

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. TINJAUAN UMUM

Pada tahap perencanaan struktur payung elektrik ini, perlu dilakukan studi literatur untuk mengetahui hubungan antara susunan fungsional struktur dengan sistem struktural yang akan digunakan, disamping juga untuk mengetahui dasar-dasar teorinya. Pada jenis struktur tertentu, perencanaan seringkali diharuskan menggunakan suatu pola akibat dari syarat-syarat fungsional maupun strukturnya. Pola-pola yang dibentuk oleh konfigurasi fungsional akan berpengaruh secara implisit pada desain struktur yang digunakan.

Pada bab ini akan dijelaskan tentang tata cara dan langkah-langkah perhitungan struktur mulai dari struktur atas yang berupa desain rangka payung, kain dan perencanaan las sampai struktur bawah yang terdiri dari perhitungan angkur yang dibutuhkan. Studi literatur dimaksudkan agar dapat memperoleh hasil perencanaan yang optimal dan akurat. Oleh karena itu, dalam bab ini pula akan dibahas mengenai konsep pemilihan jenis struktur dan konsep perencanaan/desain struktur bangunannya, seperti konfigurasi denah dan pembebanan yang telah disesuaikan dengan syarat-syarat dasar perencanaan bangunan sipil yang berlaku di Indonesia sehingga diharapkan hasil yang akan diperoleh nantinya akan menimbulkan kegagalan struktur.

2.2. KONSEP PEMILIHAN JENIS STRUKTUR

Pemilihan jenis struktur atas (*upper structure*) mempunyai hubungan yang erat dengan sistem kekuatan struktur. Dalam proses desain struktur perlu dicari kedekatan antara jenis struktur dengan masalah-masalah seperti kekuatan dan kestabilan struktur, arsitektural, efisiensi, *service ability*, kemudahan pelaksanaan dan juga biaya yang diperlukan. Adapun factor yang menentukan dalam pemilihan jenis struktur sebagai berikut:

1. Aspek arsitektural

Aspek arsitektural dipertimbangkan berdasarkan kebutuhan jiwa manusia akan sesuatu yang indah. Bentuk-bentuk struktur yang direncanakan sudah semestinya mengacu pada pemenuhan kebutuhan yang dimaksud.

2. Aspek fungsional

Perencanaan struktur yang baik sangat memperhatikan fungsi daripada bangunan tersebut. Dalam kaitannya dengan penggunaan ruang, aspek fungsional sangat mempengaruhi besarnya dimensi bangunan yang direncanakan.

3. Kekuatan dan kestabilan struktur

Kekuatan dan kestabilan struktur mempunyai kaitan yang erat dengan kemampuan struktur untuk menerima beban-beban yang bekerja, baik beban vertical maupun beban lateral, dan kestabilan struktur baik arah vertical maupun lateral.

4. Faktor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan

Suatu bangunan biasanya dapat diterapkan beberapa sistem struktur yang bias digunakan, maka factor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan pengerjaan merupakan faktor yang mempengaruhi system struktur yang dipilih.

5. Faktor kemampuan struktur mengakomodasi sistem layan gedung

Struktur harus mampu mendukung beban rancang secara aman tanpa kelebihan tegangan ataupun deformasi pada batas yang diijinkan. Keselamatan adalah hal penting dalam perencanaan struktur payung elektrik

6. Aspek lingkungan

Aspek lain yang ikut menentukan dalam perancangan dan pelaksanaan suatu proyek adalah aspek lingkungan. Dengan adanya suatu proyek yang diharapkan akan memperbaiki kondisi lingkungan dan kemasyarakatan. Sebagai contoh dalam perencanaan lokasi dan denah haruslah mempertimbangkan kondisi lingkungan apakah rencana kita nantinya akan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan sekitar, baik secara fisik maupun kemasyarakatan, atau bahkan sebaliknya akan dapat menimbulkan dampak yang positif.

Sedangkan pemilihan jenis struktur untuk struktur bawah (*sub structure*), jenis pondasi yang digunakan mengikuti pondasi yang sudah terpasang pada plaza masjid sebelumnya, hanya saja jika dari hasil perhitungan pondasi yang telah ada tidak dapat menahan beban yang ada, maka dimensi pondasi tersebut harus diperbesar sesuai dengan kebutuhan. Pada perencanaan struktur bawah ini akan didesain jenis dan jumlah angkur yang dibutuhkan.

2.2.1. Elemen-elemen Struktur Utama

Pada perencanaan struktur payung elektrik ini digunakan frame dan tiang pipa sebagai elemen-elemen utama struktur. Frame membentuk lengan-lengan berjumlah delapan yang berpotongan/bertemu pada satu titik dan di topang oleh tiang berupa pipa-pipa hidrolis dengan diameter tertentu, dan pipa-pipa hidrolis tersebut berfungsi sebagai kolom. Lengan-lengan frame berfungsi untuk menyangga kain dan memikul beban secara transversal dari panjangnya dan mentransfer beban tersebut ke kolom yang berupa pipa-pipa hidrolis. Kolom tersebut dibebani secara aksial oleh lengan-lengan frame utama dan mentransfer beban itu ke pondasi.

2.2.2. Material / Bahan Struktur

Secara umum jenis-jenis material struktur yang biasa digunakan untuk bangunan gedung adalah sebagai berikut:

1. Struktur Baja (*Steel Structure*)

Struktur baja sangat tepat digunakan untuk bangunan bertingkat tinggi, karena material baja mempunyai kekuatan serta daktilitas yang tinggi apabila dibandingkan dengan material-material struktur lainnya. Di beberapa negara, struktur baja tidak banyak dipergunakan untuk stuktur bangunan rendah dan menengah, karena ditinjau dari segi biaya, penggunaan material baja untuk bangunan ini dianggap tidak ekonomis.

