



Sistem Struktur Bentuk Aktif (*Form Active Structural System*): **Struktur Kabel**

M. Agung Wahyudi, ST.MT.

Form Active Structural System

Adalah suatu sistem fleksibel, tidak kaku, untuk mengalihkan gaya yang diakibatkan rancangan bentuk khusus dan karakteristik stabilisasi bentuk.
Contoh Struktur :

1. **Struktur Kabel** (*Cable structures*)
2. **Struktur Tenda** (*Tent structures*)
3. **Struktur Bertekanan Udara** (*Pneumatic structures*)
4. **Struktur Lengkung** (*Arch structures*)

Struktur Kabel

Pengertian

- **Struktur kabel** adalah sebuah sistem struktur yang bekerja berdasarkan prinsip gaya tarik, terdiri atas kabel baja, sendi, batang, dsb yang menyanggah sebuah penutup yang menjamin tertutupnya sebuah bangunan. (Makowski, 1988)
- **Struktur kabel** dan jaringan dapat juga dinamakan struktur tarik dan tekan, karena pada kabel-kabel hanya dilimpahkan gaya-gaya tarik, sedangkan kepada tiang-tiang pendukungnya hanya dilimpahkan gaya tekan. (Sutrisno, 1983)

Struktur Kabel

Pengertian

Struktur kabel merupakan suatu generalisasi terhadap beberapa struktur yang menggunakan elemen tarik berupa kabel sebagai ciri khasnya. Struktur ini bekerja terhadap gaya tarik sehingga lebih mudah berubah bentuk jika terjadi perubahan besar atau arah gaya.



Sejarah Struktur Kabel

Struktur kabel adalah salah satu struktur tradisional yang awalnya berupa **jembatan** dan **tenda**. Jembatan dengan kabel tarik awalnya dibuat di pegunungan Himalaya atau di hutan tropis Peru. Kemudian berkembang hingga Eropa oleh Faustus Verantinus pada tahun 1616 yang menggunakan **rantai** sebagai pengganti kabel yang diangkurkan pada menara. Hingga menjelang abad ke-20, kabel hanya menjadi sistem yang membantu perkuatan karena **belum dapat mengatasi faktor beban angin**.

Sejarah Struktur Kabel

Pada abad ke 19 prinsip struktur kabel mengadaptasi bentuk tenda dan jembatan, yang diterapkan pada bentang yang lebih lebar. Revolusi industri menyebabkan pertumbuhan penduduk yang cepat dan pertumbuhan di bidang industri, sehingga muncul kebutuhan akan bangunan dengan bentang lebar untuk pabrik, stasiun kereta api dan fasilitas umum lainnya.

Klasifikasi Struktur Kabel

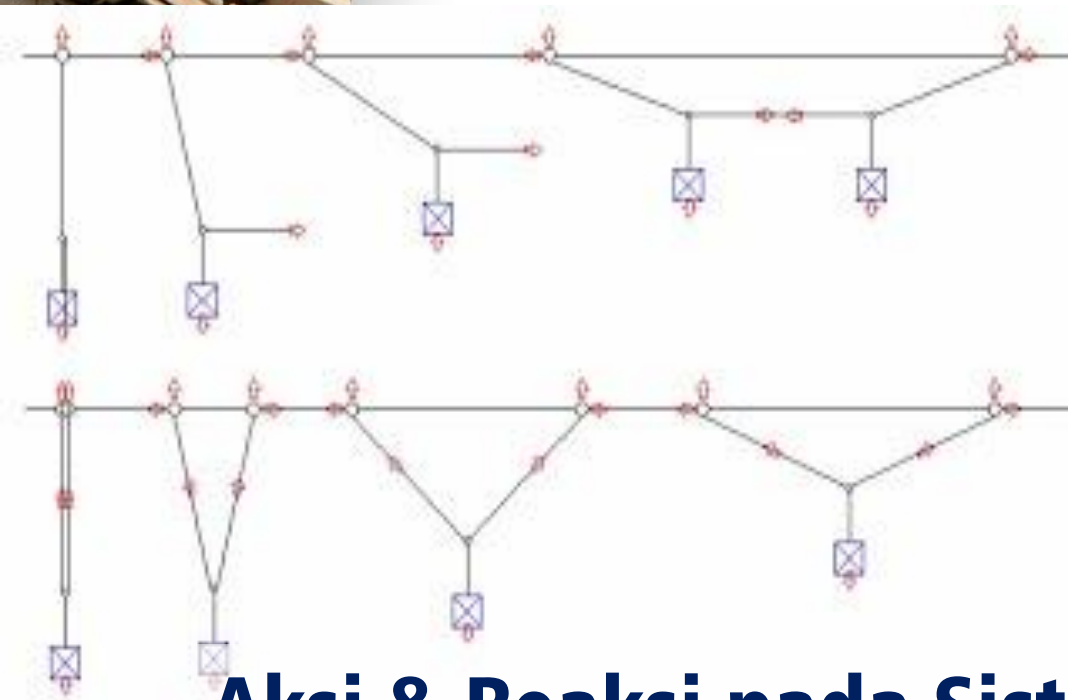
Struktur Kabel Tunggal (Single Layer)

- Sistem Pelana (Saddle Shape)
- Sistem Lengkung (Arch Type)
- Sistem Tiang Penunjang (Masted Type)
- Sistem Roda Sepeda Tunggal

Struktur Kabel Ganda (Double Layer)

- Sistem Batang Tekan (Spreader)
- Sistem Batang Tepi
- Sistem Gantung
- Sistem Roda Sepeda Ganda

Prinsip Sistem Kabel

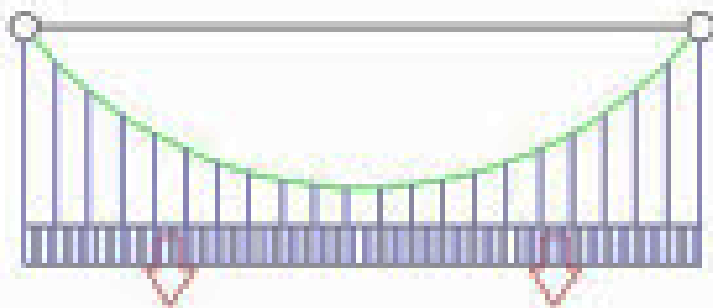
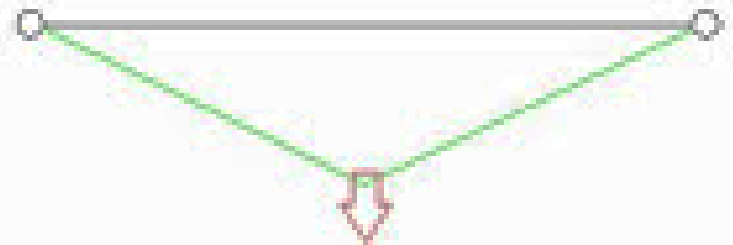


Aksi & Reaksi pada Sistem Kabel

- Jika kabel digunakan pada bentang antara dua titik dan memikul beban titik eksternal, maka bentuk kabel akan berupa segmen-segmen garis

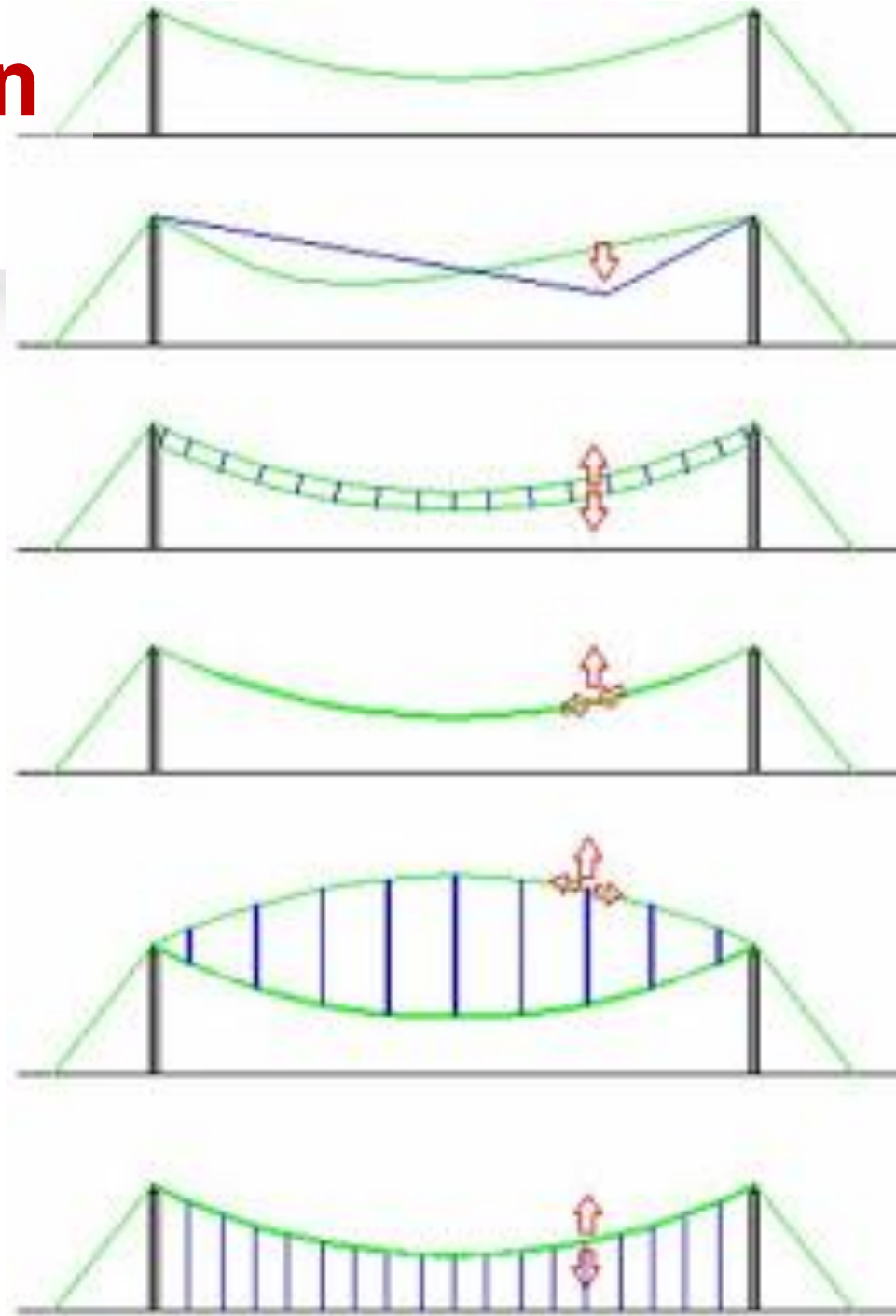
Penyaluran Beban

Kombinasi berbagai beban akan memberikan bentuk kombinasi dimana beban terbesar akan memberikan bentuk yang dominan.



Penyaluran Beban

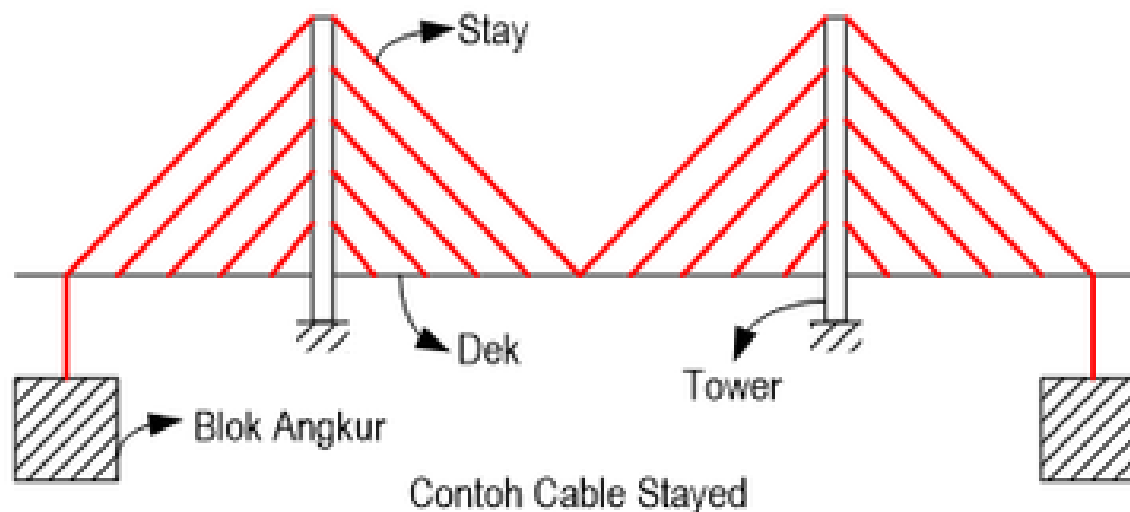
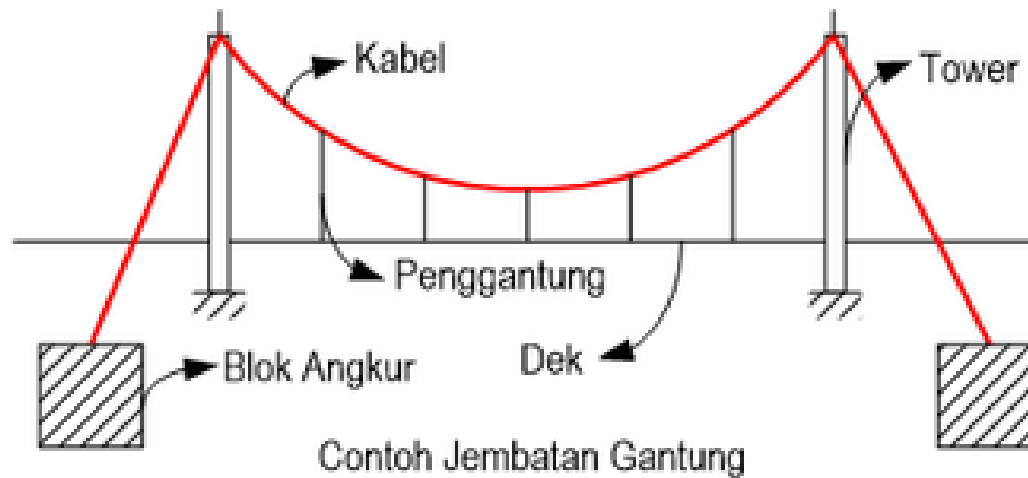
Kabel adalah elemen struktur fleksibel. Bentuknya sangat bergantung dari besar dan perilaku beban yang bekerja padanya. Apabila kabel ditarik pada kedua ujungnya saja, maka bentuknya akan lurus.



Konstruksi Struktur Kabel

Untuk bentang panjang biasanya digunakan struktur kabel seperti jembatan. Biasanya struktur kabel dilakukan dengan bentuk kabel-kabel yang melewati puncak-puncak *tower* (sadel) dan ujung-ujung kabel menumpu pada blok angkur. Selain itu alternatif lain dari sistem kabel ini adalah sistem *cable-stayed*. Sistem ini mendistribusikan gaya tarik pada *stay-stay* dengan *stay* terluar menumpu pada blok angkur yang terletak dalam tanah.

