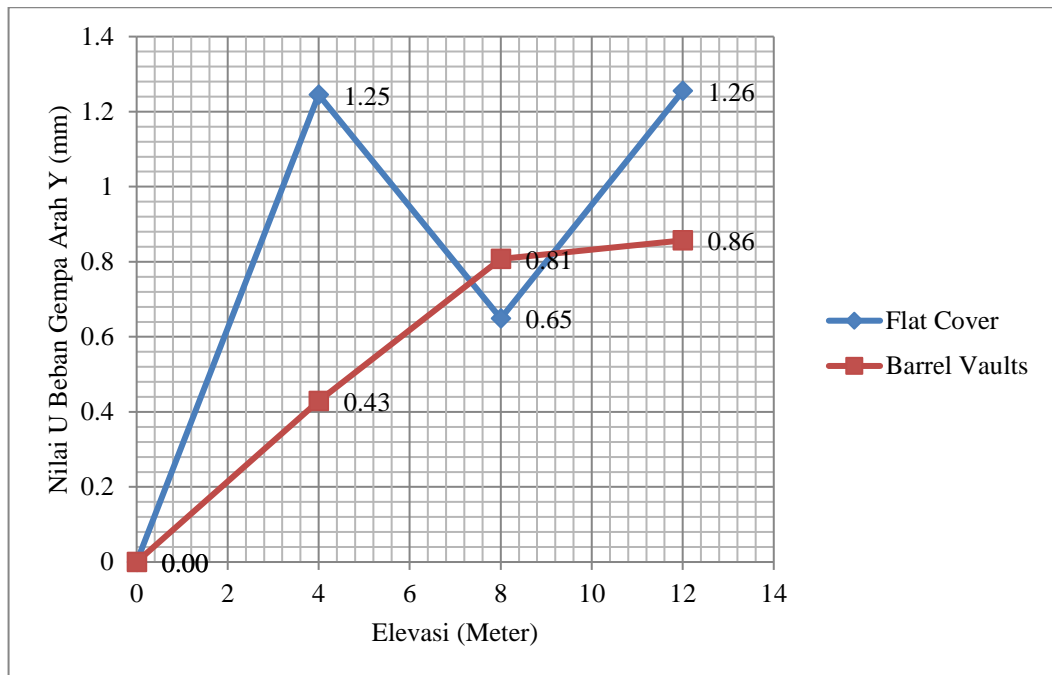
Tabel 4.11: Tabel nilai perpindahan beban gempa arah X dan arah Y.

No.	Flat Cover			Barrel Vaults		
	Elevasi	Arah Gempa	U mm	Elevasi	Arah Gempa	U mm
1	GRID Z4	Beban Gempa - X	1.11	GRID Z4	Beban Gempa - X	0.43
2	GRID Z8		0.56	GRID Z8		0.85
3	GRID Z12		1.59	GRID Z12		0.99
4	GRID Z4	Beban Gempa - Y	1.25	GRID Z4	Beban Gempa - Y	0.43
5	GRID Z8		0.65	GRID Z8		0.81
6	GRID Z12		1.26	GRID Z12		0.86

Dari nilai yang terdapat pada Tabel 4.11 tersebut maka dapat dimuat kedalam grafik untuk melihat perbandingan perpindahan dari kedua model struktur *space frame barrel vaults* dan *flat cover*.



Gambar 4.5: Grafik perpindahan struktur terhadap gempa arah X.



Gambar 4.6: Grafik perpindahan struktur terhadap gempa arah Y.

Grafik perpindahan akibat beban gempa arah x dan arah y yang terdapat pada Gambar 4.6 maupun Gambar 4.7 menunjukkan bahwa struktur *space frame model*

barrel vaults memiliki nilai perpindahan lebih kecil dari pada model *space frame flat cover*.

Nilai perpindahan tersebut maka dapat ditentukan nilai simpangan antarlantai yang terjadi pada dua model struktur *space frame*. Hasil dari perhitungan simpangan antarlantai menggunakan SNI 1726-2002 dapat dilihat pada tabel dibawah sebagai berikut:

Tabel 4.12: Tabel simpangan antarlantai *space frame barrel vaults* arah X.

Simpangan Antar Lantai Respon Spektrum Arah-X						
No.	Elevasi (m)	Perpindahan lantai (mm)	Perpindahan Total (mm)	Story Drift (Δ) (mm)	Story Drift izin (Δa) (mm)	Status
1	4	0.431	2.56	1.11	80.00	aman
2	8	0.845	5.03	4.25	80.00	aman
3	12	0.991	5.90	5.84	80.00	aman

Tabel 4.13: Tabel simpangan antarlantai *space frame barrel vaults* arah Y.

Simpangan Antar Lantai Respon Spektrum Arah-Y						
No.	Elevasi (m)	Perpindahan lantai (mm)	Perpindahan Total (mm)	Story Drift (Δ) (mm)	Story Drift izin (Δa) (mm)	Status
1	4	0.429	2.55	1.10	80.00	aman
2	8	0.808	4.81	3.88	80.00	aman
3	12	0.857	5.10	4.37	80.00	aman

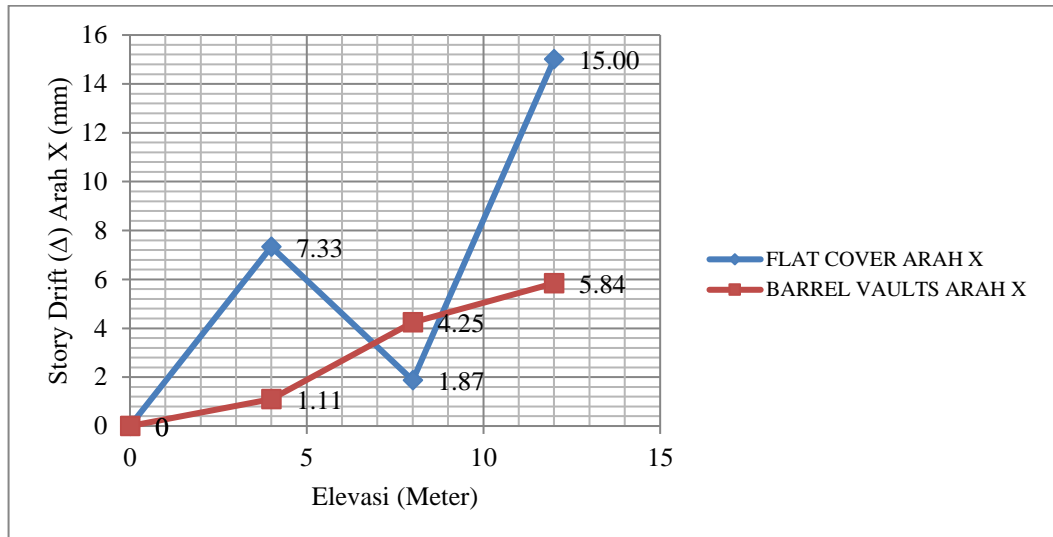
Tabel 4.14: Tabel simpangan antarlantai *space frame flat cover* arah X.

Simpangan Antar Lantai Respon Spektrum Arah-X						
No.	Elevasi (m)	Perpindahan lantai (mm)	Perpindahan Total (mm)	Story Drift (Δ) (mm)	Story Drift izin (Δa) (mm)	Status
1	4	1.11	6.60	7.33	80.00	aman
2	8	0.56	3.33	1.87	80.00	aman
3	12	1.588	9.45	15.00	80.00	aman

Tabel 4.15: Tabel simpangan antarlantai *space frame flat cover* arah Y.

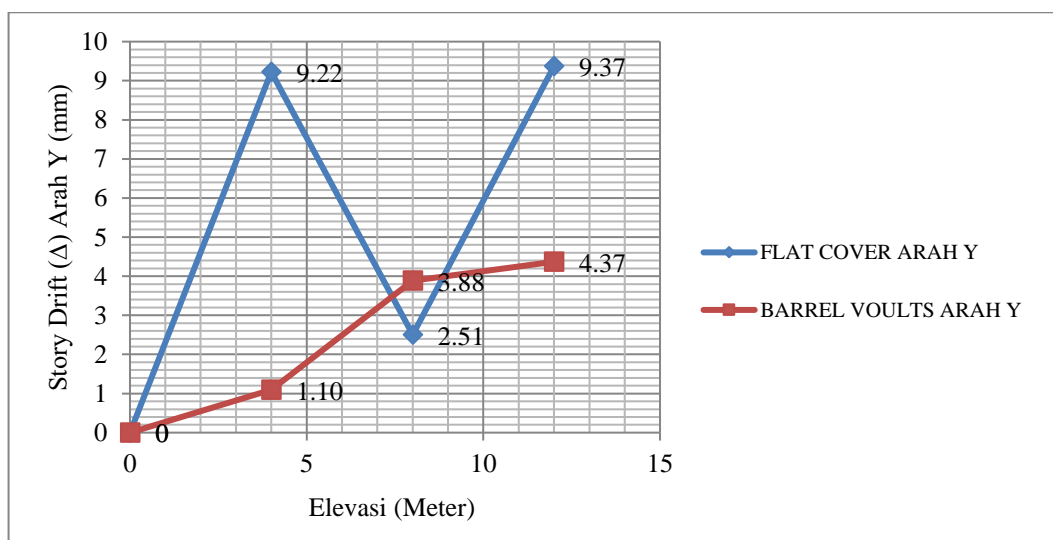
Simpangan Antar Lantai Respon Spektrum Arah-Y						
No.	Elevasi (m)	Perpindahan lantai (mm)	Perpindahan Total (mm)	Story Drift (Δ) (mm)	Story Drift izin (Δa) (mm)	Status
1	4	1.245	7.41	9.22	80.00	aman
2	8	0.649	3.86	2.51	80.00	aman
3	12	1.255	7.47	9.37	80.00	aman

Dari nilai simpangan antarlantai tersebut maka dapat dimuat kedalam grafik untuk melihat perbandingan dari kedua model struktur *space frame barrel vaults* dan *flat cover*.



Gambar 4.7: Grafik simpangan antarlantai terhadap gempa arah X.

Dari grafik pada Gambar 4.7 bahwa simpangan antarlantai arah x yang terjadi pada dua model struktur *space frame* menunjukkan struktur *space frame barrel vaults* lebih baik dalam menerima beban gempa. Simpangan antarlantai yang terjadi cenderung stabil dan rendah.



Gambar 4.8: Grafik simpangan antarlantai terhadap gempa arah Y.

Sedangkan pada grafik Gambar 4.8 bahwa simpangan antarlantai arah y yang terjadi pada dua model struktur *space frame* menunjukkan jika struktur *space frame barrel vaults* juga lebih baik dalam menerima beban gempa. Simpangan antarlantai yang terjadi cenderung stabil dan rendah terhadap beban gempa yang terjadi pada bangunan.

4.1.4. Analisis terhadap Beban Angin

Diketahui:

- Kategori resiko bangunan gedung = III
- Kecepatan angin dasar (V) = 10.09 knot = 5.1907 m/s
- Factor arah angin (K_d) = 0.9
- Kategori eksposur = B
- Faktor topografi (K_{zt}) = 1
- Koefisien tekanan internal ($G C_{pi}$) = 0.00
- Tinggi bangunan *barrel vaults* = 18 meter
- Tinggi bangunan *flat cover* = 17.05 meter

Faktor Efek Tiupan Angin

Menentukan efek tiupan angin di tentukan berdasarkan jenis struktur nya berupa struktur kaku atau struktur fleksibel. Untuk menentukan struktur bangunan yang di desain struktur kaku atau struktur fleksibel adalah dengan menentukan frekuensi alami perkiraan, jika frekuensi alami perkiraan (n_a) lebih besar atau sama dengan 1hz maka struktur tersebut dapat di kategorikan sebagai struktur kaku, namun jika $n_a \leq 1$ hz maka struktur bangunan tersebut merupakan struktur fleksibel.

Space Frame Barrel Vaults

$$n_a = \frac{75}{h} > 1.0 \text{ hz} \quad (\text{Kaku})$$

$$= \frac{75}{18}$$

$$= 4.167 \text{ hz} > 1.0 \text{ hz} \quad (\text{Kaku})$$

Space Frame Flat Cover

$$n_a = \frac{75}{h} > 1.0 \text{ hz} \quad (\text{Kaku})$$

$$= \frac{75}{17.05}$$

$$= 4.398 \text{ hz} > 1.0 \text{ hz} \quad (\text{Kaku})$$

4.2. Check kekakuan dan lendutan Space Frame

4.2.1. Terhadap Struktur Space Frame Barrel Vaults

Hasil kekakuan dan lendutan pada struktur *space frame* dari analisis *software* perangkat lunak dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16: Tabel hasil kekakuan dan lendutan.