2. Struktur Komposit (*Composite Structure*)

Struktur komposit merupakan struktur gabungan yang terdiri dari dua jenis material atau lebih. Umumnya struktur komposit yang sering dipergunakan adalah kombinasi antara baja struktural dengan beton bertulang. Struktur komposit ini memiliki perilaku diantara struktur baja dan struktur beton bertulang, digunakan untuk struktur bangunan menengah sampai tinggi.

3. Strktur Kayu (*Wooden Structure*)

Struktur kayu merupakan struktur dengan ketahanan cukup baik terhadap pengaruh gempa, dan mempunyai harga yang ekonomis. Kelemahan daripada struktur kayu ini adalah tidak tahan terhadap kebakaran dan digunakan pada struktur bangunan tingkat rendah.

4. Struktur Beton Bertulang Cor Di Tempat (*Cost In Situ Reinforced Concrete Structure*)

Struktur beton bertulang ini banyak digunakan untuk struktur bangunan tingkat menengah sampai tinggi. Struktur ini paling banyak digunakan dibandingkan dengan struktur lainnya.

5. Struktur Beton Pracetak (*Precast Concrete Structure*)

Merupakan struktur beton yang dibuat dengan elemen-elemen structural yang terbuat dari elemen pracetak. Umumnya digunakan pada struktur bangunan tingkat rendah sampai menengah. Kelemahan struktur ini adalah kurang monolit, sehingga ketahanannya terhadap gempa kurang baik.

6. Struktur Beton Prategang (*Prestress Concrete Structure*)

Penggunaan sisitem prategang pada elemen struktural akan berakibat kurang menguntungkan pada kemampuan berdeformasi daripada struktur dan akan mempengaruhi karakteristik respon terhadap gempa. Struktur ini digunakan pada bangunan tingkat rendah sampai menengah. Sistem prategang yang digunakan ada dua cara, yaitu:

- Sistem *Post-Tensioning*

Pada sistem ini beton dicor ditempat, kemudian setelah mencapai kekuatan 80% f'_c diberi gaya prategang. Biasanya untuk lantai dan balok.

- Sistem *Pre-Tensioning*

Pada sistem ini beton telah dicetak dan sebelumnya diberi gaya prategang di pabrik dan kemudian dipasang di lokasi. Sistem ini biasa digunakan untuk komponen balok, pelat dan tangga.

2.3. KONSEP DESAIN / PERENCANAAN STRUKTUR

Konsep tersebut merupakan dasar teori perencanaan dan perhitungan struktur, yang meliputi desain terhadap beban lateral (gempa), denah dan konfigurasi bangunan, kriteria desain, ikhtisar desain dan spesifikasi, ketentuan bahan dan peralatan, konsep pembebanan, serta persyaratan teknik pemasangan.

2.3.1. Desain Terhadap Beban Lateral (Gempa)

Dalam mendesain struktur, kestabilan lateral adalah hal terpenting karena gaya lateral mempengaruhi desain elemen-elemen vertical dan horisontal struktur. Mekanisme dasar untuk menjamin kestabilan lateral diperoleh dengan menggunakan hubungan kaku untuk memperoleh bidang geser kaku yang dapat memikul beban lateral.

Beban lateral yang paling berpengaruh terhadap struktur payung elektrik ini adalah beban gempa dimana efek dinamisnya menjadikan analisisnya lebih kompleks. Tinjauan ini dilakukan untuk mengetahui metode analisis, pemilihan metode, dan kriteria dasar perancangannya.

2.3.1.1. Metode Analisis Struktur Terhadap Beban Gempa

Metode analisis yang dapat digunakan untuk memperhitungkan pengaruh beban gempa terhadap struktur adalah sebagai berikut:

1. Metode Analisis Statis

Merupakan analisis sederhana untuk menentukan pengaruh gempa tetapi hanya digunakan pada struktur gedung beraturan, penyebaran kekakuan massa menerus, dan ketinggian tingkat kurang dari 40 meter.

Struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung beraturan, apabila memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 meter.

- Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan walaupun mempunyai tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut.
- Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut dan walaupun mempunyai coakan sudut, panjang sisi coakan tidak lebih dari 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut.
- Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan walaupun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah, tidak kurang dari 75% dari ukuran terbesar denah struktur bagian bagian gedung sebelah bawahnya. Dalam hal ini, struktur rumah atap yang tingginya tidak lebih dari 2 tingkat tidak perlu dianggap menyebabkan adanya loncatan bidang muka.
- Sistem struktur gedung memiliki kekakuan yang beraturan, tanpa adanya tingkat lunak yang dimaksud dengan tingkat suatu tingkat dimana kekuatan lateralnya adalah kurang dari 70% kekuatan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekuatan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan kekakuan lateral suatu tingkat adalah gaya geser yang bila bekerja di tingkat itu menyebabkan satu-satuan simpangan antar tingkat.
- Sistem struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap lantai tingkat memiliki berat yang tidak lebih dari 150% dari berat lantai tingkat di atasnya atau di bawahnya. Berat atap atau rumah atap tidak perlu memenuhi ketentuan ini.
- Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral yang menerus, tanpa perpindahan titik beratnya, kecuali bila perpindahan tersebut tidak lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah perpindahan tersebut.
- Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat. Walaupun ada lantai tingkat dengan lubang atau bukaan seperti itu, jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari jumlah lantai tingkat seluruhnya.

Analisis statis prinsipnya menggantikan beban gempa dengan gaya-gaya statis ekuivalen bertujuan menyederhanakan dan memudahkan perhitungan, dan disebut metode gaya lateral ekuivalen (*equivalent lateral force method*), yang mengasumsikan gaya gempa besarnya berdasar hasil perkalian suatu konstanta/massa dan elemen struktur tersebut.

