

SKRIPSI TUGAS AKHIR

DESAIN ALTERNATIF *LATTICE SHELL* PADA ATAP TERMINAL PENUMPANG BANDARA SULTAN HASANUDDIN



Oleh

NADYA SALSABILA

D51116307

DEPARTEMEN ARSITEKTUR

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

SKRIPSI TUGAS AKHIR

DESAIN ALTERNATIF *LATTICE SHELL* PADA ATAP TERMINAL PENUMPANG BANDARA SULTAN HASANUDDIN



Oleh

NADYA SALSABILA

D51116307

DEPARTEMEN ARSITEKTUR

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

“Desain Alternatif Lattice Shell Pada Atap Terminal Penumpang Bandara Sultan Hasanuddin”

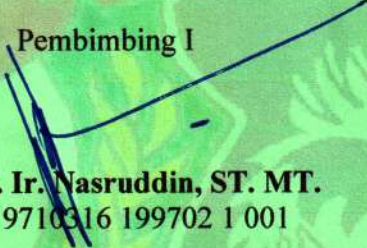
Disusun dan diajukan oleh

Nadya Salsabila
D51116307


Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 21 September 2022

Menyetujui

Pembimbing I


Dr. Eng. Ir. Nasruddin, ST. MT.
NIP. 19710316 199702 1 001

Pembimbing II


Pratiwi Mushar, ST., MT
NIP. 19860119 201404 2 001

Mengetahui

Ketua Program Studi Arsitektur


Dr. Ir. H. Edward Syarif, MT.
NIP. 19690612 199802 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nadya Salsabila

NIM : D51116307

Program studi : S1 Teknik Arsitektur

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa proposal yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari saya terbukti atau tidak dapat dibuktikan bahwa atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 21 September 2022.



Nadya Salsabila

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, penulis memanjatkan puja-puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi dalam Program Studi Teknik Arsitektur Jurusan Arsitektur Universitas Hasanuddin. Adapun judul Tugas Akhir ini adalah '**DESAIN ALTERNATIF LATTICE SHELL PADA ATAP TERMINAL PENUMPANG BANDARA SULTAN HASANUDDIN.**'

Dalam Tugas Akhir ini, penulis sadar bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam segala aspek, oleh karena itu penulis merasa membutuhkan kritik dan saran kepada segenap pembaca yang bersifat membangun untuk meningkatkan kualitas dikemudian hari.

Penulis sadar bahwa penulisan Tugas Akhir ini tidak lepas dari campur tangan banyak pihak, maka penulis ingin berterima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. H. Edward Syarif, ST., MT. selaku Ketua Departemen Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. Bapak Dr. Eng. Nasruddin, S.T., M.T. selaku pembimbing 1 dan ibu Pratiwi Mushar, S.T., M.T. selaku pembimbing 2 atas bimbingannya dalam penulisan Tugas Akhir ini.
3. Kepada kedua orang tua saya, Septarius, S.E., M.E. dan Eka Ariyani atas do'a dan dukungannya dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Saudara-saudari saya, Fakhri Rasyad dan Vanya Anindita.
5. Dosen-dosen Laboratorium Material, Struktur dan Konstruksi Bangunan, bapak Dr. Ir. Hartawan, MT, dan ibu Imriyanti, ST., MT.
6. Seluruh dosen dan staf jurusan arsitektur.
7. Teman-teman Jurusan Arsitektur Angkatan 2016 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

8. Segenap teman-teman, khususnya Khairunnisa Zhafira, Vara Soraya Malawat, St. Namirah binti Zein Suweleh, Tias Dwi Kurnia, dan Fauziah Nur Hasanah.
9. Dan seluruh pihak terkait yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberi manfaat kepada siapapun yang membutuhkan. Penulis meminta maaf bila dalam penulisan Tugas Akhir ini terdapat kesalahan.

Gowa, 21 September 2022

NADYA SALSABILA
NIM. D51116307

ABSTRAK

DESAIN ALTERNATIF LATTICE SHELL PADA ATAP TERMINAL PENUMPANG BANDARA SULTAN HASANUDDIN

NAMA : NADYA SALSABILA
NIM : D51116307
JURUSAN : TEKNIK ARSITEKTUR
DOSEN PEMBIMBING 1 : Dr. Eng. Nasruddin, S.T., M.T.
DOSEN PEMBIMBING 2 : Pratiwi Mushar, S.T., M. T.

Bandara Internasional Sultan Hasanuddin adalah bandara terbesar di Indonesia Timur dan merupakan infrastruktur vital dalam melayani pergerakan transportasi dan ekonomi. Akan tetapi, bandara yang didesain untuk melayani 7 juta *pax/year* ini telah mengalami *over-capacity* sejak tahun 2015. Hal ini menerbitkan KM 48 Tahun 2019 yang memutuskan untuk mengembangkan dan merevitalisasi Bandar Udara Internasional Sultan Hasanuddin.

Pembangunan terminal ekspansi menggunakan sistem struktur yang sama dengan terminal eksisting. Dalam Tugas Akhir ini Penulis ingin mengeksplorasi jenis struktur alternatif yang dapat diaplikasikan pada terminal ekspansi tanpa menyimpang terlalu jauh secara visual dari sistem struktur terminal eksisting. Dalam mendesain Penulis memperoleh data melalui survey lapangan dan studi literatur. Data yang dicari adalah sistem struktur, profil rangka batang dan sistem konektor.

Terminal eksisting menggunakan sistem struktur *super truss* dengan rangka batang HSS Round yang dihubungkan menggunakan *mero system*. Dengan pertimbangan *unity* dengan sistem struktur terminal eksisting, maka digunakan sistem *thin-shell lattice shell* yang hampir sama dengan *super truss*. Rangka batang yang digunakan adalah HSS Round dengan konektor *mero system*.

ABSTRACT

ALTERNATIVE LATTICE SHELL DESIGN ON SULTAN HASANUDDIN INTERNATIONAL AIRPORT PASSENGER TERMINAL ROOFING

NAME : NADYA SALSABILA
NIM : D51116307
DEPARTMENT : ARCHITECTURE ENGINEERING
CONSELLOR LECTURER 1 : Dr. Eng. Nasruddin, S. T., M. T.
CONSELLOR LECTURER 2 : Pratiwi Mushar, S. T., M. T.

Sultan Hasanuddin International Airport is the biggest airport in Eastern Indonesia and the vital infrastructure to facilitate transportation and economic movement. However, the airport, which is designed to serve 7 million pax/year has exceeded its' capacity in 2015. This problem issued KM 48 Tahun 2019 which decided to develop and revitalize Sultan Hasanuddin International Airport.

The construction of expansion terminal uses the same structural system with the existing terminal. In this Final Project the author wants to explore alternative structural system that could be applied on the expansion terminal without differing too radically visually from the structural system of the existing terminal. In the design process the author collected data through field and literature study. The data sought are structural system, truss profile, dan connector system.

The existing terminal uses super truss as the structural system with HSS Round truss connected with mero system. With the consideration of unity with the structure of the existing terminal, thin-shell lattice shell system is used. The truss unit used is HSS Round with mero system connector.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUNG.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
1. Permasalahan struktural	3
C. Batasan dan Lingkup Pembahasan	4
1. Batasan pembahasan.....	4
D. Tujuan dan Sasaran Pembahasan	4
1. Tujuan Pembahasan.....	4
2. Sasaran Pembahasan.....	4
E. Metode dan Sistematika Pembahasan	4
1. Metode pembahasan	4
2. Sistematika Pembahasan	5
BAB II.....	7

TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Pengertian Judul	7
B. Tinjauan Umum Bandara Internasional Sultan Hasanuddin	8
C. Tinjauan Terminal Penumpang Bandara Internasional Sultan Hasanuddin	9
D. Struktur <i>lattice shell</i>	11
E. Baja.....	14
F. Sambungan Baja.....	18
1. Jenis-jenis sambungan	20
2. <i>Bearing Joint</i>	30
G. Studi Banding Bandara.....	31
1. Incheon Terminal ekspansi.....	31
2. Jewel Changi Airport.....	33
3. Venice Marco Polo Airport	36
4. Terminal Penumpang Bandara Internasional Sultan Hasanuddin	37
I. Kesimpulan Hasil Studi Banding	39
BAB III	40
METODE PEMBAHASAN.....	40
A. Jenis Pembahasan	40
B. Waktu Pembahasan	40
C. Pengumpulan Data	40
1. Data Primer.....	40
2. Data sekunder	40
D. Teknik Analisis Data.....	41
E. Kerangka Pikir.....	42
BAB IV	43

TINJAUAN KHUSUS BANDARA INTERNASIONAL SULTAN HASANUDDIN	43
A. Tinjauan Umum Kabupaten Maros	43
1. Administratif Kabupaten Maros	43
2. Keadaan Geografis dan Iklim.....	45
B. Data Penumpang Bandara Internasional Sultan Hasanuddin	47
1. Jumlah Penumpang Domestik	47
2. Jumlah Penumpang Internasional.....	48
3. Jumlah Penumpang Transit	48
4. Peak hour	49
5. Analisis Data dan <i>Forecasting</i>	49
C. Analisis Besaran Ruang	50
D. Tinjauan Terhadap Bandara Internasional Sultan Hasanuddin	68
E. Analisis Lokasi dan Tapak	69
1. Analisis Lokasi	69
2. Analisis Tapak	70
BAB V.....	72
KONSEP DASAR PERANCANGAN	72
A. Konsep Arsitektural.....	72
B. Konsep Struktural.....	72
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Lattice Shell (a) Super truss (b).	3
Gambar 2. Denah Basement Terminal Bandara Sultan Hasanuddin.	9
Gambar 3. Denah Lantai 1 Terminal Bandara Sultan Hasanuddin.	10
Gambar 4. Denah Lantai 2 Terminal Bandara Sultan Hasanuddin.	11
Gambar 6. Auditorium Toluca.	12
Gambar 7. Kubah Geodesik Walther Bauersfeld.	13
Gambar 8. Potongan Masjid Hadži Alija.	14
Gambar 9. Profil I-beam	15
Gambar 10. Profil H-beam.....	15
Gambar 11. Profil Hollow Structural Section (HSS) rectangular (a) square (b) circular (c)	16
Gambar 12. Profil Rolled Steel Angle (RSA).....	17
Gambar 13. Profil C-beam.	17
Gambar 14. Profil Plate.....	18
Gambar 15. Jenis-jenis Sambungan.	20
Gambar 16. Mero System.	21
Gambar 17. Disc Node (Type TK).....	22
Gambar 18. Bowl Node (Type NK).....	23
Gambar 19. Cylinder Node (Type ZK).....	24
Gambar 20. Block Node (Type BK).	25
Gambar 21. Space Deck.....	26
Gambar 22. Triodetic System.	26
Gambar 23. Unistrut System.	27
Gambar 24. Oktaplatte System.	28
Gambar 25. Unibat System.	29
Gambar 26. Nodus System.....	29
Gambar 27. NS Space Truss.	30
Gambar 28. Bearing Joint.	31
Gambar 29. Incheon Terminal ekspansi.	31