Auto Combination Option Data 02 - User Data				
No.	Design Type	LS Type	LC Name	Frame
	Text	Text	Text	
1	Steel	Strength	Beban Mati	Rafter 1 dan Rafter 2
2	Steel	Strength	Beban Gempa - X	
3	Steel	Strength	Beban Gempa - Y	
4	Steel	Strength	Beban Hidup	
5	Steel	Strength	Beban Angin - X	
6	Steel	Strength	Beban Angin - Y	
7	Steel	Deflection	Beban Mati	
8	Steel	Deflection	Beban Hidup	
9	Coldformed	Strength	Beban Mati	Gording
10	Coldformed	Strength	Beban Gempa - X	
11	Coldformed	Strength	Beban Gempa - Y	
12	Coldformed	Strength	Beban Hidup	
13	Coldformed	Strength	Beban Angin - X	
14	Coldformed	Strength	Beban Angin - Y	
15	Coldformed	Deflection	Beban Mati	
16	Coldformed	Deflection	Beban Hidup	

Dari Tabel 4.16 menunjukkan bawah *Strength* (Kekakuan) dan *Deflection* (Lendutan) pada struktur *Rafter 1*, *Rafter 2* dan *Gording*. Pada *Rafter 1* dan *Rafter 2* terhadap beban mati terjadi *Strength* (Kekakuan) dan *Deflection* (Lendutan) Beban hidup terjadi *Strength* (Kekakuan) dan *Deflection* (Lendutan), Beban Gempa terjadi *Strength* (Kekakuan) tetapi tidak terjadi *Deflection* (Lendutan)

terhadap arah X dan Y, dan Beban angin terjadi *Strength* (Kekakuan) tetapi tidak terjadi *Deflection* (Lendutan) terhadap arah X dan Y.

Pada Gording terhadap beban mati terjadi *Strength* (Kekakuan) dan *Deflection* (Lendutan), Beban hidup terjadi *Strength* (Kekakuan) dan *Deflection* (Lendutan), Beban Gempa terjadi *Strength* (Kekakuan) tetapi tidak terjadi *Deflection* (Lendutan), dan Beban angin terjadi *Strength* (Kekakuan) tetapi tidak terjadi *Deflection* (Lendutan).

4.2.2. Terhadap Struktur *Space Frame Flat Cover*

Hasil kekakuan dan lendutan pada struktur *space frame* dari analisis *software* perangkat lunak dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17: Tabel hasil kekakuan dan lendutan.

Auto Combination Option Data 02 - User Data				
No.	Design Type	LS Type	LC Name	Frame
	Text	Text	Text	
1	Steel	Strength	Beban Mati	Rafter 1 dan Rafter 2
2	Steel	Strength	Beban Gempa - X	
3	Steel	Strength	Beban Gempa - Y	
4	Steel	Strength	Beban Hidup	
5	Steel	Strength	Beban Angin - X	
6	Steel	Strength	Beban Angin - Y	
7	Steel	Deflection	Beban Mati	
8	Steel	Deflection	Beban Hidup	
9	Coldformed	Strength	Beban Mati	Gording
10	Coldformed	Strength	Beban Gempa - X	
11	Coldformed	Strength	Beban Gempa - Y	
12	Coldformed	Strength	Beban Hidup	
13	Coldformed	Strength	Beban Angin - X	
14	Coldformed	Strength	Beban Angin - Y	
15	Coldformed	Deflection	Beban Mati	
16	Coldformed	Deflection	Beban Hidup	

Dari Tabel 4.17 menunjukkan bawah *Strength* (Kekakuan) dan *Deflection* (Lendutan) pada struktur *Rafter 1*, *Rafter 2* dan Gording. Pada *Rafter 1* dan *Rafter 2* terhadap beban mati terjadi *Strength* (Kekakuan) dan *Deflection* (Lendutan), Beban hidup terjadi *Strength* (Kekakuan) dan *Deflection* (Lendutan), Beban Gempa terjadi *Strength* (Kekakuan) tetapi tidak terjadi *Deflection* (Lendutan), dan

Beban angin terjadi *Strength* (Kekakuan) tetapi tidak terjadi *Deflection* (Lendutan).

Pada Gording terhadap beban mati terjadi *Strength* (Kekakuan) dan *Deflection* (Lendutan), Beban hidup terjadi *Strength* (Kekakuan) dan *Deflection* (Lendutan), Beban Gempa terjadi *Strength* (Kekakuan) tetapi tidak terjadi *Deflection* (Lendutan), dan Beban angin terjadi *Strength* (Kekakuan) tetapi tidak terjadi *Deflection* (Lendutan).

4.3. Analisis Desain Batang *Space Frame Barrel Vaults*

Adapun spesifikasi teknis dari material baja pipa yang di gunakan untuk struktur rangka *space frame barrel vaults* yaitu sebagai berikut :

- Standart Kualitas Pipa = ASTM A 53 Grades B
- Tegangan Leleh (f_y) = 240 MPa
- Tegangan Tarik (f_u) = 370 MPa
- Modulus Elastisitas (E) = 210000 MPa
- Poissons Ratio (ν) = 0.30
- Density = 0.00007850 MPa
- Thermal Coeff (α) = 0.000012 /°C
- Critical Damping = 0.03
- Shear Modulus (G) = 78846.200 MPa

4.3.1. Kontrol Batas Leleh Dan Keruntuhan Tarik

Syarat ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) harus memenuhi persyaratan spesifikasi kekuatan desai sebagai berikut :

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

Untuk mengetahui batas leleh tarik batang dan bata keruntuhan tarik batang dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18: Tabel batas leleh dan keruntuhan terhadap tarik.

No.	Diketahui	Rafter 1		Rafter 2	
		Leleh Tarik	Keruntuhan tarik	Leleh Tarik	Keruntuhan tarik
1	P_u (Kg)	62150.53	62150.53	12553.3	12553.3
2	A_g (mm)	4396	4396	1491.5	1491.5
3	P_n (Kg)	105432	162652	35796	55185.5

Hasil dari Tabel 4.18 diatas maka dapat dilakukan kontrol leleh tarik dan keruntuhan tarik sebagai berikut:

A. Rafter 1

Kontrol batas leleh tarik penampang bruto

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

$$P_u \leq 0.9 \times P_n$$

$$62150.53 \text{ Kg} \leq 0.9 \times 105432 \text{ Kg}$$

$$62150.53 \text{ Kg} \leq 94888.8 \text{ Kg} \quad Ok$$

Kontrol batas keruntuhan tarik pada penampang bruto

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

$$P_u \leq 0.9 \times P_n$$

$$62150.53 \text{ Kg} \leq 0.9 \times 162652 \text{ Kg}$$

$$62150.53 \text{ Kg} \leq 146386.8 \text{ Kg} \quad Ok$$

B. Rafter 2

Kontrol batas leleh tarik penampang bruto

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

$$P_u \leq 0.9 \times P_n$$

$$12553.3 \text{ Kg} \leq 0.9 \times 35796 \text{ Kg}$$

$$12553.3 \text{ Kg} \leq 32216.4 \text{ Kg} \quad Ok$$

Kontrol batas keruntuhan tarik pada penampang bruto

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

$$P_u \leq 0.9 \times P_n$$

$$12553.3 \text{ Kg} \leq 0.9 \times 55185.5 \text{ Kg}$$

$$12553.3 \text{ Kg} \leq 49666.95 \text{ Kg}$$

Ok

Analisa data dari Tabel 4.18 dapat dilihat pada halaman lampiran.

4.3.2. Kontrol Kuat Tekan Batang Rafter 1 Dan Rafter 2

Syarat ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) harus memenuhi persyaratan spesifikasi kekuatan desai sebagai berikut :

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

Untuk mengetahui kuat tekan batang maka perlu data analisis dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19: Tabel data untuk analisis kuat tekan.

No.	Diketahui	Rafter 1	Rafter 2
1	P_u (Kg)	62150.53	12553.3
2	I (mm ⁴)	10811360	1685110
3	r (mm)	49.59	33.61
4	$(K \times L)/r < 200$	40.33	59.5
5	F_e (Mpa)	1272.96	584.73
6	F_{cr} (Mpa)	221.83	200.46
7	P_n (Kg)	975164.68	299000.3

Hasil dari Tabel 4.19 diatas maka dapat dilakukan kontrol kuat tekan pada Rafter 1 dan Rafter 2 sebagai berikut:

Kontrol Kekuatan tekan Rafter 1

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

$$P_u \leq 0.9 \times P_n$$

$$62150.53 \text{ Kg} \leq 0.9 \times 975164.68 \text{ Kg}$$

$$62150.53 \text{ Kg} \leq 877648.212 \text{ Kg}$$

Ok

Kontrol Kekuatan tekan Rafter 2

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned}
P_u &\leq 0.9 \times P_n \\
12553.3 \text{ Kg} &\leq 0.9 \times 299000.3 \text{ Kg} \\
12553.3 \text{ Kg} &\leq 269100.27 \text{ Kg} \qquad \qquad \qquad \text{Ok}
\end{aligned}$$

Analisa data dari Tabel 4.19 dapat dilihat pada halaman lampiran.

4.4. Analisis Desain Batang *Space Frame Flat Cover*

Adapun spesifikasi teknis dari material baja pipa yang di gunakan untuk struktur rangka *space frame barrel vaults* yaitu sebagai berikut :

- Standart Kualitas Pipa = ASTM A 53 Grades B
- Tegangan Leleh (f_y) = 240 MPa
- Tegangan Tarik (f_u) = 370 MPa
- Modulus Elastisitas (E) = 210000 MPa
- Poissons Ratio (ν) = 0.30
- Density = 0.00007850 MPa
- Thermal Coeff (α) = 0.000012 /°C
- Critical Damping = 0.03
- Shear Modulus (G) = 78846.200 MPa

4.4.1. Kontrol Batas Leleh Dan Keruntuhan Tarik

Syarat ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) harus memenuhi persyaratan spesifikasi kekuatan desai sebagai berikut :

$$Ru \leq \phi Rn \qquad \qquad \qquad (2.6)$$

Untuk mengetahui batas leleh tarik batang dan bata keruntuhan tarik batang dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20: Tabel batas leleh dan keruntuhan terhadap tarik.

No.	Diketahui	Rafter 1		Rafter 2	
		Leleh Tarik	Keruntuhan tarik	Leleh Tarik	Keruntuhan tarik
1	P_u (Kg)	65831.7	65831.7	24329.1	24329.1
2	A_g (mm)	4396	4396	1491.5	1491.5
3	P_n (Kg)	105432	162652	35796	55185.5

Hasil dari Tabel 4.20 diatas maka dapat dilakukan kontrol leleh tarik dan keruntuhan tarik sebagai berikut:

A. Rafter 1

Kontrol batas leleh tarik penampang bruto

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

$$P_u \leq 0.9 \times P_n$$

$$65831.7 \text{ Kg} \leq 0.9 \times 105432 \text{ Kg}$$

$$65831.7 \text{ Kg} \leq 94888.8 \text{ Kg} \quad Ok$$

Kontrol batas keruntuhan tarik pada penampang bruto

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

$$P_u \leq 0.9 \times P_n$$

$$65831.7 \text{ Kg} \leq 0.9 \times 162652 \text{ Kg}$$

$$65831.7 \text{ Kg} \leq 146386.8 \text{ Kg} \quad Ok$$

B. Rafter 2

Kontrol batas leleh tarik penampang bruto

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

$$P_u \leq 0.9 \times P_n$$

$$24329.1 \text{ Kg} \leq 0.9 \times 35796 \text{ Kg}$$

$$24329.1 \text{ Kg} \leq 32216.4 \text{ Kg} \quad Ok$$

Kontrol batas keruntuhan tarik pada penampang bruto

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

$$P_u \leq 0.9 \times P_n$$

$$24329.1 \text{ Kg} \leq 0.9 \times 55185.5 \text{ Kg}$$

$$24329.1 \text{ Kg} \leq 49666.95 \text{ Kg} \quad \text{Ok}$$

Analisa data dari Tabel 4.20 dapat dilihat pada halaman lampiran.

4.4.2. Kontrol Kuat Tekan Batang Rafter 1 dan Rafter 2

Syarat ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) harus memenuhi persyaratan spesifikasi kekuatan desai sebagai berikut :

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

Untuk mengetahui kuat tekan batang maka perlu data analisis dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21: Tabel data untuk analisis kuat tekan.