2. Metode Analisis Dinamis

Analisis dinamis dilakukan untuk evaluasi yang akurat dan mengetahui perilaku struktur akibat pengaruh gempa yang sifatnya berulang. Analisis dinamik perlu dilakukan pada struktur-struktur bangunan dengan karakteristik sebagai berikut:

- Gedung-gedung dengan konfigurasi struktur sangat tidak beraturan
- Gedung-gedung dengan loncatan-loncatan bidang muka yang besar
- Gedung-gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata
- Gedung-gedung dengan tinggi lebih dari 40 meter.

Metode ini ada dua jenis yaitu analisis respon dinamik riwayat waktu (*time history analysis*) yang memerlukan rekaman percepatan gempa rencana dan analisis ragam spektrum respon (*spectrum modal analysis*) dimana respon maksimum dan tiap ragam getar yang terjadi didapat dari spektrum respon rencana (*design spectra*).

2.3.1.2. Pemilihan Cara Analisis

Pemilihan metode analisis untuk perencanaan struktur ditentukan berdasarkan konfigurasi struktur dan fungsi bangunan berkaitan dengan tanah dasar dan wilayah kegempaan. Untuk struktur bangunan kecil dan tidak bertingkat, elemen struktural dan non struktural tidak perlu didesain khusus terhadap gempa, tetapi diperlukan detail struktural yang baik. Untuk struktur bangunan sedang digunakan metode analisis beban statik ekuivalen, sebaiknya memeriksa gaya gempa yang bekerja dengan menggunakan spektrum gempa rencana sesuai kondisi struktur. Untuk struktur bangunan yang cukup besar menggunakan analisis dinamik, metode analisis ragam spektrum respon. Sedang untuk struktur bangunan tidak merata ke arah vertikal dengan menggunakan analisis modal.

Untuk analisis dinamis biasanya struktur dimodelkan sebagai suatu sistem dengan massa-massa terpusat (*lump mass model*) untuk mengurangi jumlah derajat kebebasan pada struktur.

Semua analisis tersebut pada dasarnya untuk memperoleh respon maksimum yang terjadi akibat pengaruh percepatan gempa yang dinyatakan dengan besaran perpindahan (*displacement*) sehingga besarnya gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur dapat ditentukan lebih lanjut untuk keperluan perencanaan.

2.3.2. Denah dan Konfigurasi Bangunan

Dalam mendesain struktur perlu direncanakan terlebih dulu denah struktur yang akan dibangun, sehingga dapat dimanfaatkan secara optimal.

2.3.3. Kriteria Desain

- a) Payung elektrik Masjid Agung Jawa Tengah dapat dibuka dan ditutup secara otomatis dan manual.
- b) Waktu yang diperlukan untuk membuka penuh atau sebaliknya dari terbuka penuh sampai tertutup ± 3 menit. Kecepatan buka tutup payung harus dapat dikontrol dan di program.
- c) Dimensi kain payung pada saat terbuka $\pm 23,8 \times 23,8$ m, dengan ketinggian dari lantai plasa minimal 14 m. Pada waktu tertutup kain payung terlipat dengan rapi dan terletak dibagian dalam jari-jari payung dan kain payung tertutup oleh *cladding* yang menempel pada jari-jari payung.
- d) Untuk keamanan, payung secara struktur harus mampu bertahan pada kecepatan angin 120 km/jam untuk kondisi tertutup dan 60 km/jam untuk kondisi terbuka.
- e) Mengingat bentuk payung sangat spesifik dan terletak di tempat terbuka, maka diperlukan *prototype* dengan skala tertentu untuk dapat dites di *wind tunnel*. Model skala payung dapat dianalisa secara *numerical computerized* maupun dari hasil test di *wind tunnel*. Dari data-data tersebut akan dapat dianalisis struktur payung yang optimal baik dari segi konstruksi maupun material.
- f) Payung berfungsi sebagai pelindung (peneduh) terhadap terik sinar matahari dan bukan penadah hujan. Sehingga apabila suatu saat keadaan cuaca menjelang hujan maka sensor hujan (*rainfall control*) akan memberikan sinyal pada unit kontrol agar payung tidak dapat dioperasikan. Demikian pula pada kondisi cuaca dimana kecepatan angin ≥ 36 km/jam (10 m/dtk) *wind monitor* akan memberikan sinyal pada unit kontrol agar payung tidak dapat dioperasikan.
- g) Payung juga berfungsi sebagai elemen estetis (ornamen hiasan). Pada kain bagian sisi dalam diberi obnamen yang dijahit. Sehingga apabila payung dibuka pengunjung plasa dapat melihat ornamen tersebut. Pada malam hari cahaya sorot lampu warna yang disorotkan dari bagian bawah tiang akan menambah keindahan payung di malam hari.
- h) Pada saat payung tertutup, kain payung akan tertutupi *cladding* dari bahan *fiber reinforced plastic*. *Cladding* ini menempel pada jari-jari payung, sehingga pada saat payung tertutup *cladding* akan membentuk kolom prisma dan menutupi lipatan kain payung.

2.3.4. Ikhtisar Desain dan Spesifikasi

- a) *Automatic operation*/pengoperasian secara otomatis
Payung elektrik Masjid Agung Jawa Tengah dengan ukuran 23,8 x 23,8 m dapat membuka dan menutup secara otomatis dengan sistem sensor sebagai berikut:

- 1) Sensor cahaya akan membuka dan menutup payung tergantung kondisi cahaya lingkungan (gelap atau terang).
 - 2) Sensor angin merupakan perangkat keamanan yang akan menutup payung ketika kekuatan angin melebihi batas kecepatan angin yang diijinkan.
 - 3) Sensor hujan, pada dasarnya payung didesain untuk melindungi terhadap sinar matahari, sedangkan bila terjadi hujan akan menutup secara otomatis.
- b) *Manual operation/* pengoperasian secara manual
- Sistem manual ini digunakan untuk membuka dan menutup payung dengan menekan tombol yang tersedia di panel kontrol meliputi:
- 1) Tombol buka
 - 2) Tombol penghentian
 - 3) Tombol menutup
- Dengan pengoperasian manual ini payung dapat dibuka, ditutup, dan dihentikan pada posisi sesuai dikehendaki oleh operator. Tetapi jika sistem pengoperasian manual yang dipilih untuk digunakan, perangkat keamanan juga harus tetap dipasang, seperti sensor angin untuk melindungi payung dari kerusakan akibat tiupan angin yang kencang. Secara umum perangkat keamanan yang harus ada pada sistem operasi manual agar sebaik pengoperasian otomatis adalah sensor cahaya.
- c) Sistem kontrol dan penggerak
- Sistem kontrol dan unit penggerak payung meliputi komponen utama berikut ini:
- 1) Motor listrik 3 phase lengkap dengan pengunci (*brake system*) buatan Eropa atau USA.
 - 2) *Reduction gear*, buatan Eropa atau USA.
 - 3) *Power screw*, buatan Jepang atau USA.
 - 4) Perangkat *mechanical limit switch* dan *electronic positioner*, buatan Eropa atau USA.
 - 5) PLC (*Programmable Logic Controller*), alat ini untuk menghubungkan seluruh sistem perangkat pengamanan dan penggerak payung, buatan Eropa atau USA.
 - 6) Sensor angin, sensor hujan, sensor cahaya, buatan Eropa atau USA.
- d) Kebutuhan daya listrik (untuk satu payung 23,8 x 23,8 m)
- 1) Unit penggerak payung \pm 15 KVA, 380 Volt, 3 phase, 50 Hz
 - 2) Tata cahaya \pm 15 KW (tergantung permintaan kebutuhan)
- e) Ornamen
- Ornamen ini sebaiknya juga ditentukan dengan adanya pendapat/saran/masukan dari *owner*, tenaga ahli dan *supplier*, karena keindahan ornamen terkait dengan gagasan dan selera masing-masing yang berbeda-beda pula.
- f) Bahan membran/kain payung

Bahan membran/kain payung menggunakan bahan dari:

- 1) *GORE TENARE PTFE*, buatan Jerman (bahan kain ini biasa digunakan untuk kain payung di masjid-masjid di Timur Tengah).
 - 2) *SUNBRELA PLUS ACRYLIC BASED*, buatan USA.
- g) Ukuran untuk payung
- 1) Tinggi payung : 16,402 m (kondisi terbuka)
: 21,425 m (kondisi tertutup)
 - 2) *Main pole* (tiang utama) diameter 800 mm.
 - 3) Berat satu payung \pm 10 ton.

2.3.5. Ketentuan Bahan dan Peralatan

Bahan dan peralatan harus memenuhi persyaratan teknis sebagai berikut:

2.3.5.1. Mekanikal

- a) *Base Plate*
Merupakan pelat untuk meletakkan *main pole* (tiang) dari payung dan diikat ke lantai dengan *anchor bolt*.
Box frame terbuat dari plat 2x2 m, t = 30 mm.
Di bawah *box plate* ini diletakkan penggerak buka tutup payung, *gear drive* dan *electro motor*.
- b) *Main Pole*
Adalah tiang utama payung yang berfungsi juga sebagai drainase air hujan (*emergency*).
Terbuat dari pipa diameter 800 mm, dengan tebal 16 mm.
- c) *Extention Pole*
Merupakan pipa diameter 600 mm (tebal 16 mm) yang terletak di dalam *main pole* berikut flens penyambung.
- d) *Frame utama*
Terdiri dari profil INP nonprismatis.
- e) *Supporting Disc*
Piringan untuk meletakkan engsel-engsel frame utama, terbuat dari MS steel.
- f) *Diagonal Arm*
Jari-jari payung yang panjang terletak pada bagian diagonal, terbuat dari pipa besi diameter 5,5 inch (139,7 mm), tebal 4.5 mm dengan engsel-engsel pada ujung bagian tengah.
- g) *Passive Arm*
Jari-jari tambahan yang terletak pada semua jari-jari terdiri dari pipa diameter 8 inch (tebal 5 mm) dan 4 inch (tebal 4 mm) dengan engsel pada salah satu ujungnya.
- h) *Ornament Membrane Holder Bottom*

Klem pemegang kain payung bagian bawah untuk menarik dan memegang kain agar teregang, terbuat dari MS steel.

i) *Vertikal Drive Tubing*

Pipa bergerak naik turun dari mekanisme buka tutup payung, terbuat dari pipa hidrolis diameter 400 mm (tebal 12 mm).

j) *Ornament Membrane Holder Top Rain Water Funnel*

Klem pemegang kain payung yang berfungsi sebagai saluran air hujan (*emergency*) terbuat dari MS steel.

k) Unit Penggerak Payung Untuk Buka/Tutup

Berupa linear actuator (*machining screw actuator*).

Tipe : 20 ton, *upright, rotating with traveling nutt*.

l) *Bellows (Protective Boot)*

Karet pelindung *lifting pole* agar tidak korosif, terbuat dari *teflon neoprene*.

m) *Linear Bearing*

Bearing untuk gerakkan naik turun *lifting pole*.

n) *Lifting Pole*

Terbuat dari *stell road (hardened)*, buatan Prancis.

o) *Pin For Hinges*

Pin untuk engsel yang terbuat dari baja.

p) Catatan

- Bahan/material yang digunakan atau dipakai dari jenis material berkualitas baik sesuai yang dipersyaratkan, dalam keadaan baru tidak rusak. Sesuai dengan mutu standard yang berlaku.
- Untuk bagian-bagian yang penting yang merupakan penggerak harus menggunakan bahan-bahan *high grade steel*.
- *Cladding* yang berfungsi sebagai penutup frame utama payung terbuat dari FRP (*fiber reinforced plastic*) dan di *finishing* dengan cat berkualitas baik.
- *Bearing* yang digunakan harus dari pabrikan yang terkenal, seperti SKF, FAG, NSK, NTN.
- Pergerakan buka tutup payung tidak diperbolehkan menggunakan *mechanical stop*, untuk mencegah kerusakan pada konstruksi.