Gambar 30. Detail Struktur Incheon Terminal ekspansi.....	32
Gambar 31. Detail Atap Incheon Terminal ekspansi.	33
Gambar 32. Jewel Changi Airport.	33
Gambar 33. Denah Jewel Changi International Airport.....	34
Gambar 34. Struktur gridshell.....	35
<i>Gambar 35. Konstruksi Jewel Changi Airport.</i>	<i>35</i>
Gambar 36. Konektor Jewel Changi Airport.	36
Gambar 37. Marco Polo Airport Gallery.	36
Gambar 38. Konstruksi Atap Galeri Marco Polo Airport.....	37
Gambar 39. Struktur Zona Umum.	38
Gambar 40. Rangka Super Truss.	38
Gambar 41. Skema Kerangka Pikir.....	42
Gambar 42. Peta Kabupaten Maros.	43
Gambar 43. Peta Ketinggian Tempat Kabupaten Maros.	45
Gambar 44. Peta Kemiringan Lereng Kabupaten Maros.	46
Gambar 45. Kecepatan Angin dan Curah Hujan Rata-rata Bulanan Kabupaten Maros Tahun 2018.	47
Gambar 46. Peta Bandara Internasional Sultan Hasanuddin.	68
Gambar 47. Lokasi Bandara Internasional Sultan Hasanuddin.	69
Gambar 48. Peta Rencana Induk Pengembangan Bandara Internasional Sultan Hasanuddin.....	70
Gambar 49. Lokasi Tapak.....	70
Gambar 50. Dimensi Tapak.	71
Gambar 52. TPO Membrane.	73

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tabulasi Hasil Studi Banding.	39
Tabel 2. Luas Wilayah Berdasarkan Kecamatan Kabupaten Maros.....	44
Tabel 3. Rata-rata Suhu dan Kelembaban Udara Menurut Bulan di Kabupaten Maros Tahun 2018.	46
Tabel 4. Data Penumpang Domestik.....	47
Tabel 5. Data Penumpang Internasional.	48
Tabel 6. Data Penumpang Transit.....	48
Tabel 7. Peak Hour.....	49
Tabel 8. Proyeksi Jumlah Penumpang Domestik.....	49
Tabel 9. Proyeksi Jumlah Penumpang Internasional.	49
Tabel 10. Proyeksi Jumlah Penumpang Transit.....	50
Tabel 11. Perkiraan Kebutuhan Ruang.	63

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bandara Internasional Sultan Hasanuddin merupakan bandara terbesar ke-8 di Indonesia dan merupakan bandara terbesar di Indonesia Timur. Sebagai bandara pengumpul primer dengan jumlah penumpang lebih dari 5 juta per tahun, Bandara Internasional Sultan Hasanuddin merupakan simpul utama dalam pergerakan transportasi udara utama di bagian Timur. Bandara memiliki peran besar dalam bidang ekonomi, pengembangan daerah, dan transportasi.

Sebagai pintu gerbang kegiatan perekonomian, Bandara Internasional Sultan Hasanuddin berperan dalam upaya pemerataan pembangunan, pertumbuhan dan stabilitas ekonomi, dan penyelarasan pembangunan nasional dengan cara mendorong dan menunjang kegiatan industri, dagang, dan pariwisata. Dalam pengembangan daerah bandara ini berperan dalam membuka akses pada daerah terpencil serta mendorong pengembangan daerah perbatasan. Hal ini bisa dilihat dengan perkembangan daerah permukiman di sekitar bandara yang terus tumbuh. Pada bidang transportasi, bandara berperan sebagai simpul pertemuan berbagai moda transportasi dari berbagai daerah sehingga menjadi sebuah tempat alih moda transportasi. Selain itu, Bandara Internasional Sultan Hasanuddin juga berperan sebagai *landmark* Kota Makassar.

Karena vitalnya peran Bandara Internasional Sultan Hasanuddin, maka bangunan gedung harus dapat mengakomodasi berbagai kegiatan yang disebutkan sebelumnya secara maksimal. Gangguan kecil dalam kegiatan operasionalnya akan memberi dampak besar pada seluruh kegiatan di atas. Dalam kasus ini, kapasitas penumpang di Bandara Internasional

Sultan Hasanuddin telah melebihi kapasitas sehingga berdampak pada kenyamanan dan pelayanan bandara.

Dengan peningkatan penumpang yang naik seiring tahun, maka kebutuhan akan ruang pelayanan semakin meningkat. Ruang pelayanan eksisting dalam bandara sudah tidak memungkinkan untuk melayani lonjakan jumlah penumpang. Bandara Internasional Sultan Hasanuddin dirancang hanya untuk menampung hingga 7 juta penumpang per tahun. Sementara pada tahun 2015, Bandara Internasional Sultan Hasanuddin melayani 9,3 juta orang per tahunnya (Adisasmita, 2016)

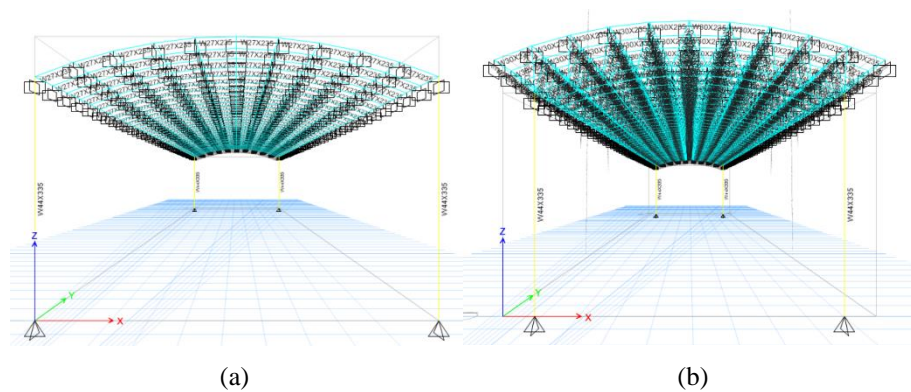
Untuk merespon lonjakan penumpang ini, maka pihak bandara melakukan proyek pengembangan bandara yang akan dilakukan secara bertahap. Berdasarkan rencana pengembangan infrastruktur bandara yang dimulai pada tahun 2019, pengembangan tahap 1 akan berfokus pada terminal, gedung parkir, dan akses utama bandara. Setelah pengembangan, terminal domestik akan memiliki luas sekitar 126.682m² dan terminal internasional sekitar 17.800m². Pengembangan ini akan dilakukan secara bertahap hingga tahun 2044 (Adisasmita, 2016)

Saat ini telah dilakukan ekspansi terminal yang pada sisi Selatan terminal eksisting. Terminal ekspansi memiliki kesamaan konsep arsitektural dan struktural dengan bangunan terminal eksisting sehingga menimbulkan keselarasan pada bangunan-bangunan yang ada. Konsep arsitektural yang digunakan diambil dari dasar konsep terminal eksisting berupa ombak sehingga menghasilkan bentuk bergelombang pada bagian atapnya. Sedangkan konsep struktural yang digunakan adalah *super truss*. Hal ini menyebabkan banyaknya jumlah rangka batang yang digunakan pada struktur, berat struktur yang besar, dan kompleksnya sambungan antar batang.

Terdapat sebuah sistem struktur yang mirip dengan *super truss*, yaitu *gridshell* atau *lattice shell*. *Lattice shell* atau *gridshell* adalah sub-divisi dari struktur *thin-shell*. Jenis struktur *lattice shell* hanya menggunakan satu lapis rangka batang sementara *super truss* biasanya menggunakan lebih dari satu

lapis. Karena faktor ini struktur *lattice shell* terlihat lebih ‘tipis’, jumlah komponen struktural lebih sedikit, dan sambungan yang lebih sederhana.

Kemampuan kedua jenis struktur di atas dalam menahan beban hampir mirip. Penulis melakukan sebuah analisa menggunakan program komputer ETABS dimana dirancang dua buah bangunan dengan jenis dan ukuran material, bentang, pembebanan, dan jenis sambungan yang sama. Satu bangunan dirancang menggunakan sistem struktur *super truss* dan satu lagi menggunakan sistem struktur *lattice shell* (Gambar 1a dan 1b). Hasil analisis menunjukkan kedua sistem struktur sama-sama aman secara struktural.



(a) (b)
Gambar 1. Lattice Shell (a) Super truss (b).
(Sumber: Analisis Penulis)

Berdasarkan poin-poin perbandingan di atas dan hasil analisis di atas, dalam Tugas Akhir ini Penulis ingin mengeksplorasi alternatif konsep struktural berupa *lattice shell* yang dapat diaplikasikan pada bangunan terminal ekspansi.

B. Rumusan Masalah

1. Permasalahan struktural

Bagaimana konsep desain struktural *lattice-shell* sebagai alternatif sistem struktur bangunan Terminal ekspansi dengan konsep *widespan*?

C. Batasan dan Lingkup Pembahasan

1. Batasan pembahasan

Pembahasan dibatasi pada konsep struktural bangunan yang mencakup struktur *lattice-shell* beserta detailnya. Seluruh konsep akan ditarik berdasarkan hasil analisis data yang diperoleh baik secara langsung maupun tidak langsung di lapangan maupun secara pustaka.

Konsep Terminal ekspansi tidak memperhitungkan biaya, manajemen konstruksi, *sub structure* dan *super structure*. Desain akan dirancang menggunakan aplikasi REVIT, Rhinoceros, dan AutoCAD.

2. Lingkup pembahasan

Pembahasan ditekankan pada konsep struktural berupa metode desain konstruksi struktur *lattice-shell* pada bagian atap. Alternatif gubahan bentuk bangunan Terminal ekspansi akan mengikuti bentuk alternatif sistem struktur yang didesain.

D. Tujuan dan Sasaran Pembahasan

1. Tujuan Pembahasan

Mengeksplorasi konsep alternatif struktural berupa *lattice-shell* pada bangunan terminal ekspansi.

2. Sasaran Pembahasan

Mengeksplorasi alternatif konsep struktural berupa sistem struktur *lattice-shell* pada terminal ekspansi.

E. Metode dan Sistematika Pembahasan

1. Metode pembahasan

Pengumpulan data dan informasi yang berkaitan dengan terminal penumpang bandara udara internasional yaitu:

- a. Studi literatur.
- b. Survei lapangan.
- c. Studi banding.

2. Sistematika Pembahasan

- BAB I Berisi bentuk dasar dari pembahasan yang dimulai dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan sasaran pembahasan, batasan dan lingkup pembahasan, metode dan sistematika pembahasan.
- BAB II Berupa pengertian judul, tinjauan umum Bandara Internasional Sultan Hasanuddin, tinjauan terminal penumpang Bandara Internasional Sultan Hasanuddin, studi pustaka struktur *lattice-shell*, baja dan sambungan baja, serta studi banding terminal penumpang bandara.
- BAB III Berupa jenis dan waktu pembahasan, cara pengumpulan data, teknik analisis data, dan kerangka pikir.
- BAB IV Tinjauan umum Kabupaten Maros, tinjauan data penumpang Bandara Internasional Sultan Hasanuddin, tinjauan khusus terhadap terminal penumpang Bandara Internasional Sultan Hasanuddin, analisis besaran ruang dan analisis lokasi dan tapak.
- BAB V Berupa hasil analisis, panduan dasar perencanaan, serta konsep alternatif struktural terminal

penumpang Bandara Internasional
Sultan Hasanuddin

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Judul

1. Desain :
 - Menurut Kamus Daring Merriam-Webster (2019), desain adalah sketsa awal atau garis besar yang menunjukkan ciri-ciri utama dari sesuatu yang akan dieksekusi

2. *Lattice-shell* :
 - *Lattice-shell* adalah struktur spasial kaku yang terbentuk dari hubungan rangka-rangka lurus atau lengkung yang saling tersambung untuk membentuk permukaan berpola dengan kekuatan dan kekakuan untuk menopang gaya dalam bidang dan tekuk (Schodek, 2014).