No.	Diketahui	Rafter 1	Rafter 2
1	P_u (Kg)	62150.53	12553.3
2	I (mm ⁴)	10811360	1685110
3	r (mm)	49.59	33.61
4	$(K \times L)/r < 200$	40.33	59.5
5	F_e (Mpa)	1272.96	584.73
6	F_{cr} (Mpa)	221.83	200.46
7	P_n (Kg)	975164.68	299000.3

Kontrol Kekuatan tekan Rafter 1

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

$$P_u \leq 0.9 \times P_n$$

$$65831.7 \text{ Kg} \leq 0.9 \times 975164.68 \text{ Kg}$$

$$65831.7 \text{ Kg} \leq 877648.212 \text{ Kg} \quad \text{Ok}$$

Kontrol Kekuatan tekan Rafter 2

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

$$P_u \leq 0.9 \times P_n$$

$$24329.1 \text{ Kg} \leq 0.9 \times 299000.3 \text{ Kg}$$

$$24329.1 \text{ Kg} \leq 269100.27 \text{ Kg} \quad \text{Ok}$$

Analisa data dari Tabel 4.21 dapat dilihat pada halaman lampiran.

4.5. Analisis Sambungan Sistem Mero

4.5.1. Analisis Desain Sambungan Pada *Space Frame Barrel Vaults*

Desain sambungan *space frame* terintegrasi sistem mero perlu analisis desain *hexagon*, *conus* dan baut sebagai pengunci batang ke sambungan atau *ball joint*. Analisis desain pengunci dapat dilihat pada halaman lampiran.

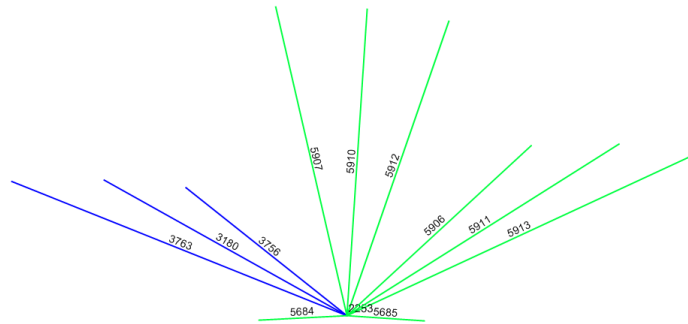
Analisis desain diameter sambungan *space frame* yaitu *ball joint* yaitu:

Direncanakan *ball joint Rafter 1* pada Node 2253

Spesifikasi data yang diperlukan:

- Jenis bahan = Baja massif atau As baja
- Standart kualitas = S.45.C
- Tegangan leleh (Fy) = 3000 Kg/cm² - 3700 Kg/cm²
Digunakan Fy = 3700 Kg/cm²
- Direncanakan *ball joint* = N200

Maka:



Gambar 4.9: Penomoran batang pada Node 2253.

Tabel 4.22: Keterangan batang pada Node 2253.

No.	Frame Number	Type Hexagon	Gaya Tekan	Diameter Hexagon
1	5913	H 64x55-25	9547.01 Kg	63.49 mm
2	5912	H 64x55-25	19384.46 Kg	63.49 mm
3	5911	H 64x55-25	783.55 Kg	63.49 mm
4	5910	H 64x55-25	920.66 Kg	63.49 mm
5	5907	H 64x55-25	14316.57 Kg	63.49 mm

Tabel 4.22: (Lanjutan).

6	5906	H 64x55-25	17696.42 Kg	63.49 mm
7	5685	H 64x55-25	62150.53 Kg	63.49 mm
8	5684	H 64x55-25	29779.53 Kg	63.49 mm
9	3763	H 40x28-17	856.48 Kg	32.32 mm
10	3756	H 40x28-17	8615.02 Kg	32.32 mm
11	3180	H 40x28-17	1113.91 Kg	32.32 mm
Total			165164.14 Kg	604.88 mm

Keliling permukaan tengah bola:

$$\begin{aligned}
 K &= \pi \times d \\
 &= 3.14 \times 200 \\
 &= 628 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol *ball joint*

$$\begin{aligned}
 K_{\text{Perlu}} &\leq K_{\text{Desain}} \\
 604.88 \text{ mm} &\leq 628 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

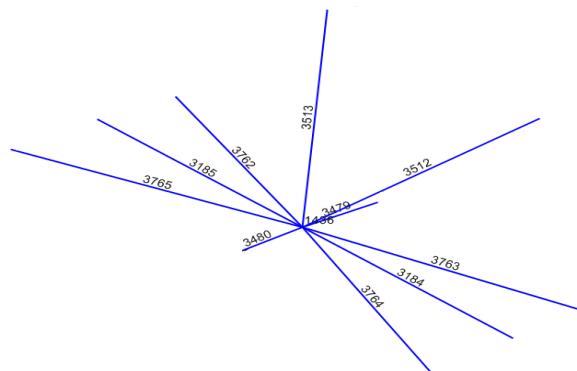
Ok

Direncanakan *ball joint Rafter 2* pada Node 1436

Spesifikasi data yang diperlukan:

- Jenis bahan = Baja massif atau As baja
- Standart kualitas = S.45.C
- Tegangan leleh (Fy) = 3000 Kg/cm² - 3700 Kg/cm²
Digunakan Fy = 3700 Kg/cm²
- Direncanakan *ball joint* = N125

Maka:



Gambar 4.10: Penomoran batang pada Node 1436.

Tabel 4.23: Keterangan batang pada Node 1436.

No.	Frame Number	Type Hexagon	Gaya Tekan	Diameter Hexagon
1	3765	H 40x28-17	3378.14 Kg	32.32 mm
2	3764	H 40x28-17	7656.48 Kg	32.32 mm
3	3763	H 40x28-17	856.48 Kg	32.32 mm
4	3762	H 40x28-17	101.42 Kg	32.32 mm
5	3513	H 40x28-17	553.12 Kg	32.32 mm
6	3512	H 40x28-17	902.72 Kg	32.32 mm
7	3480	H 40x28-17	8096.55 Kg	32.32 mm
8	3479	H 40x28-17	12553.3 Kg	32.32 mm
9	3185	H 40x28-17	50.07 Kg	32.32 mm
10	3184	H 40x28-17	247.56 Kg	32.32 mm
Total			34395.84 Kg	323.2 mm

Keliling permukaan tengah bola:

$$\begin{aligned}
 K &= \pi \times d \\
 &= 3.14 \times 125 \\
 &= 392.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol *ball joint*

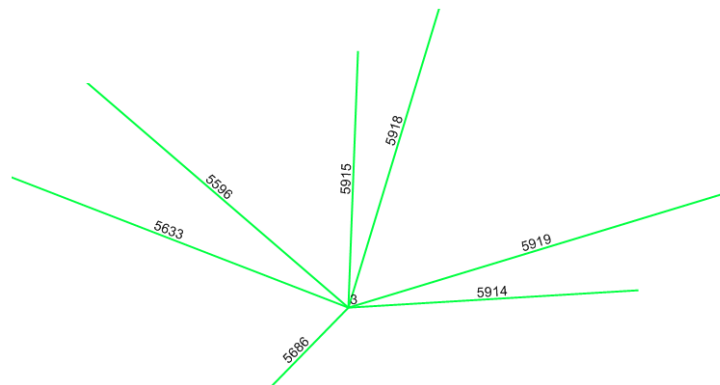
$$\begin{aligned}
 K_{\text{Perlu}} &\leq K_{\text{Desain}} \\
 323.2 \text{ mm} &\leq 392.5 \text{ mm} \qquad \qquad \qquad \text{Ok}
 \end{aligned}$$

Direncanakan *ball joint* Tumpuan pada Node 3

Spesifikasi data yang diperlukan:

- Jenis bahan = Baja massif atau As baja
- Standart kualitas = S.45.C
- Tegangan leleh (Fy) = 3000 Kg/cm² - 3700 Kg/cm²
Digunakan Fy = 3700 Kg/cm²
- Direncanakan *ball joint* = N250

Maka:



Gambar 4.11: Penomoran batang pada Node 3.

Tabel 4.24: Keterangan batang pada Node 3.

No.	Frame Number	Type Hexagon	Gaya Tekan	Diameter Hexagon
1	5919	H 64x55-25	11847.97	63.49
2	5918	H 64x55-25	6802.85	63.49
3	5915	H 64x55-25	23338.86	63.49
4	5914	H 64x55-25	27150.04	63.49
5	5686	H 64x55-25	53615.86	63.49
6	5633	H 64x55-25	16798.83	63.49
7	5596	H 64x55-25	636.39	63.49
Total			140190.8	444.43

Keliling permukaan tengah bola:

$$\begin{aligned}
 K &= \pi \times d \\
 &= 3.14 \times 250 \\
 &= 785 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol *ball joint*

$$\begin{aligned}
 K_{\text{Perlu}} &\leq K_{\text{Desain}} \\
 444.43 \text{ mm} &\leq 785 \text{ mm} \qquad \qquad \qquad \text{Ok}
 \end{aligned}$$

Dalam merencanakan *ball joint* tipe khusus tidak hanya di dasarkan pada kontrol dari keliling *ball joint* dan kuat tekan *ball joint*, karena pada perencanaan *ball joint* tipe khusus tidak memiliki besar sudut yang sama di mana yang di syaratkan minimum sudut yang di bentuk antara dua batang adalah 33,333° (Tabel *Data of Allowable/Maximum Compression Force on Ball Joint/Node*). Jika dalam

perencanaan memiliki sudut kurang dari yang di syaratkan maka, *ball joint* harus di tinjau pada kecukupan pemasangan *Hexagon* pada *ball joint*, yang dapat dilihat pada gambar detail *ball joint*.

4.5.2. Analisis Desain Sambungan Pada *Space Frame Flat Cover*

Desain sambungan *space frame* terintegrasi sistem mero perlu analisis desain *hexagon*, *conus* dan baut sebagai pengunci batang ke sambungan atau *ball joint*. Analisis desain pengunci dapat dilihat pada halaman lampiran.

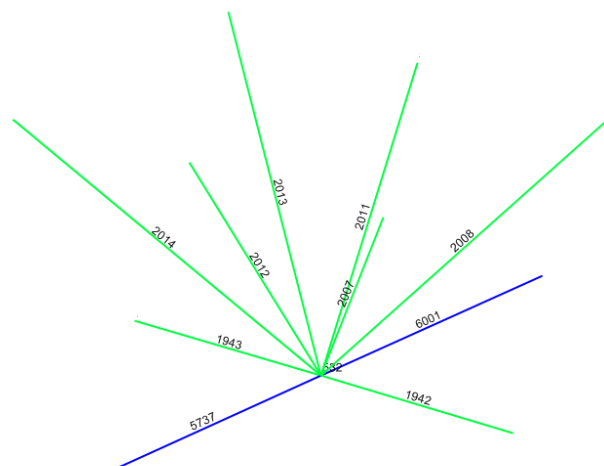
Analisis desain diameter sambungan *space frame* yaitu *ball joint* yaitu:

Direncanakan *ball joint* untuk sambungan *Rafter 1* pada Node 532

Spesifikasi data yang diperlukan:

- Jenis bahan = Baja massif atau As baja
- Standart kualitas = S.45.C
- Tegangan leleh (F_y) = 3000 Kg/cm² - 3700 Kg/cm²
Digunakan $F_y = 3700$ Kg/cm²
- Direncanakan *ball joint* = N235

Maka:



Gambar 4.12: Penomoran batang pada Node 532.

Tabel 4.25: Keterangan batang pada node 532.

No.	Frame Number	Type Hexagon	Gaya Tekan	Diameter Hexagon
1	2014	H 76x66-44	30850.03 Kg	76.18 mm
2	2013	H 76x66-44	33301.24 Kg	76.18 mm
3	2012	H 76x66-44	3752.89 Kg	76.18 mm
4	2011	H 76x66-44	3595.63 Kg	76.18 mm
5	2008	H 76x66-44	31408.17 Kg	76.18 mm
6	2007	H 76x66-44	1266.95 Kg	76.18 mm
7	1943	H 76x66-44	65831.66 Kg	76.18 mm
8	1942	H 76x66-44	11266.65 Kg	76.18 mm
9	6001	H 76x66-44	3496.28 Kg	76.18 mm
10	5737	H 46x40-25	3609.68 Kg	46.17 mm
Total			188379.18 Kg	731.79 mm

Keliling permukaan tengah bola:

$$\begin{aligned}
 K &= \pi \times d \\
 &= 3.14 \times 235 \\
 &= 737.9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol *ball joint*

$$\begin{aligned}
 K_{\text{Perlu}} &\leq K_{\text{Desain}} \\
 737.9 \text{ mm} &\leq 737.9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

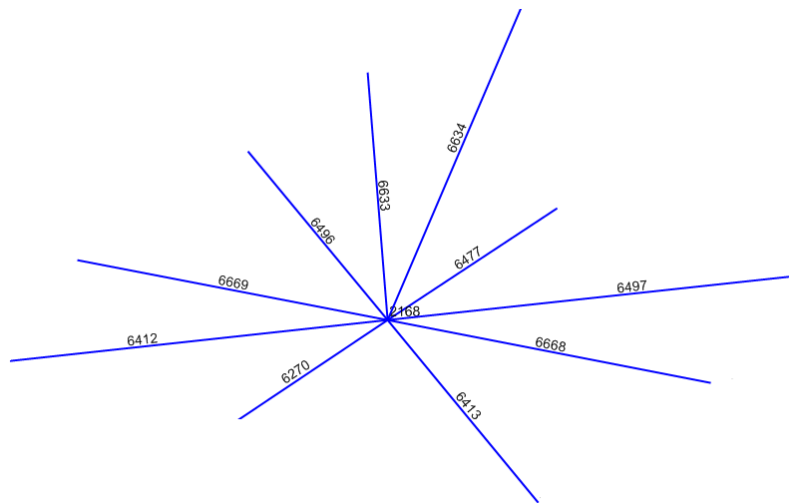
Ok

Direncanakan *ball joint Rafter 2* pada Node 2168

Spesifikasi data yang diperlukan:

- Jenis bahan = Baja massif atau As baja
- Standart kualitas = S.45.C
- Tegangan leleh (Fy) = 3000 Kg/cm² - 3700 Kg/cm²
Digunakan Fy = 3700 Kg/cm²
- Direncanakan *ball joint* = N150

Maka:



Gambar 4.13: Penomoran batang pada Node 2168.