2.3.5.2. Elektikal

a) *Inverter*

Alat ini digunakan untuk mengontrol kecepatan dari elektro motor penggerak. Alat ini bisa di *interlock* dengan PLC dan sensor yang lain.

- b) *Elektrik motor* dengan *magnetic brake system*
Elektrik motor penggerak 15KVA/380V/3 phase/50 Hz. Elektrik motor buatan USA atau Eropa.
- c) *PLC (Programmable Logic Controller)*
Alat ini untuk mengontrol sistem buka tutup payung yang tersambung terhadap *wind alarm* dan *rain fall alarm*.
- d) *Wind speed monitor* dan *rain fall transmitter*
Alat ini merupakan pencatat kecepatan angin dan sensor hujan.
- e) *Surge protection surface*
Alat ini digunakan untuk melindungi *wind alarm* dan *rain fall alarm* dari sambaran *elektrik power supply* maupun *alarm*.
- f) *Panel control*
Panel ini digunakan untuk mengoperasikan buak tuup payung dan untuk meletakkan PLC, *wind alarm*, *rain fall alarm*, dan komponen elektrik yang lain.
- g) *Wiring power*
Pengkabelan power elektrik dari *suplay central* ke panel dan dari panel ke payung.
- h) *Wiring control*
Pengkabelan untuk kontrol sistem dari panel ke payung dan antar payung.
- i) *Wiring* untuk *wind alarm* dan *rain fall alarm*
Pengkabelan sistem kontrol dari panel ke sensor yang terletak diatas tower (tiang).
- j) *Tower* dan *sensor mount*.
Tiang untuk meletakkan *wind alarm* dan *rain fall alarm*.
- k) *Rotary limit switches (mechanic) unilift illinois USA*
Alat untuk mengontrol start/stop dari gerakan buka/tutup payung.
- l) Catatan
- *Electric motor* yang digunakan harus mempunyai standard proteksi minimal (IP55) buatan USA.
 - Kabel yang digunakan baik untuk kabel power maupun kontrol harus mempunyai spesifikasi yang sesuai pemakaiannya, kapasitas yang memadai dan memenuhi standart.
 - *Wind speed monitor* juga berfungsi sebagai *wind speed alarm* yang akan mengirimkan sinyal ke kontrol unit apabila kecepatan angin melewati batas yang telah ditentukan. Alat ini bisa jenis *cup anemometer*, *ultrasonic anemometer* dan diproduksi oleh pabrikan yang terkenal dibidangnya.
 - *Rain fall sensor* harus digunakan pada sistem ini, apabila cuaca hujan payung tidak akan dapat beroperasi dan apabila posisi terbuka terjadi hujan yang melebihi batas, payung secara otomatis akan tertutup.

- *Positioning* buka tutup payung mempunyai ketelitian yang tinggi sehingga harus menggunakan *encoder* untuk memonitor posisi pergerakan payung (*linier encoder* atau *rotary encoder*). Disamping it harus dilengkapi dengan *mechanical limit switch* sebagai pengaman apabila terjadi kegagalan pada sistem *encoder*.
- Peralatan material yang dipakai pada panel kontrol adalah:
 - Komponen sistem instalasi listrik digunakan merk ABB, MK, *Telemechanic*, *Siemens*.
 - Kabel instalasi digunakan merk Kabelmetal, Kabelindo, Supreme (SPLN).

2.3.5.3. Bahan kain payung

- a) Warna kain payung : sangat tahan terhadap radiasi sinar ultraviolet dan tidak mudah pudar.
- b) Berat kain payung : 0,7 kg/m²
- c) Tebal kain payung : 8 mm
- d) Permukaan kain payung : tenunannya halus dan kuat, serta tahan terhadap hembasan angin (tidak mudah sobek).
- e) Tingkat transparan : tembus cahaya, terfgantung pada warna.
- f) Ketahanan terhadap goresan : bagus.
- g) Ketahanan terhadap jamur : sangat bagus.
- h) Ketahanan terhadap zat kimia : tahan terhadap asam, alkali dan bahan pelarut (*Gasoline*).
- i) Kemampuan menolak air : sangat bagus.
- j) Ketahanan terhadap minyak : bagus.
- k) Kekuatan jahitan : sangat kuat.

2.3.6. Konsep Pembebanan

2.3.6.1. Beban-Beban Pada Struktur

Dalam melakukan analisis desain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur.

Beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan adalah sebagai berikut:

1. Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

a) Berat Sendiri

- 1) Berat sendiri dari bahan-bahan bangunan penting dan dari beberapa komponen gedung yang harus ditinjau didalam menentukan beban mati dari suatu gedung, harus diambil menurut Tabel 2.1.
- 2) Apabila dengan bangunan setempat diperoleh berat sendiri yang menyimpang lebih dari 10 % terhadap nilai-nilai yang tercantum dalam Tabel 2.1, maka berat sendiri tersebut harus ditentukan tersendiri dengan memperhitungkan kelembaban setempat, dan nilai yang ditentukan ini harus dianggap sebagai pengganti dari nilai yang tercantum dalam Tabel 2.1 Penyimpangan ini dapat terjadi terutama pada pasir (antara lain pasir besi), koral (antara lain koral kwarsa), batu pecah, batu alam, batu bata, genting dan beberapa jenis kayu.
- 3) Berat sendiri dari bahan bangunan dan dari komponen gedung yang tidak tercantum dalam Tabel 2.1, harus ditentukan sendiri.

