

Journal of Applied Engineering Sciences

Volume 2, Issue 1, January 2019

P-ISSN 2615-4617

E-ISSN 2615-7152

Open Access at : <https://ojs-ft.ekasakti.org/index.php/JAES/>

SISTIM STRUKTUR RANGKA RUANG

SPACE STRUCTURE SYSTEM

Rasyidin

¹⁾ Program Studi Teknik Sipil Fakultas teknik dan perencanaan, Universitas Ekasakti Padang

E-mail: rasyidin@gmail.com

INFO ARTIKEL

Koresponden

Rasyidin

rasyidin@gmail.com

m

Kata kunci

Rangka Ruang.

Open Access at :

<https://ojs-ft.ekasakti.org/index.php/JAES/>

Hal : 020- 035

ABSTRAK

Sistim struktur rangka ruang yang sering disebut space frame menggunakan sistim sambungan antar batang. Batang-batang tersebut disambungkan menggunakan bola baja atau ball joint. Struktur rangka space frame ini mudah dipasang, dibentuk dan dibongkar kembali. Sehingga pemasangan struktur ini lebih cepat. Sistim struktur rangka ruang ini terdiri dari Sistem Mannesmann, Sistem Mero, Sistem Unistrud, dan Sistem Takenaka. Konstruksi Space frame dikembangkan oleh Alexander Graham Bell pada tahun 1900 dan Buckminster Fuller pada tahun 1950. Umumnya konstruksi space frame dipakai pada bentang-bentang menengah dan panjang. Pada bentang panjang yang melebihi 50 m umumnya konstruksi space frame akan lebih ekonomis dibandingkan dengan rangka biasa. Sistem struktur rangka space frame sangat cocok digunakan pada bangunan dengan bentangan besar yang menginginkan tidak ada kolom di tengah bangunan. Jika dilihat dari bawah sistem space frame ini akan membentuk seperti pyramid, dome, dan lainnya. Sistem struktur rangka space frame sangat disarankan pada bangunan dengan bentangan besar.

Copyright © 2019 JAES. All rights reserved.

ARTICLE INFO

Corresponden
Rasyidin
rasyidin@gmail.com

Keywords:
Rangka Ruang.

Open Access at :
<https://ojs-ft.ekasakti.org/index.php/JAES/>

Hal : 020 - 035

ABSTRACT

The space frame structure system, often called space frame, uses a connection system between rods. The rods are connected using a steel ball or ball joint. The frame structure of the space frame is easily installed, formed and disassembled. So that the installation of this structure is faster. This space frame structure system consists of the Mannesmann System, the Mero System, the University System, and the Takenaka System. Space frame construction was developed by Alexander Graham Bell in 1900 and Buckminster Fuller in 1950. Generally, space frame construction is used in medium and long spans. In long spans that exceed 50 m generally the space frame construction will be more economical compared to the normal frame. The space frame structure system is very suitable for buildings with large stretches that want no columns in the center of the building. When viewed from below the space frame system will form like pyramid, dome, and others. The space frame structure system is highly recommended in buildings with large stretches.

Copyright ©2019 JAES. All rights reserved.

PENDAHULUAN

Struktur rangka ruang adalah komposisi dari batang-batang yang masing-masing berdiri sendiri, memikul gaya tekan atau gaya tarik yang sentris dan dikaitkan satu sama lain dengan sistem 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 ini pertama kali diperkenalkan oleh seorang engineer yang bernama M. MENGERINGHAUSEN pada tahun 1937 di Berlin Jerman. Sistem ini mulai banyak dipakai dan sejak tahun 1942 yang dikenal dengan MERO-Sistem. Penggunaan space truss digunakan pada bangunan-bangunan dengan bentang panjang (>40 m). Elemen dasar pembentuk struktur rangka ini adalah:

- a. Rangka batang bidang
- b. Piramid dengan dasar segiempat membentuk oktahedron
- c. Piramid dengan dasar segitiga membentuk tetrahedron

Dalam tulisan ini ingin diperkenalkan bangunan yang menggunakan konstruksi spaceframe, dimana dengan bangunan ini dimungkinkan dengan bentang-bentang lebar yang dinamakan konstruksi spaceframe.

Konstruksi Space frame dikembangkan oleh Alexander Graham Bell pada tahun 1900 dan Buckminster Fuller pada tahun 1950. Umumnya konstruksi space frame dipakai

pada bentang-bentang menengah dan panjang. Pada bentang panjang yang melebihi 50 m umumnya konstruksi spaceframe akan lebih ekonomis dibandingkan dengan rangka biasa.

Penggunaan space frame adalah pada bangunan-bangun stadion, kanopi dll yang berbentuk panjang. Secara struktur space frame adalah struktur tiga dimensi. Struktur space frame termasuk struktur ringan. Adapun aplikasi space frame pada bangunan Coal Yard dengan bentang L adalah 114 m dan tinggi f 32 m yang bentuknya parabola. Pada disain dipilih dengan simpul dengan Mero Sistem.