3. Atap :
 - Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia Daring (2019), penutup rumah (bangunan) sebelah atas; benda yang dipakai untuk menutup atas rumah.

4. Terminal :
 - Terminal adalah pangkalan kendaraan bermotor umum yang digunakan untuk mengatur kedatangan dan keberangkatan, menaikkan dan menurunkan orang dan/atau barang, serta perpindahan moda angkutan (PM 132 Tahun 2015).

5. Penumpang :

- Penumpang adalah orang yang berada di kendaraan selain pengemudi dan awak kendaraan. (PM 132 Tahun 2015)

6. Bandara :

- Bandara merupakan area tertentu di darat atau air (termasuk bangunan, instalasi dan peralatan) yang dimaksudkan untuk digunakan seluruhnya atau sebagian untuk kedatangan, keberangkatan dan pergerakan permukaan pesawat udara (ICAO, 2017).
- Bandar Udara adalah kawasan di daratan dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu yang digunakan sebagai tempat pesawat udara mendarat dan lepas landas, naik turun penumpang, bongkar muat barang, dan tempat perpindahan intra dan antarmoda transportasi, yang dilengkapi dengan fasilitas Keselamatan dan - 3 - Keamanan Penerbangan, serta fasilitas pokok dan fasilitas penunjang lainnya (PM 39 Tahun 2019).

Berdasarkan pengertian di atas, maka dapat disimpulkan bahwa pengertian judul adalah perancangan struktur spasial kaku yang menutupi bagian atas bangunan penghubung moda transportasi orang yang bepergian dengan pesawat.

B. Tinjauan Umum Bandara Internasional Sultan Hasanuddin

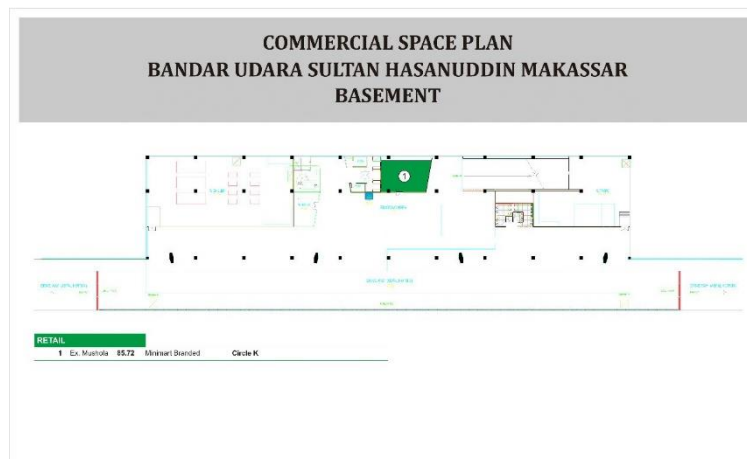
Bandara Internasional Sultan Hasanuddin adalah bandar udara terbesar di Indonesia Timur yang terletak di Kecamatan Makassar, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan. Bandara ini diresmikan pada tanggal 20 Agustus 2008 setelah sebelumnya direlokasi dari Kecamatan Mandai, Kabupaten Maros. Bandara direlokasi sebab jumlah pengguna bandara telah jauh melampaui kapasitas.

Saat ini, bandara sedang mengalami ekspansi sebab kapasitasnya sudah tidak dapat memfasilitasi pengguna bandara. Pertumbuhan

penumpang yang drastis membuat pihak bandara harus mengembangkan fasilitas-fasilitas utama serta penunjang guna memastikan kegiatan di dalam bandara dapat terakomodasi dengan baik. Terdapat empat tahapan pengembangan yang akan dilakukan berangsur-angsur dari tahun 2019-2044. Saat ini sedang berlangsung pengembangan tahap satu yang meliputi pembangunan fasilitas-fasilitas yang dikembangkan antara lain adalah jalan akses utama bandara, gedung parkir, dan perluasan terminal penumpang ke arah Selatan.

C. Tinjauan Terminal Penumpang Bandara Internasional Sultan Hasanuddin

Terminal penumpang Bandara Internasional Sultan Hasanuddin mulai beroperasi pada tanggal 20 Agustus 2008 dengan luas bangunan $\pm 61.820 \text{ m}^2$ dan dapat menampung 7 juta penumpang. Terminal penumpang Bandara Internasional Sultan Hasanuddin dibagi menjadi terminal domestik seluas $\pm 53.045 \text{ m}^2$ dan terminal internasional seluas $\pm 8.770 \text{ m}^2$. Terminal ini terdiri atas 3 lantai berupa basement, lantai 1, dan lantai 2. Pada lantai basement terdapat area *pick-up* penumpang, ruang-ruang konsesi, dan ruang *chiller* serta trafo.



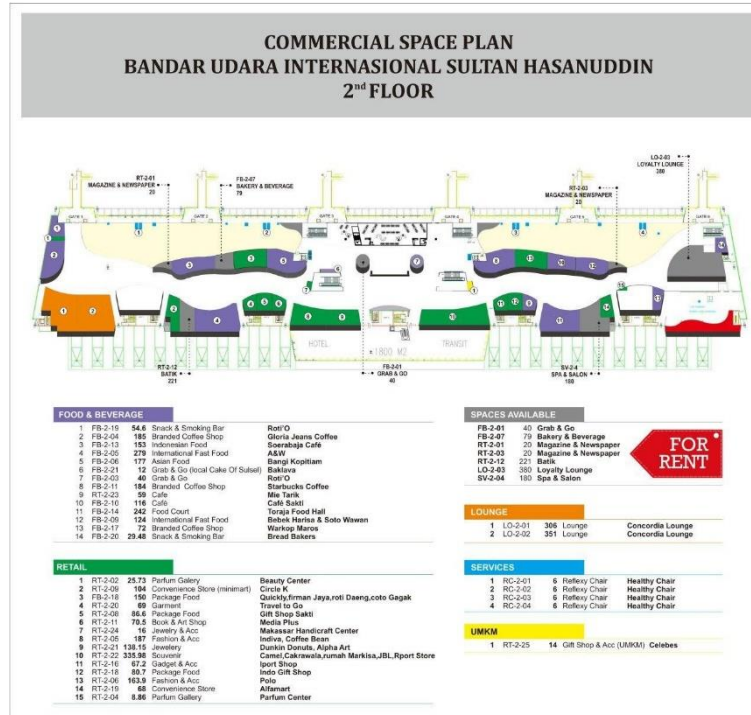
Gambar 2. Denah Basement Terminal Bandara Sultan Hasanuddin.
(Sumber: <https://hasanuddin-airport.co.id/id/basemen/download/816>, diakses tanggal 3 Juli 2021)

Pada lantai 1 terdapat area *drop penumpang*, *ticketing sales*, *check-in* dan *arrival*, ruang-ruang konsesi, serta *x-ray cabin*.



Gambar 3. Denah Lantai 1 Terminal Bandara Sultan Hasanuddin.
(Sumber: https://hasanuddin-airport.co.id/frontend/uploads/defaults/thumbnails/thumbnail_7xC0TK20200703142849.jpg, diakses tanggal 3 Juli 2021)

Pada lantai 2 terdapat *boarding lounge*, *executive lounge*, *reading corner*, ruang-ruang konsesi serta *x-ray cabin*.



Gambar 4. Denah Lantai 2 Terminal Bandara Sultan Hasanuddin.
(Sumber: <https://hasanuddin-airport.co.id/id/lantai-2/download/818>, diakses tanggal 3 Juli 2021)

Ekspansi terminal penumpang sedang dirampungkan saat ini, terminal tersebut menggunakan gaya arsitektural dan struktural yang sama dengan terminal eksisting. Diasumsikan terminal ekspansi memiliki jumlah lantai fungsi ruangan yang sama dengan terminal eksisting.

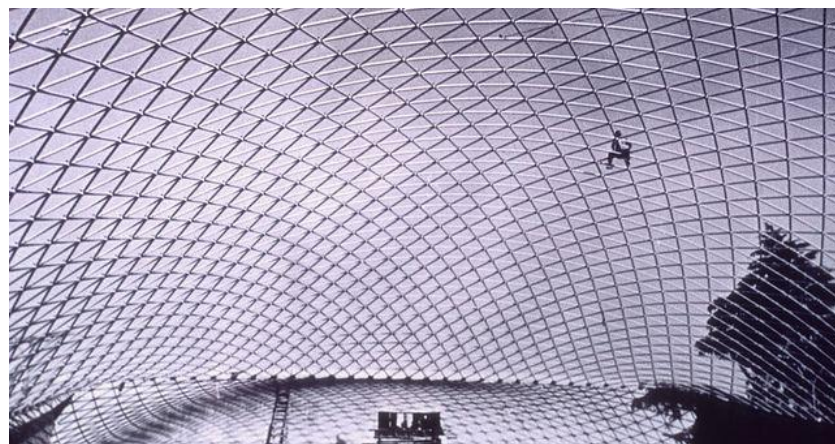
D. Struktur *lattice shell*

Lattice shell atau *grid shell* adalah sub-klasifikasi struktur *thin-shell* yang terbentuk dari elemen linear atau lengkung yang saling terhubung sehingga menghasilkan permukaan berpola yang dapat menahan beban dan puntiran. Elemen-elemen tersebut dihubungkan secara kaku agar tidak terjadi *racking*. Jenis struktur ini banyak digunakan pada bangunan *freeform* karena fleksibilitasnya. Contoh aplikasi sistem struktur ini dapat dilihat pada Mannheim Multihall (Gambar 5).



Gambar 5. Mannheim Multihall.
(Sumber: Schodek, Structures. 7th edition. p. 417)

Awalnya struktur *gridshell* berasal dari struktur diagrid yang diaplikasikan pertama kali oleh insinyur Rusia bernama Vladimir Shukhov pada bangunan mercusuar. Struktur ini kemudian diadopsi ke bentuk kubah dan disebut sebagai geodesik. Meskipun telah banyak bangunan yang menggunakan sistem struktur ini, Auditorium Toluca (Gambar 6) adalah bangunan pertama yang dianggap benar-benar menggunakan sistem struktur *free-form gridshell*. Bangunan ini memiliki denah berbentuk persegi panjang dengan permukaan terbentuk dari kisi dengan radius lengkungan yang bervariasi.