Tabel 2.1. Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung

No.	Bahan Bangunan	Berat Sendiri (kg/m ³)
1.	Baja	7.850
2.	Batu alam	2.600
3.	Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1.500
4.	Batu karang (berat tumpuk)	700
5.	Batu pecah	1.450
6.	Besi tuang	7.250
7.	Beton ⁽¹⁾	2.200
8.	Beton bertulang ⁽¹⁾	2.400
9.	Kayu (kelas I) ⁽¹⁾	1.000
10.	Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1.650
11.	Pasangan bata merah	1.700
12.	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2.200
13.	Pasangan batu cetak	2.200
14.	Pasangan batu karang	1.450
15.	Pasir (kering udara sampai lembab)	1.600
16.	Pasir (jenuh air)	1.800
17.	Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1.850
18.	Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1.700
19.	Tanah, lempung dan lanau (basah)	2.000
20.	Timah hitam (timbel)	11.400

No.	Komponen Gedung	Berat Sendiri (kg/m ²)
1.	Adukan, per cm tebal: ▪ Dari semen ▪ Dari kapur, semen merah atau tras	21
		17
2.	Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14
3.	Dinding pasangan bata merah: ▪ Satu batu ▪ Setengah batu	450
		250
4.	Dinding pasangan batako: ▪ Berlubang: • Tebal dinding 20 cm (HB 20) • Tebal dinding 10 cm (HB 10) ▪ Tanpa lubang: • Tebal dinding 15 cm • Tebal dinding 10 cm	200
		120
		300
		200
5.	Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pemngaku), terdiri dari: ▪ Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm ▪ Kaca, dengan tebal 3 - 5 mm	11
		10
6.	Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40
7.	Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,80 m	7
8.	Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	50
9.	Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap.	40
10.	Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa gordeng	10
11.	Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24
12.	Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11

Catatan: ⁽¹⁾ Nilai ini tidak berlaku untuk beton pengisi.

⁽²⁾ Untuk beton getas, beton kejut, beton mampat dan beton padat lain sejenis, berat sendirinya harus ditentukan tersendiri.

⁽³⁾ Nilai ini adalah nilai rata-rata, untuk jenis-jenis kayu tertentu lihat Pedoman Perencanaan Konstruksi Kayu.

b) Reduksi Beban Mati

- 1) Apabila beban mati memberikan pengaruh yang menguntungkan terhadap pengerahan kekuatan suatu struktur atau unsur struktur suatu gedung, maka beban mati tersebut harus diambil menurut Tabel 2.1 dengan mengalikannya dengan koefisien reduksi 0,9.
- 2) Apabila beban mati sebagian atau sepenuhnya memberi pengaruh yang menguntungkan terhadap kemantapan suatu struktur atau unsur struktur suatu gedung, maka dalam meninjau kemantapan tersebut harus dikalikan dengan koefisien reduksi 0,9.

2. Beban Hidup

Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Khusus pada atap ke dalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetik) butiran air. Ke dalam beban hidup tidak termasuk beban angin, beban gempa dan beban khusus.

3. Beban Angin

Beban angin ialah semua beban yang bekerja pada bangunan atau bagian bangunan, yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara.

a) Penentuan Beban Angin

Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan tekanan negatif ini dinyatakan dalam kg/m^2 , ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup dan koefisien angin.

b) Tekanan Tiup

- 1) Tekanan tiup harus diambil minimum 25 kg/m^2 .
- 2) Tekanan tiup di laut dan di tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m^2 .

- 3) Untuk daerah-daerah didekat laut dan daerah-daerah lain tertentu, dimana terdapat kecepatan-kecepatan angin yang mungkin menghasilkan tekanan tiup yang lebih besar, maka tekanan tiup angin harus dihitung menurut rumus:

$$P = \frac{V^2}{16} \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad \text{Persamaan 2.1.}$$

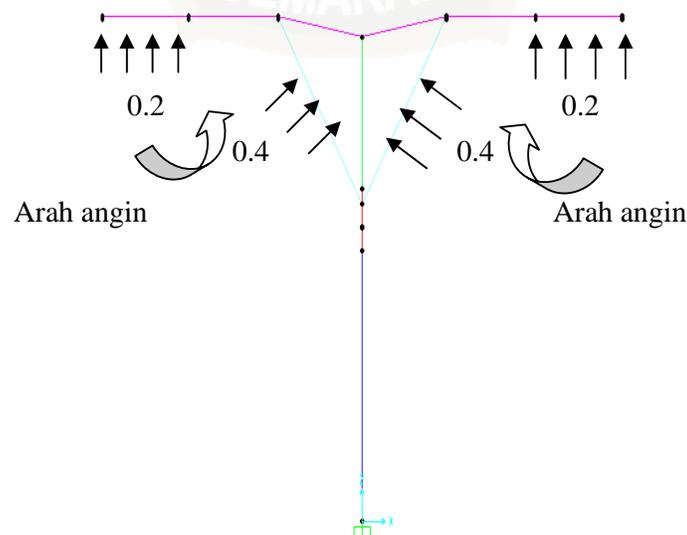
dimana V adalah kecepatan angin dalam m/dt, yang harus ditentukan oleh instansi yang berwenang.

- 4) Pada cerobong, tekanan tiup dalam kg/m² harus ditentukan dengan rumus (42,5 + 0,6h), dimana h adalah tinggi cerobong seluruhnya dalam meter, diukur dari lapangan yang berbatasan.
- 5) Apabila dapat dijamin suatu gedung terlindung efektif terhadap angin dari suatu jurusan tertentu oleh gedung-gedung lain, hutan-hutan pelindung atau penghalang-penghalang lain, maka tekanan tiup dari jurusan itu menurut ketentuan 1) s/d 4) dapat dikalikan dengan koefisien reduksi 0,5.