Spesifikasi Material Bola yang dipakai pada adalah: baja spesifikasi JIS G4051 S45C atau AISI 1045 dengan tegangan leleh 380 N/mm². Diameter bola bervariasi antara 49 mm – 307 mm. Material Pipa yang dipakai adalah : baja JIS G3444 STK400 dengan tegangan leleh 235 N/mm² atau BS1387 dengan tegangan leleh 195 N/mm² . Sedangkan Diameter pipa: 1,25" – 12". Konektor yang dipakai adalah Material baja spesifikasi JIS G4051 S45C atau AISI 1045 dengan tegangan leleh 420 N/mm².

Baut yang digunakan adalah Material baja grade 8.8 dengan tegangan leleh 450 N/mm². Ukuran disesuaikan dengan desain. Baut yang digunakan harus kuat menahan beban dan gaya yang timbul, dan dikhususkan untuk menahan beban berat.

Konstruksi space frame dapat dipakai pada bentang-bentang panjang dan pada bentang tertentu ($l > 50$ m) dapat lebih ekonomis dibanding dengan portal baja. Dalam pelaksanaan perlu kontrol lendutan agar pada penyambungan dan koneksi antar frame dapat terpasang dengan baik. Seiring dengan kemajuan arsitektural yang pesat otomatis perkembangan struktural engineering juga harus mengikuti kebutuhan pasar. Sistem struktur rangka space frame sangat disarankan pada bangunan dengan bentangan besar

METODE PENELITIAN

Pengumpulan Data

- a. Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
 1. Data kuantitatif
yaitu data dalam bentuk angka seperti: luas daerah layanan.
 2. Data kualitatif
yaitu data yang berupa pernyataan responden dan pertanyaan yang diberikan dalam bentuk kuisisioner
- b. Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
 1. Data Primer
Data Primer adalah data yang diperoleh secara langsung dengan teknik Brain Storming, wawancara dan diskusi dengan pihak responden yang terlibat dalam pengelolaan jaringan irigasi. Selanjutnya diadakan penyebaran kuesioner dengan dipandu

pada saat pengisiannya, sehingga diperoleh penilaian dari responden terhadap pengelolaan struktur rangka ruangan.

2. Data Sekunder

Data Sekunder diperoleh dari pihak lain atau dari laporan-laporan dan penelitian yang telah ada, dan yang ada relevansinya dengan masalah yang dibahas.

Metode Pengolahan Data

Studi Pustaka dan Literatur

Dalam penulisan penelitian ini dilakukan pengumpulan referensi yang diperoleh dengan membaca buku-buku literatur, jurnal, internet dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang sedang dilaksanakan.

Pengumpulan Data

Seluruh data yang dibutuhkan dalam penelitian dikumpulkan dengan cara studi lapangan untuk mendapatkan data primer, studi kepustakaan untuk mendapatkan data sekunder dan juga membuat asumsi yang diperlukan dalam penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Ruang

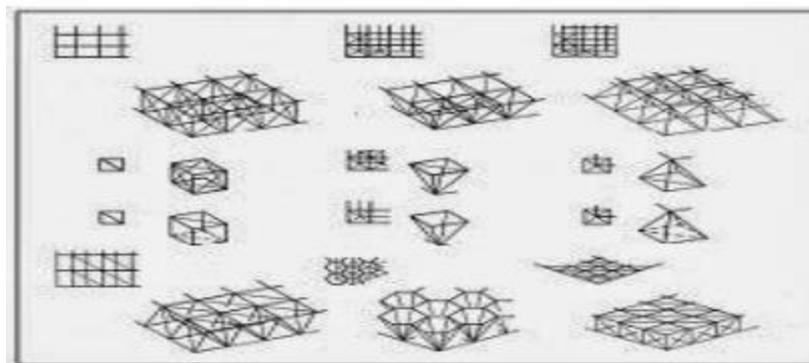
Space frame adalah suatu sistem konstruksi rangka ruang dengan menggunakan sistem sambungan antar batang. Batang-batang tersebut disambungkan menggunakan bola baja atau ball joint. Sistem sambungan space frame akan membentuk segitiga dengan joint-joint bola baja. Struktur rangka space frame ini mudah dipasang, dibentuk dan dibongkar kembali. Sehingga pemasangan struktur ini lebih cepat.

Saat ini sudah mulai berkembang sistem space frame karena seiring dengan kemajuan arsitektural yang pesat otomatis perkembangan struktural engineering juga harus mengikuti kebutuhan pasar. Sistem struktur rangka space frame sangat cocok digunakan pada bangunan dengan bentangan besar yang menginginkan tidak ada kolom di tengah bangunan. Jika dilihat dari bawah sistem space frame ini akan membentuk seperti pyramid, dome, dan lainnya. Desain dengan sistem space frame ini lebih efisien dibanding desain rangka baja profil dengan bentang yang panjang. Bangunan yang sering menggunakan space frame adalah pabrik, stadion, skylight.