Tabel 4.26: Keterangan batang pada node 2168.

No.	Frame Number	Type Hexagon	Gaya Tekan	Diameter Hexagon
1	6669	H 46x40-25	538.12 Kg	46.17 mm
2	6668	H 46x40-25	515.63 Kg	46.17 mm
3	6634	H 46x40-25	15498.66 Kg	46.17 mm
4	6633	H 46x40-25	14710.16 Kg	46.17 mm
5	6497	H 46x40-25	747.55 Kg	46.17 mm
6	6496	H 46x40-25	2595.62 Kg	46.17 mm
7	6477	H 46x40-25	24329.06 Kg	46.17 mm
8	6413	H 46x40-25	5179.69 Kg	46.17 mm
9	6412	H 46x40-25	2601.63 Kg	46.17 mm
10	6270	H 46x40-25	8402.77 Kg	46.17 mm
Total			75118.89 Kg	461.7 mm

Keliling permukaan tengah bola:

$$\begin{aligned}
 K &= \pi \times d \\
 &= 3.14 \times 150 \\
 &= 471 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol *ball joint*

$$\begin{aligned}
 K_{\text{Perlu}} &\leq K_{\text{Desain}} \\
 461.7 \text{ mm} &\leq 471 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

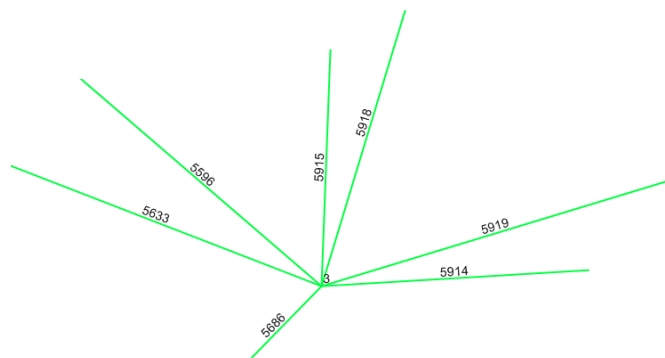
Ok

Direncanakan *ball joint* Tumpuan pada Node 1307

Spesifikasi data yang diperlukan:

- Jenis bahan = Baja massif atau As baja
- Standart kualitas = S.45.C
- Tegangan leleh (Fy) = 3000 Kg/cm² - 3700 Kg/cm²
Digunakan Fy = 3700 Kg/cm²
- Direncanakan *ball joint* = N250

Maka:



Gambar 4.14: Penomoran batang pada Node 1307.

Tabel 4.27: Keterangan batang pada node 1307.

No.	Frame Number	Type Hexagon	Gaya Tekan	Diameter Hexagon
1	4753	H 76x66-44	26937.1 Kg	76.18 mm
2	4750	H 76x66-44	24772.58 Kg	76.18 mm
3	4749	H 76x66-44	22749.04 Kg	76.18 mm
4	4748	H 76x66-44	30037.05 Kg	76.18 mm
5	4747	H 76x66-44	9542 Kg	76.18 mm
6	4746	H 76x66-44	14392.8 Kg	76.18 mm
7	4726	H 76x66-44	1832.91 Kg	76.18 mm
8	2766	H 76x66-44	4805.34 Kg	76.18 mm
9	5061	H 46x40-25	2993.34 Kg	46.17 mm
Total			138062.16 Kg	655.61 mm

Keliling permukaan tengah bola:

$$\begin{aligned}
 K &= \pi \times d \\
 &= 3.14 \times 250 \\
 &= 785 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol *ball joint*

$$K_{Perlu} \leq K_{Desain}$$
$$655.61 \text{ mm} \leq 785 \text{ mm}$$

Ok

Dalam merencanakan *ball joint* tipe khusus tidak hanya di dasarkan pada kontrol dari keliling *ball joint* dan kuat tekan ball joint, karena pada perencanaan *ball joint* tipe khusus tidak memiliki besar sudut yang sama di mana yang di syaratkan minimum sudut yang di bentuk antara dua batang adalah $33,333^\circ$ (Tabel *Data of Allowable/Maximum Compression Force on Ball Joint/Node*). Jika dalam perencanaan memiliki sudut kurang dari yang di syaratkan maka, ball joint harus di tinjau pada kecukupan pemasangan *Hexagon* pada *ball joint*, yang dapat dilihat pada gambar detail *ball joint*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Kekakuan dan Lendutan *space frame*

a. Terhadap beban gempa

Dari hasil analisis *software* yang terdapat pada Tabel 4.14 dan Tabel 4.15 menunjukkan bahwa Beban Gempa terjadi *Strength* (Kekakuan) tetapi tidak terjadi *Deflection* (Lendutan) terhadap arah X dan Y pada struktur *space frame barrel vaults* maupun *flat cover*. Namun nilai pengaruh beban gempa pada struktur yang telah dianalisis menggunakan *software* dapat dilihat bahwa beban gempa yang terjadi pada struktur *space frame barrel vaults* yaitu arah X *Weight Used* = **1201383.22** Kgf, dan *Base Shear* = **98112.96** Kgf, Arah Y *Weight Used* = **1201383.22** Kgf, dan *Base Shear* = **98112.96** Kgf. Sedangkan beban gempa yang terjadi pada struktur *space frame flat cover* yaitu arah X *Weight Used* = **1786102.92** Kgf dan *Base Shear* = **113619.41**Kgf, Arah Y yaitu *Weight Used* = **1786102.92** Kgf dan *Base Shear* = **131260.24** Kgf.

b. Terhadap beban angin

Dari Tabel 4.14 pada struktur *space frame barrel vaults* menunjukkan bahwa *Strength* (Kekakuan) dan *Deflection* (Lendutan) pada struktur Rafter 1, Rafter 2 dan Gording terhadap beban angin arah X maupun arah Y. Sedangkan dari tabel 4.15 pada struktur *space frame flat cover* menunjukkan bahwa *Strength* (Kekakuan) dan *Deflection* (Lendutan) pada struktur *rafter 1*, *rafter 2* dan Gording terhadap beban angin arah X maupun arah Y.

Dengan nilai yang terjadi pada struktur *space frame barrel vaults* terhadap beban angin arah X *Rafter 1* menunjukkan nilai $F_x = -137.73$ Kgf, $F_y = 5.632E-07$ Kgf, $F_z = 3423.53$ Kgf, dan *Rafter 2* menunjukkan nilai $F_x = 0$ Kgf, $F_y = 0$ Kgf, $F_z = 0$ Kgf. Beban angin arah Y *Rafter 1* menunjukkan nilai $F_x = 137.73$ Kgf, $F_y = -5.632E-07$ Kgf, $F_z = -3423.53$ Kgf, dan *Rafter 2* menunjukkan nilai $F_x = 0$ Kgf, $F_y = 0$ Kgf, $F_z = 0$ Kgf.

Sedangkan untuk struktur *space frame flat cover* terhadap beban angin arah X *Rafter 1* menunjukkan nilai $FX = -3.881E-10$ Kgf, $FY = 280.21$ Kgf, $FZ = 1589.12$ Kgf, dan *Rafter 2* menunjukkan nilai $FX = 0$ Kgf, $FY = 0$ Kgf, $FZ = 0$ Kgf. Beban angin arah Y *Rafter 1* menunjukkan nilai $FX = 3.881E-10$ Kgf, $FY = -280.21$ Kgf, $FZ = -1589.12$ Kgf, dan *Rafter 2* menunjukkan nilai $FX = 0$ Kgf, $FY = 0$ Kgf, $FZ = 0$ Kgf.

2. Desain Sambungan batang atau *member joint* pada *space frame* model *barrel vaults* menggunakan *ball joint* untuk *rafter 1* = $\varnothing 200$ mm, *rafter 2* = $\varnothing 125$ mm, dan tumpuan $\varnothing 250$ mm. Sedangkan *space frame* model *flat cover* menggunakan *ball joint* untuk *rafter 1* = $\varnothing 235$ mm, *rafter 2* = $\varnothing 150$ mm, dan tumpuan = $\varnothing 250$ mm.
3. Dari hasil analisis *space frame barrel vaults* dan *flat cover* terhadap pembebanan yang telah di input pada *software* serta analisis sambungan menggunakan *ball joint* menunjukkan bahwa struktur *space frame* model *barrel vaults* lebih baik untuk digunakan pada daerah Banda Aceh, dikarenakan rasio kekuatan rangka *space frame* lebih kaku dan jugak penggunaan sambungan yang lebih efisien.

5.2. Saran

Pada kesempatan ini penyusun ingin menyampaikan beberapa saran agar kesalahan - kesalahan ataupun kendala - kendala yang dialami penyusun tidak terulang kembali pada perencanaan struktur ruang berikutnya :

1. Dalam perencanaan sambungan *space frame* menggunakan *ball joint* di usahakan menggunakan tipe *Hexagon/Hexnut* sekecil mungkin untuk mendapatkan dimensi baut dan *ball joint* yang kecil.
2. Sudut pembentuk antara dua batang sebaiknya memenuhi standart 33.33° agar dimensi *ball joint* lebih efisien, pada saat pemasangan tidak perlu membesarkan *ball joint* nya.
3. Dimasa pandemi Covid-19 ini saya harap ada wadah yang lebih baik dalam melakukan bimbingan agar tidak terkendala dikarenakan kurangnya pemahaman dalam memahami perbaikan-perbaikan yang disampaikan dosen pembimbing

kepada mahasiswa yang bersangkutan pada saat penyusunan tugas akhir ini.

4. Untuk masa pengerjaan penelitian dimohon agar diperpanjang tanpa harus mengajukan surat permohonan karena akan melalui prosedur yang dimana akan sangat berbahaya di saat masa pandemi Covid-19 ini, misalnya menerbitkan kebijakan dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim.2012.Badan Penanggulangan Bencana Aceh rencana penanggulangan bencana (RPB) tahun 2012 – 2017.
- Rionaldhy Adrian L.. 2007. Desain Software Space Frame Menggunakan MERO Sistem Terintegrasi Dengan SAP2000 V14.1.
- AISC, Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Section, American Institute of Steel Conctruction Ltd.,2000
- Gosnel,Densill,Beginning Visual Basic.NET Database Programming,Wrox Press Ltd:2002.
- Chen,Wai Fah,Handbook of Structural Engineering,CRC Press:2004.
- American Institute of Civil Engineering,,2000.Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Section, American Institute of Steel Conctruction Ltd.
- Ramaswamy,G.S.,Eekhout,M.,Suresh,G.R.2002. Analysis, Design and Construction of Steel Space Frame. London: Thomas Telford.
- Fajaria dewi kurnia. (2015). Redesign struktur atap dengan model space truss (rangka ruang) pada stadion Jember sport garden.
- Anonim. Tanpa Tahun. Table Untuk Sambungan Sistem Mero. Jakarta: PT.Bimantama Arkindo.
- American Society for Testing and Material, 2006, “*Annual Book of ASTM Standarts*”. America. ASTM.
- Badan Standarisasi Nasional. 2015. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung SNI 03-1729-2015*. Jakarta. Departemen Pekerjaan Umum.
- Ebadi Mehdi¹, Davoodi Mohammadreza². 2012. Int.J.Sci.Emerging Tech “*Evaluate Axial Stiffness of the MERO Connection, Under the Effect of Hardening the Screw*”. Vol-4 No.1 Hal 117-118.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung SNI 03-1726-2012*. Jakarta. Departemen Pekerjaan Umum.

Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain SNI 03-1727-2013*. Jakarta. Departemen Pekerjaan Umum.