Konstruksi Struktur Kabel

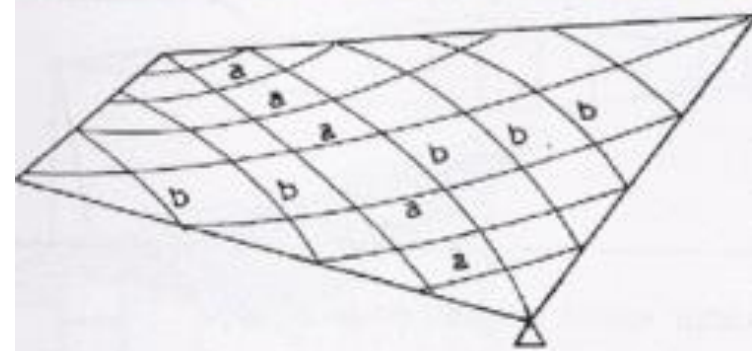
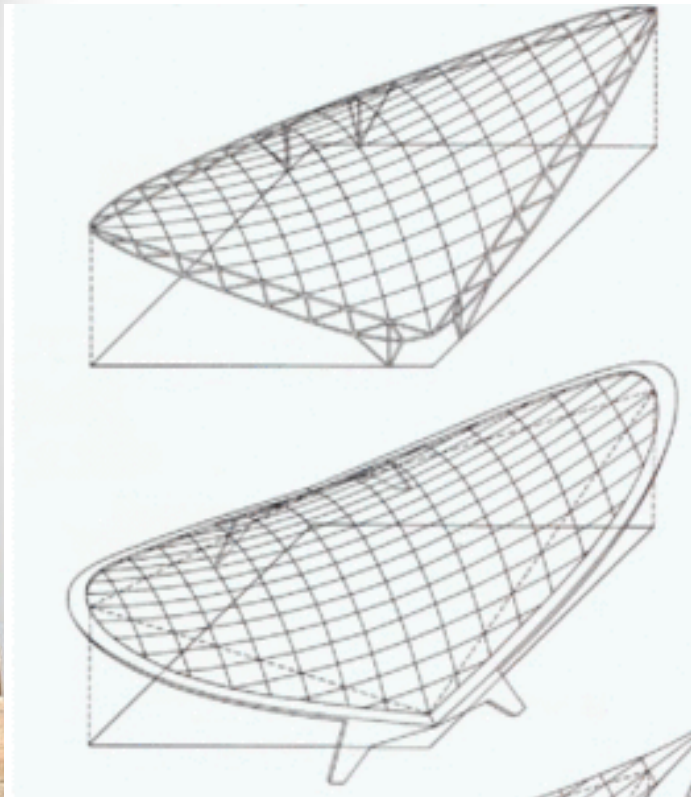




Struktur Kabel Tunggal ***(Single Layer)***

Sistem Pelana (*saddle shape*)

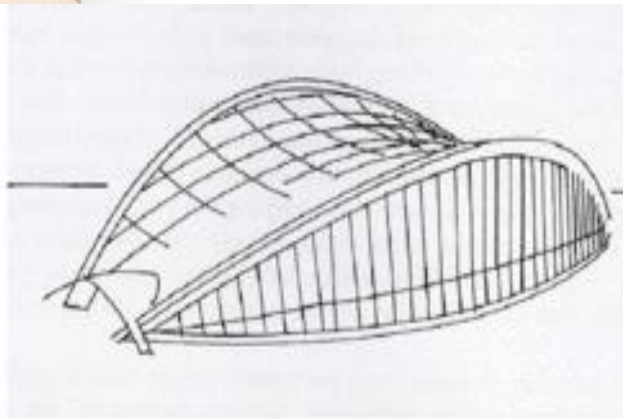
- Sistem pelana umumnya berupa rangka di sekitar jaring kabel dan kedua tumpuan yang menyalurkan beban.
- Memiliki struktur pengikat.



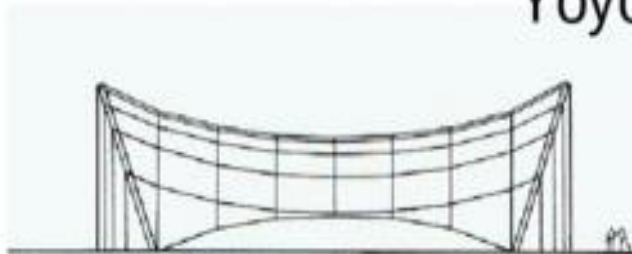
① Sistem satu kabel (*single layer*)

Sistem Lengkung (*arch type*)

- Terdiri dari struktur lengkung (umumnya berupa rangka) yang menjadi elemen stabilitas dengan jaring kabel diantaranya.
- Masing-masing elemen lengkung mempunyai dua tumpuan yang menghubungkan ke pondasi



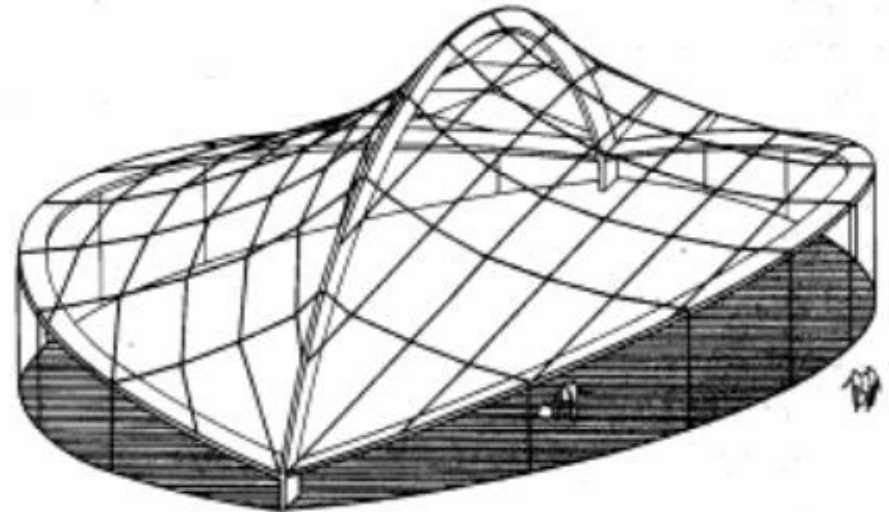
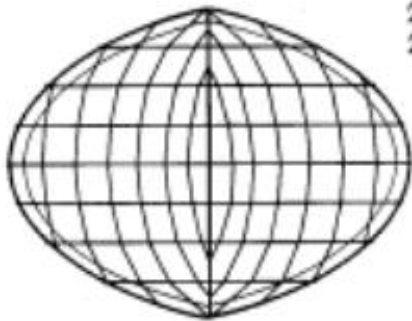
Yoyogi Gymnasium



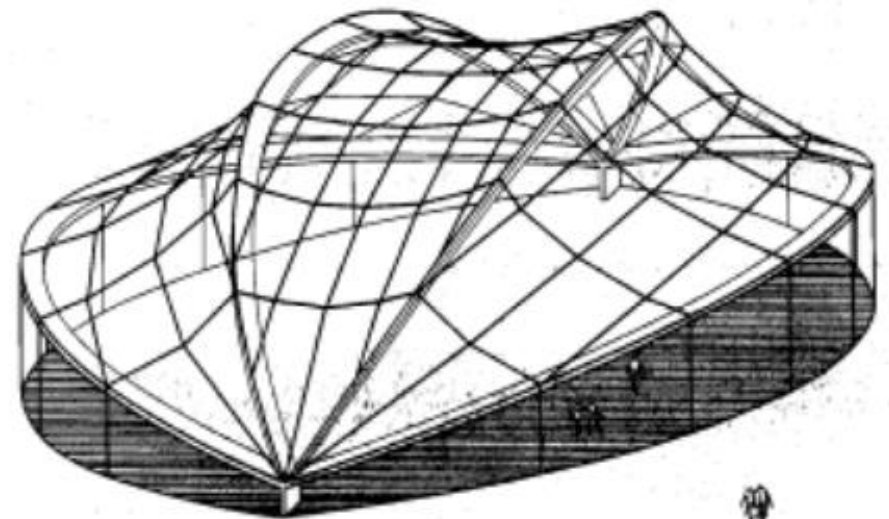
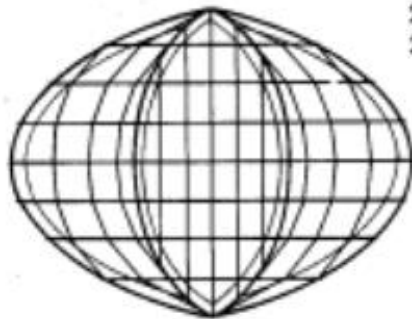
Sistem Lengkung (*arch type*)



2 Rindbögen mit einem Mittellbogen
2 boundary arches with one central arch

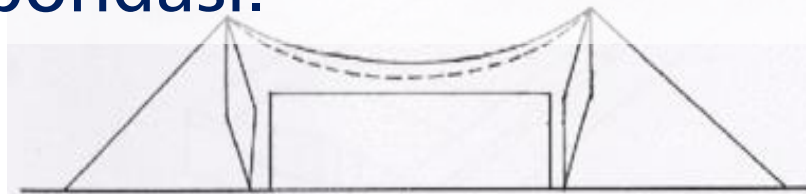


2 Rindbögen mit 2 Zwischenbögen
2 boundary arches with 2 intermediate arches



Sistem Tiang Penunjang (*masted type*)

- Terdiri dari struktur tiang (umumnya berupa rangka) yang menunjang kabel di antaranya, kemudian ditarik ke tanah untuk mencapai kestabilan.
- Tumpuan tiang (sendi/kaku) yang menyalurkan beban ke pondasi.



② Struktur kabel *single layer*



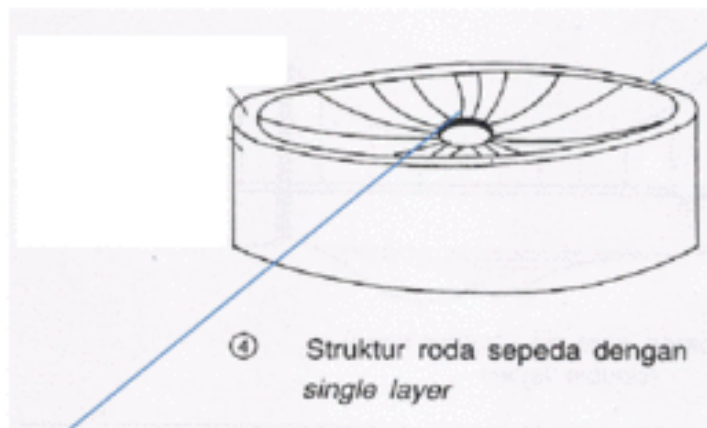
③ Struktur kabel *single layer* dengan penunjang

Millenium dome



Sistem Roda Sepeda Tunggal

- Merupakan struktur atap yang biasanya dipakai di denah berbentuk lingkaran.
- Terdiri dari 2 elemen cincin : bagian cincin luar mengikat satu lapis jaringan kabel di bagian tepi, dan disatukan dengan cincin dalam pada bagian tengah.



Madison square garden, new York

Tension ring

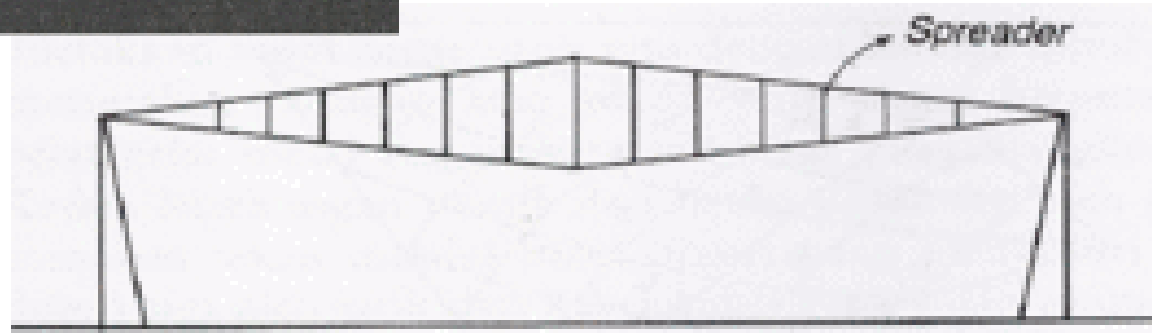
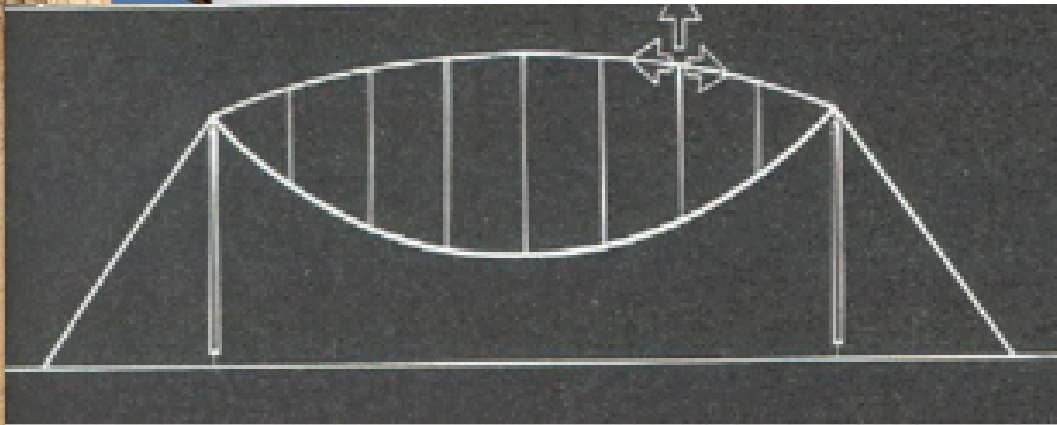
Compress ring



Struktur Kabel Ganda ***(Double Layer)***

Sistem Batang Tekan

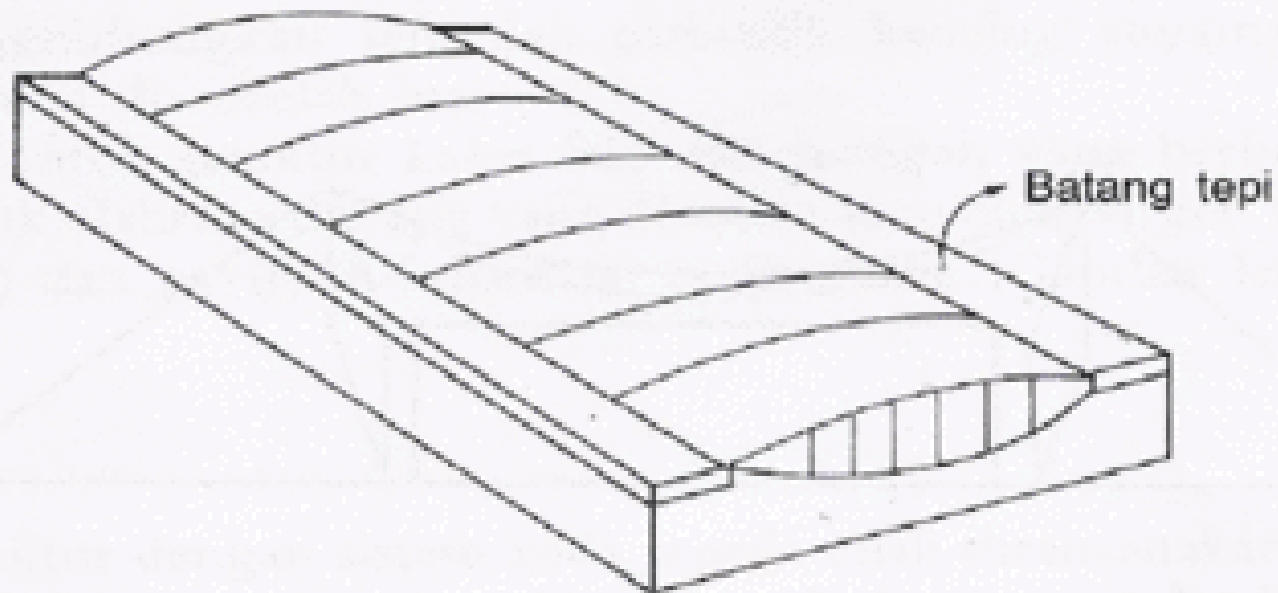
Merupakan struktur yang terdiri dari lapisan kabel atas dan bawah, diantaranya terdapat batang tekan dalam posisi vertikal yang membuat kabel makin menegang sehingga lebih stabil.