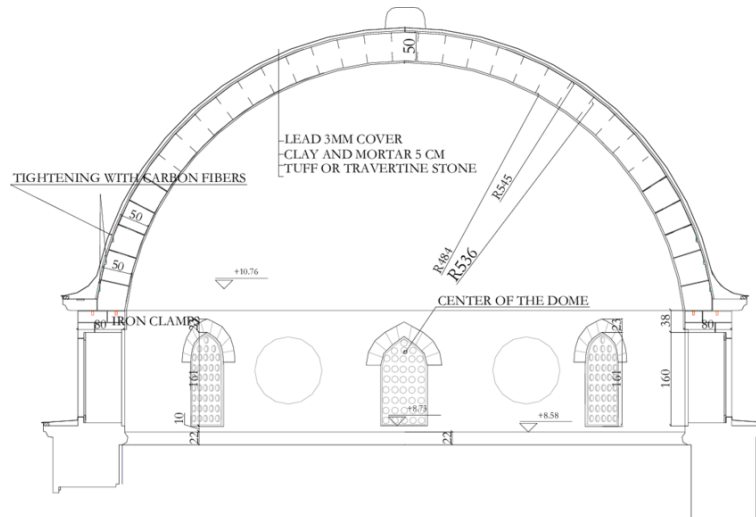
Gambar 6. Auditorium Toluca.
(Sumber: <https://www.geometrica.com/en/latestnews/castano-sr>, diakses tanggal 23 Juni 2022)

Secara garis besar, *gridshell* dikategorikan menjadi dua jenis, yang dipelopori oleh Buckminster Fuller dan Frei Otto, yaitu kubah geodesic dan *free-form*. Buckminster Fuller menganggap kubah geodesic adalah struktur *gridshell* yang paling optimal karena memaksimalkan volume pada permukaan tertentu. Kubah geodesic Buckminster Fuller menggunakan unit segitiga kaku yang memiliki panjang standar untuk membentuk bentuk murni yang didesain sebelumnya (Gambar 7). Fuller menganggap bentuk kubah sebagai model ideal dari efisiensi permukaan ke volume. Sementara Frei Otto berfokus pada eksperimen material yang akan menghasilkan bentuk-bentuk yang belum pernah ada sebelumnya. Kompleksitas penemuan bentuk rancangannya menekankan pada integrasi antara bentuk, struktur dan material (Cabrinha, 2014).



Gambar 7. Kubah Geodesik Walther Bauersfeld.
(Sumber: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/ATC-2017-0006/pdf>, diakses tanggal 21 Juli 2021)

Meskipun kubah geodesic adalah bentuk paling optimal dari struktur dari *gridshell*, tapi pemanfaatan volume untuk kegiatan di dalam kurang baik karena bentuknya yang cenderung dominan ke atas. Hal ini menyebabkan sirkulasi kegiatan kurang fleksibel. Pada keadaan lapangan, sebuah kubah biasanya terlalu tinggi di bagian tengah ataupun terlalu rendah di pinggirnya kecuali jika ditempatkan di atas dinding ataupun kolom (Gambar 8).



Gambar 8. Potongan Masjid Hadzi Alija.

(Sumber: <https://www.researchgate.net/profile/Amir-Causevic/publication/259642772/figure/fig4/AS:669312880766983@1536588034297/Sections-of-Hadzi-Alija-Mosque-dome-reconstruction-project-shows-that-the-dome-is-not-a.png>, diakses tanggal 21 Juli 2021).

Free-form gridshell acap kali lebih optimal dalam konteks bentang struktur dan pemanfaatan area sebab fleksibilitas bentuknya. *Free-form gridshell* hampir tidak memiliki batas dalam bentuknya, hal yang harus diperhatikan hanyalah *boundary curve* yang akan mengikat struktur sehingga dapat mempertahankan bentuknya saat diberi beban (Cabrinha, 2014).

E. Baja

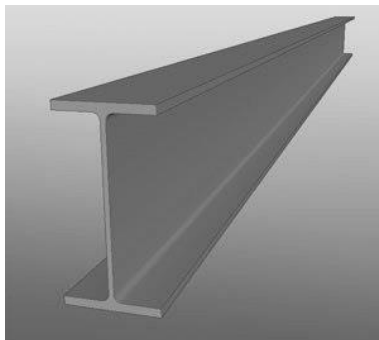
Karena struktur *lattice shell* menggunakan lengkung sebagai cara untuk menahan beban dan mempertahankan bentuknya, maka dibutuhkan material yang relatif fleksibel dan kuat. Material yang sering digunakan adalah baja dan kayu karena baja terkenal dengan sifatnya yang daktil tetapi tangguh, serta kayu yang terhitung elastis sebagai bahan konstruksi. Akan tetapi, baja memiliki nilai lebih dibandingkan kayu sebab lebih mudah diproduksi massal serta kekerasan yang lebih tinggi. Selain itu, baja juga tahan hama, kelembaban, dan api dibandingkan kayu. Hal ini yang membuat baja lebih sering digunakan dalam konstruksi bangunan dibandingkan kayu.

Baja merupakan perpaduan berbagai macam logam terutama besi dengan komposisi karbon yang paling menonjol. Kandungan karbon dalam

baja berkisar antara 0.2%-2.1% dari berat keseluruhan baja dalam *grade*-nya. Kandungan karbon dalam baja berperan dalam menentukan kekerasan baja serta kekuatan tarik. Akan tetapi bila kandungan karbon dalam baja terlalu banyak hal ini dapat membuat baja menjadi getas dan menurunkan keuletannya.

Berdasarkan bentuknya, baja diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *I-beam/universal beam (UB)/wide flange (WF)*

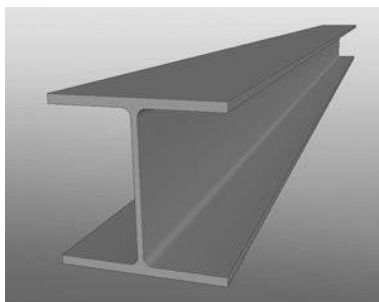


Gambar 9. Profil *I-beam*

(Sumber: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Structural_steelwork, diakses tanggal 28 Februari 2021)

Baja ini memiliki profil berbentuk seperti huruf I atau H. Berdasarkan perhitungan Euler-Bernoulli jenis baja ini adalah yang paling efisien dalam menyalurkan beban geser atau pembengkokan. Tetapi jenis baja ini memiliki kapasitas yang kurang di arah melintang serta tidak efisien dalam menahan gaya puntir.

2. *H-beam/universal column (UC)*

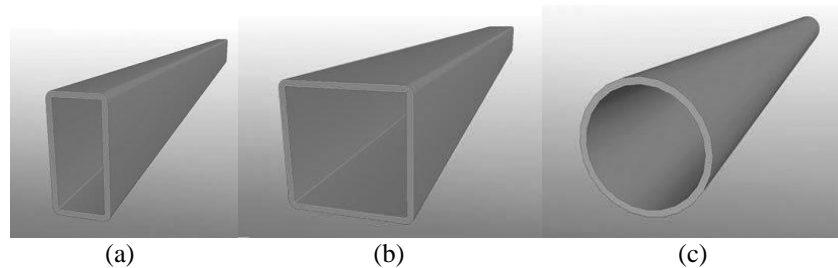


Gambar 10. Profil *H-beam*

(Sumber: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Structural_steelwork, diakses tanggal 28 Februari 2021)

Perbedaan jenis baja ini dengan *i-beam* adalah ukurannya. Lebar *H-beam* kurang lebih sama dengan tingginya. *H-beam* dianggap lebih kuat dibandingkan dengan *i-beam* sebab ukurannya sehingga distribusi beban lebih optimal. Tetapi penggunaan *i-beam* maupun *h-beam* dapat dipertukarkan.

3. *HSS-shape*

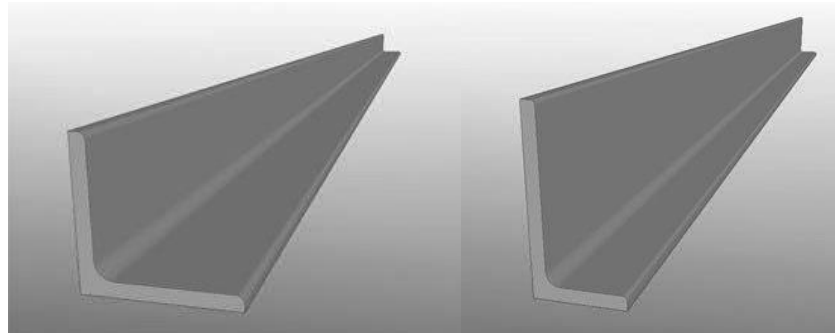


Gambar 11. Profil *Hollow Structural Section* (HSS) *rectangular* (a) *square* (b) *circular* (c)

(Sumber: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Structural_steelwork, diakses tanggal 28 Februari 2021)

Hollow Structural Section (HSS) adalah jenis baja dengan profil penampang berongga. Bentuk baja ini dapat berupa lingkaran, elips, persegi maupun persegi panjang. Bentuk persegi panjang biasanya digunakan pada rangka baja las dimana elemen rangkanya menerima beban dari berbagai arah. Bentuk persegi dan lingkaran sangat efisien dalam pembebanan sumbu banyak karena geometrinya yang seragam. Hal ini menjadikan bentuk persegi dan lingkaran cocok digunakan sebagai kolom. Selain itu bentuk-bentuk ini memiliki ketahanan yang baik terhadap gaya puntir. Jenis baja ini sering digunakan pada struktur yang diekspos karena alasan estetika.

4. *Rolled steel angle (RSA)/angle/equal angle/L-shape*

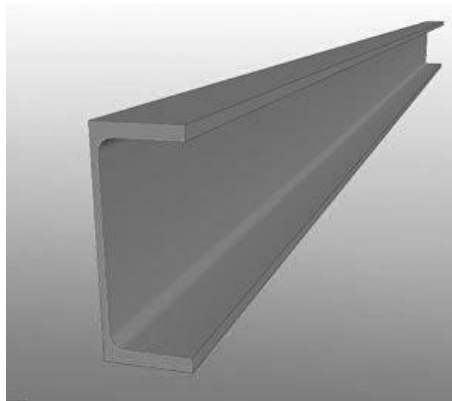


Gambar 12. Profil *Rolled Steel Angle (RSA)*

(Sumber: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Structural_steelwork, diakses tanggal 28 Februari 2021)

Jenis baja ini sering digunakan untuk menahan beban baik digunakan secara langsung maupun dibaut/las satu sama lain membentuk huruf T. Bentuk ini cocok digunakan untuk menahan gaya tekuk tetapi tidak dengan gaya puntir. Tipe ini biasanya diaplikasikan pada balkon, tangga, platform, penyangga beton, dsb.

5. *Structural channel/C-beam/C cross-section*



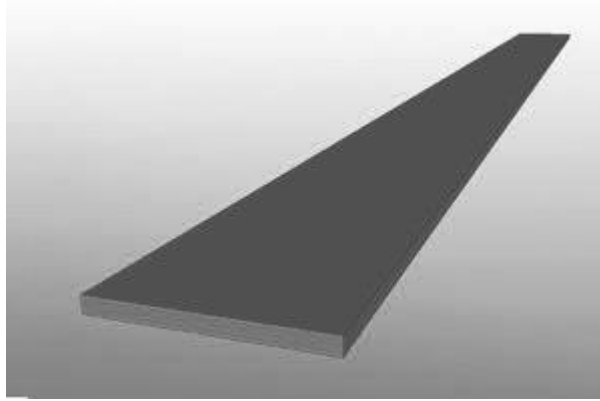
Gambar 13. Profil *C-beam*.