Yohan adimas wibisono.2018. Studi analisis struktur *baja double bracing barrel vault* dan *three-way space grid barrel vault*

Karolina Trirahayu. 2001. Studi Alternatif Bentuk Perencanaan Konstruksi Atap 3D dengan Menggunakan Sambungan Sistem Mero.

LAMPIRAN

6.1. Analisis Desain Batang *Space Frame Barrel Vaults*

Adapun spesifikasi teknis dari material baja pipa yang di gunakan untuk struktur rangka *space frame barrel vaults* yaitu sebagai berikut :

- *Standart* Kualitas Pipa = ASTM A 53 Grades B
- Tegangan Leleh (f_y) = 240 MPa
- Tegangan Tarik (f_u) = 370 MPa
- *Modulus Elastisitas* (E) = 210000 MPa
- *Poissons Ratio* (ν) = 0.30
- *Density* = 0.00007850 MPa
- *Thermal Coeff* (α) = 0.000012 /°C
- *Critical Damping* = 0.03
- *Shear Modulus* (G) = 78846.200 MPa

6.1.1. Analisis Desain Batang Tarik *Rafter 1*

Dalam merencanakan batang baja pipa direncanakan untuk struktur *Rafter 1* menggunakan *property* sebagai berikut:

- Diameter (\emptyset) Luar = 150 mm
- Diameter (\emptyset) Dalam = 130 mm
- Luas penampang (A_g) = 17671.4587mm² = 176.7146cm²
- *Wall Thickness* (t) = 20 mm
- Gaya Batang Maks. = 62150.53Kgf

Syarat ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) harus memenuhi persyaratan spesifikasi kekuatan desai sebagai berikut :

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

Luas Neto Efektif

Dimana untuk komponen struktur tanpa lubang, luas neto tersebut, A_n adalah sama dengan luas bruto, A_g , maka :

Diketahui :

- Diameter Luar (OD) = 150 mm
- Diameter Dalam (ID) = 130 mm

Maka:

$$\begin{aligned} A_g &= 0.25 \times 3.14 \times \emptyset OD^2 - 0.25 \times 3.14 \times \emptyset ID^2 \\ &= 0.25 \times 3.14 \times 150^2 - 0.25 \times 3.14 \times 130^2 \\ &= 17662.5 - 13266.5 \end{aligned}$$

$$= 4396 \text{ mm}^2$$

$$= 0.004396 \text{ m}^2$$

Batas leleh tarik pada penampang bruto:

$$P_n = F_y \times A_g \tag{2.13}$$

$$P_n = 240 \times 4396$$

$$= 1054320 \text{ N}$$

$$= 105432 \text{ Kg}$$

6.1.2. Analisis Desain Batang Tekan Rafter 1

Dalam merencanakan batang baja pipa direncanakan untuk struktur *Rafter 1* menggunakan *property* sebagai berikut:

- Diameter (\emptyset) Luar = 150 mm
- Diameter (\emptyset) Dalam = 130 mm
- Luas penampang (A_g) = 17671.4587mm² = 176.7146cm²
- *Wall Thickness* (t) = 20 mm
- Gaya batang maks. = 62150.53 Kgf
- *Modulus elastisitas* (E) = 210000 Mpa
- *Tegangan leleh* (F_y) = 240 Mpa

Syarat ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) harus memenuhi persyaratan spesifikasi kekuatan desai sebagai berikut :

$$R_u \leq \phi R_n \tag{2.6}$$

Klasifikasi Penampang Untuk Tekuk Lokal

Untuk kondisi tekan, penampang diklasifikasikan sebagai elemen non langsing atau penampang elemen-langsing. Untuk profil elemen non langsing, rasio tebal terhadap lebar dari elemen tekan tidak boleh melebihi λ_r . Jika rasio tersebut melebihi λ_r , disebut penampang dengan elemen langsing.

$$D/t \geq 0.11 \times \frac{E}{F_y} \tag{Langsing}$$

$$\frac{150}{20} \geq 0.11 \times \frac{210000}{240}$$

$$7.5 \leq 96.25 \tag{Non Langsing}$$

Panjang Efektif

- Faktor panjang efektif (K) = 1
- Panjang batang (L) = 2000mm
- Radius Girasi (r) = $\sqrt{\frac{I}{A}}$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{\pi}{64} \times (\emptyset OD^4 - \emptyset ID^4) \\
 &= \frac{3.14}{64} \times (150^4 - 130^4) \\
 &= 0.049 \times (506250000 - 285610000) \\
 &= 0.049 \times 220640000 \\
 &= 10811360 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Maka radius girasi:

$$\begin{aligned}
 r &= \sqrt{\frac{I}{A}} \\
 &= \sqrt{\frac{10811360}{4396}} \\
 &= \sqrt{2459.3} \\
 &= 49.59 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (K \times L)/r &< 200 && (2.21) \\
 (1 \times 2000)/49.59 &< 200 \\
 2000/49.59 &< 200 \\
 40.33 &< 200 && \text{Ok}
 \end{aligned}$$

Tekuk Lentur dari Komponen Struktur Tanpa Elemen Langsing

Kekuatan tekan nominal, Pn, harus di tentukan berdasarkan keadaan batas dari tekuk lentur.

$$Pn = Ag \times fcr \quad (2.22)$$

Untuk menentukan tegangan kritis, Fcr di tentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{KL}{r} \leq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{Fy}} & \quad Fcr = \left(0.658 \frac{Fy}{Fe}\right) \times Fy \\
 \frac{KL}{r} \geq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{Fy}} & \quad Fcr = 0.887 \times Fe
 \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned}
 \frac{KL}{r} &\leq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{Fy}} \\
 \frac{2000}{49.59} &\leq 4.71 \times \sqrt{\frac{210000}{240}} \\
 40.33 &\leq 139.324 && \text{Maka digunakan} && Fcr = \left(0.658 \frac{Fy}{Fe}\right) \times Fy
 \end{aligned}$$

Dimana:

Tegangan tekuk kritis elastis ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{\pi^2 x E}{\left(\frac{K.L}{r}\right)^2} & (2.27) \\ &= \frac{3.14^2 x 210000}{(40.33)^2} \\ &= \frac{9.8596 x 210000}{1626.50} \\ &= \frac{2070516}{1626.50} \\ &= 1272.96 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Tegangan kritis ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] x F_y & (2.24) \\ &= \left[0.658 \frac{240}{1272.96} \right] x 240 \text{ Mpa} \\ &= \left[0.658^{0.188} \right] x 240 \text{ Mpa} \\ &= 0.924 x 240 \text{ Mpa} \\ &= 221.83 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kuat tekan nominal:

$$\begin{aligned} P_n &= A_g x f_{cr} & (2.22) \\ P_n &= 221.83 x 4396 \\ &= 975164.68 \text{ Kg} \end{aligned}$$

6.1.3. Analisis Desain Batang Tarik Rafter 2

Dalam merencanakan batang baja pipa direncanakan untuk struktur *Rafter 2* menggunakan *property* sebagai berikut:

- Diameter (\emptyset) Luar = 100 mm
- Diameter (\emptyset) Dalam = 90 mm
- Luas penampang (A_g) = 7853.9816 mm² = 78.539 cm²
- *Wall Thickness* (t) = 10 mm
- Gaya batang maks. = 12553.3 Kgf

Syarat ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) harus memenuhi persyaratan spesifikasi kekuatan desai sebagai berikut :

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

Luas Neto Efektif

Dimana untuk komponen struktur tanpa lubang, luas neto tersebut, A_n adalah sama dengan luas bruto, A_g , maka :

Diketahui :

- Diameter Luar (*OD*) = 100 mm
- Diameter Dalam (*ID*) = 90 mm

Maka:

$$\begin{aligned}
 A_g &= 0.25 \times 3.14 \times \phi OD^2 - 0.25 \times 3.14 \times \phi ID^2 \\
 &= 0.25 \times 3.14 \times 100^2 - 0.25 \times 3.14 \times 90^2 \\
 &= 7850 - 6358.5 \\
 &= 1491.5 \text{ mm}^2 \\
 &= 0.0014915 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Batas leleh tarik pada penampang bruto:

$$\begin{aligned}
 P_n &= F_y \times A_g && (2.13) \\
 P_n &= 240 \times 1491.5 \\
 &= 357960 \text{ N} \\
 &= 35796 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

6.1.4. Analisis Desain Batang Tekan Rafter 2

Dalam merencanakan batang baja pipa direncanakan untuk struktur *Rafter 2* menggunakan *property* sebagai berikut:

- Diameter (ϕ) Luar = 100 mm
- Diameter (ϕ) Dalam = 90 mm
- Luas penampang (*Ag*) = 7853.9816 mm² = 78.539 cm²
- *Wall Thickness* (*t*) = 10 mm
- Gaya batang maks. = 12553.3 Kgf
- *Modulus elastisitas* (*E*) = 210000 Mpa
- Tegangan leleh (*Fy*) = 240 Mpa

Syarat ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) harus memenuhi persyaratan spesifikasi kekuatan desai sebagai berikut :

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

Klasifikasi Penampang Untuk Tekuk Lokal

Untuk kondisi tekan, penampang diklasifikasikan sebagai elemen nonlangsing atau penampang elemen-langsing. Untuk profil elemen nonlangsing, rasio tebal terhadap lebar dari elemen tekan tidak boleh melebihi λ_r . Jika rasio tersebut melebihi λ_r , disebut penampang dengan elemen langsing.

$$\begin{aligned}
 D/t &\geq 0.11 \times \frac{E}{F_y} && \text{Langsing} \\
 \frac{100}{10} &\geq 0.11 \times \frac{210000}{240} \\
 10 &\leq 96.25 && \text{Non Langsing}
 \end{aligned}$$

Panjang Efektif

- Faktor panjang efektif (*K*) = 1

- Panjang batang (L) = 2000mm
- Radius Girasi (r) = $\sqrt{\frac{I}{A}}$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{\pi}{64} \times (\emptyset OD^4 - \emptyset ID^4) \\
 &= \frac{3.14}{64} \times (100^4 - 90^4) \\
 &= 0.049 \times (100000000 - 65610000) \\
 &= 0.049 \times 34390000 \\
 &= 1685110 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Maka radius girasi:

$$\begin{aligned}
 r &= \sqrt{\frac{I}{A}} \\
 &= \sqrt{\frac{1685110}{1491.5}} \\
 &= \sqrt{1129.8} \\
 &= 33.61 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (K \times L)/r &< 200 && (2.21) \\
 (1 \times 2000)/33.61 &< 200 \\
 2000/33.61 &< 200 \\
 59.5 &< 200 && Ok
 \end{aligned}$$

Tekuk Lentur dari Komponen Struktur Tanpa Elemen Langsing

Kekuatan tekan nominal, P_n , harus di tentukan berdasarkan keadaan batas dari tekuk lentur.

$$P_n = A_g \times f_{cr} \quad (2.22)$$

Untuk menentukan tegangan kritis, F_{cr} di tentukan sebagai berikut:

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) \times F_y$$

$$\frac{KL}{r} \geq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad F_{cr} = 0.887 \times F_e$$

Maka:

$$\begin{aligned}
 \frac{KL}{r} &\leq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 \frac{2000}{33.61} &\leq 4.71 \times \sqrt{\frac{210000}{240}}
 \end{aligned}$$

$$59.5 \leq 139.324$$

Maka digunakan

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) \times F_y$$

Dimana:

Tegangan tekuk kritis elastis ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{\pi^2 x E}{\left(\frac{K.L}{r}\right)^2} & (2.27) \\ &= \frac{3.14^2 x 210000}{(59.5)^2} \\ &= \frac{9.8596 x 210000}{3540.97} \\ &= \frac{2070516}{3540.97} \\ &= 584.73 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Tegangan kritis ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \left[0.658 \frac{F_y}{F_e}\right] \times F_y & (2.24) \\ &= \left[0.658 \frac{240}{584.73}\right] \times 240 \text{ Mpa} \\ &= [0.658^{0.43}] \times 240 \text{ Mpa} \\ &= 0.835 \times 240 \text{ Mpa} \\ &= 200.46 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kuat tekan nominal:

$$\begin{aligned} P_n &= A_g \times f_{cr} & (2.22) \\ P_n &= 200.46 \times 1491.5 \\ &= 299000.3 \text{ Kg} \end{aligned}$$

6.2. Analisis Desain Batang Space Frame Flat Cover

Adapun spesifikasi teknis dari material baja pipa yang di gunakan untuk struktur rangka *space frame flat cover* yaitu sebagai berikut :

- *Standart* Kualitas Pipa = ASTM A 53 Grades B
- Tegangan Leleh (*f_y*) = 240 MPa
- Tegangan Tarik (*f_u*) = 370 MPa
- *Modulus Elastisitas* (E) = 210000 MPa
- *Poissons Ratio* (*nu*) = 0.30
- *Density* = 0.00007850 MPa
- *Thermal Coeff* (*a*) = 0.000012 °C
- *Critical Damping* = 0.03
- *Shear Modulus* (G) = 78846.200 MPa