① Struktur kabel sistem *double layer*

Sistem Batang Tepi

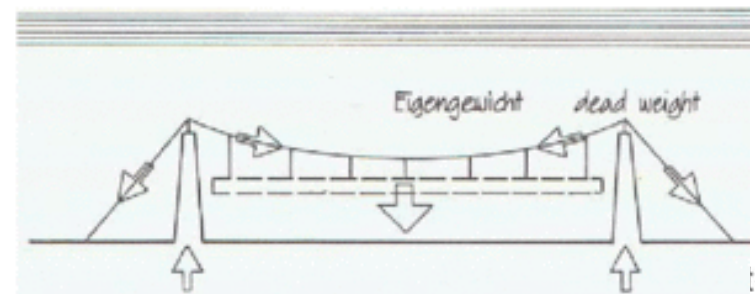
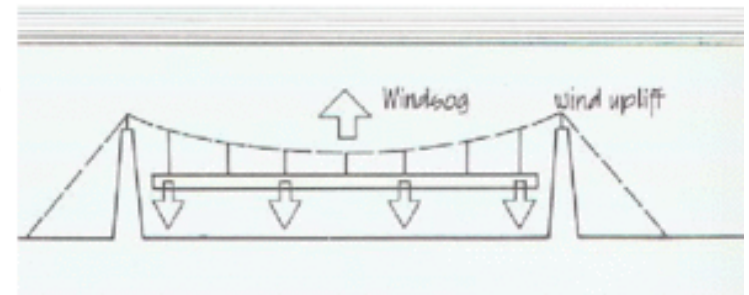
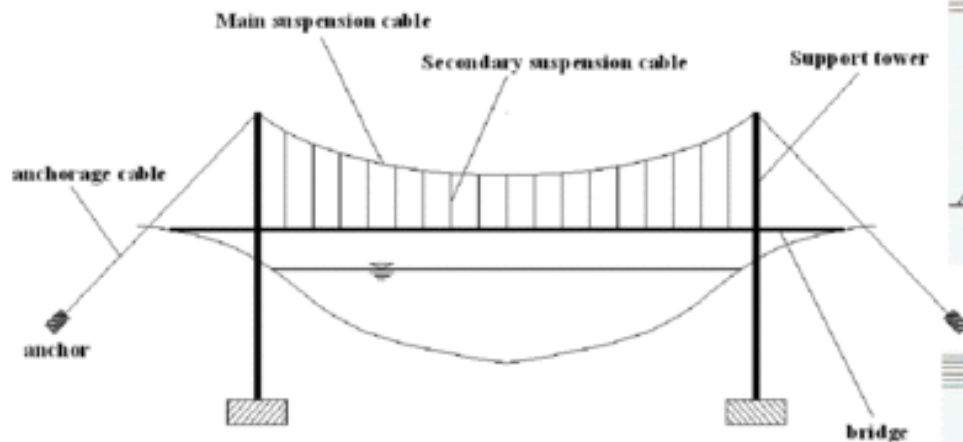
Merupakan struktur kabel yang juga menggunakan *spreader*, namun juga diapit oleh struktur tepi, bisa berupa batang kaku maupun rangka sebagai struktur pendukungnya.



② Struktur kabel: *double layer*

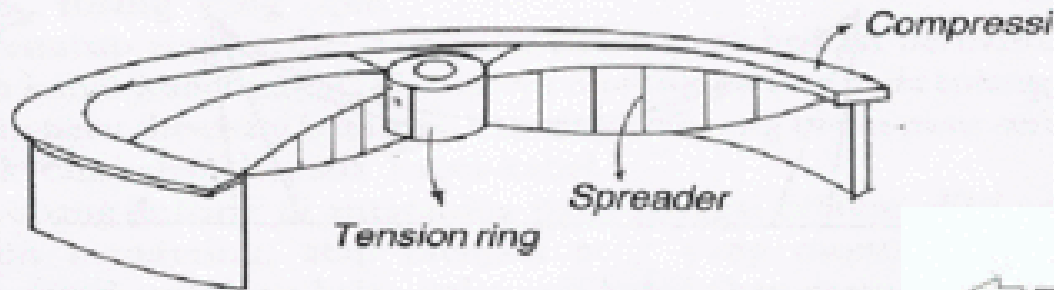
Sistem Gantung

- Terdiri dari kabel atas dan kabel penggantung sebagai lapisan ganda.
- Kabel atas digantung oleh tiang yang meneruskan beban ke pondasi. Terdapat kabel penyeimbang di sisi berlawanan yang diangkurkan ke tanah.

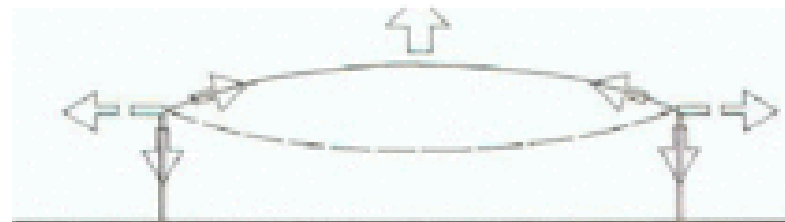
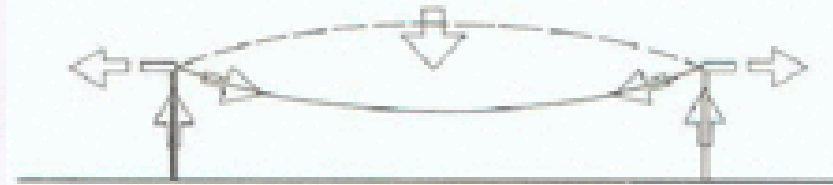


Sistem Roda Sepeda Ganda

- Menutup denah berbentuk lingkaran dengan pemanfaatan cincin luar dan dalam sebagai pengikat struktur.
- -Juga memanfaatkan *spreader* sebagai elemen stabilitas yang menghindari *flutter effect*.



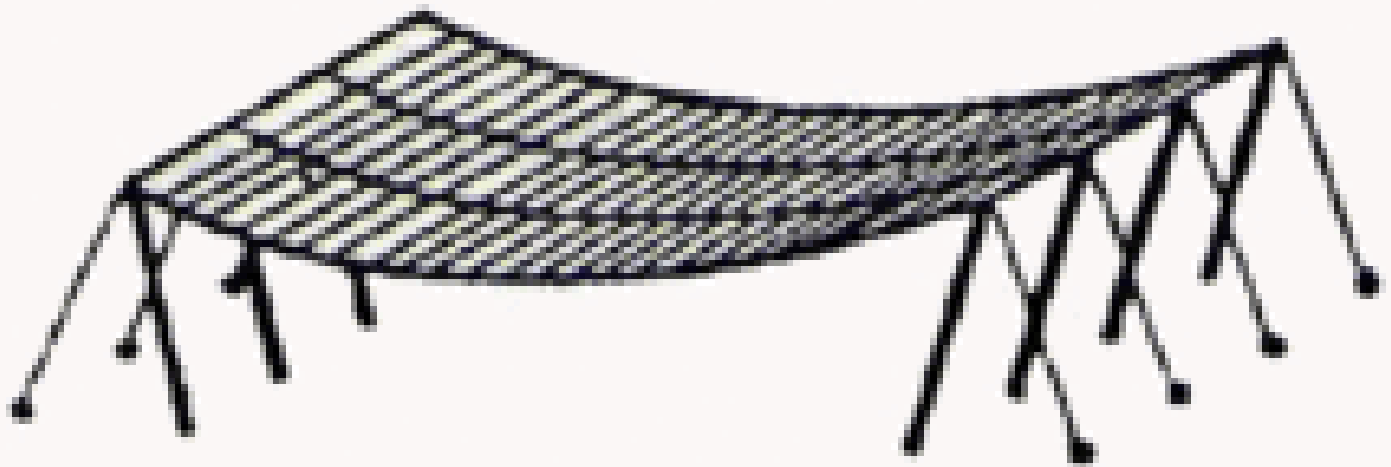
③ Struktur roda sepeda dengan double layer



Jenis Struktur Kabel berdasarkan Kelengkungan

1. STRUKTUR BERKELENGKUNGAN TUNGGAL

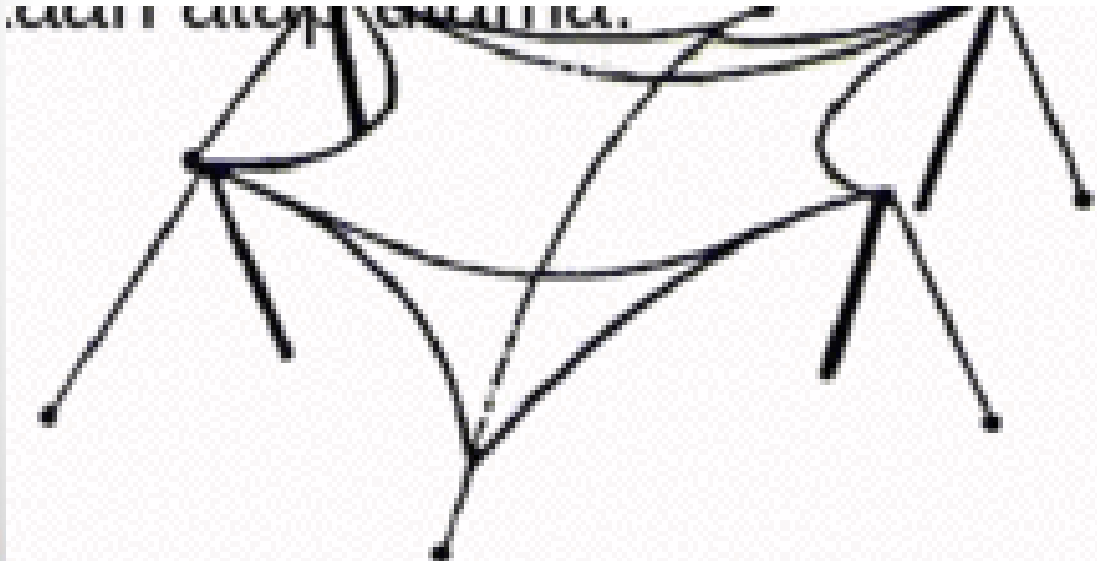
Kabel-kabel yang diletakkan sejajar dengan pembentukan permukaan oleh balok-balok atau pelat yang membentang diantara kabel.



Jenis Struktur Kabel berdasarkan Kelengkungan

2. STRUKTUR BERKELENGKUNGAN GANDA

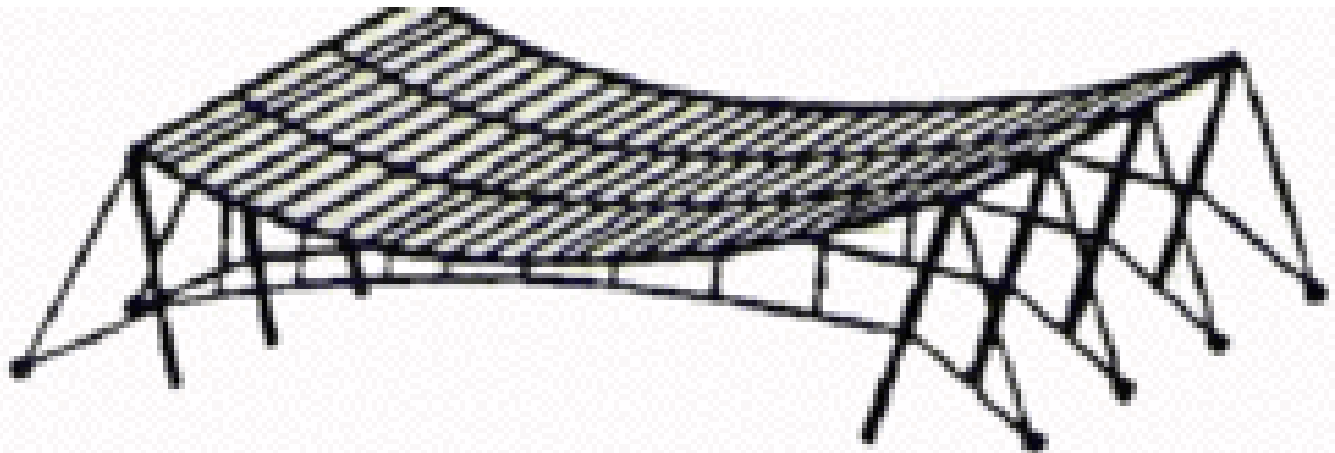
Kabel-kabel menyilang dan berkelengkungan saling berlawanan serta membentuk permukaan atap utama.



Jenis Struktur Kabel berdasarkan Kelengkungan

3. STRUKTUR KABEL GANDA

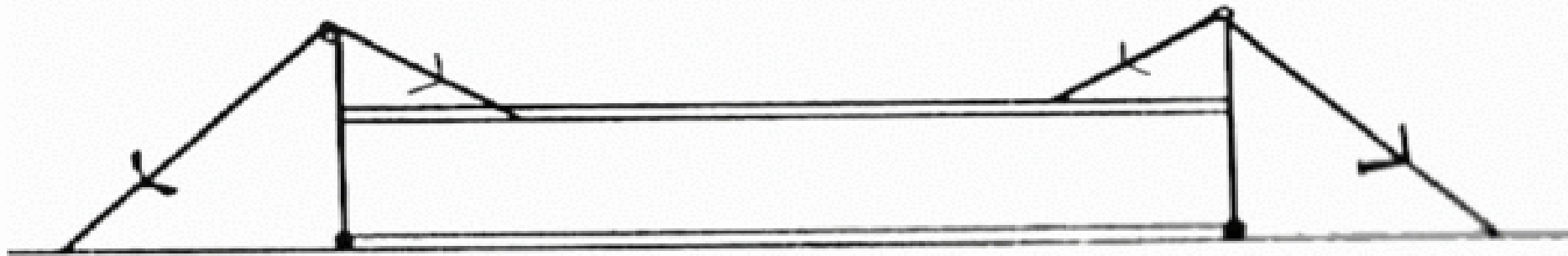
Kabel ganda yang berkelengkungan saling berlawanan dan diapakai pada satu bidang vertikal. Sistem ini mengontrol getaran angin pada sistem kabel gantung.