Dalam arsitektur modern struktur dalam ruang yang berdimensi tiga lebih diutamakan karena lebih efisien dan ekonomis. Setiap batang atau gelagar berpengaruh terhadap yang lainnya dan ini merupakan kekakuan-kekakuan pada seluruh struktur. Hubungan konstruksi yang sempurna pada pertemuan batang batang dan analisa gaya-gaya yang ada dalam konstruksi rangka ruang hingga kini menemui kesukaran.

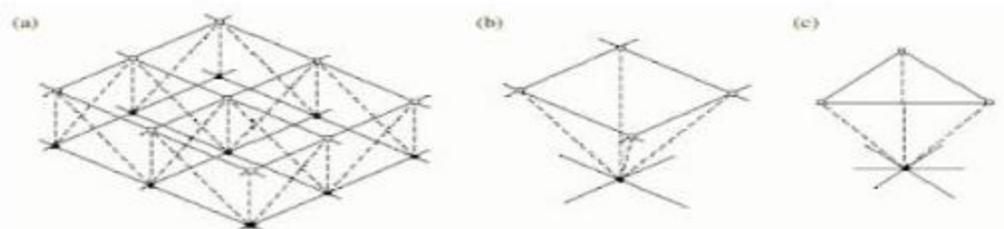
Banyak sekali unit geometris yang dapat digunakan untuk membentuk unit berulang mulai dari tetrahedron sederhana, sampai bentuk-bentuk polihedral lain. Rangka ruang tidak harus terdiri atas modul-modul individual, tapi dapat pula terdiri atas bidang-bidang yang dibentuk oleh batang menyilang dengan jarak seragam.



Jenis-jenis struktur rangka ruang dengan modul berulang

Elemen dasar pembentuk struktur rangka ini adalah:

- a. Rangka batang bidang
- b. Piramid dengan dasar segiempat membentuk oktahedron
- c. Piramid dengan dasar segitiga membentuk tetrahedron



Elemen Dasar Pembentuk Sistem Rangka Ruang

Kelebihan dan Kekurangan

Kelebihan Struktur Space Frame

- a. Ringan
Beban akibat berat struktur sendiri kecil karena terbuat dari pipa galvanis atau aluminium.

b. Fabrikas

Elemen-elemen strukturnya merupakan produk pabrik. Sehingga bentuk dan ukurannya seragam dan persisi.

c. Hemat tenaga kerja

Pekerjaan yang dibutuhkan hanya perakitan elemen struktur dan pemasangan, sehingga tidak membutuhkan tenaga kerja yang banyak.

d. Hemat material struktur

Material struktur yang dipakai hanya kolom pada ujung-ujung saja.

e. Estetis

Bentuk strukturnya indah dan memiliki unsur estetika.

Kekurangan Struktur Space Frame

- Mahal Elemen-elemennya dipesan dari pabrik, sehingga mahal.
- Tenaga ahlinya masih sedikit Struktur Space Frame jarang digunakan, hanya pada bangunan-bangunan tertentu saja. Sehingga ahli dalam bidang ini masih sedikit.
- Tidak tahan api Struktur yang digunakan berbahan dasar logam. Kita tahu bahwa logam tidak tahan panas, dapat leleh akibat panas.

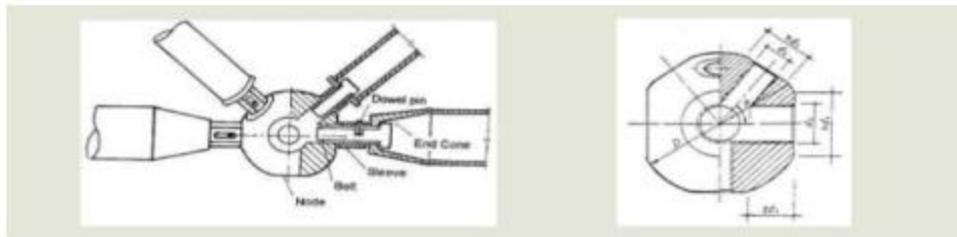
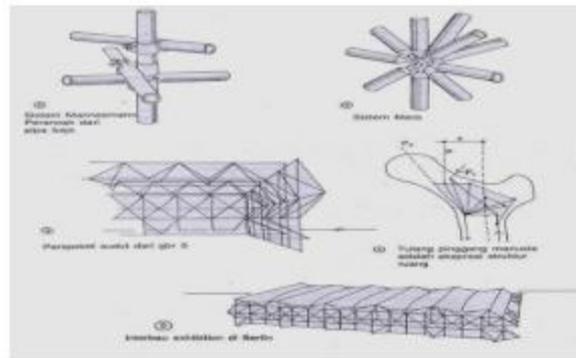
Sistem Rangka Ruang

Sistem Mannesmann

Dengan menggunakan pipa-pipa bulat dan sama besar, panjangnya disesuaikan dengan kebutuhan dan penghubungan dengan pipa-pipa yang lain pada arah yang dibutuhkan. Sangat variabelnya dalam pemakaian, sesuai dengan maksud yang dibutuhkan. Kekurangan dari sistem ini antara lain terbatasnya gaya dukung dari pipa-pipa di bagian sambungan. Kelemahan statiknya ialah bahwa hubungannya eksentrik sehingga menimbulkan momen tambahan. Konstruksi ini masih belum mendapat tempat di antara arsitek-arsitek karena kurang rapinya hubungan. Selama ini, dipakai sebagai steger saja karena montagebility dan flexibility yang baik.