(Sumber: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Structural_steelwork, diakses tanggal 28 Februari 2021)

C-beam tidak banyak digunakan dalam konstruksi simetris karena titik tekuknya tidak berada pada *flange* sehingga jika dibebankan pada bagian atasnya *beam* akan berpuntir menjauh dari *web*. *Channels* biasanya digunakan pada area rata sehingga bagian belakang *beam* yang rata dapat dipasang. Bentuk ini biasanya

digunakan untuk kolom, balok atas pintu maupun sebagai penyangga balok lantai.

6. *Plate*



Gambar 14. Profil *Plate*.





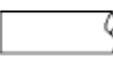








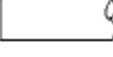


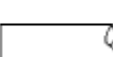








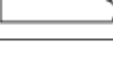




















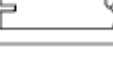





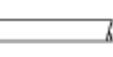










(Sumber: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Structural_steelwork, diakses tanggal 28 Februari 2021)











Jenis baja ini biasanya digunakan untuk menyambung dua *beam* dan biasanya digunakan sebagai plat dasar, pelat ujung, pengkaku, *gusset*, tab, pelat sambungan dsb.

F. Sambungan Baja

Dalam perancangan struktur *lattice shell*, kepentingan sambungan tidak dapat diabaikan. Sambungan merupakan komponen paling penting dari sebuah struktur *lattice shell* sebab elemen ini berguna untuk menahan dan mengikat elemen-elemen batang sehingga struktur dapat berfungsi sebagai satu kesatuan.

Tipe sambungan terbagi menjadi tiga menurut cara penyambungannya, yaitu *bolting*, *welding*, dan penggunaan konektor mekanikal. Selain itu bentuk elemen batang juga memengaruhi jenis sambungannya bergantung apakah bentuk elemen tersebut *circular hollow*, *square hollow*, atau *rolled steel*. Seluruh jenis konektor dapat dibagi menjadi tiga grup yaitu: grup dengan *node*, tanpa *node*, dan unit prefabrikasi.

Node	Connector	Member	Cross-section	Examples	Code	
Sphere	Solid				Mero KK, Germany Montal, Germany Uzay, Italy	A11
					Steve Baer, U.S. Van Tel, NL KT space truss, Japan	
					Mero MT, Germany	
	Hollow				Spherobat, France	A12
					NS space truss, Japan Tuball, NL Orbik, U.K.	
Sphere	Hollow				SDC, France	A13
	Hollow				Oktaplatte, Germany	A14
					WHSJ, China	
Hollow				Vestrut, Italy	A15	
Cylinder	Solid				Triodetic, Canada nameless, East Germany	A21
	Hollow				Octatube Plus, NL nameless, Singapore	A22
					Pieter Huybers, NL	
					nameless system, U.K.	
Disc	Flat				Palc, Spain	A31
					Power strut, U.S.	
	Disc				Pieter Huybers, NL	A32
					Tridimatec, France	
					Moduspan, U.S. (former Unistrut) Space-Frame System VI, U.S. (Unistrut)	
Welded				Boyd Auger, U.S. Octatube, NL	A34	
				Piramodul large span, NL		
				Nodus, U.K.	A35	

Node	Connector	Member	Cross-section	Examples	Code
Solid				Montal, Germany	A41
				Mero BK, Germany	
Prism				Mero TK and ZK, Germany	A42
				Mero NK, Germany	
					
Hollow				Satterwhite, U.S.	

Gambar 15. Jenis-jenis Sambungan.

(Sumber: Structural Engineering Handbook, p.997-998, 1999)

1. Jenis-jenis sambungan

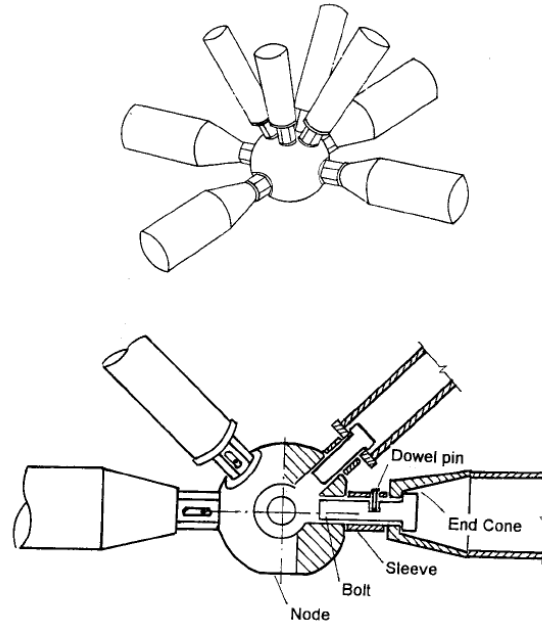
a. Mero System

Mero *connector* dikembangkan oleh Dr. Mengeringhausen dan sangat populer digunakan baik dalam bangunan temporer atau permanen. *Joint* Mero terbuat dari *node* bulat yang terbuat dari *hot-pressed steel* dengan permukaan rata dan lubang penyadap. Elemen batang yang digunakan adalah *hollow sections* dengan ujung berbentuk kerucut yang dilas untuk menampung baut penghubung. Baut tersebut kemudian dikencangkan menggunakan selongsong heksagonal dan susunan *dowel pin* (Gambar 16). Mero *connector* dapat menghubungkan hingga 18 rangka batang tanpa eksentrisitas.

Kelebihan Mero *connector* adalah bahwa seluruh sumbu rangkanya menembus pusat *node* sehingga eksentrisitas *joint* terminimalisir. Hal ini berarti *joint* hanya terbebani gaya aksial. Gaya tarik akan disalurkan sepanjang sumbu longitudinal baut dan ditahan oleh elemen rangka lewat kerucut pada ujung rangka batang. Gaya tekan yang terjadi tidak akan membebani baut karena diteruskan oleh selongsong heksagonal menuju *node*.

Awalnya Mero *connector* dikembangkan untuk struktur *double layer grid*, tetapi karena perkembangan serta tuntutan yang

lebih beragam, muncullah *Nero Plus System* untuk variasi struktur melengkung dan lipat.

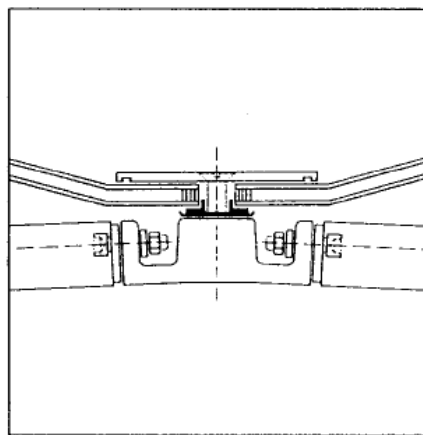
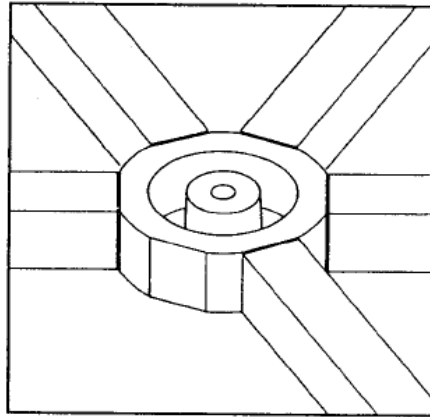


Gambar 16. *Nero System*.
(Sumber: Structural Engineering Handbook, p.1001, 1999)

Konektor ini dapat menyalurkan gaya geser, menahan gaya puntir, dan dalam kasus khusus dapat menahan momen lentur. Ada empat (4) grup dalam sistem ini yaitu:

- *Disc Node (Type TK)*

Node berbentuk cincin planar yang dapat menghubungkan 5-10 rangka batang. Sebuah baut digunakan untuk menyambungkan *node* dengan rangka. Kedalaman *node* sebanding dengan kedalaman potongan rangka. Sistem ini dapat menyalurkan gaya geser dan menahan puntir. Tipe ini cocok digunakan untuk struktur *latticed shell* dengan dasar bentuk segitiga.



Gambar 17. *Disc Node (Type TK)*.
(Sumber: Structural Engineering Handbook, p.1002, 1999)

- *Bowl Node (Type NK)*

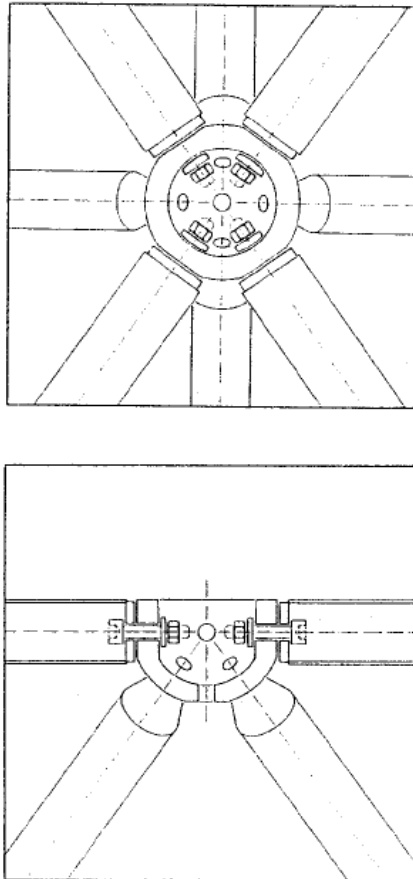
Adalah *node* bulat yang menghubungkan *top chord* dengan rangka batang diagonal (Gambar 18). Untuk menghubungkan rangka diagonal dengan *bottom chord*, digunakan Mero *System* biasa. *Bowl node* digunakan untuk *double layer planar* dan permukaan lengkung, terutama pada bangunan dengan dengan tidak teratur atau berbentuk piramid.

- *Cylinder Node (Type ZK)*

Adalah *node* berbentuk silinder dengan beberapa sambungan baut yang dapat menghantarkan momen lentur (Gambar 19). Tipe ini biasanya bisa menyambungkan antara 5-10 rangka. *Cylinder node* bisa digunakan untuk *single* atau *double curved surface latticed shell* dengan dasar bentuk trapesium yang memerlukan sambungan kaku *flexural*.

- *Block Node (Type BK)*

Node ini digunakan untuk struktur sederhana dan ukuran kecil. *Node* ini berbentuk kubus atau prisma yang akan menghubungkan rangka berbentuk persegi atau persegi panjang (Gambar 20).