Jenis Struktur Kabel berdasarkan Ketegangan

1. STRUKTUR KABEL NON PRE-TENSION

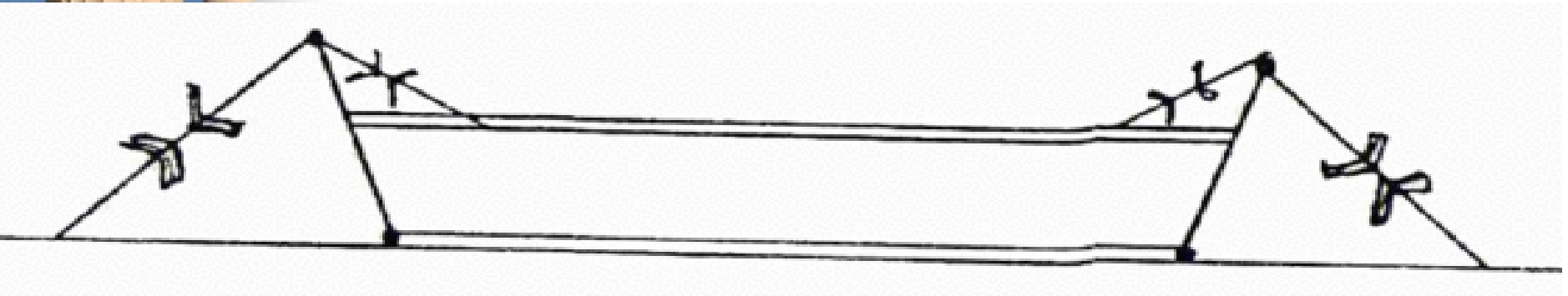
Struktur yang tidak diregang sebelum dan sesudah diberi beban luar



Jenis Struktur Kabel berdasarkan Ketegangan

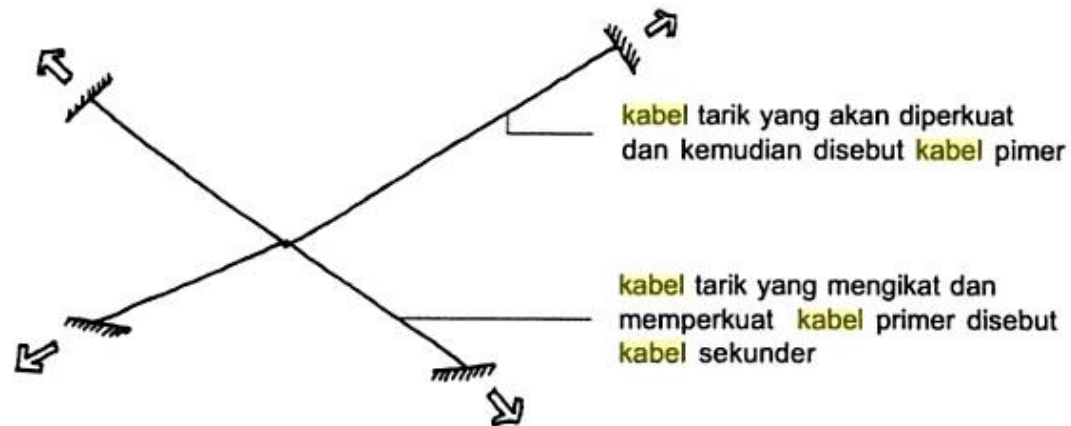
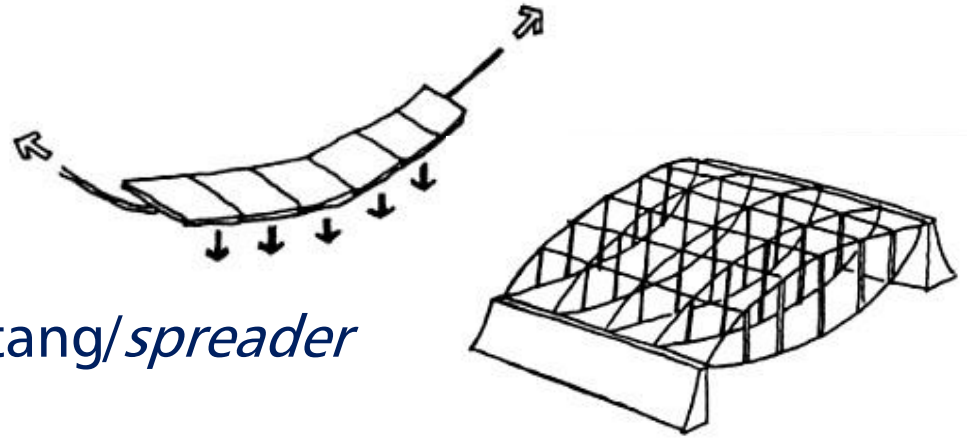
2. STRUKTUR KABEL PRE-TENSION

Struktur yang diregang sebelum diberi beban luar

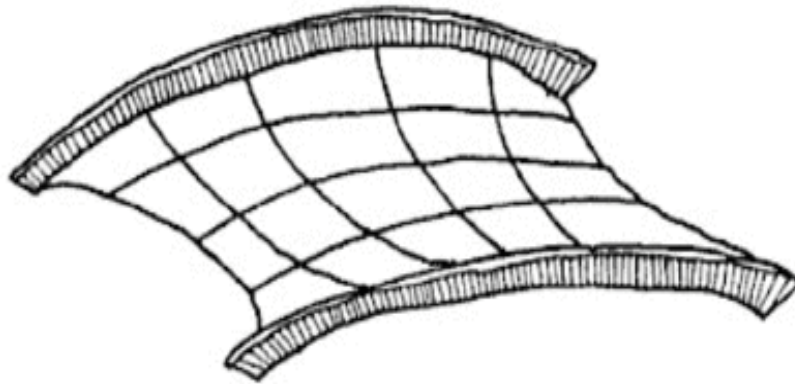


Stabilisasi Struktur Kabel

- Peningkatan beban mati
- Penggunaan batang pembentang/*spreader*
- Pengaku busur dengan arah berlawanan/*inverted arch*
- Metode prategang searah kabel/*masted structure*
- Penambatan/pengangkuran ke pondasi/*ground anchorage*
- Pemberian tambahan lapisan bidang (*layer*)
- Mengikat dan menyatukan Antar kabel-kabel tarik dan kabel tarik lainnya



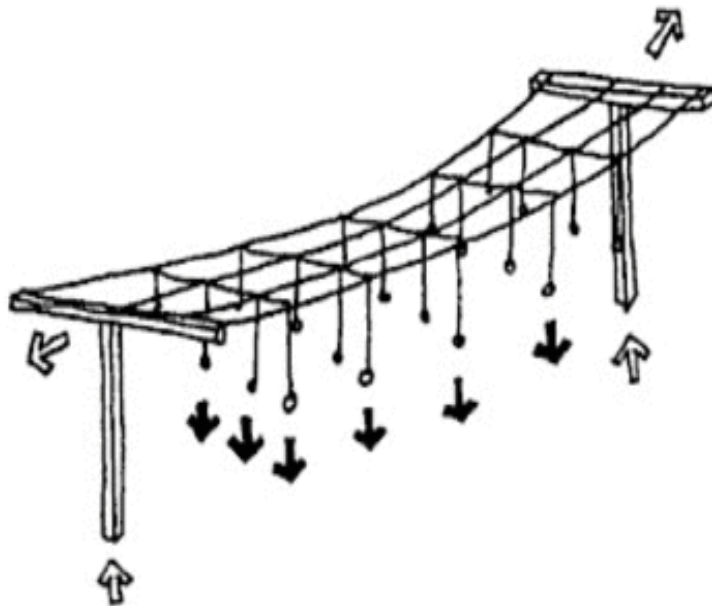
Stabilisasi Struktur Kabel



Kabel sekunder cenderung berbentuk parabola yang membuka ke bawah

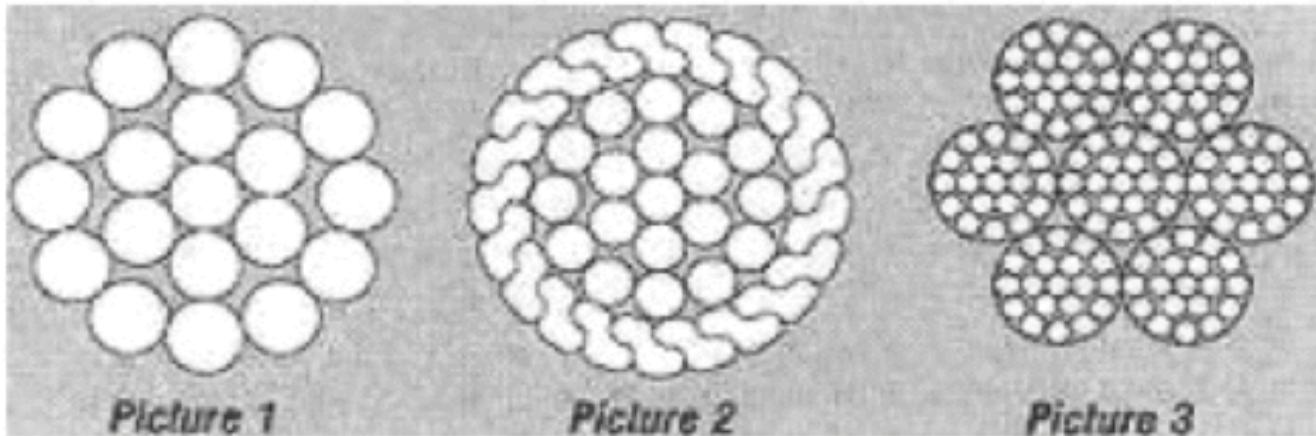


dan kabel primer cenderung berbentuk parabola yang membuka ke atas.



Kabel-kabel sekunder ini dapat pula diganti dengan kabel pengait yang diikat/dihubungkan ke tanah dan difungsikan sebagai angkur.

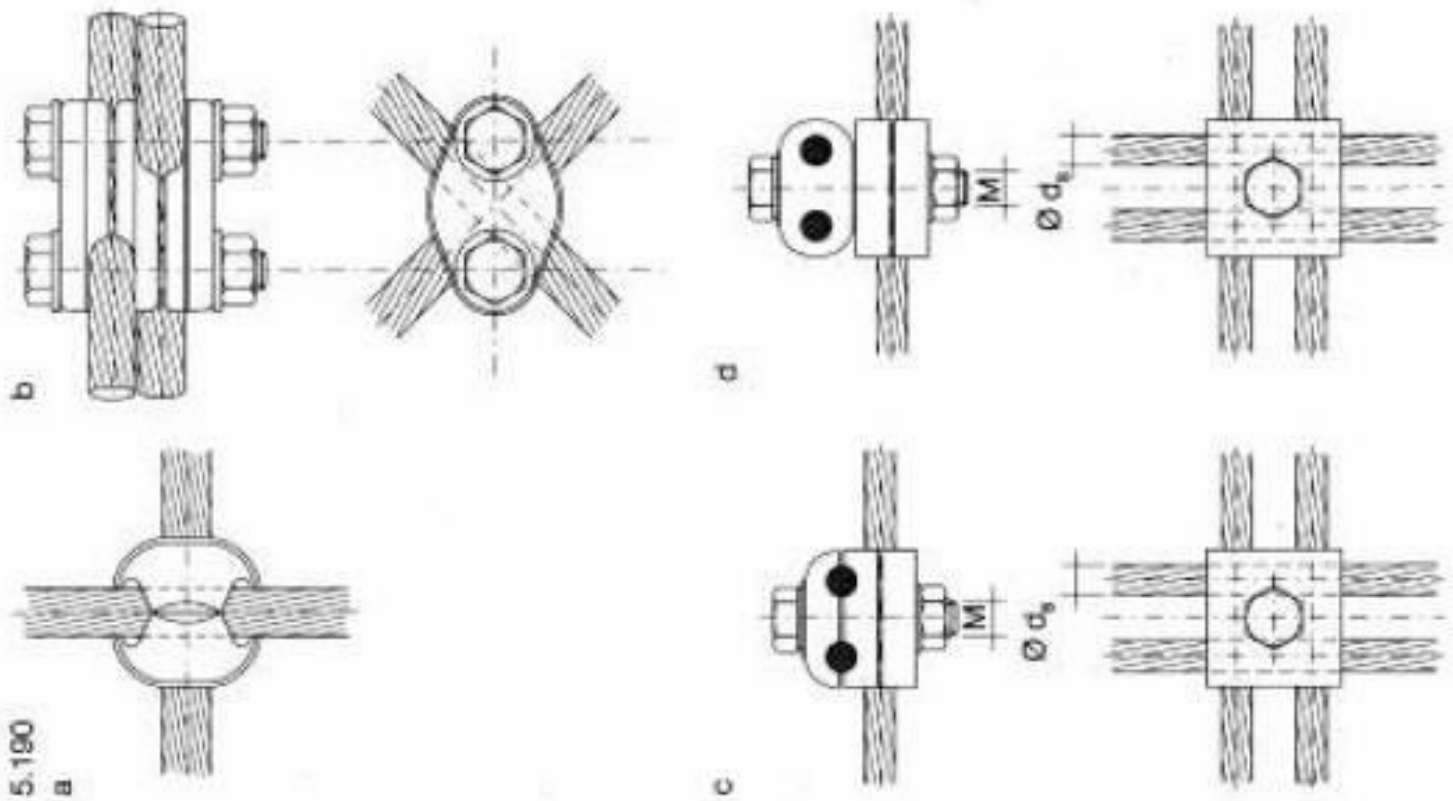
Material Kabel



1. *Spiral strands* (u/ bangunan yg menahan beban kecil)
2. *Full locked coil cables* (sebagai kabel utama, antara lain kabel utama pada *suspension bridge* dan *stay cables bridge*, kabel tepi pada jaringan kabel)
3. *Structural wire ropes* (sebagai kabel tepi pada struktur membran (*textile structure*))

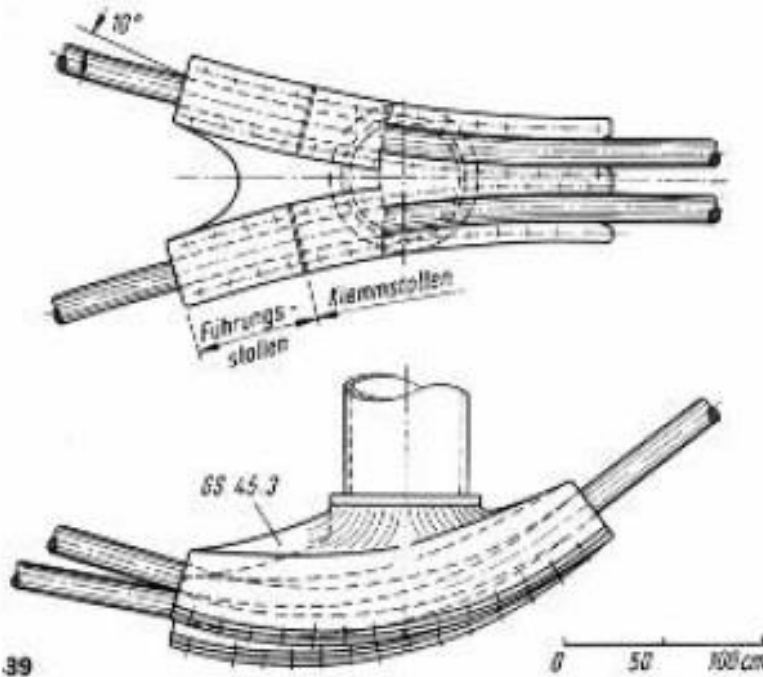
Detail Pertemuan Kabel

- Titik pertemuan dikategorikan dalam beberapa bentuk simpul untuk persilangan dari 2 atau 4 kabel.
- Sifatnya dibedakan dalam 2 sistem, yaitu: sistem di mana sifat persilangan tidak dapat berotasi (*fix*) dan persilangan masih dapat bergeser dan berotasi.