Sistem Mero

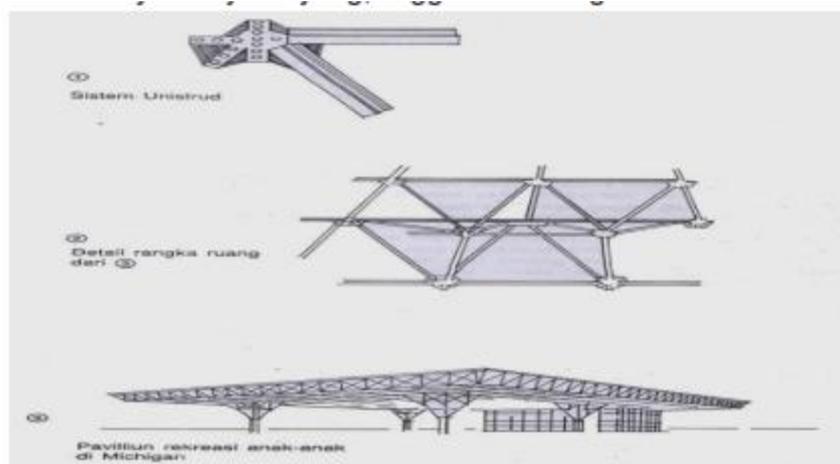
Sedikit variasi dalam panjangnya batang yang dihubungkan dengan sekrup pada suatu simpul yang khusus dan dihubungkannya garis-garis as berternu pada satu titik. Setiap simpul hanya memungkinkan kedelapan belas buah batang yang saling menumpu tegak lurus dan batang-batang yang di antaranya yang bersudut 45°. Struktur yang terjadi berbentuk geometris yang disiplin. Kombinasi-kombinasi yang menarik kadang-kadang dapat disaksikan pada bangunan pameran. Secara statika kemungkinan-kemungkinan terbatas, juga pada satu simpul batang yang dapat disambungkan. Batas kemampuan mendukung ditentukan oleh gaya dukung maksimum dari momen-momen batang.



Sistem Unistrud

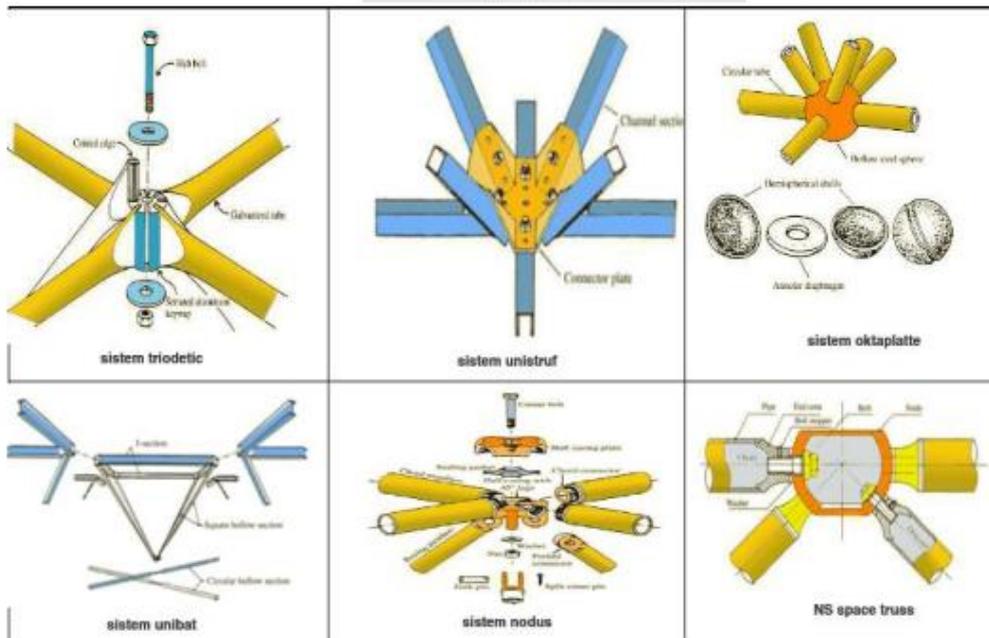
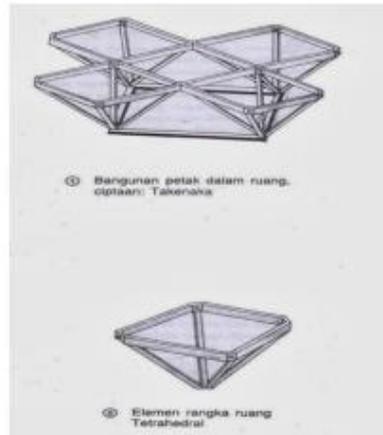
Berbentuk sebagai gelagar yang batang-batangnya rnengarah ke banyak jurusan dan mempunyai tinggi konstruksi 1 meter. Simpul dibuat dari lempengan pelat yang dibentuk menurut arah batang yang disekrupkan padanya.