6.2.1. Analisis Desain Batang Tarik Rafter 1

Dalam merencanakan batang baja pipa direncanakan untuk struktur *Rafter 1* menggunakan *property* sebagai berikut:

- Diameter (\emptyset) Luar = 150 mm
- Diameter (\emptyset) Dalam = 130 mm
- Luas penampang (A_g) = 17671.4587mm² = 176.7146cm²
- *Wall Thickness* (t) = 20 mm
- Gaya batang maks. = 65831.7Kgf

Syarat ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) harus memenuhi persyaratan spesifikasi kekuatan desai sebagai berikut :

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

Luas Neto Efektif

Dimana untuk komponen struktur tanpa lubang, luas neto tersebut, A_n adalah sama dengan luas bruto, A_g , maka :

Diketahui :

- Diameter Luar (OD) = 150 mm
- Diameter Dalam (ID) = 130 mm

Maka:

$$\begin{aligned} A_g &= 0.25 \times 3.14 \times \emptyset OD^2 - 0.25 \times 3.14 \times \emptyset ID^2 \\ &= 0.25 \times 3.14 \times 150^2 - 0.25 \times 3.14 \times 130^2 \\ &= 17662.5 - 13266.5 \\ &= 4396 \text{ mm}^2 \\ &= 0.004396 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Batas leleh tarik pada penampang bruto:

$$\begin{aligned} P_n &= F_y \times A_g \\ P_n &= 240 \times 4396 \\ &= 1054320 \text{ N} \\ &= 105432 \text{ Kg} \end{aligned} \quad (2.13)$$

6.2.2. Analisis Desain Batang Tekan Rafter 1

Dalam merencanakan batang baja pipa direncanakan untuk struktur *Rafter 1* menggunakan *property* sebagai berikut:

- Diameter (\emptyset) Luar = 150 mm
- Diameter (\emptyset) Dalam = 130 mm
- Luas penampang (A_g) = 17671.4587mm² = 176.7146cm²
- *Wall Thickness* (t) = 20 mm
- Gaya batang maks. = 65831.7 Kgf
- *Modulus elastisitas* (E) = 210000 Mpa

- Tegangan leleh (F_y) = 240 Mpa

Syarat ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) harus memenuhi persyaratan spesifikasi kekuatan desai sebagai berikut :

$$Ru \leq \phi Rn \quad (2.6)$$

Klasifikasi Penampang untuk tekuk lokal

Untuk kondisi tekan, penampang diklasifikasikan sebagai elemen non langsing atau penampang elemen langsing. Untuk profil elemen non langsing, rasio tebal terhadap lebar dari elemen tekan tidak boleh melebihi λr . Jika rasio tersebut melebihi λr , disebut penampang dengan elemen langsing.

$$D/t \geq 0.11 \times \frac{E}{F_y} \quad \text{Langsing}$$

$$\frac{150}{20} \geq 0.11 \times \frac{210000}{240}$$

$$7.5 \leq 96.25 \quad \text{Non Langsing}$$

Panjang Efektif

- Faktor panjang efektif (K) = 1
- Panjang batang (L) = 2000mm
- Radius Girasi (r) = $\sqrt{\frac{I}{A}}$

Dimana:

$$I = \frac{\pi}{64} \times (\phi OD^4 - \phi ID^4)$$

$$= \frac{3.14}{64} \times (150^4 - 130^4)$$

$$= 0.049 \times (506250000 - 285610000)$$

$$= 0.049 \times 220640000$$

$$= 10811360 \text{ mm}^4$$

Maka radius girasi:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$= \sqrt{\frac{10811360}{4396}}$$

$$= \sqrt{2459.3}$$

$$= 49.59 \text{ mm}$$

$$(K \times L)/r < 200 \quad (2.21)$$

$$(1 \times 2000)/49.59 < 200$$

$$2000/49.59 < 200$$

$$40.33 < 200$$

Ok

Tekuk Lentur dari Komponen Struktur Tanpa Elemen Langsing

Kekuatan tekan nominal, P_n , harus di tentukan berdasarkan keadaan batas dari tekuk lentur.

$$P_n = A_g \times f_{cr} \quad (2.22)$$

Untuk menentukan tegangan kritis, F_{cr} di tentukan sebagai berikut:

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) \times F_y$$

$$\frac{KL}{r} \geq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad F_{cr} = 0.887 \times F_e$$

Maka:

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{2000}{49.59} \leq 4.71 \times \sqrt{\frac{210000}{240}}$$

$$40.33 \leq 139.324$$

Maka digunakan

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) \times F_y$$

Dimana:

Tegangan tekuk kritis elastis ditentukan sebagai berikut:

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (2.27)$$

$$= \frac{3.14^2 \times 210000}{(40.33)^2}$$

$$= \frac{9.8596 \times 210000}{1626.50}$$

$$= \frac{2070516}{1626.50}$$

$$= 1272.96 \text{ Mpa}$$

Tegangan kritis ditentukan sebagai berikut:

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e}\right] \times F_y \quad (2.24)$$

$$= \left[0.658 \frac{240}{1272.96}\right] \times 240 \text{ Mpa}$$

$$= [0.658^{0.188}] \times 240 \text{ Mpa}$$

$$= 0.924 \times 240 \text{ Mpa}$$

$$= 221.83 \text{ Mpa}$$

Kuat tekan nominal:

$$P_n = A_g \times f_{cr} \quad (2.22)$$

$$P_n = 221.83 \times 4396$$

$$= 975164.68 \text{ Kg}$$

6.2.3. Analisis Desain Batang Tarik Rafter 2

Dalam merencanakan batang baja pipa direncanakan untuk struktur *Rafter 2* menggunakan *property* sebagai berikut:

- Diameter (\emptyset) Luar = 100 mm
- Diameter (\emptyset) Dalam = 90 mm
- Luas penampang (A_g) = 7853.9816 mm² = 78.539 cm²
- *Wall Thickness* (t) = 10 mm
- Gaya batang maks. = 24329.1 Kgf

Syarat ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) harus memenuhi persyaratan spesifikasi kekuatan desai sebagai berikut :

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

Luas Neto Efektif

Dimana untuk komponen struktur tanpa lubang, luas neto tersebut, A_n adalah sama dengan luas bruto, A_g , maka :

Diketahui :

- Diameter Luar (OD) = 100 mm
- Diameter Dalam (ID) = 90 mm

Maka:

$$\begin{aligned} A_g &= 0.25 \times 3.14 \times \emptyset OD^2 - 0.25 \times 3.14 \times \emptyset ID^2 \\ &= 0.25 \times 3.14 \times 100^2 - 0.25 \times 3.14 \times 90^2 \\ &= 7850 - 6358.5 \\ &= 1491.5 \text{ mm}^2 \\ &= 0.0014915 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Batas leleh tarik pada penampang bruto:

$$\begin{aligned} P_n &= F_y \times A_g \quad (2.13) \\ P_n &= 240 \times 1491.5 \\ &= 357960 \text{ N} \\ &= 35796 \text{ Kg} \end{aligned}$$

6.2.4. Analisis Desain Batang Tekan Rafter 2

Dalam merencanakan batang baja pipa direncanakan untuk struktur *Rafter 2* menggunakan *property* sebagai berikut:

- Diameter (\emptyset) Luar = 100 mm
- Diameter (\emptyset) Dalam = 90 mm
- Luas penampang (A_g) = 7853.9816 mm² = 78.539 cm²
- *Wall Thickness* (t) = 10 mm

- Gaya batang maks. = 24329.1 Kgf
- *Modulus elastisitas* (E) = 210000 Mpa
- Tegangan leleh (Fy) = 240 Mpa

Syarat ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) harus memenuhi persyaratan spesifikasi kekuatan desai sebagai berikut :

$$Ru \leq \phi Rn \quad (2.6)$$

Klasifikasi Penampang untuk tekuk lokal

Untuk kondisi tekan, penampang diklasifikasikan sebagai elemen nonlangsing atau penampang elemen-langsing. Untuk profil elemen nonlangsing, rasio tebal terhadap lebar dari elemen tekan tidak boleh melebihi λr . Jika rasio tersebut melebihi λr , disebut penampang dengan elemen langsing.

$$D/t \geq 0.11 \times \frac{E}{F_y} \quad \text{Langsing}$$

$$\frac{100}{10} \geq 0.11 \times \frac{210000}{240}$$

$$10 \leq 96.25 \quad \text{Non Langsing}$$

Panjang Efektif

- Faktor panjang efektif (K) = 1
- Panjang batang (L) = 2000mm
- Radius Girasi (r) = $\sqrt{\frac{I}{A}}$

Dimana:

$$I = \frac{\pi}{64} \times (\phi OD^4 - \phi ID^4)$$

$$= \frac{3.14}{64} \times (100^4 - 90^4)$$

$$= 0.049 \times (100000000 - 65610000)$$

$$= 0.049 \times 34390000$$

$$= 1685110 \text{ mm}^4$$

Maka radius girasi:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$= \sqrt{\frac{1685110}{1491.5}}$$

$$= \sqrt{1129.8}$$

$$= 33.61 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
(K \times L)/r &< 200 && (2.21) \\
(1 \times 2000)/33.61 &< 200 \\
2000/33.61 &< 200 \\
59.5 &< 200 && Ok
\end{aligned}$$

Tekuk Lentur dari Komponen Struktur Tanpa Elemen Langsing

Kekuatan tekan nominal, P_n , harus di tentukan berdasarkan keadaan batas dari tekuk lentur.

$$P_n = A_g \times f_{cr} \quad (2.22)$$

Untuk menentukan tegangan kritis, F_{cr} di tentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\frac{KL}{r} \leq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} &&& F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) \times F_y \\
\frac{KL}{r} \geq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} &&& F_{cr} = 0.887 \times F_e
\end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned}
\frac{KL}{r} &\leq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
\frac{2000}{33.61} &\leq 4.71 \times \sqrt{\frac{210000}{240}} \\
59.5 &\leq 139.324 && \text{Maka digunakan} && F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) \times F_y
\end{aligned}$$

Dimana:

Tegangan tekuk kritis elastis ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
F_e &= \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{K.L}{r}\right)^2} && (2.27) \\
&= \frac{3.14^2 \times 210000}{(59.5)^2} \\
&= \frac{9.8596 \times 210000}{3540.97} \\
&= \frac{2070516}{3540.97} \\
&= 584.73 \text{ Mpa}
\end{aligned}$$

Tegangan kritis ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
F_{cr} &= \left[0.658 \frac{F_y}{F_e}\right] \times F_y && (2.24) \\
&= \left[0.658 \frac{240}{584.73}\right] \times 240 \text{ Mpa} \\
&= [0.658^{0.43}] \times 240 \text{ Mpa} \\
&= 0.835 \times 240 \text{ Mpa} \\
&= 200.46 \text{ Mpa}
\end{aligned}$$

Kuat tekan nominal:

$$\begin{aligned} P_n &= A_g \times f_{cr} & (2.22) \\ P_n &= 200.46 \times 1491.5 \\ &= 299000.3 \text{ Kg} \end{aligned}$$

6.3. Analisis Sambungan Sistem Mero

6.3.1. Analisis Desain Sambungan Pada *Space Frame Barrel Vaults*

A. Perencanaan *Hexagon*

Direncanakan *hexagon* untuk sambungan pada *Rafter 1*

Perencanaan kekuatan *hexagon/hexnut* berdasarkan pada luas penampang karena selain sebagai pengunci juga berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya saat tekan.