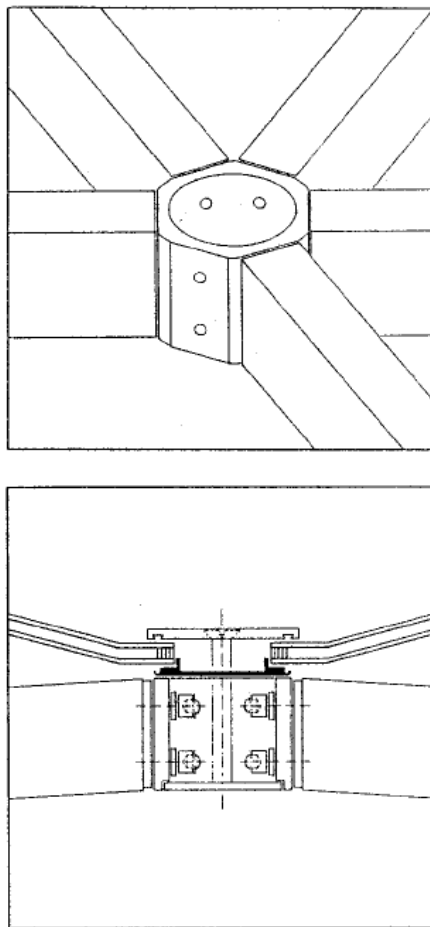


Gambar 18. Bowl Node (Type NK)
(Sumber: Structural Engineering Handbook, p.1003, 1999)

b. *Space Deck*

Sistem sambungan ini dikembangkan sekitar tahun 1950-an dengan memanfaatkan unit *space frame* yang berbentuk piramida. Keempat batang diagonal dilas ke sudut-sudut setiap *frame* lalu disatukan dengan *boss* yang difabrikasi pada puncak (Gambar 21). Sistem ini didasarkan pada unit-unit piramid persegi yang menyusun konfigurasi *square on square offset* pada *double layer space grid*. Unit-unit tersebut lalu disambungkan melalui bingkai sudut. Setiap

puncak dari unit akan dihubungkan menggunakan *tie bars*. Lengkungan bisa diciptakan dengan cara menyesuaikan panjang *tie bar*. Sistem *space deck* biasanya digunakan untuk bangunan dengan bentang kurang dari 40 m dengan modul standar dan ke dalam struktur 1.2 m. Untuk desain dengan beban yang lebih besar dan bentang lebih lebar, dapat digunakan modul produksi sebesar 1,5 m atau 2 m dengan kedalaman modul yang sama.

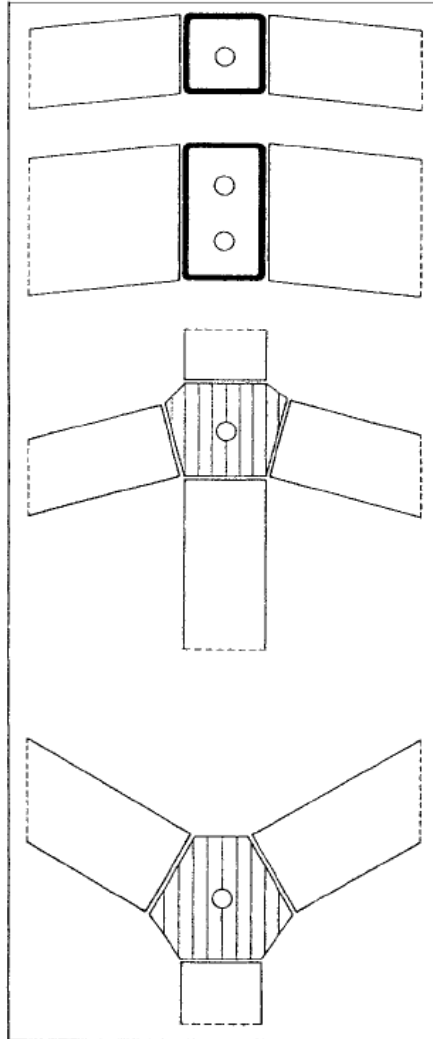


Gambar 19. Cylinder Node (Type ZK).
(Sumber: Structural Engineering Handbook, p.1004, 1999)

c. Triodetic

Joint dari sistem ini terdiri atas konektor aluminium dengan alur pasak bergerigi. Setiap ujung-ujung rangka ditekan agar menjadi bentuk pipih yang dapat masuk ke dalam alur pasak. Rangka kemudian dimasukkan ke dalam konektor, ring ditempatkan pada ujung-ujung konektor, dan baut sekrup dimasukkan ke pusat

konektor (Gambar 22). Sistem *triodectic* dapat digunakan dalam struktur *space frame* tiga dimensi apa saja. *Triodectic double layer grid* dapat digunakan pada bentang lebar hingga 33 m. Modul dasar dari sistem ini hampir bebas hingga sebesar 2,7 m². Kedalaman modul biasanya sekitar 70% dari ukuran modul.



Gambar 20. Block Node (Type BK).
(Sumber: Structural Engineering Handbook, p.1005, 1999)

d. Unistrut

Joint ini terdiri atas plat konektor dengan rangka berbentuk kanal *cold-pressed* yang dikencangkan menggunakan sebuah baut pada tiap ujungnya (Gambar 23). Konektor bagian atas dan bawah identic sehingga sistem ini hanya memiliki empat komponen yaitu plat konektor, *strut*, baut, dan *nut*. Bentang maksimal dari sistem ini

adalah 40 m dengan ukuran modul standar 1,2 m dan 1,5 m. Nama lain sistem ini adalah Moduspan.

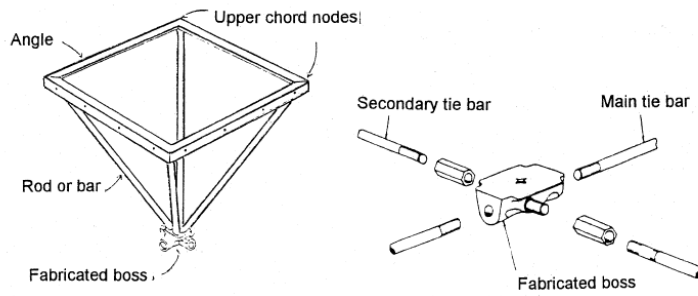
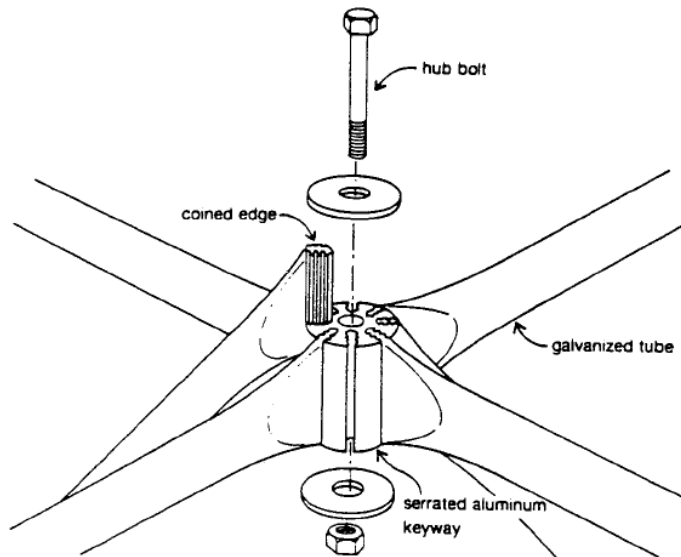


FIGURE 13.35. Space deck system

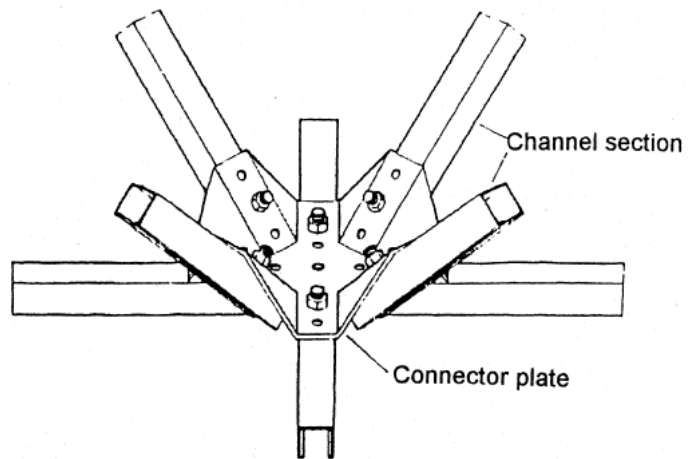
Gambar 21. Space Deck.

(Sumber: Structural Engineering Handbook, p.1006, 1999)



Gambar 22. Triodetic System.

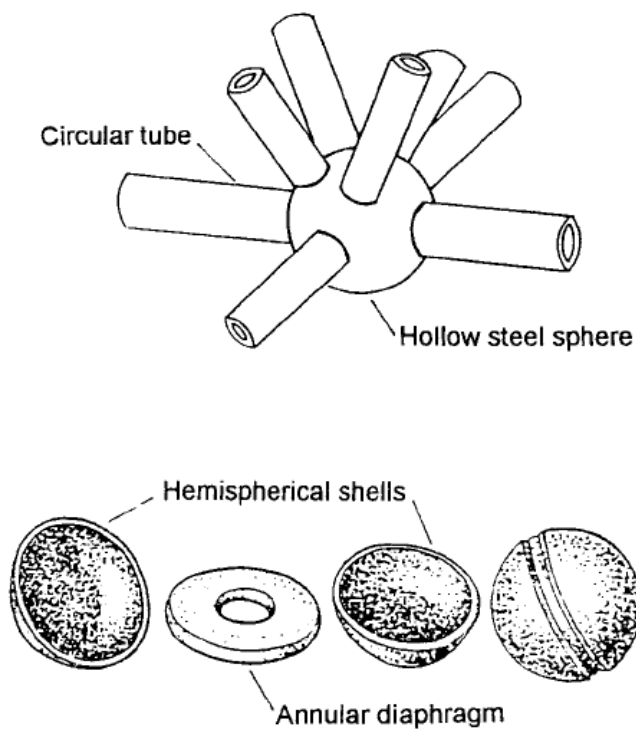
(Sumber: Strcutural Engineering Handbook, p.1006, 1999)



Gambar 23. Unistrut System.
(Sumber: Structural Engineering Handbook, p.997-998, 1999)

e. Oktaplatte System

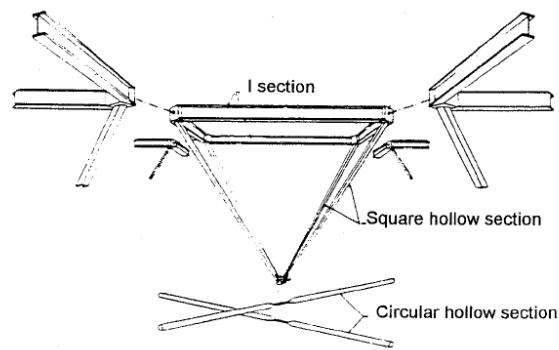
Sistem ini menggunakan bola baja berongga dan rangka tabung yang disambungkan dengan teknik las (Gambar 24). Bola tersebut dapat diperkuat menggunakan diafragma berbentuk cincin. Sistem ini berguna untuk struktur *thin-shell* saat *proprietary system* lain terbatas sebab keterbatasan pembebanan. Bola berongga hingga ukuran 500mm dapat digunakan. Sistem ini bisa digunakan untuk *single layer latticed shell* sebab *joint* bisa dikategorikan sebagai setengah kaku atau kaku.