Kemungkinan mendukung dari sistem dihitung secara empiris. Dapat dicapai daya muat kira-kira 300 kg/m- pada ukuran jarak kolom 12,5 m X 12,5 m. Suatu pembesaran ruang menjadi 15 m X 15 m masih mungkin dilakukan. Cara empiris menunjukkan sukarnya mengadakan perhitungan secara analitis, dan bentuk kolom yang membesar pada ujung atas membuktikan sukarnya mengumpulkan gaya itu pada ujung-ujungnya. Pengecilan pada bagian bawah kolom meminta syarat t-syarat yang tinggi dari batang.

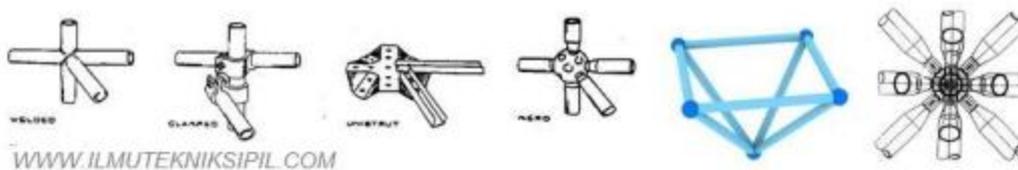


Sistem Takenaka (Gambar 6.1 dan 6.2)

Baja pelat dengan potongan bujur sangkar dan persegi panjang dihubungkan dengan baut-baut mutu tinggi. Batang-batang pada bidang atas menerima gaya tekan, diagonal-diagonal memikul tekan dan batang-batang pada bidang bawah menerima gaya tarik.



Berikut ini penjelasan dari beberapa elemen sistem space frame. 1. Sambungan 2. Pipa 3. Bola Baja 4. Konektor 5. Baut 6. Pelat Support

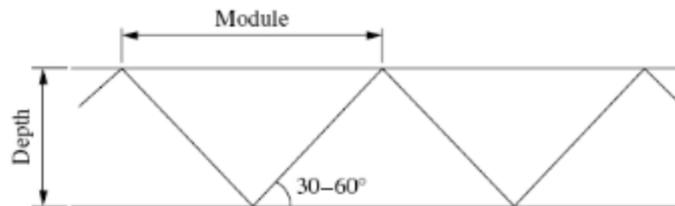


Disain Parameter Space Frame

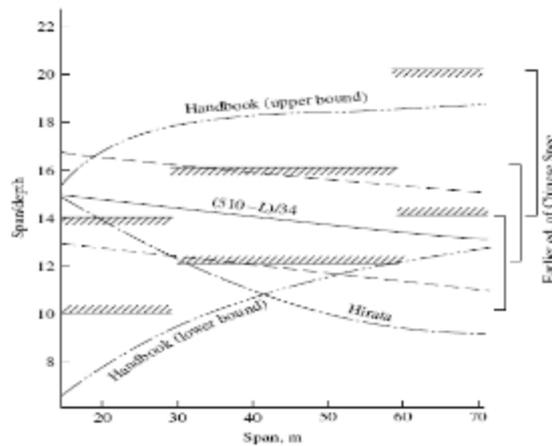
Dalam disain space frame antara bentang (L) dan jarak antara rangka atas dan bawah (d) adalah

$$\frac{L}{d} = \frac{(510 - L)}{34 \pm 2}$$

Dimana modul dan d seperti pada gambar;



Gambar : modul space frame Berdasarkan persamaan diatas, hubungan antara L/d dan L dapat di;ihat di gambar dibawah:

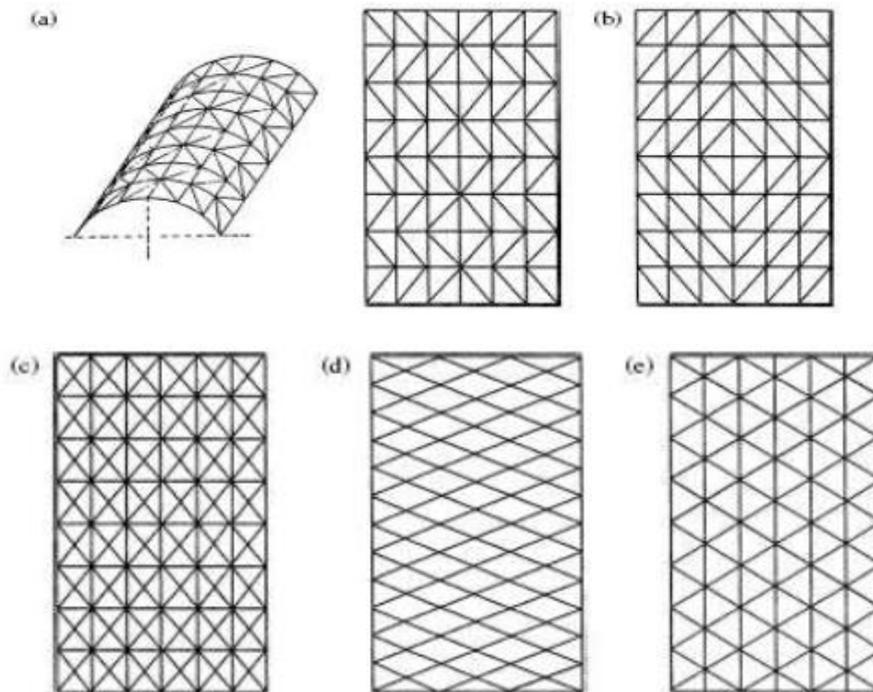


Gambar : hubungan antara ratio L/d dbandingkan dengan L (Tien T. Lan, 2005)

Adapun jenis-jenis space frame adalah:

- Plane Space Frame
- Barrel-Vault Space Frame
- Dome Space Frame
- Cantilever Space Frame

Pada tulisan ini diperkenalkan type Barrel-Vault Space Frame. Variasi bracing pada type ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



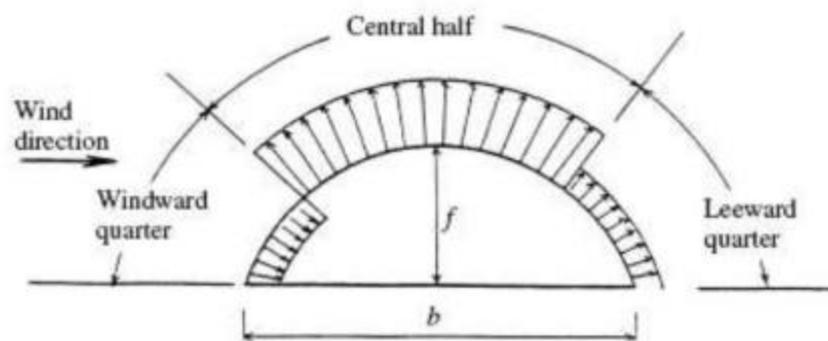
Gambar : tipe bracing pada bareel vault space frame (Tien T. Lan, 2005)

Pembebanan pada space frame adalah

- a. Beban Mati : berat mati dapat dihitung dengan

$$g = \frac{1}{200} (\zeta \sqrt{q_w} L) \text{ kN/m}^2$$

- b. Beban Hidup : dapat dilihat dari peraturan muatan
- c. Beban Angin : konsep beban angin pada space frame



Gambar : Beban angin pada space frame (Tien T. Lan, 2005)

Besaran beban angin dapat dilihat pada tabel , dimana pada seperempat dari bawah sebelah kiri ada angin tekan jika gaya angin juga dari kiri, akan tetapi ada setengah menjadi angin hisap dan seperempat lagi juga dengan angin hisap dengan besaran berbeda.

b. Tanpa simpul

Node	Connector	Member	Cross-section	Examples
Form of member	Forming			Buckminster Fuller Nonadome, Netherlands
				Radial, Australia Harley, Australia
Addition of member	Plate(s)			Mai Sky, United States
	Member end			Pieter Huybers, Netherlands Pierce, United States Buckminster Fuller

Tabel : Sambungan Tanpa simpul (Gerrits, 1996)

c. Dengan pabrikan

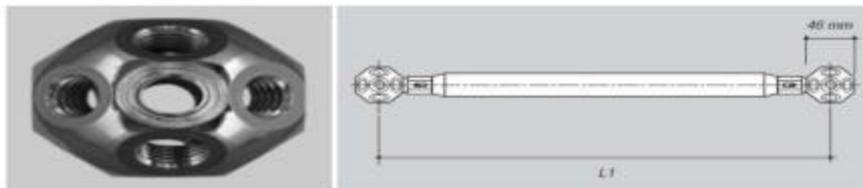
Node	Prefabricated unit	Member cross-section top / bracing / bottom	Example
Geometrical solid			Space deck, United Kingdom Mero DE, Germany Unistrut, France
			Nameless system, Italy
2D components			Ruter, Germany
			Nameless system, Italy
3D components			Cubic, United Kingdom

Tabel : sambungan dengan pabrikan (Gerrits, 1996)

Mero sistem

Mero sistem diciptakan oleh Dr. Mengeringhausen dan sangat populer sampai saat ini. Dengan sistem Mero batang dapat bertemu di satu simpul dengan jumlah batang 18 unit. Mero sistem dimana simpulnya berbentuk bola. Diameter bola ditentukan dengan rumus dibawah:

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



Gambar : Mero system

Matrix Kekakuan

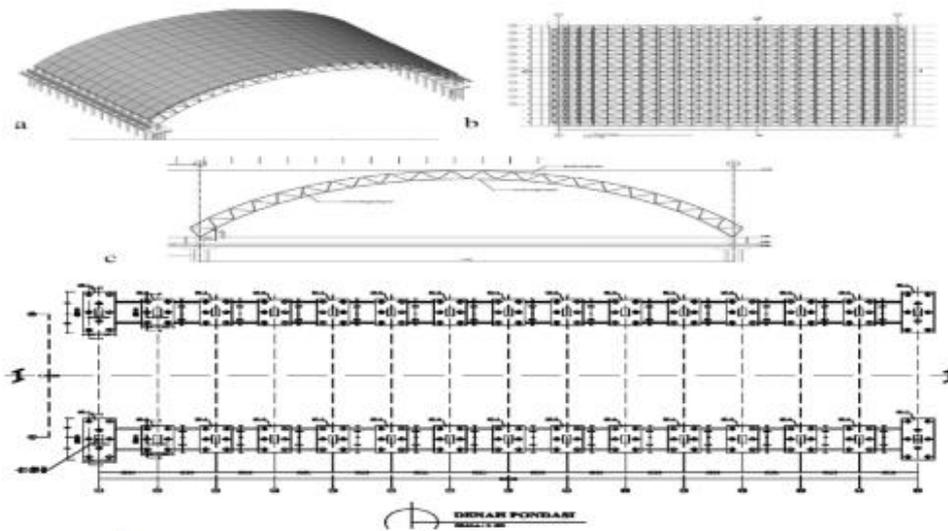
Perhitungan Space Frame dilakukan dengan Finite Element Methode dengan:

$$\{f\} = [K]\{d\}$$

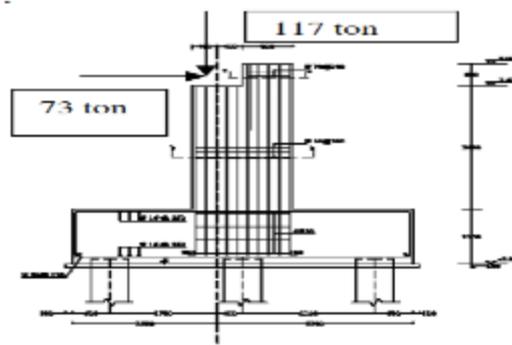
Dimana $\{f\}$: gaya luar, $[K]$: matrix kekakuan dan $\{d\}$: perpindahan/displacement

Matriks kekakuan Space Frame dapat dilihat di (Daryl L. Logan, 1992).

Dalam disain pada konstruksi space frame dapat dilihat pada gambar dibawah, dimana ukuran bangunan adalah bentang 114 m, dengan ketinggian maximum $f = 32$ m, berbentuk parabola, tinggi kolom 3 m. Pada perhitungan digunakan dengan program FEM, dengan modeling spaceframe seperti dimana pada gambar 7a adalah 3 dimensi, sedang gambar 7.b adalah denah space frame dan pada gambar 7.c adalah potongan melintang. Sedangkan denah dapat dilihat pada gambar 7.d



Pada kolom reaksi yang terjadi adalah kearah horizontal sebesar 73 ton sedangkan kearah vertikal 117 ton seperti ditunjukkan pada gambar dibawah. Sedangkan berat total space frame adalah 190 ton. Pondasi yang dipakai adalah bore piled.



Gambar : kolom pada space frame

Aplikasi Space Frame Pada Bangunan

a. Bangunan Coal Yard

Adapun aplikasi space frame pada bangunan Coal Yard. Adapun bentang L adalah 114 m dan tinggi f 32 m yang bentuknya parabola. Pada disain dipilih dengan simpul dengan Mero Sistem.



Gambar: aplikasi space frame pada bangunan Coal Yard (Tarigan Johannes, 2011)



Gambar 10: Mero sistem pada coal yard (Tarigan Johannes, 2011)

Spesifikasi Material Bola yang dipakai pada adalah: baja spesifikasi JIS G4051 S45C atau AISI 1045 dengan tegangan leleh 380 N/mm². Diameter bola bervariasi antara 49 mm – 307 mm. Material Pipa yang dipakai adalah : baja JIS G3444 STK400 dengan tegangan leleh 235 N/mm² atau BS1387 dengan tegangan leleh 195 N/mm². Sedangkan Diameter pipa: 1,25" – 12". Konektor yang dipakai adalah Material baja spesifikasi JIS G4051 S45C atau AISI 1045 dengan tegangan leleh 420 N/mm².

Baut yang digunakan adalah Material baja grade 8.8 dengan tegangan leleh 450 N/mm². Ukuran disesuaikan dengan desain. Baut yang digunakan harus kuat menahan beban dan gaya yang timbul, dan dikhususkan untuk menahan beban berat.