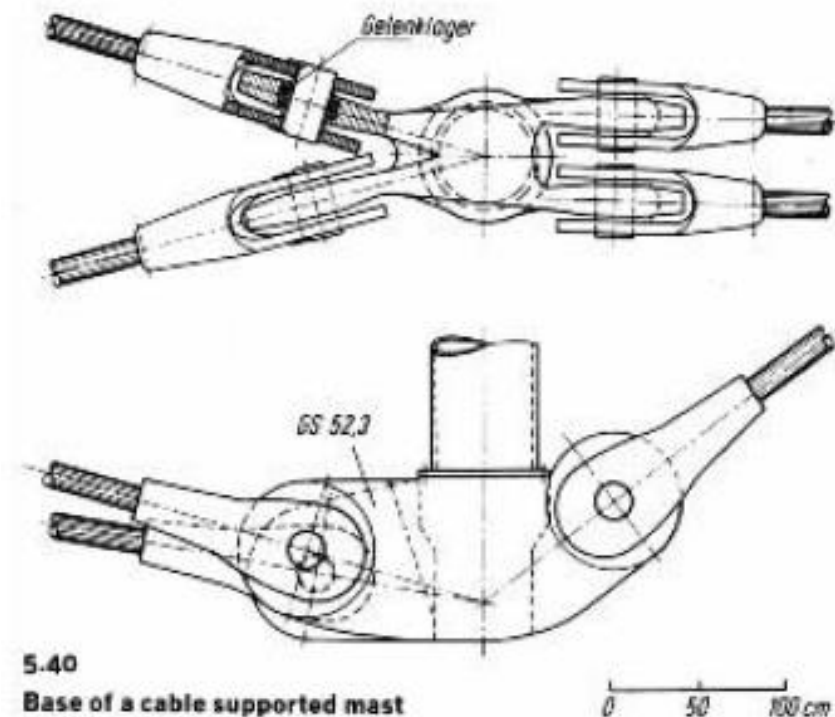


Detail Pertemuan Kabel

- Konstruksi untuk dudukan lintasan pembelokan Kabel Utama



- Konstruksi simpul 3D pertemuan kabel utama



Kelebihan Struktur Kabel

1. Merupakan elemen konstruksi paling ekonomis untuk menutup permukaan yang luas
2. Ringan, meminimalkan beban sendiri sebuah konstruksi
3. Memiliki daya tahan yang besar terhadap gaya tarik, untuk bentangan ratusan meter mengungguli semua sistem lain
4. Memberikan efisiensi ruang lebih besar
5. Memiliki faktor keamanan terhadap api lebih baik dibandingkan struktur tradisional yang sering runtuh oleh pembengkokan elemen tekan di bawah temperatur tinggi. Kabel baja lebih dapat menjaga konstruksi dari temperatur tinggi dalam jangka waktu lebih panjang, sehingga mengurangi resiko kehancuran
6. Dari segi teknik, pada saat terjadi penurunan penopang, kabel segera menyesuaikan diri pada kondisi keseimbangan yang baru, tanpa adanya perubahan yang berarti dari tegangan
7. Cocok untuk bangunan bersifat permanen.

Kelemahan Struktur Kabel

Pembebanan yang berbahaya untuk struktur kabel adalah **getaran**. Struktur ini dapat bertahan dengan sempurna terhadap gaya tarik dan tidak mempunyai kemantapan yang disebabkan oleh pembengkokan, tetapi struktur dapat bergetar. Dalam hal gejala resonansi yang umum dikenal dapat timbul dan mengakibatkan robohnya bangunan.

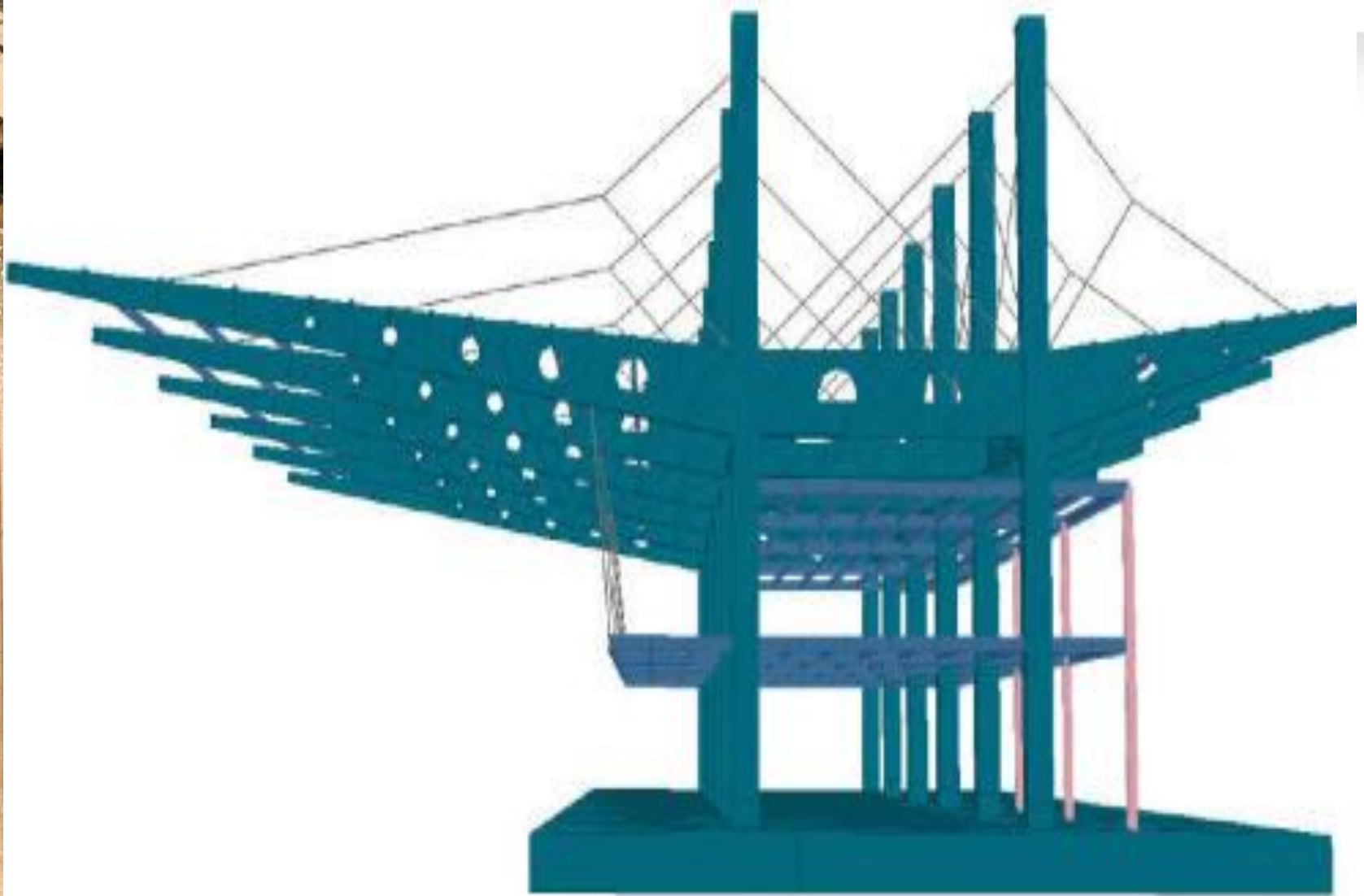


Contoh Penggunaan Struktur Kabel

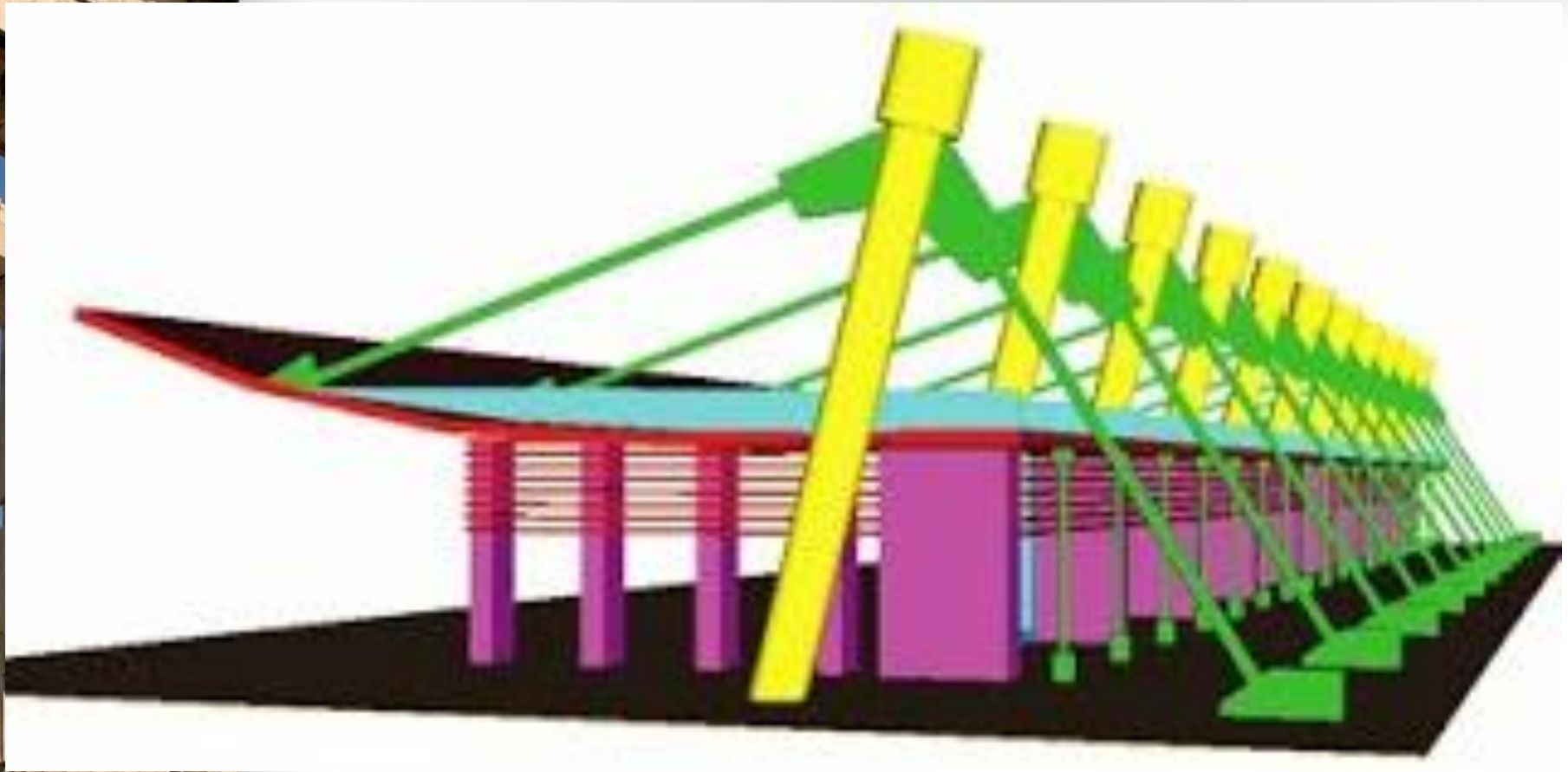
Contoh Penggunaan Struktur Kabel



Contoh Penggunaan Struktur Kabel



Contoh Penggunaan Struktur Kabel



Contoh Jembatan dengan Struktur Kabel




Contoh Jembatan dengan Struktur Kabel



Contoh Jembatan dengan Struktur Kabel






Studi Kasus Bangunan dengan Struktur Kabel



1. *National Athletics Stadium*

Nama	: National Athletics Stadium (Bruce Stadium)
Tim proyek	: Arsitek (Philip Cox, Taylor and Partners); Sipil (Bond James and Laron); <i>Service engineers</i> (Julius Poole and Gibson), <i>Builder</i> (Leighton Contractors)
Fungsi	: Tempat pertandingan nasional dan internasional, sebagai markas tim Canberra Raiders ARL.
Tahun	: 1977
Lokasi	: Bruce , Australian Capital Territory
Tipe	: Stadion

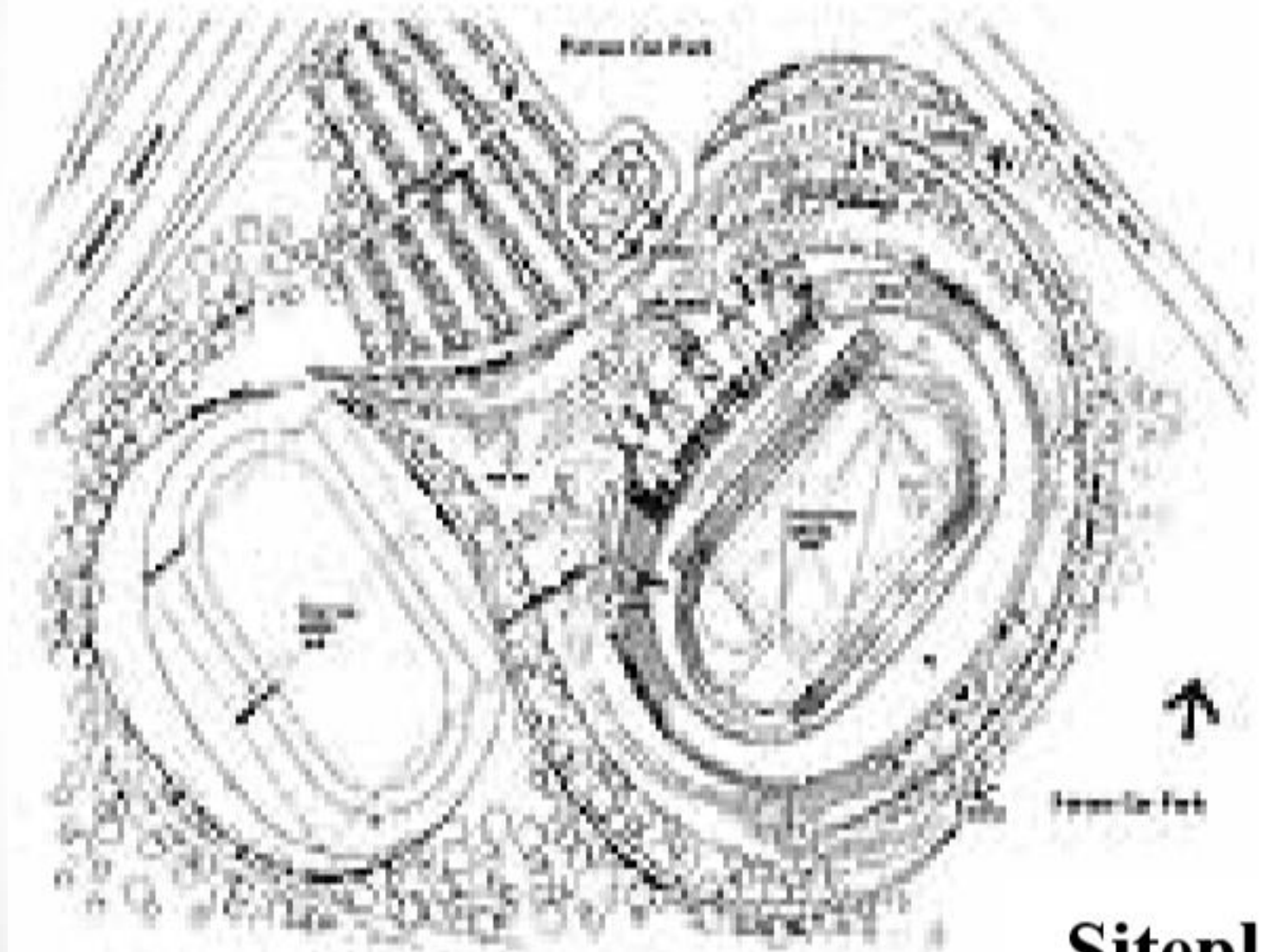
National Athletics Stadium

- 
- Bentuk : *Plan* (denah): atap panjang 112m, lebar 20m, denah berbentuk segiempat. Tinggi sampai atap: 16-20 m
- Modul dasar atap : *rectangular steel frame*, dengan *concrete topping*
- Modul : 14
- Lantai : 11.400 m²
- Material : baja
- Tipe struktur atap : tipe *cable suspended steel framed roof deck*
- Motif *surface arrangement*
- Struktur pendukung : *Pin jointed masts* dengan diameter kabel 36mm dan 52mm untuk kabel penarik di belakang.
- Pondasi : *rock tension anchors for the cables , piers to the main seating structure*

National Athletics Stadium



Dirancang untuk menjadi bagian dari Institut Olahraga Australia. Secara konsep, struktur utama dirancang khusus dalam penampilannya dan dapat terlihat jelas dari jarak yang jauh.