Gambar 24. Oktaplatte System.
 (Sumber: Structural Engineering Handbook, p.1007, 1999)

f. *Unibat*

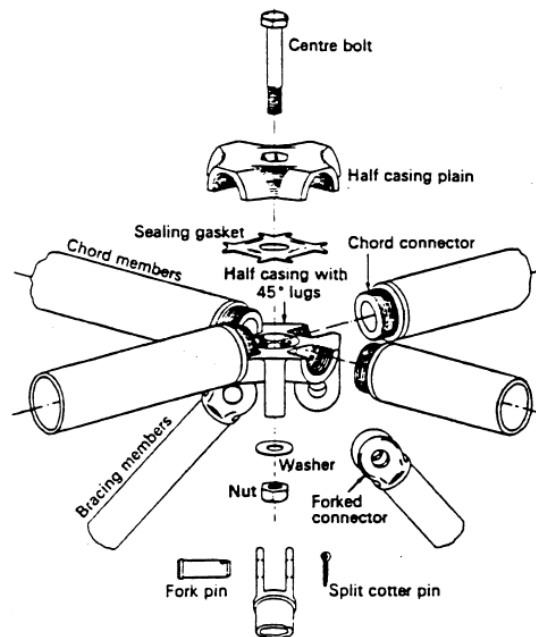
Sistem ini terdiri atas unit piramida yang terbentuk dengan menyusun *top chord* pada *grid* diagonal secara relatif terhadap lapisan bawah (Gambar 25). Karena *top chord* lebih pendek, maka material yang dibutuhkan jauh lebih sedikit untuk menahan tegangan tekan dan tekuk. Setiap unit akan disambungkan dengan unit disampingnya menggunakan sebuah baut *high-tensile* di setiap ujung atasnya. Puncak dan pojokan piramida ditempa dimana *top chord* dan *web members* akan dilas. Unit ini menggunakan berbagai kombinasi *rolled steel* maupun bentuk rangka.



Gambar 25. Unibat System.
 (Sumber: Structural Engineering Handbook, p.1008, 1999)

g. *Nodus*

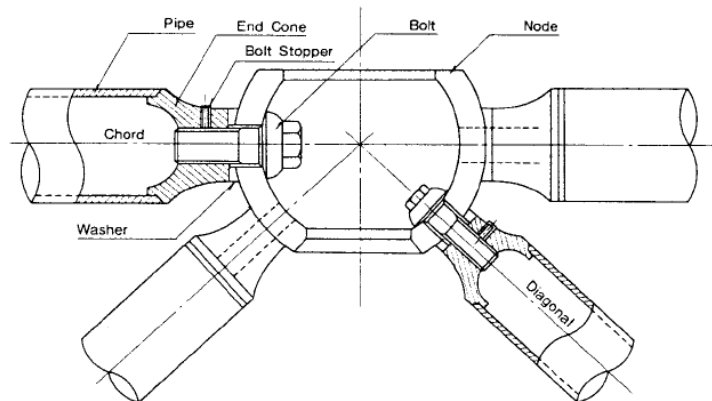
Joint pada sistem ini terdiri atas sepasang separuh selongsong yang memiliki alur bermesin dan lubang bor (Gambar 26). Sambungan *chord* memiliki gigi bermesin dan dilas sepenuhnya kepada ujung-ujung rangka. Gigi dan alur memiliki *pitch* yang tidak teratur agar tersambung dengan baik. Konektor bercabang dilas kepada rangka diagonal. Kelebihan dari sistem Nodus adalah seluruh fabrikasinya dilakukan di pabrik sehingga untuk memasangnya pada lapangan hanya dibutuhkan perakitan sederhana.



Gambar 26. Nodus System.
 (Sumber: Structural Engineering Handbook, p.1009, 1999)

h. *Space Truss*

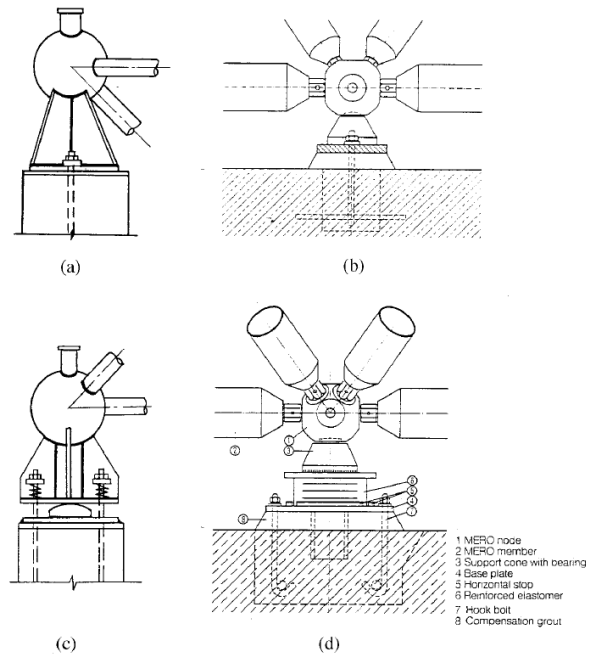
Sistem ini terdiri atas *joint* berbentuk bola konektor yang terbuka pada bagian bawahnya untuk pemasangan baut (Gambar 27). Rangka structural yang digunakan adalah *steel hollow sections* dengan ujung kerucut khusus yang dilas setiap ujung tabung. Ujung kerucut memiliki lubang baut yang berulir. Baut berkekuatan khusus digunakan untuk menggabungkan rangka tabung ke konektor. *NS nodes* dapat menghubungkan beberapa rangka ke satu *node* dari arah mana saja tanpa adanya eksentrisitas gaya internal. *NS space truss* dapat digunakan untuk berbagai jenis struktur, baik *double* atau *triple grid, dome*, atau struktur lain.



Gambar 27. *NS Space Truss*.
(Sumber: Structural Engineering Handbook, p.1009, 1999)

2. *Bearing Joint*

Bentuk paling sederhana dari *bearing* adalah *joint* yang berada pada plat datar dan dipasang dengan baut (Gambar 28a dan Gambar 28b). Gambar 28c menunjukkan *joint* yang terletak pada balok *bearing* melengkung yang memungkinkan perputaran pada permukaan lengkung. Jika *joint* menggunakan *elastomeric pad* maka akan terbentuk jenis *joint* baru (Gambar 28d). Karena deformasi geser pada *elastomeric pad*, *joint* dapat menghasilkan gerakan rotasional dan horizontal. Akan sangat baik untuk mengakomodasi deformasi horizontal yang diakibatkan oleh perbedaan temperature maupun gempa bumi.



Gambar 28. Bearing Joint.

(Sumber: Structural Engineering Handbook, p.1011, 1999)

G. Studi Banding Bandara

Dalam melakukan studi banding, bandara yang akan dipilih sebagai pembanding adalah bandara-bandara yang menggunakan sistem struktur *thin shell* jenis *lattice*. Hal-hal yang akan diperbandingkan adalah bentuk *site*, material bangunan, dan jenis *joint*.

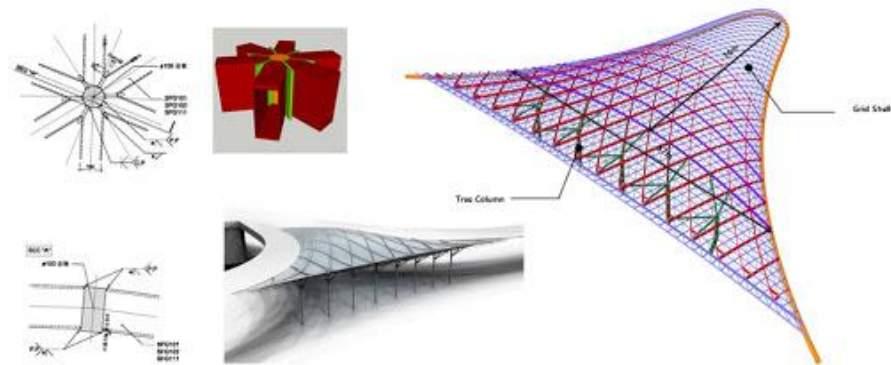
1. Incheon Terminal ekspansi



Gambar 29. Incheon Terminal ekspansi.

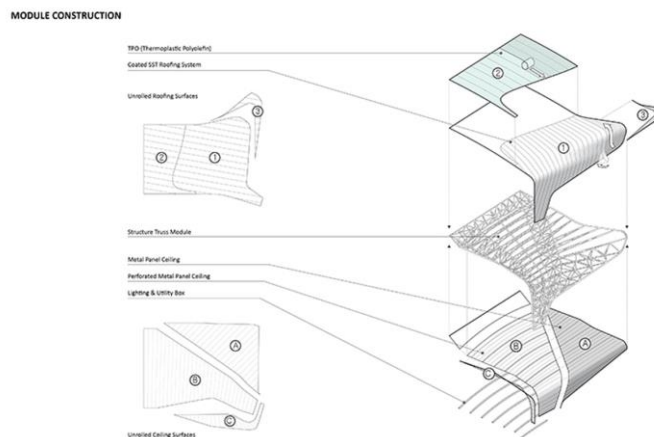
(Sumber: https://www.archdaily.com/433754/incheon-international-airport-terminal-2-gensler/524a3e76e8e44eff02000385-incheon-international-airport-terminal-2-gensler-image?next_project=no, diakses tanggal 4 Juni 2021).

Incheon Terminal ekspansi terletak di Kota Seoul, Korea Selatan. Terminal ini dibangun melalui tiga fase dimana fase pertama telah selesai pada tahun 2016 sementara fase kedua akan selesai pada tahun 2025. Pada fase pertama terminal ini memiliki luas 378.000m² dan akan dikembangkan menjadi 633.000m² pada fase kedua.



Gambar 30. Detail Struktur Incheon Terminal ekspansi.
(Sumber: <http://dysec.co.kr/engineering-specialty/grid-shell-lattice-shell/>, diakses tanggal 4 Juni 2021)

Terminal ini menggunakan jenis struktur *thin shell lattice grid* berbentuk segitiga. Struktur menggunakan batang baja HSS-*rectangular* dan *joint Mero system Disc Node*. Bagian penutup atap bangunan adalah SST (*superior seam technology*) yang dilapisi membran TPO (*thermoplastic polyolefin*).



Gambar 31. Detail Atap Incheon Terminal ekspansi.
 (Sumber: <https://architizer.com/idea/2680005/>, diakses tanggal 5 Juni 2021)

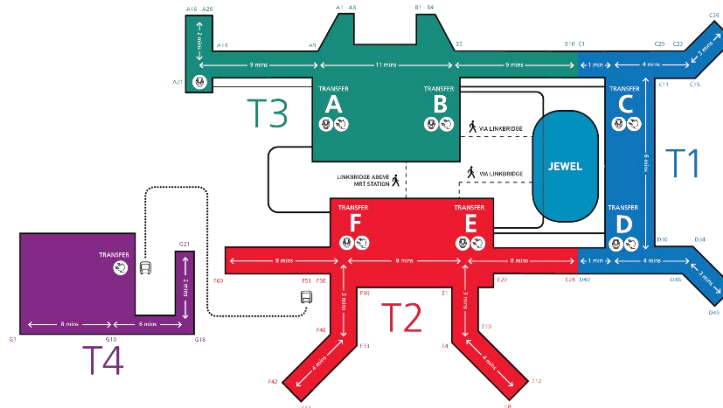
2. Jewel Changi Airport



Gambar 32. Jewel Changi Airport.
 (Sumber: <https://www.archdaily.com/915688/jewel-changi-airport-safdie-architects>, diakses tanggal 27 November 2019)

Jewel Changi adalah sebuah fasilitas pertokoan dan taman yang menghubungkan terminal-terminal Changi *airport* dengan *floor area* seluas 135.700m² termasuk fasilitas *landside* bandara. Di bangunan ini juga terdapat café, restoran dan hotel. *Site* bangunan berlokasi ditengah-

tengah terminal eksisting dan tidak terletak dekat dengan runway sehingga tidak bisa dijadikan akses *boarding*.