Direncanakan *hexagon*:

- Kegunaan = pengunci
- Jenis bahan = baja massif segi enm
- *Standart* kualitas = JIS (STK 41)
- Tegangan leleh (f_y) = 2200 Kg/cm² 3500 Kg/cm²
Digunakan = 3500.00 Kg/cm²
- Gaya tekan maksimum yang terjadi pada baja pipa:
Rafter 1 = 62150.53 Kg
Rafter 2 = 12553.30 Kg
- Direncanakan menggunakan baut = M 24 x 50
- Tipe *hexagon* = H 47.3x 41-25

Keterangan desain:

- *Insert to node* = 30 mm
- *Conus insert* = 24 mm
- *Hexagon length* = 64 mm
- *Type of wrench* = 55 mm
- *Hex hole* = 25 mm

Untuk *hexagon/hexnut* tipe H 47.3 x 41-25

$$\begin{aligned} a &= \left[\frac{0.5 \times Wrench}{\cos(\alpha)} \right] \\ &= \left[\frac{0.5 \times 5.5}{\cos(30^\circ)} \right] = \left[\frac{2.75}{0.866} \right] \\ &= 3.175 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \left[\frac{0.5 \times Hex Hole}{\cos(\alpha)} \right] \\ &= \left[\frac{0.5 \times 2.5}{\cos(30^\circ)} \right] = \left[\frac{1.25}{0.866} \right] \\ &= 1.443 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$t = 0,5 \times (\text{Type Of Wrench} - \text{Hex Hole})$$

$$= 0.5 \times 5.5 - 2.5$$

$$= 1.5 \text{ cm}$$

$$A = 6.00 \times \frac{(a+b)}{2} \times t$$

$$= 6.00 \times \frac{3.175+1.443}{2} \times 1.5$$

$$= 6.00 \times 2.309 \times 1.5$$

$$= 20.785 \text{ cm}^2$$

$$d = a + (\tan \alpha \times 0.5 \times \text{Type Of Wrench}) \times 2$$

$$= 3.175 + (\tan 30^\circ \times 0.5 \times 5.5) \times 2$$

$$= 3.715 + 1.586 \times 2$$

$$= 6.349 \text{ cm}$$

Kapasitas tekan maksimum untuk M 10 x 50

$$P = 0.90 \times F_y \times A_g$$

$$= 0.90 \times 3500 \times 20.785$$

$$= 65473.44 \text{ Kg}$$

P Max. Terjadi < P Max. Rencana

$$62150.53 \text{ Kg} < 65473.44 \text{ Kg}$$

Ok

Direncanakan *hexagon* untuk sambungan pada *Rafter 2*

Direncanakan menggunakan baut = M 16 x 80
Tipe *Hexagon* = H 40 x 24 – 17

Keterangan desain:

- *Insert to node* = 24.00 mm
- *Conus insert* = 16.00 mm
- *Hexagon Length* = 40.00 mm
- *Type of wrench* = 28 mm
- *Hex hole* = 17.00 mm

Untuk *hexagon/hexnut* tipe H 40x 24 – 17

$$a = \left[\frac{0.5 \times \text{Wrench}}{\cos(\alpha)} \right]$$

$$= \left[\frac{0.5 \times 2.8}{\cos(30^\circ)} \right] = \left[\frac{1.4}{0.866} \right]$$

$$= 1.617 \text{ cm}$$

$$b = \left[\frac{0.5 \times \text{Hex Hole}}{\cos(\alpha)} \right]$$

$$= \left[\frac{0.5 \times 1.7}{\cos(30^\circ)} \right]$$

$$= 0.982 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 t &= 0,5 \times (\text{Type Of Wrench} - \text{Hex Hole}) \\
 &= 0.5 \times 2.8 - 1.700 \\
 &= 0.55 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= 6.00 \times \frac{(a+b)}{2} \times t \\
 &= 6.00 \times \frac{1.617+0.981}{2} \times 0.55 \\
 &= 6 \times 1.299 \times 0.55 \\
 &= 4.287 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= a + (\tan \alpha \times 0.5 \times \text{Type Of Wrench}) \times 2 \\
 &= 1.616 + (\tan 30^\circ \times 0.5 \times 2.8) \times 2 \\
 &= 1.616 + 0.807 \times 2 \\
 &= 3.232 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Kapasitas tekan maksimum untuk M 16 x 80

$$\begin{aligned}
 P &= 0.90 \times F_y \times A_g \\
 &= 0.90 \times 3500.00 \times 4.286 \\
 &= 13503.9 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

P Max. Terjadi < P Max. Rencana

$$12553.3 \text{ Kg} < 13503.9 \text{ Kg}$$

Ok

B. Perencanaan Conus

Direncanakan *conus* untuk sambungan pada *Rafter 1*

Conus merupakan perangkat yang berfungsi menghubungkan batang pipa ke sistem sambungan yang menerima dan menyalurkan beban yang bekerja. Bentuk *conus* merupakan bentuk lingkaran dengan model tertentu yang diameternya sesuai dengan pipa yang dipakai. Melalui *conus* inilah beban atau gaya batang pada penampang lingkaran disalurkan keperangkat lain, yaitu *hexagon*. Hubungan *conus* dengan pipa disambung dengan las.

Direncanakan *conus* menggunakan:

- Kegunaan = Tutup Ujung Pipa
- Jenis Bahan = Baja Masif
- Standart Kualitas = JIS (STK 41)
- Tegangan Leleh = 2200 Kg/Cm² – 3500 Kg/Cm²
Digunakan : $f_y = 370 \text{ MPa}$
- Diameter *conus* = 4"-6" atau 100 mm – 150 mm

Gaya tekan aksial maksimum pada *property* batang adalah sebagai berikut:

- *Rafter 1* = 62150.53 Kg
- *Rafter 2* = 12553.30 Kg

Perhitungan tebal minimum *conus* untuk *rafter 1*:

- Diameter (\emptyset) Luar = 150 mm
- Diameter (\emptyset) Dalam = 130 mm
- Wall Thickness (t) = 20 mm

Luas perlu minimum penampang *conus* yang disambung pada pipa:

$$\begin{aligned}
 tw_c &= \frac{\Phi P_{max}}{F_y} \\
 &= \frac{0.9 \times 62150.53}{370} \\
 &= \frac{55935.477}{370} \\
 &= 36.64286 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dicoba tebal *conus* sama dengan tebal pipa yang akan disambung:

$$\begin{aligned}
 A_{Desain} &= \text{luas permukaan luar pipa} - \text{luas permukaan dalam pipa} \\
 &= 0.25 \times 3.14 \times \phi OD^2 - 0.25 \times 3.14 \times \phi ID^2 \\
 &= 0.25 \times 3.14 \times 150^2 - 0.25 \times 3.14 \times 130^2 \\
 &= 17662.5 - 13266.5 \\
 &= 4396 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol tebal *conus*

$$\begin{aligned}
 A_{perlu} &\leq A_{Desain} \\
 151.17 \text{ mm}^2 &\leq 4396 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena luas penampang baja pipa lebih besar dari pada luas perlu *conus* maka tebal *conus* yang digunakan sama dengan tebal baja pipa.

Direncanakan *conus* untuk sambungan pada *Rafter 2*

- Diameter (\emptyset) Luar = 100 mm
- Diameter (\emptyset) Dalam = 90 mm
- Wall Thickness (t) = 10 mm

Luas perlu minimum penampang *conus* yang disambung pada pipa:

$$\begin{aligned}
 tw_c &= \frac{\Phi P_{max}}{F_y} \\
 &= \frac{0.9 \times 12553.3}{370} \\
 &= \frac{1129.9}{370} \\
 &= 30.54 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dicoba tebal *conus* sama dengan tebal pipa yang akan disambung:

$$\begin{aligned}
 A_{Desain} &= \text{luas permukaan luar pipa} - \text{luas permukaan dalam pipa} \\
 &= 0.25 \times 3.14 \times \phi OD^2 - 0.25 \times 3.14 \times \phi ID^2 \\
 &= 0.25 \times 3.14 \times 100^2 - 0.25 \times 3.14 \times 90^2 \\
 &= 7850 - 6358.5 \\
 &= 1491.5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol tebal *conus*

$$\begin{aligned} A_{perlu} &\leq A_{Desain} \\ 30.54 \text{ mm}^2 &\leq 1491.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena luas penampang baja pipa lebih besar dari pada luas perlu *conus* maka tebal *conus* yang digunakan sama dengan tebal baja pipa.

C. Perencanaan Baut

Baut yang direncanakan harus dikontrol terhadap kekuatan tariknya, Karena baut hanya bekerja pada saat batang mengalami aksi tarik.

Direncanakan baut:

- Kegunaan = Menahan Gaya Tarik
- *Standart* Kualitas = JIS B 1180
- *Strenght Grade* = T8.8
- Jenis Ulir = Ulir Kasar
- Gaya tarik maksimum yang terjadi pada baja pipa:
 Rafter 1 = 19384.46 Kg
 Rafter 2 = 7605.920 Kg
- Gaya Geser Maksimum yang terjadi pada baja pipa:
 Rafter 1 = 1395.74 Kg
 Rafter 2 = 205.340 Kg

Direncanakan baut untuk sambungan pada *Rafter 1*

Syarat ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) harus memenuhi persyaratan spesifikasi kekuatan desain sebagai berikut:

$$R_u \leq \Phi R_n \quad (2.6)$$

Direncanakan menggunakan baut ASTM A325 dengan ketentuan:

- Diameter Baut ϕ) = 24mm
- Kekuatan Tarik Min. = 620 MPa
- Kekuatan Geser Min. = 457 MPa

Luas penampang baut:

$$\begin{aligned} A_g &= 0.25 \times 3.14 \times D^2 \\ &= 0.25 \times 3.14 \times 24^2 \\ &= 452.16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kuat tarik rencana baut:

$$\begin{aligned} R_n &= F_n \times A_b \\ &= 620 \times 452.16 \\ &= 280339.2 \text{ N} \\ &= 28033.92 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan tarik baut:

$$\begin{aligned}
R_u &\leq \Phi R_n && (2.6) \\
R_u &\leq 0.75 \times R_n \\
19384.46 &\leq 0.75 \times 28033.92 \text{ Kg} \\
19384.46 &\leq 21025.44 \text{ Kg} && \text{Ok}
\end{aligned}$$

Kuat geser rencana baut :

$$\begin{aligned}
R_n &= F_n \cdot A_b && (2.37) \\
&= 457 \times 452.16 \\
&= 206637.12 \text{ N} \\
&= 20663.712 \text{ Kg}
\end{aligned}$$

Kontrol kekuatan geser baut :

$$\begin{aligned}
R_u &\leq \phi R_n \\
R_u &\leq 0.75 \times R_n \\
1395.74 \text{ Kg} &\leq 20663.712 \text{ Kg} \\
1395.74 \text{ Kg} &\leq 15497.784 \text{ Kg} && \text{Ok}
\end{aligned}$$

Direncanakan baut untuk sambungan pada *Rafter 2*

Syarat ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) harus memenuhi persyaratan spesifikasi kekuatan desain sebagai berikut:

$$R_u \leq \Phi R_n \quad (2.6)$$

Direncanakan menggunakan baut ASTM A325 dengan ketentuan:

- Diameter Baut (\emptyset) = 16 mm
- Kekuatan Tarik Min. = 620 MPa
- Kekuatan Geser Min. = 457 MPa

Luas penampang baut:

$$\begin{aligned}
A_g &= 0.25 \times 3.14 \times D^2 \\
&= 0.25 \times 3.14 \times 16^2 \\
&= 200.96 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Kuat tarik rencana baut :

$$\begin{aligned}
R_n &= F_n \times A_b \\
&= 620 \times 200.96 \\
&= 124595.20 \text{ N} \\
&= 12459.52 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Kontrol kekuatan tarik baut :

$$\begin{aligned}
R_u &\leq \Phi R_n && (2.6) \\
R_u &\leq 0.75 \times R_n \\
7605.92 &\leq 0.75 \times 12459.52 \text{ Kg} \\
7605.92 &\leq 9344.64 \text{ Kg} && \text{Ok}
\end{aligned}$$

Kuat geser rencana baut :

$$\begin{aligned} R_n &= F_n \cdot A_b \\ &= 457 \times 200.96 \\ &= 91838.72 \text{ N} \\ &= 9183.872 \text{ Kg} \end{aligned} \tag{2.37}$$

Kontrol kekuatan geser baut :

$$\begin{aligned} R_u &\leq \phi R_n \\ R_u &\leq 0.75 \times R_n \\ 205.34 \text{ Kg} &\leq 9183.872 \text{ Kg} \\ 205.34 \text{ Kg} &\leq 6887.9 \text{ Kg} \end{aligned} \tag{Ok}$$

6.3.2. Analisis Desain Sambungan Pada *Space Frame Flat Cover*

A. Perencanaan *Hexagon*

Direncanakan *hexagon* untuk sambungan pada *Rafter 1*

Perencanaan kekuatan *hexagon/hexnut* berdasarkan pada luas penampang karena selain sebagai pengunci juga berfungsi sebagai penyalur gaya-gaya saat tekan.