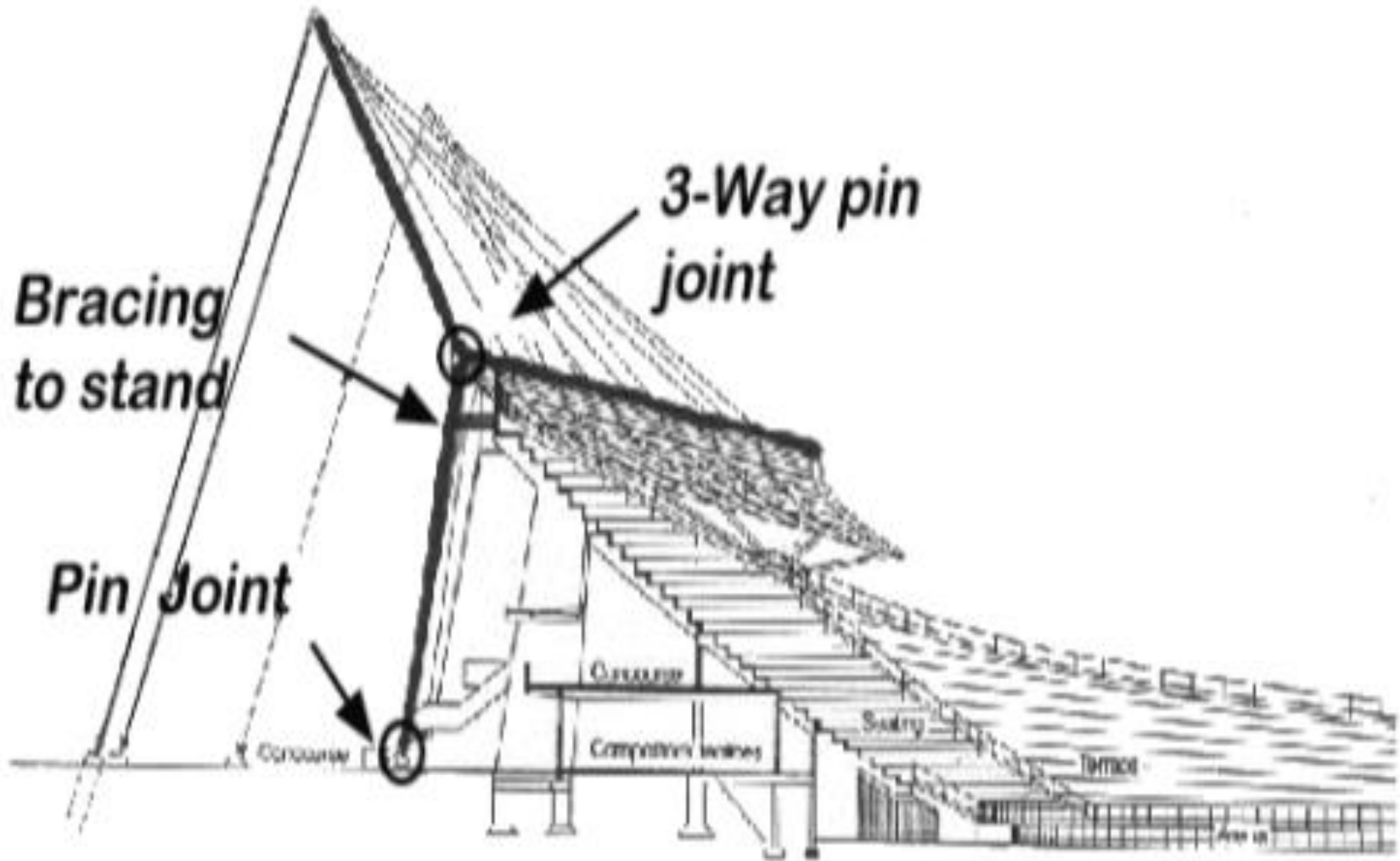


Atap tergantung pada kabel yang didukung oleh tiang-tiang baja runcing yang memberi dampak visual pada bangunan. Hal ini juga diperlukan untuk memberikan pandangan bebas kolom bagi para penonton. Struktur diletakkan seperti pada atap yang memiliki perlindungan maksimal dari angin yang sangat kuat di area.

Analisis Struktur Kabel

Struktur Kabel mendukung atap seluas 112x20 m. Terdapat 5 tiang struktur disepanjang atap. Tiang ini dihubungkan dengan tiga penggantung ke balok atap dan kolom baja yang runcing. Tiap kabel mendukung 650 titik beban pada atap. Atap kabel berdiameter 36 mm, kabel penggantung belakang berdiameter 52 mm yang dibuat dari 37x7mm kabel. Terdapat 2 penggantung belakang untuk setiap tiang struktur penggantung dan 9 kabel yang mendukung atap. Slab beton 100mm kemudian diberi dek metal yang telah dibuat menjadi rangka atap dan bersifat permanen. kemudian kabel penggantung belakang dipasang pada kepala tiang untuk dihubungkan pada angkur di tanah. Kabel penggantung belakang ditegangkan secara berpasangan yang menyebabkan atap kabel dapat memikul beban. Panjang tiang penggantung 16 m dari ujung kepala hingga 3 *way pin joint*. baja runcing fabrikasi menjadi satu dengan *cast element* pada ujungnya memungkinkan hubungan kabel. Terdapat 5 tiang yang masing-masing diletakkan pada bagian belakang penyangga, kemudian dimiringkan dengan sudut 60° agar stabil.

Analisis Struktur Kabel



Typical Grandstand Section

Analisis Struktur Kabel

Tapered Columns (Kolom Runcing)

Kolom-kolom runcing membentuk satu bagian dari 3 struktur baja utama. Kolom-kolom ini bervariasi menurut ukuran panjangnya mulai dari 16m hingga 20m, tergantung pada posisi peletakan pada strukturnya. Kolom dihubungkan pada dua ujungnya untuk memungkinkan terjadinya rotasi perpendicular pada penyangganya.

Roof Frame (Rangka Atap)

Rangka atap terdiri dari balok baja utama yang membentang sekitar 20m dihubungkan dengan tiang dan kolom-kolom. Balok utama ini membentuk bagian pada kerangka atap baja yang menyangga dek metal yang mendukung beton penutup atas.



Typical grandstand section

Analisis Struktur Kabel

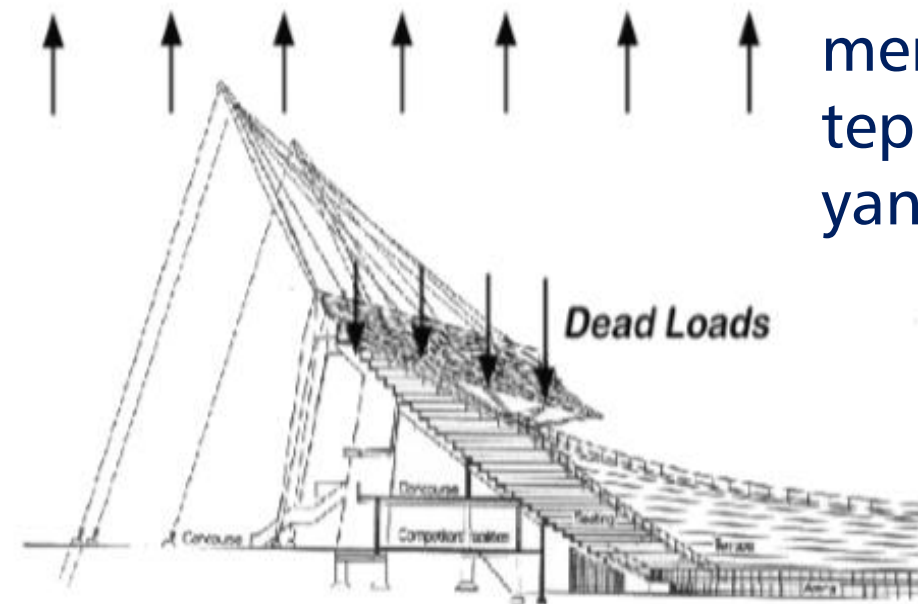


Tension Cables (kabel tegang)

Kabel atap terdiri dari 19 X 7 mm kawat yang menyusun kabel berdiameter 36 mm. Terdapat 9 kabel atap untuk tiap tiang penyangga atap.

Analisis Struktur Kabel

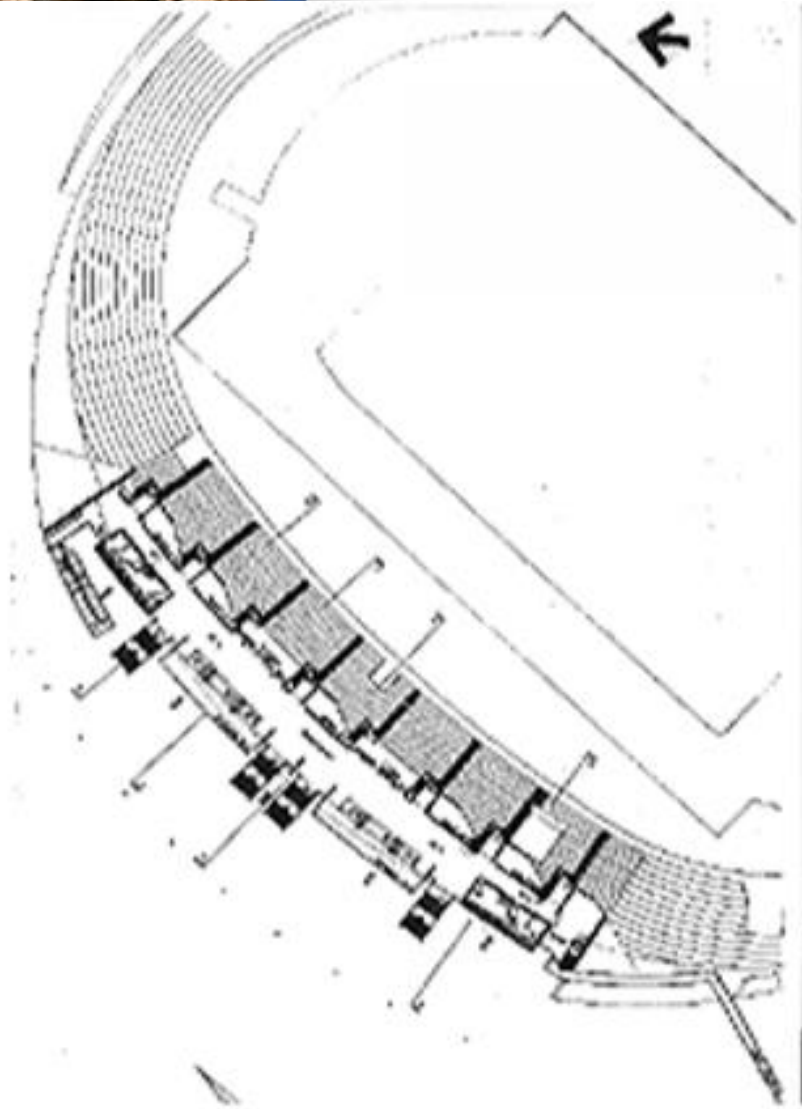
Beban lateral pada arah transversal disebabkan oleh dua efek. Yang pertama adalah beban terpusat yang disalurkan dari sistem struktur sekunder untuk dinding, yang akan menjadi bentuk beban terpusat pada tepi timur dan barat dari diagrid yang terbentuk pada setiap 12,6 m.



Typical Grandstand Section



Studi Kasus: National Athletics Stadium



Denah

Bangunan utama didesain untuk menampung 6000 tempat duduk yang terlindungi. Fasilitas bagi atlet terletak pada struktur dasar dari atap, memberi hubungan langsung ke arena. Fasilitas lainnya seperti toko perlengkapan, restoran dan bar, serta fasilitas perawatan juga terdapat pada dasar tersebut. Tempat duduk di atasnya memungkinkan seluruh penonton untuk mendapatkan pandangan penuh pada semua kegiatan.

Studi Kasus:

2. MUNICH OLYMPIC STADIUM

Nama : Munich Olympic Stadium
Tim proyek : Arsitek Jerman, Günther Behnisch dan insinyur Frei Otto
Fungsi : Tempat pertandingan Olympiade Musim Panas 1936 di Berlin
Tahun : 1936
Lokasi : Munich, Jerman
Tipe : Stadion



2. MUNICH OLYMPIC STADIUM

KONSEP

Dirancang oleh arsitek Jerman, Günther Behnisch dan insinyur Frei Otto, olympia stadion dianggap revolusioner pada masanya karena rancangan membrane kanopi dengan bahan akriliknya yang besar dan lebar yang distabilisasi dengan sambungan kabel baja yang disambung lagi dengan kabel baja yang lebih besar sepanjang bentangnya & berakhir pada pijakan beton di sisi-sisinya. Gagasan idenya adalah untuk mengimitasi pegunungan Alpen dan untuk menyeimbangi besarnya acara 1936 Summer Olympic di Berlin, yang diadakan pada saat rezim Nazi. Hasilnya adalah struktur berbentuk seperti awan tergantung hasil pantulan dari langit yang melayang diatas tapak di antara natatorium, gymnasium dan stadium utamanya. Kanopinya yang besar dan transparan adalah untuk menyimbolkan negara Jerman yang baru, demokratis dan optimistik. Hal ini adalah untuk menrefleksikan motto mereka "*The Happy Games*" ("*Die Heiteren Spiele*").