Beijing Olympic Green, Beijing (China)

- a. Lokasi : Beijing Olympic Green, Beijing (China)
- b. Arsitek, Konsultan, Kontraktor (konsorsium 4 perusahaan) :
 - PTW Architects (Australia)
 - Arup Engineering Group (Australia)
 - CSCEC (China State Construction and Engineering Construction)
 - CSCEC Shenzhen Design Institute (CSCEC+DESIGN)
- c. Jenis Struktur Bangunan : space frame (rangka)
- d. Ukuran :

1. Alas : 178 m x 178 m (persegi)
2. Tinggi : 31 m
3. Luas Permukaan : > 100.000 m²

e. Konsep :

1. Desain bangunan yang modern sekaligus memiliki nilai filosofi kebudayaan lokal (arsitektur tradisional China)
2. Bangunan yang fungsional & memiliki nilai estetika yang tinggi
3. Bangunan yang menerapkan teknologi modern
4. Bangunan yang ramah lingkungan

f. Tantangan Pembangunan

1. Segi struktural : Water Cube merupakan bangunan yang memiliki bentang yang besar
2. Segi lingkungan :
 - a. Keadaan umum lingkungan (Kota Beijing) : polusi udara & kurangnya pasokan air
 - b. Bencana alam : gempa bumi, hujan es, & badai

A. Struktur Bangunan

Jenis rangka yang digunakan (pada Water Cube) tidak memiliki preseden (pendahulu), juga tidak ada kriteria & standar yang bisa diikuti dalam desain & konstruksinya, Zheng Fang (Ketua Desainer Water Cube).

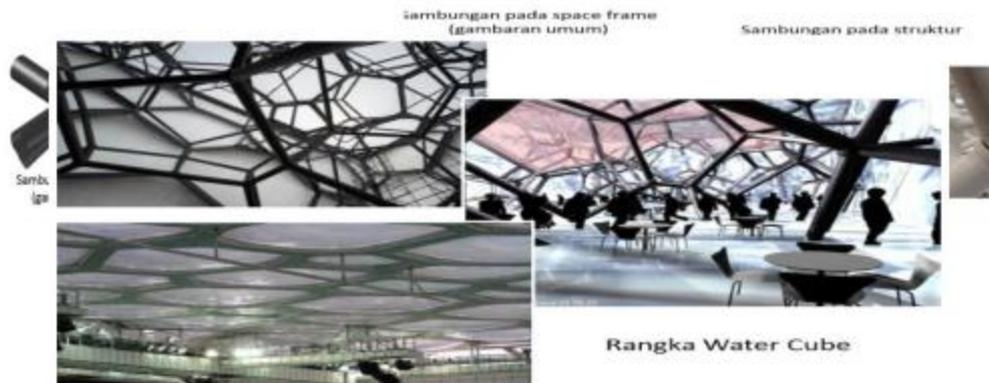


Sekitar sebulan setelah pengerjaan semua rangka Water Cube, rangka bangunan tersebut diberi nama resmi : “Three-dimensional Multi-faced Durable Steel Casting”. Bentuk dasar space frame adalah segitiga atau piramida, namun pada konstruksi Water Cube, bentuk dasarnya adalah “FoamPhysics” atau “Soap Bubbles (gelembungsabun)”. Bentuk dasar ini dikenal juga dengan nama “struktur Weaire-Phelan”. Proyek Water Cube merupakan yang pertama kali menggunakan bentuk “soap bubbles” dalam dunia konstruksi.

B. Teknis Pelaksanaan Struktur Water Cube

- a. Rangka Water Cube terdiri dari 22.000 batang baja dan 12.000 bola baja (sebagai sambungan/join)
- b. Proses penyambungan dilakukan dengan cara pengelasan (welding)

c. Setiap dari keseluruhan rangka (rangka dan joint) dilas sehingga membentuk struktur rangka.



KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Sistem struktur rangka space frame sangat cocok digunakan pada bangunan dengan bentangan besar yang menginginkan tidak ada kolom di tengah bangunan. Jika dilihat dari bawah sistem space frame ini akan membentuk seperti pyramid, dome, dan lainnya. Desain dengan sistem space frame ini lebih efisien dibanding desain rangka baja profil dengan bentang yang panjang. Bangunan yang sering menggunakan space frame adalah pabrik, stadion, skylight, dan sebagainya.

Saran

Seiring dengan kemajuan arsitektural yang pesat otomatis perkembangan struktural engineering juga harus mengikuti kebutuhan pasar. Sistem struktur rangka space frame sangat disarankan pada bangunan dengan bentangan besar.

DAFTAR PUSTAKA

<http://www.jasasipil.com/2015/10/pengertian-struktur-rangka-space-frame.html>

<http://bijeh-design.blogspot.co.id/2014/10/struktur-rangka-ruang.html>

<http://jurnalarsitek.blogspot.co.id/2017/06/pemahaman-jenis-jenis-sistem-struktur.html>

Tarigan, Johannes, 2011, Disain Coal Yard, Departement Teknik Sipil USU, Medan
Tien T, Lan, 2005, Space Frame Structure, Institut of Building Structure, Beijing, China Goggle.com