Direncanakan *hexagon* :

- Kegunaan = pengunci
- Jenis bahan = baja massif segi enm
- *Standart* kualitas = JIS (STK 41)
- Tegangan leleh (f_y) = 2200 Kg/cm² 3500 Kg/cm²
Digunakan = 3500.00 Kg/cm²
- Gaya tekan maksimum yang terjadi pada baja pipa:
Rafter 1 = 65831.53 Kg
Rafter 2 = 24329.10 Kg
- Direncanakan menggunakan baut = M_{42 x 200}
- Tipe *hexagon* = H_{76 x 66-44}

Keterangan desain:

- *Insert to node* = 75 mm
- *Conus insert* = 42 mm
- *Hexagon length* = 76 mm
- *Type of wrench* = 66 mm
- *Hex hole* = 44 mm

Untuk *hexagon/hexnut* tipe H 76 x 66-44

$$\begin{aligned} a &= \left[\frac{0.5 \times \text{Wrench}}{\text{Cos}(\alpha)} \right] \\ &= \left[\frac{0.5 \times 6.6}{\text{Cos}(30^\circ)} \right] = \left[\frac{3.3}{0.866} \right] \\ &= 3.811 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b &= \left[\frac{0.5 \times \text{Hex Hole}}{\cos(\alpha)} \right] \\
 &= \left[\frac{0.5 \times 4.4}{\cos(30^\circ)} \right] = \left[\frac{2.2}{0.866} \right] \\
 &= 2.540 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t &= 0,5 \times (\text{Type Of Wrench} - \text{Hex Hole}) \\
 &= 0.5 \times 6.6 - 4.4 \\
 &= 1.1 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A &= 6.00 \times \frac{(a+b)}{2} \times t \\
 &= 6.00 \times \frac{3.811+2.54}{2} \times 1.1 \\
 &= 20.958 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= a + (\tan \alpha \times 0.5 \times \text{Type Of Wrench}) \times 2 \\
 &= 3.811 + (\tan 30^\circ \times 0.5 \times 6.6) \times 2 \\
 &= 3.811 + 3.808 \times 2 \\
 &= 7.618 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Kapasitas tekan maksimum untuk M 42 x 200

$$\begin{aligned}
 P &= 0.90 \times F_y \times A_g \\
 &= 0.90 \times 3500 \times 20.958 \\
 &= 66019.05 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

P Max. Terjadi < P Max. Rencana

$$65831.70 \text{ Kg} < 66019.05 \text{ Kg}$$

Ok

Direncanakan *hexagon* untuk sambungan pada *Rafter 2*

$$\begin{aligned}
 \text{Direncanakan menggunakan baut} &= M_{16 \times 80} \\
 \text{Tipe Hexagon} &= H_{46 \times 40 - 25}
 \end{aligned}$$

Keterangan desain:

- *Insert to node* = 30 mm
- *Conus insert* = 24 mm
- *Hexagon Length* = 46 mm
- *Type of wrench* = 40 mm
- *Hex hole* = 25 mm

Untuk *hexagon/hexnut* tipe H 46 x 40 – 25

$$\begin{aligned}
 a &= \left[\frac{0.5 \times \text{Wrench}}{\cos(\alpha)} \right] \\
 &= \left[\frac{0.5 \times 4}{\cos(30^\circ)} \right] \\
 &= \left[\frac{2}{0.866} \right]
 \end{aligned}$$

$$= 2.309 \text{ cm}$$

$$b = \left[\frac{0.5 \times \text{Hex Hole}}{\cos(\alpha)} \right]$$

$$= \left[\frac{0.5 \times 2.5}{\cos(30^\circ)} \right]$$

$$= \left[\frac{1.25}{0.866} \right]$$

$$= 1.443 \text{ cm}$$

$$t = 0,5 \times (\text{Type Of Wrench} - \text{Hex Hole})$$

$$= 0.5 \times 4 - 2.5$$

$$= 0.75 \text{ cm}$$

$$A = 6.00 \times \frac{(a+b)}{2} \times t$$

$$= 6.00 \times \frac{2.309+1.443}{2} \times 0.75$$

$$= 6 \times 1.876 \times 0.75$$

$$= 8.443 \text{ cm}^2$$

$$d = a + (\tan \alpha \times 0.5 \times \text{Type Of Wrench}) \times 2$$

$$= 2.309 + (\tan 30^\circ \times 0.5 \times 4) \times 2$$

$$= 2.309 + 1.154 \times 2$$

$$= 2.309 + 2.308$$

$$= 4.617 \text{ cm}$$

Kapasitas tekan maksimum untuk M 16 x 80

$$P = 0.90 \times F_y \times A_g$$

$$= 0.90 \times 3500 \times 8.443$$

$$= 26598.59 \text{ Kg}$$

P Max. Terjadi < P Max. Rencana

$$24329.1 \text{ Kg} < 26598.59 \text{ Kg}$$

Ok

B. Perencanaan Conus

Direncanakan *conus* untuk sambungan pada *Rafter 1*

Conus merupakan perangkat yang berfungsi menghubungkan batang pipa ke system sambungan yang menerima dan menyalurkan beban yang bekerja. Bentuk *conus* merupakan bentuk lingkaran dengan model tertentu yang diameternya sesuai dengan pipa yang dipakai. Melalui *conus* inilah beban atau gaya batang pada penampang lingkaran disalurkan keperangkat lain, yaitu *Hexagon*. Hubungan *conus* dengan pipa disambung dengan las.

Direncanakan *conus* menggunakan:

- Kegunaan = Tutup Ujung Pipa
- Jenis Bahan = Baja Masif

- *Standart* Kualitas = JIS (STK 41)
- Tegangan Leleh = 2200 Kg/Cm² – 3500 Kg/Cm²
Digunakan : $f_y = 370$ MPa
- Diameter *conus* = 4”-6” atau 100 mm – 150 mm

Gaya tekan aksial maksimum pada *property* batang adalah sebagai berikut:

- *Rafter 1* = 65831.66 Kg
- *Rafter 2* = 18292.30 Kg

Perhitungan tebal minimum *conus* untuk *rafter 1*:

- Diameter (Φ) Luar = 150 mm
- Diameter (Φ) Dalam = 130 mm
- *Wall Thickness (t)* = 20 mm

Luas perlu minimum penampang *conus* yang disambung pada pipa:

$$\begin{aligned}
 t_{wc} &= \frac{\Phi P_{max}}{F_y} \\
 &= \frac{0.9 \times 658316.6}{370} \\
 &= \frac{592484.94}{370} \\
 &= 1601.31 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dicoba tebal *conus* sama dengan tebal pipa yang akan disambung:

$$\begin{aligned}
 A_{Desain} &= \text{luas permukaan luar pipa} - \text{luas permukaan dalam pipa} \\
 &= 0.25 \times 3.14 \times \phi OD^2 - 0.25 \times 3.14 \times \phi ID^2 \\
 &= 0.25 \times 3.14 \times 150^2 - 0.25 \times 3.14 \times 130^2 \\
 &= 17662.5 - 13266.5 \\
 &= 4396 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol tebal *conus*

$$\begin{aligned}
 A_{perlu} &\leq A_{Desain} \\
 1601.31 \text{ mm}^2 &\leq 4396 \text{ mm}^2 \qquad \qquad \qquad \text{Ok}
 \end{aligned}$$

Karena luas penampang baja pipa lebih besar dari pada luas perlu *conus* maka tebal *conus* yang digunakan sama dengan tebal baja pipa.

Direncanakan *conus* untuk sambungan pada *Rafter 2*

- Diameter (\emptyset) Luar = 100 mm
- Diameter (\emptyset) Dalam = 90 mm
- *Wall Thickness (t)* = 10 mm

Luas perlu minimum penampang *conus* yang disambung pada pipa:

$$t_{wc} = \frac{\Phi P_{max}}{F_y}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0.9 \times 182923}{370} \\
&= \frac{164630.7}{370} \\
&= 444.95 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Dicoba tebal *conus* sama dengan tebal pipa yang akan disambung:

$$\begin{aligned}
A_{Desain} &= \text{luas permukaan luar pipa} - \text{luas permukaan dalam pipa} \\
&= 0.25 \times 3.14 \times \phi OD^2 - 0.25 \times 3.14 \times \phi ID^2 \\
&= 0.25 \times 3.14 \times 100^2 - 0.25 \times 3.14 \times 90^2 \\
&= 7850 - 6358.5 \\
&= 1491.5 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Kontrol tebal *conus*

$$\begin{aligned}
A_{perlu} &\leq A_{Desain} \\
444.95 \text{ mm}^2 &\leq 1491.5 \text{ mm}^2 \qquad \qquad \qquad Ok
\end{aligned}$$

Karena luas penampang baja pipa lebih besar dari pada luas perlu *conus* maka tebal *conus* yang digunakan sama dengan tebal baja pipa.

C. Perencanaan Baut

Baut yang direncanakan harus dikontrol terhadap kekuatan tariknya, Karena baut hanya bekerja pada saat batang mengalami aksi tarik.

Direncanakan baut:

- Kegunaan = Menahan Gaya Tarik
- *Standart* Kualitas = JIS B 1180
- *Strenght Grade* = T8.8
- Jenis Ulir = Ulir Kasar
- Gaya tarik maksimum yang terjadi pada baja pipa:
 - Rafter 1* = 58702.29 Kg
 - Rafter 2* = 19804.79 Kg
- Gaya geser maksimum yang terjadi pada baja pipa:
 - Rafter 1* = 3248.58 Kg
 - Rafter 2* = 692.420 Kg

Direncanakan Baut untuk sambungan pada *Rafter 1*

Syarat ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) harus memenuhi persyaratan spesifikasi kekuatan desain sebagai berikut:

$$R_u \leq \Phi R_n \qquad \qquad \qquad (2.6)$$

Direncanakan menggunakan baut ASTM A325 dengan ketentuan:

- Diameter Baut ϕ = 42mm
- Kekuatan Tarik Min. = 620 MPa
- Kekuatan Geser Min. = 457 MPa

Luas penampang baut:

$$\begin{aligned} A_g &= 0.25 \times 3.14 \times D^2 \\ &= 0.25 \times 3.14 \times 42^2 \\ &= 1384.74 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kuat tarik rencana baut:

$$\begin{aligned} R_n &= F_n \times A_b \\ &= 620 \times 1384.74 \\ &= 858538.8 \text{ N} \\ &= 85853.88 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan tarik baut:

$$\begin{aligned} R_u &\leq \phi R_n && (2.6) \\ R_u &\leq 0.75 \times R_n \\ 58702.29 \text{ Kg} &\leq 0.75 \times 85853.88 \text{ Kg} \\ 58702.29 \text{ Kg} &\leq 64390.41 \text{ Kg} && \text{Ok} \end{aligned}$$

Kuat geser rencana baut:

$$\begin{aligned} R_n &= F_n \cdot A_b && (2.37) \\ &= 457 \times 1384.74 \\ &= 632826.18 \text{ N} \\ &= 63282.618 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan geser baut:

$$\begin{aligned} R_u &\leq \phi R_n \\ R_u &\leq 0.75 \times R_n \\ 3248.58 \text{ Kg} &\leq 63282.618 \text{ Kg} \\ 3248.58 \text{ Kg} &\leq 47461.960 \text{ Kg} && \text{Ok} \end{aligned}$$

Direncanakan baut untuk sambungan pada *Rafter 2*

Syarat ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) harus memenuhi persyaratan spesifikasi kekuatan desain sebagai berikut:

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.6)$$

Direncanakan menggunakan baut ASTM A325 dengan ketentuan:

- Diameter Baut ϕ) = 24 mm
- Kekuatan Tarik Min. = 620 MPa
- Kekuatan Geser Min. = 457 MPa

Luas Penampang baut:

$$\begin{aligned} A_g &= 0.25 \times 3.14 \times D^2 \\ &= 0.25 \times 3.14 \times 24^2 \\ &= 452.16 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kuat tarik rencana baut:

$$\begin{aligned} R_n &= F_n \times A_b \\ &= 620 \times 452.16 \\ &= 208339.2 \text{ N} \\ &= 20833.92 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan tarik baut:

$$\begin{aligned} R_u &\leq \phi R_n && (2.6) \\ R_u &\leq 0.75 \times R_n \\ 19804.79 \text{ Kg} &\leq 0.75 \times 20833.92 \text{ Kg} \\ 19804.79 \text{ Kg} &\leq 21025.44 \text{ Kg} && \text{Ok} \end{aligned}$$

Kuat geser rencana baut:

$$\begin{aligned} R_n &= F_n \cdot A_b && (2.37) \\ &= 457 \times 452.16 \\ &= 206637.12 \text{ N} \\ &= 20663.712 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan geser baut:

$$\begin{aligned} R_u &\leq \phi R_n \\ R_u &\leq 0.75 \times R_n \\ 692.42 \text{ Kg} &\leq 20663.712 \text{ Kg} \\ 692.42 \text{ Kg} &\leq 15497.784 \text{ Kg} && \text{Ok} \end{aligned}$$

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DAFTAR DIRI PESERTA

Nana Lengkap : Rian Hidayat
Panggilan : Rian
Tempat/Tanggal Lahir : Dusun Kayu Lima/19 September 1995
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Dusun Tanah XI, Gohor Lama, Kec. Wampu, Kab. Langkat
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Yahya
Ibu : Masalamah
No. HP : 085262711042
E-mail : rianhidayat586@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1407210266
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jln.Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No.	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat
1.	Sekolah Dasar	SD Negeri No. 053979 Kepala Sungai
2.	SMP	Madrasah Tsanawiyah Negeri (MTsN) Stabat
3.	SMA	SMK Negeri 1 Stabat Kabupaten Langkat
4.	Melanjutkan Kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2014	