The background of the slide features a photograph of the Parthenon, an ancient Greek temple dedicated to the goddess Athena. The image shows the temple's facade with its iconic Doric columns and pediment, set against a clear blue sky. The temple is built on a hillside, and the perspective is from a low angle, looking up at the structure.

2. MUNICH OLYMPIC STADIUM

TAPAK

Untuk tapak yang termasuk mahal, stadium ini dibangun dengan komponen struktural yang minimal karena terletak pada lubang besar yang dihasilkan oleh ledakan bom pada Perang Dunia II, sehingga proses konstruksi menjadi mudah. Munich stadium ini adalah contoh yang baik tentang bagaimana tapak dan struktur dapat berhubungan satu sama lain. Pada tapak juga terdapat *broadcast tower* setinggi 300 m yang masih ada sampai sekarang sebagai *landmark* utama dari tapak

2. MUNICH OLYMPIC STADIUM

IKLIM

Cuaca Munich relatif sedang dan tenang, sehingga rancangan atap jaring dengan struktur kabel hanya memikirkan 2 faktor utama: angin dan salju. Hujan es dan salju turun dengan rata-rata 75 hari per tahun di Munich, dan angin yang berhembus dapat mencapai kecepatan 120km/jam di kala badai. Salju dan es yang berkumpul di atas atap dapat menimbulkan bahaya pada strukturnya. Biasanya, masalah ini dapat diselesaikan dengan cara memberi kipas di bawah kanopi untuk mencairkan salju di atasnya. Teknik ini sudah terbukti pada pavilion di Jerman rancangan Otto pada 1967 *World Fair* di Montreal. Dengan kondisi cuaca yang ada di Munich, terutama tentang arah aliran udaranya, atap dan area duduk utamanya berorientasi ke pinggir barat. Sekitar 65% dari stadium ditutup dengan *shelter* ini. Atap dan area tempat duduk yang lebih tinggi di sebelah barat juga menjamin area tempat duduk di bagian timur terlindung dari angin. Namun begitu, Olympic stadium yang sekarang tidak lagi mengijinkan para pengunjung menduduki tempat duduk yang tidak ber-*shelter*.

2. MUNICH OLYMPIC STADIUM

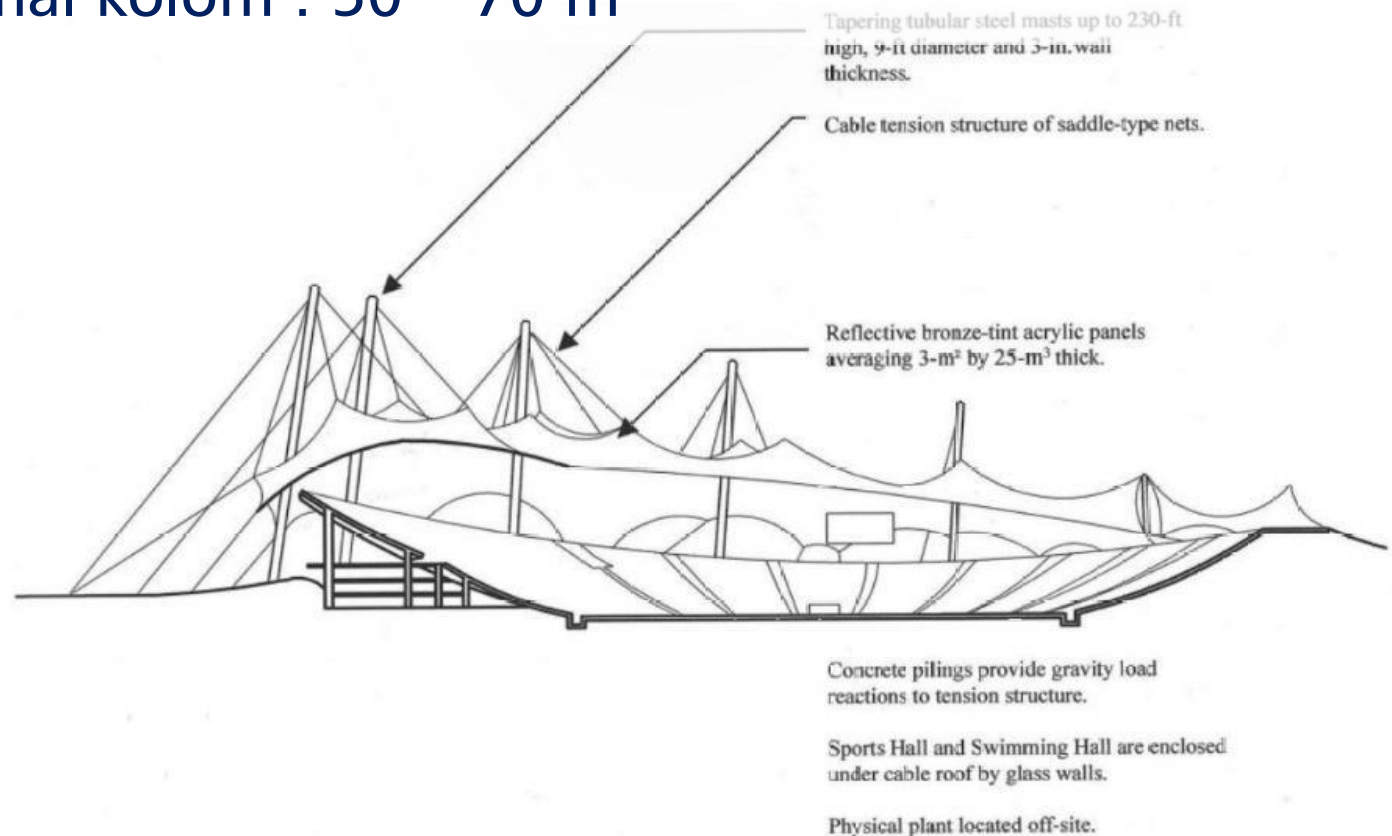
DATA BANGUNAN

Fitur yang paling menonjol dari stadium ini adalah atap dengan struktur tariknya. Atap tersebut menjadi landmark kota Munich, strukturnya juga menjadi pedoman bagi banyak rancangan yang lebih inovatif dan menjadi studi bagi penerus di bidangnya. Hal yang paling menginspirasi arsitek dan para perancang adalah ukuran dan kemegahannya. Grid dari atap stadium ini terdiri dari sembilan kolom utama yang membentuk gubahan jaring-jaring dengan kabel baja setebal 25 mm yang membentuk grid selebar 762 mm.

2. MUNICH OLYMPIC STADIUM

DATA BANGUNAN

Mulanya, penutup atap bangunan ini ditentukan berupa kanvas yang digantung dibawah kabel, namun diganti menjadi bahan panel akrilik dengan ukuran 2.9 m x 2.9 m yang dipasang di atas kabel. Jarak antar as kolom: 65 m
Tinggi maksimal kolom : 50 – 70 m



2. MUNICH OLYMPIC STADIUM



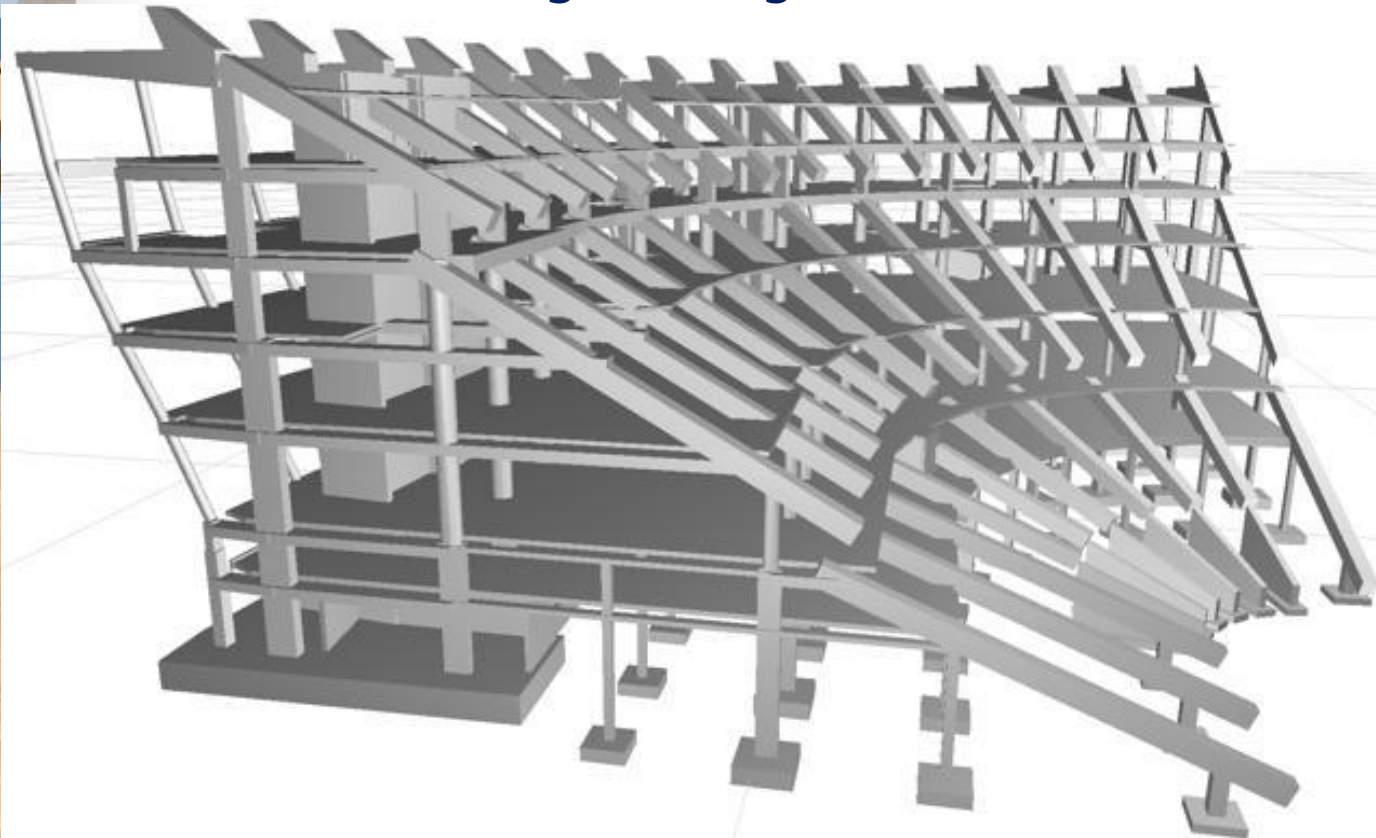
2. MUNICH OLYMPIC STADIUM



Kabel tarik yang menarik atap jaring merupakan kabel *doubly curved* (dua kabel yang disatukan). Kabel-kabel ini untuk menahan kanopi dari terpaan angin ke atas. Total kabel baja yang dipakai pada bangunan ini termasuk stadium utama dan fasilitas-fasilitas lainnya mencapai 408 km dan total gaya tarik yang dapat diterima adalah sebesar 5000 ton.

2. MUNICH OLYMPIC STADIUM

Awalnya pondasi yang akan dipakai adalah pondasi dalam *prestress*. Namun, peraturan setempat mengharuskan **pondasi lajur** untuk menghasilkan stabilitas. Pondasi lajur ini dalamnya 18 m dan lebar 6 m. Ukuran yang besar ini diperlukan untuk menahan gaya tarik yang sangat kuat yang dihasilkan oleh angin serta menahan bangunan agar tidak “mekar”.

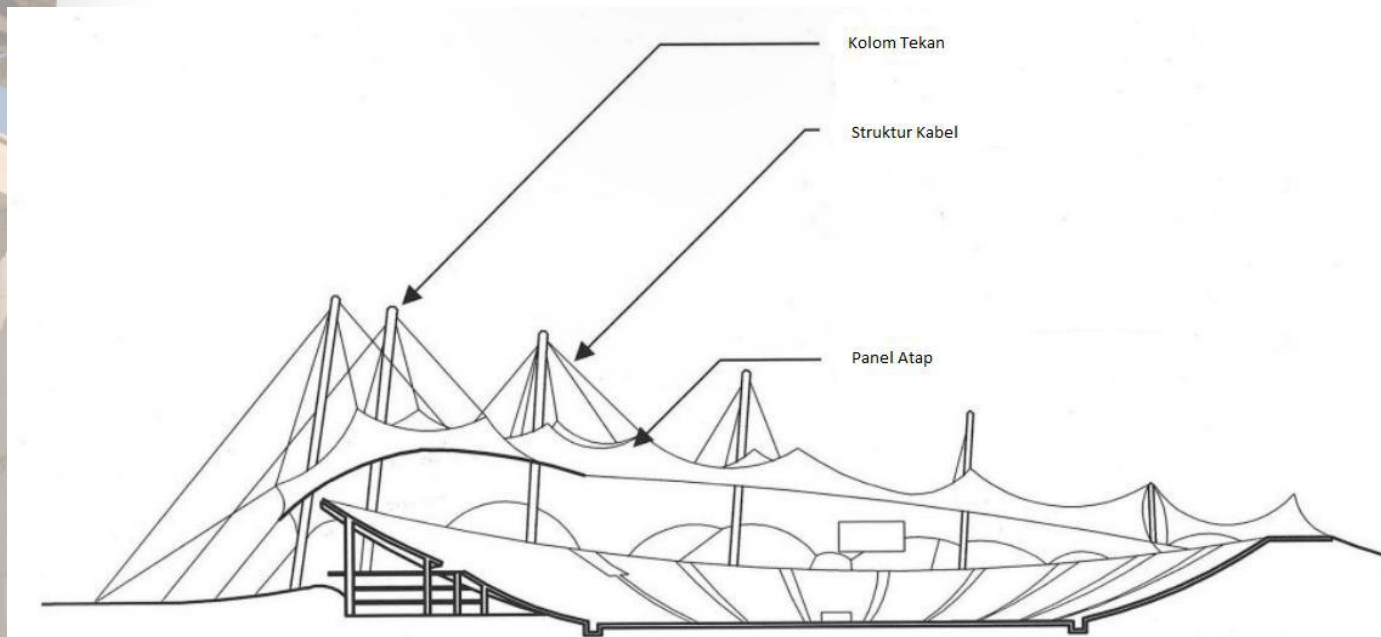


2. MUNICH OLYMPIC STADIUM

MOMEN

Berikut adalah analisa kami terhadap momen yang terjadi serta hubungannya dengan bentuk dari struktur kabel pada bangunan :