Gambar 33. Denah *Jewel Changi International Airport*.

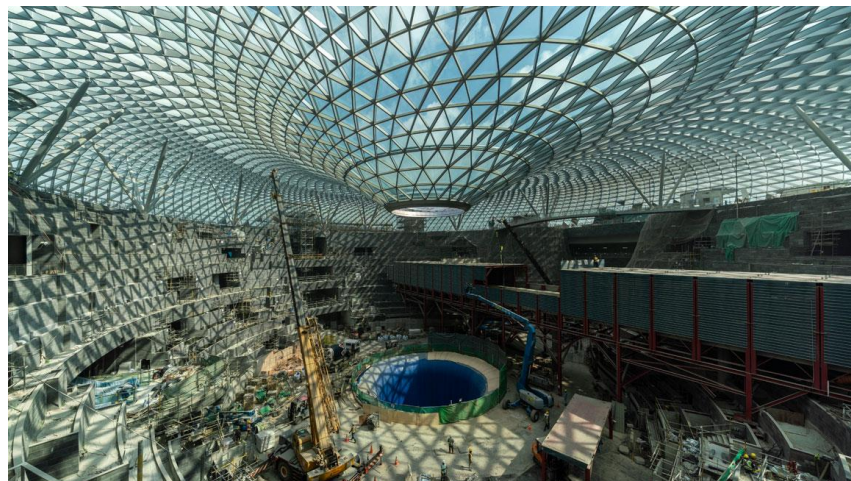
(Sumber: <https://www.changiairport.com/en/maps.html>, diakses tanggal 26 Januari 2021)

Struktur utama Jewel Changi adalah atap berbentuk kubah semi-toroidal sepanjang 200 meter pada bagian terpanjangnya. Struktur yang digunakan merupakan *grid shell* (gambar 34). Bangunan ini hanya ditopang pada bagian pinggir oleh 14 kolom berbentuk pohon dengan *ring beam* pada pinggiran kubahnya sehingga memaksimalkan bentang luas tanpa hambatan (gambar 35). Baja dan cangkang kaca terbuat dari elemen baja prismatic yang saling memotong pada sambungan. *Grid shell* baja menyatu dengan dasar bangunan di lantai 5 dimana ada *ring beam* yang melingkari bangunan, melengkung pada pintu masuk ke dalam taman. *Ring beam* berguna untuk mempertahankan bentuk kubah.



Gambar 34. Struktur *gridshell*.

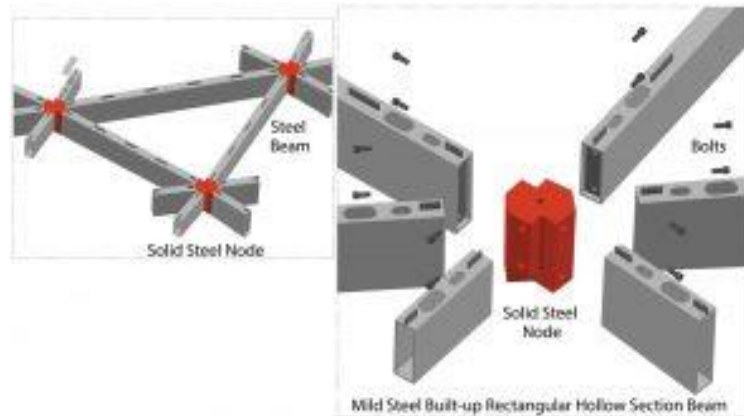
(Sumber: <https://www.archdaily.com/915688/jewel-changi-airport-safdie-architects/5cbf5a7b284dd199510000af-jewel-changi-airport-safdie-architects-image>, diakses tanggal 23 Mei 2020).



Gambar 35. Konstruksi Jewel Changi Airport.

(Sumber: <https://designandarchitecture.com/article/the-architecture-and-design-of-jewel-changi-airport.html>, diakses tanggal 23 Mei 2020)

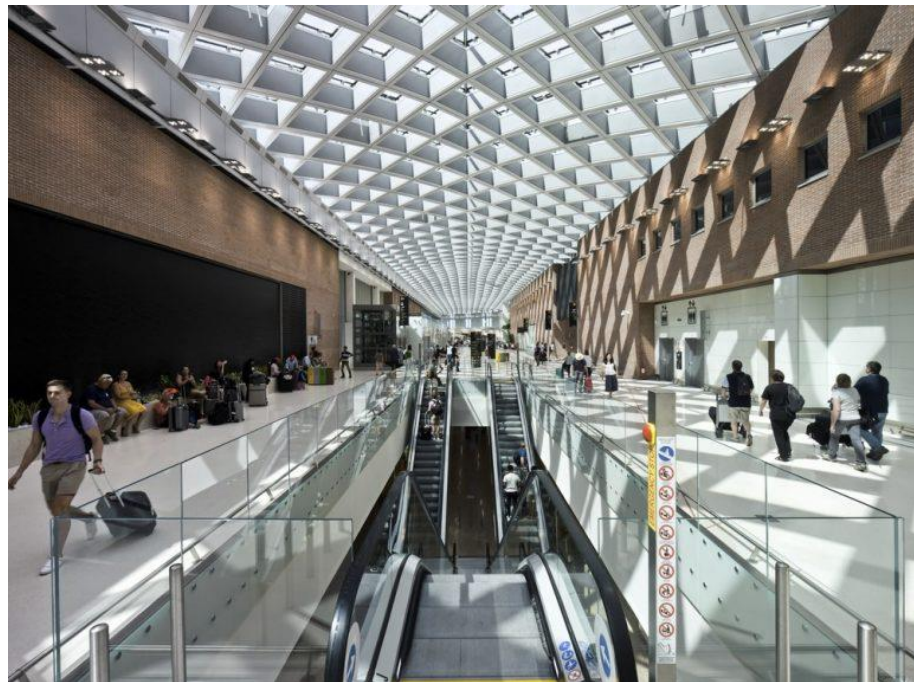
Pada bagian paling dalam struktur yang berlokasi di sekitar oculus, ketebalan baja yang digunakan hanya sebesar 8 inci, sementara pada bagian kubah sebesar 12 inci. Ketebalan baja paling besar berada di sekitar pinggir kubah dengan ketebalan hingga 30 inci. Untuk menyambungkan elemen-elemen struktural, bangunan ini menggunakan konektor Mero System *Cylinder Node* (gambar 36). Elemen batang yang digunakan adalah *Hollow Steel Section* (HSS) *rectangular* atau *square*. Jenis kaca yang digunakan pada bangunan ini adalah *insulated glass* atau *double-glazing*.



Gambar 36. Konektor Jewel Changi Airport.

(Sumber: <https://www.structuremag.org/?p=15054>, diakses tanggal 26 Januari 2021)

3. Venice Marco Polo Airport



Gambar 37. Marco Polo Airport Gallery.

(Sumber: <https://www.e-architect.com/venice/marco-polo-airport-new-terminal-building>, diakses tanggal 5 Juni 2021).

Bandara Marco Polo berlokasi di Kota Tessera, Venice, Italia. Pada tahun 2017, bandara ini telah menyelesaikan fase ekspansi tahap 1. Galeri ini memiliki panjang 280 meter dengan lebar 22 meter. Modul *gridshell* yang digunakan pada atap galeri berbentuk wajik/persegi dengan lapisan penutup berupa *insulated glass* atau *double-glazing glass*.

Batang baja berbentuk I dan disambungkan menggunakan mur dan baut seperti balok baja biasa.



Gambar 38. Konstruksi Atap Galeri Marco Polo Airport.
(Sumber: <https://www.meweng.com/portfolio/marco-polo-airport-glazing-roof/>, diakses tanggal 5 Juni 2021)

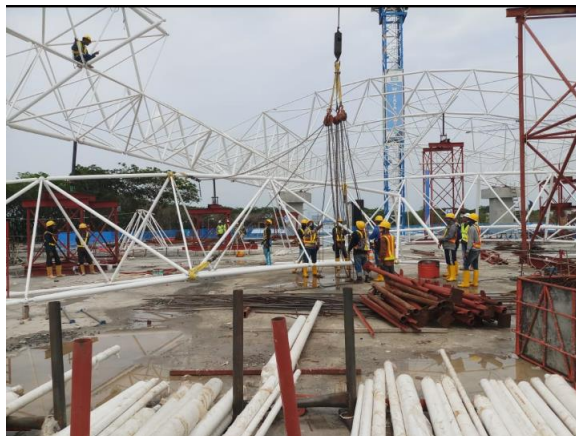
4. Terminal Penumpang Bandara Internasional Sultan Hasanuddin

Bangunan terminal eksisting menggunakan kolom beton bertulang pada bagian *super structure*. Pada zona umum kolom memiliki bentang 30m dan pada bagian puncak kolom terdapat *bearing joint* yang menumpu rangka batang HSS round penopang atap yang digabungkan secara las. Lapisan penutup atap adalah *metal deck*.



Gambar 39. Struktur Zona Umum.
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Pada zona semi-steril dan steril kolom bangunan memiliki dimensi yang lebih besar karena menopang rangka *super truss* yang lebih besar. Rangka *super truss* menggunakan rangka batang jenis HSS *round*. Konektor yang digunakan berjenis *Mero System*. Penutup atap yang digunakan adalah TPO membrane.



Gambar 40. Rangka *Super Truss*.

(Sumber: <https://kubahpromo.wordpress.com/2019/12/05/proses-pemasangan-rangka-struktur-space-frame-atap-bandara-sultan-hasanuddin-makassar/>, diakses tanggal 6 Juni 2021)

I. Kesimpulan Hasil Studi Banding

Tabel 1. Tabulasi Hasil Studi Banding.

Objek	Jenis struktur	Jenis sambungan	Komponen struktural	Bahan Penutup Atap	Jenis Rangka
Incheon Terminal ekspansi	<i>Gridshell</i>	<i>Mero system (disc node)</i>	Baja	TPO dan SST	<i>Hollow Steel Section (HSS) rectangular</i>
Jewel Changi Airport	<i>Gridshell</i>	<i>Mero system (cylinder node)</i>	Baja	<i>Insulated glass</i>	<i>Hollow Steel Section (HSS) rectangular/square</i>
Galeri Marco Polo Terminal	<i>Gridshell</i>	<i>Bolting</i>	Baja	<i>Insulated glass</i>	<i>I-beam</i>
Terminal Penumpang Bandara Internasional Sultan Hasanuddin	<i>Super truss</i>	<i>Mero system</i>	Baja	<i>TPO membrane</i>	<i>Hollow Steel Section (HSS) round</i>

Sumber: Analisis Penulis