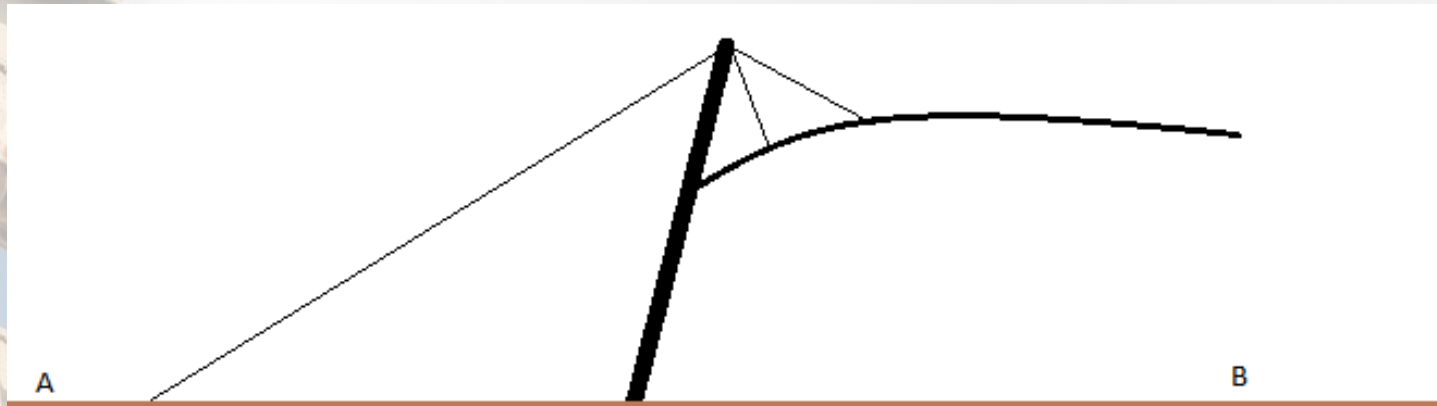
1.Momen struktur utama



Struktur atap dan tribun merupakan struktur yang terpisah dengan struktur atap. Kolom utama di tengah sebagai struktur tekan menopang kabel yang menarik struktur panel atap

2. MUNICH OLYMPIC STADIUM

Sambungan yang terjadi antara kolom tekan dengan kabel, panel atap dengan kabel, dan kabel dengan pedestal adalah sendi



Analisis Momen yang terjadi:

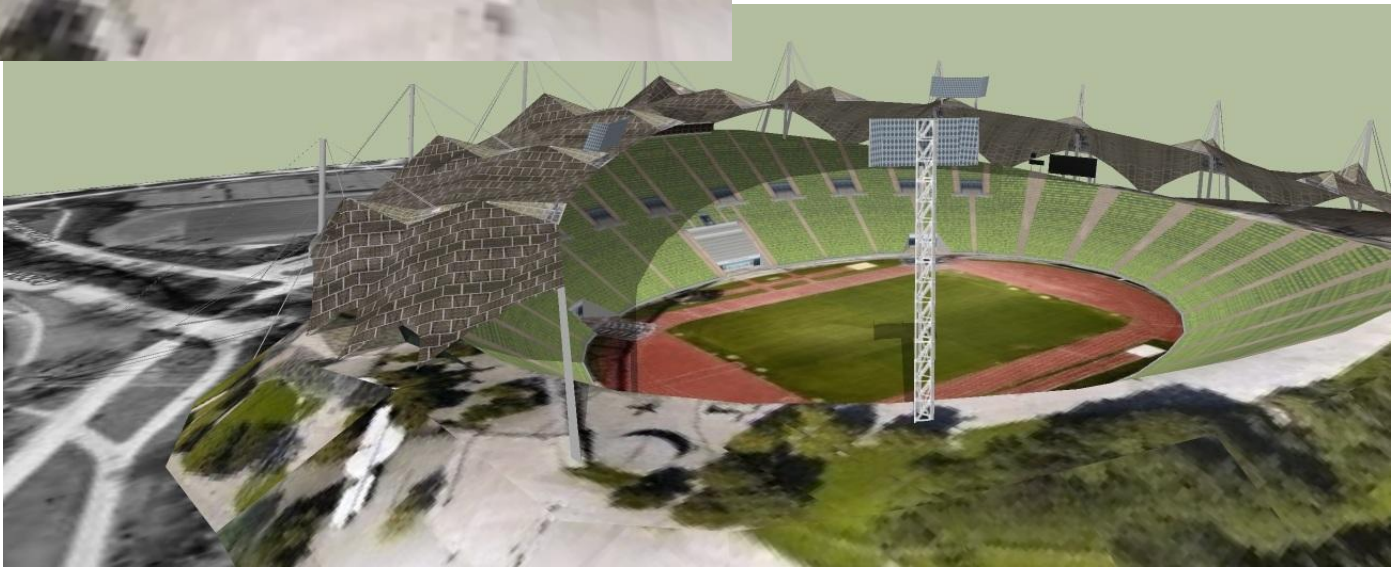
Kolom tekan sebagai struktur utama tekan yang menyalurkan gaya dari kabel-kabel yang menahan struktur panel atap ke tanah cenderung akan jatuh ke titik B sehingga digunakan kabel untuk menarik kolom ini menuju titik B sebagai penetral gaya horizontal yang terjadi. Kolom dimiringkan ke titik B lalu di tarik oleh kabel menuju titik A.

Kolom dimiringkan untuk lebih mengkakukan kolom itu ke tanah, bila hanya tegak kabel yang menarik kolom ke titik A hanya menetralkan gaya horizontal. Bila dimiringkan kolom yang ditarik kabel menuju titik A ini juga mendapatkan gaya tekan ke tanah.

2. MUNICH OLYMPIC STADIUM

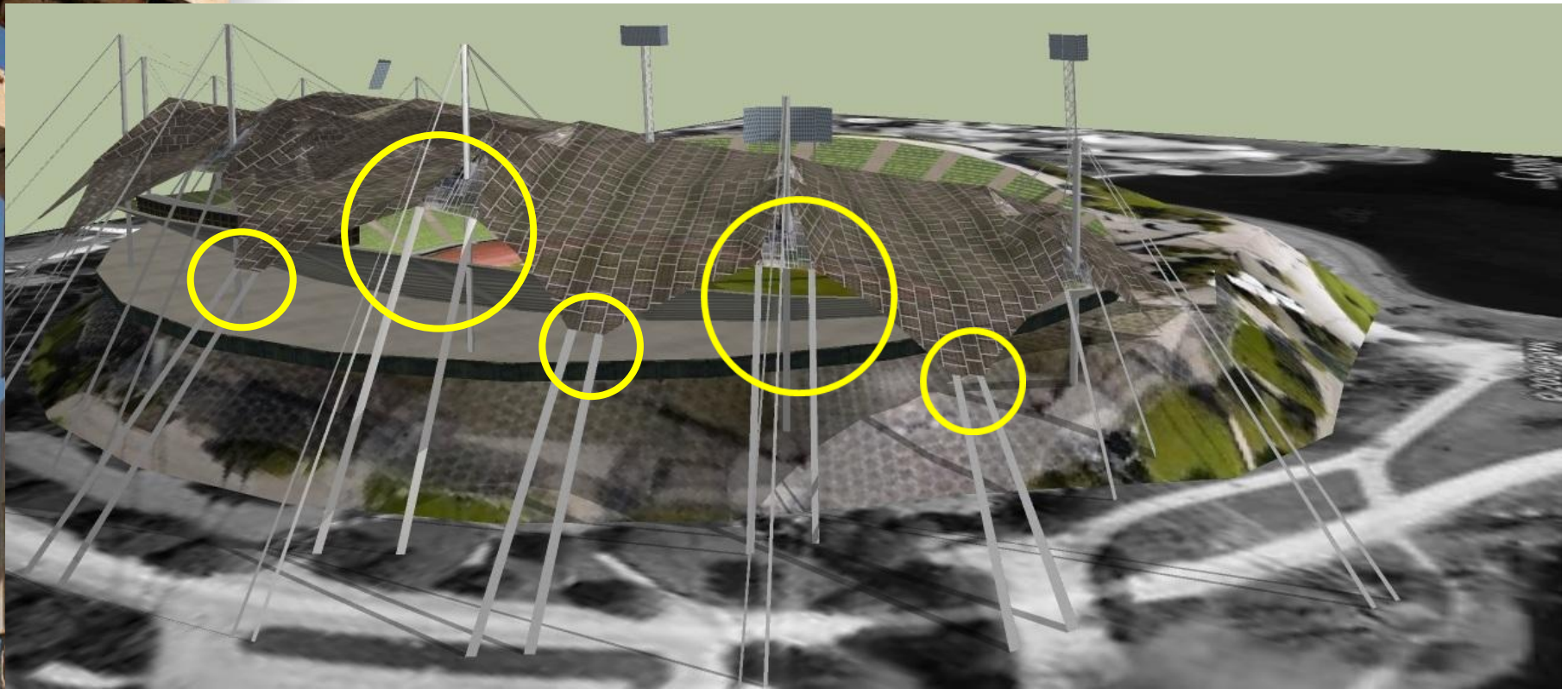
Mengatasi Efek "*Fluttering*":

Pada Munich Olympic Stadium, efek fluttering diatasi dengan menarik kebawah struktur yang menahan panel atap menggunakan kabel



2. MUNICH OLYMPIC STADIUM

Panel atap yang berada di belakang ditarik kebawah oleh struktur kabel seperti diatas



2. MUNICH OLYMPIC STADIUM

SAMBUNGAN PADA BANGUNAN

Sambungan struktur kabel pada struktur atap bangunan ini seluruhnya adalah sambungan sendi karena panel acrylic dengan lis perunggu reflektif yang ringan sehingga ringan. Analisa kami sendi dipakai sebagai ekspresi ringan dan juga sendi dipakai untuk memfleksibelkan struktur namun tetap kaku dan seimbang dengan cara penarikan struktur kebawah untuk mengkekukan struktur. Sambungan sendi terjadi pada setiap bagian pertemuan kolom dengan kebel penarik struktur panel atap, kolom dengan kabel penarik, kabel penarik dengan pedestal.



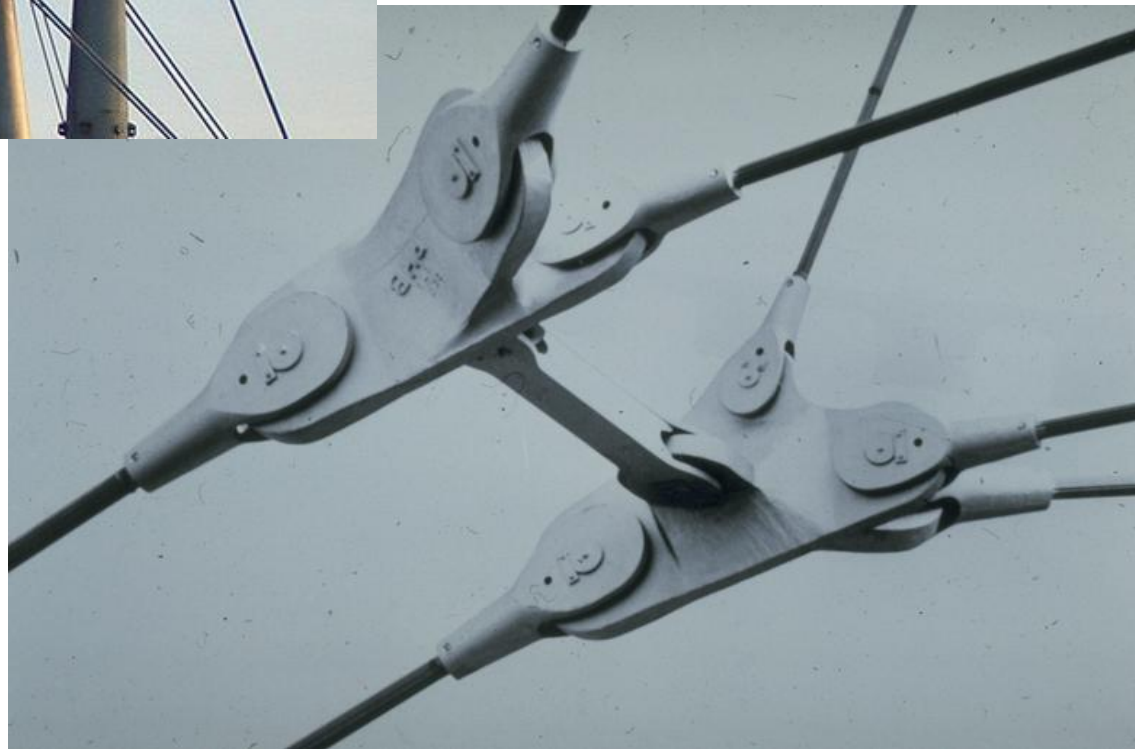
2. MUNICH OLYMPIC STADIUM



Gambar sambungan kolom utama dengan struktur kabel serta struktur kabel penarik kolom



Gambar sambungan kabel dengan kabel



2. MUNICH OLYMPIC STADIUM

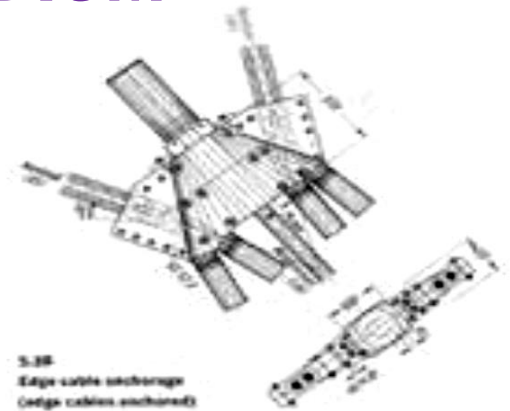


Gambar sambungan kabel penarik kolom dengan pedestalnya

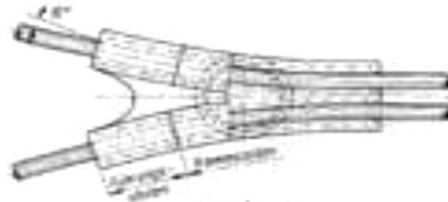
2. MUNICH OLYMPIC STADIUM



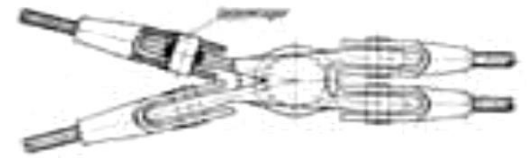
5.37
Edge cable anchorage
(edge cables continuous)



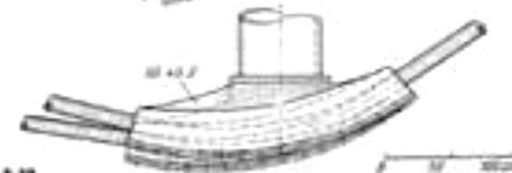
5.38
Edge cable anchorage
(edge cables anchored)



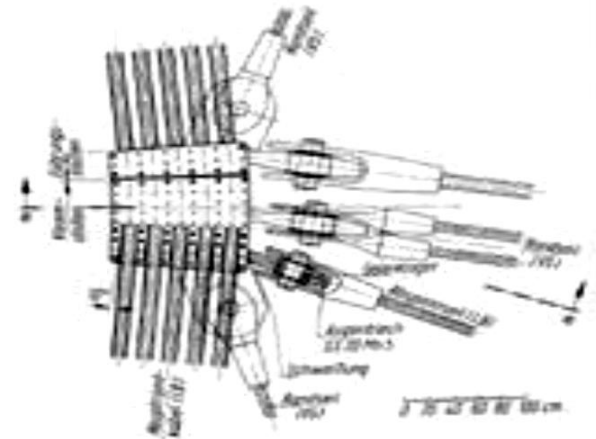
5.39
Base of a cable supported mast
(cables continuous)



5.40
Base of a cable supported mast
(cables anchored)



5.41
Node of the stadium main cable
(made of 10 parallel strand cables)
with the edge and stay cables



Gambar sambungan