c) Koefisien Angin Kondisi Payung Terbuka

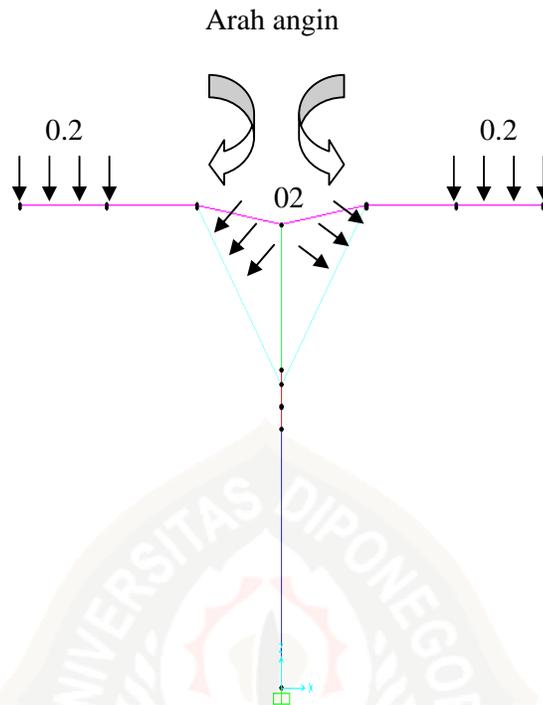
Koefisien angin yang digunakan pada struktur payung elektrik Masjid Agung Jawa Tengah pada kondisi terbuka, adalah sebagai berikut:

1. Angin Bawah



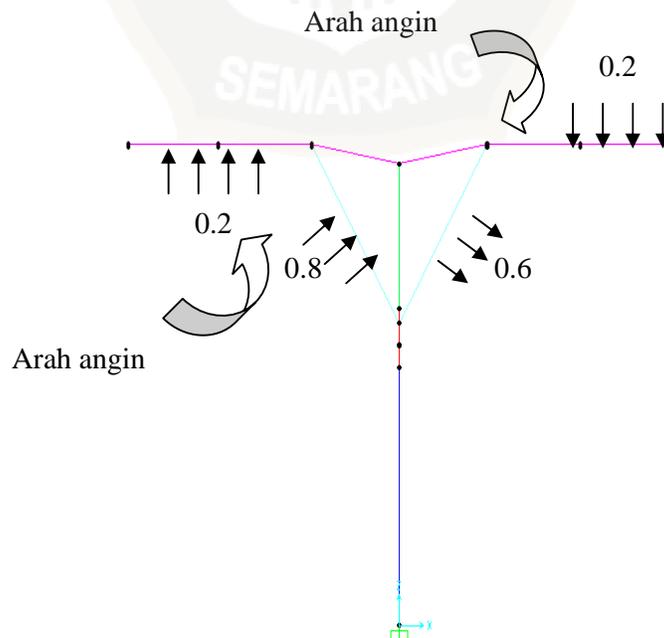
Gambar 2.1. Koefisien beban angin bawah struktur payung kondisi terbuka

2. Angin Atas



Gambar 2.2 Koefisien beban angin atas struktur payung kondisi terbuka

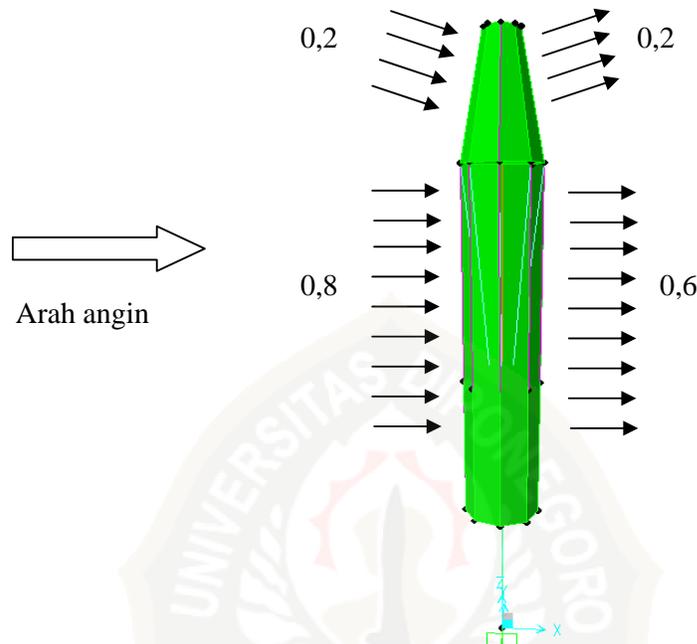
3. Angin Samping



Gambar 2.3. Koefisien beban angin samping struktur payung kondisi terbuka

d) Koefisien Angin Kondisi Tertutup

Koefisien angin yang digunakan pada struktur payung elektrik Masjid Agung Jawa Tengah pada kondisi tertutup, adalah sebagai berikut:



Gambar 2.4. Koefisien beban angin samping struktur payung kondisi tertutup

4. Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada bangunan atau bagian bangunan yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Ketika pengaruh gempa pada struktur bangunan ditentukan berdasar suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya di dalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa itu.

Setiap struktur bangunan, menurut Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002), harus direncanakan untuk menahan suatu beban geser dasar akibat gempa (V) dalam arah-arrah yang ditentukan menurut rumus:

$$V = \frac{C.I.W_t}{R} \quad \text{Persamaan 2.2.}$$

dimana: C adalah Koefisien Gempa Dasar

I adalah Faktor Keutamaan

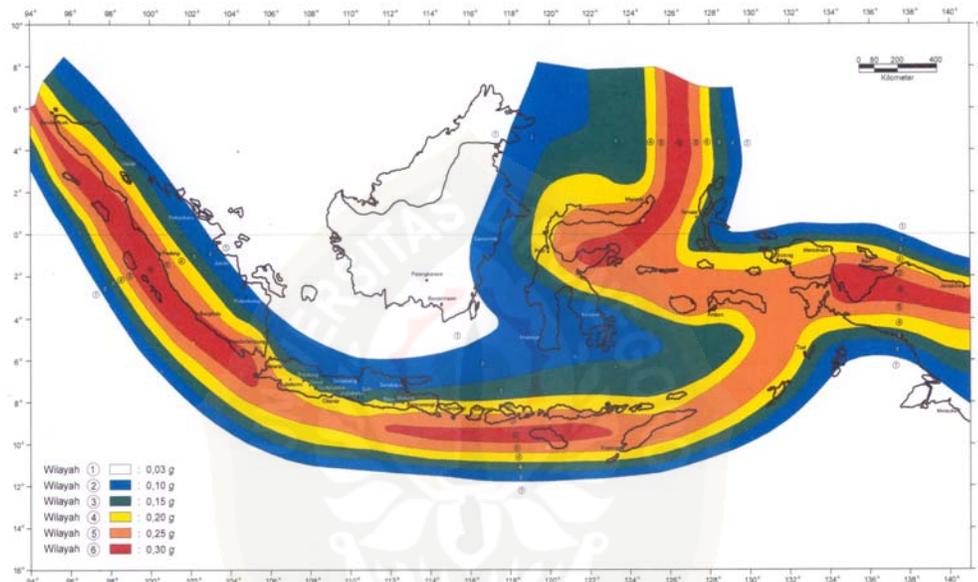
R adalah Faktor Reduksi Gempa

W_t adalah Kombinasi dari beban mati dan beban hidup

$$W_t = 1,05(BM + 0,3 BH) \quad \text{Persamaan 2.3.}$$

a) Koefisien Gempa Dasar (C)

Telah disajikan pada Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI – 1726 – 2002, bahwa di Indonesia terdapat 6 daerah gempa. Pembagian daerah gempa ini didasarkan pada frekuensi kejadian dan potensi daya rusak gempa yang terjadi pada daerah tersebut. Daerah gempa I adalah daerah gempa terbesar sedangkan daerah gempa VI adalah daerah gempa paling kecil. Pembagian daerah gempa tersebut adalah seperti pada Gambar 2.5



Gambar 2.5. Pembagian daerah gempa di Indonesia

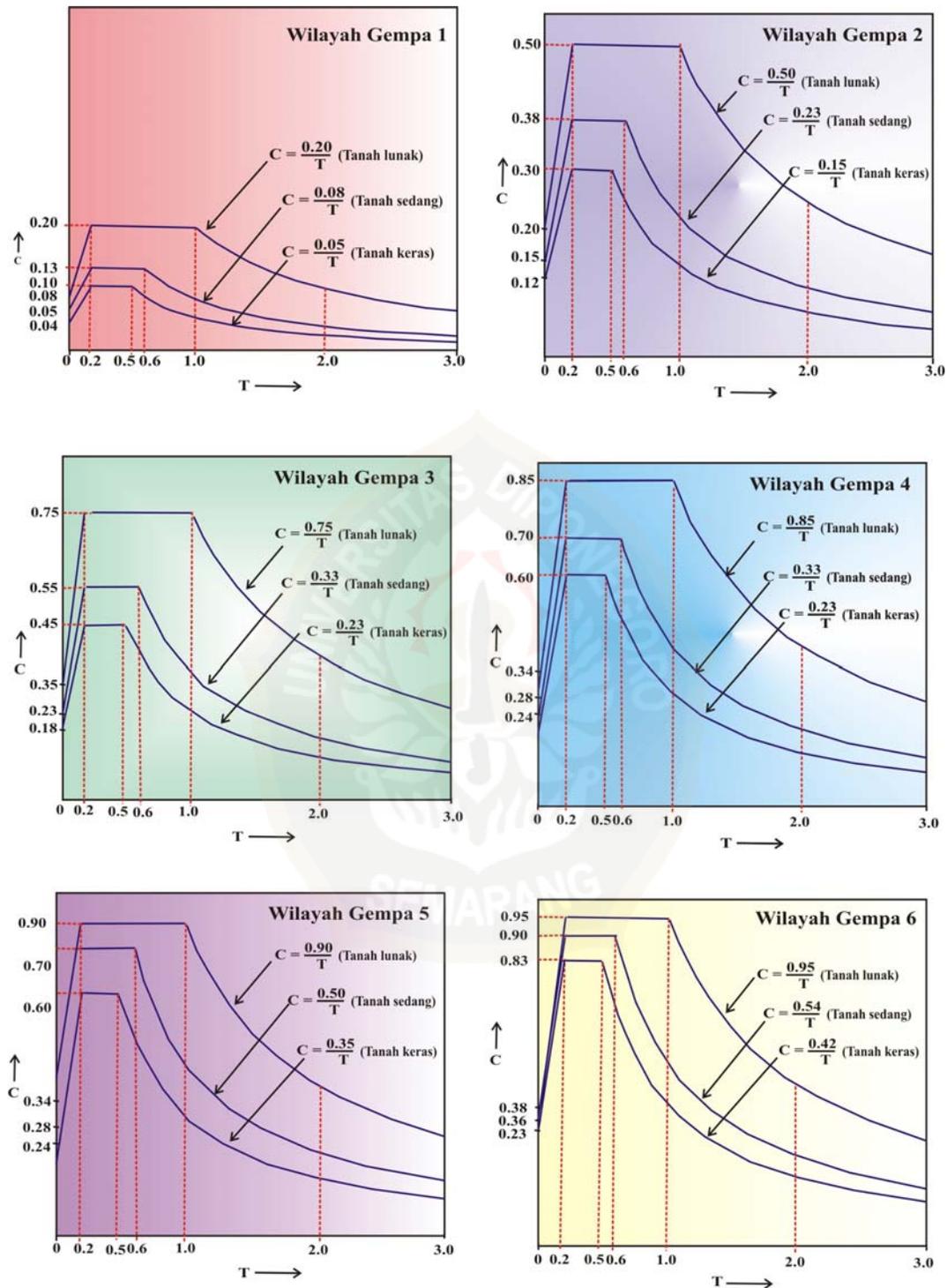
Selanjutnya tiap-tiap daerah gempa akan mempunyai spektrum respon sendiri-sendiri, seperti pada Gambar 2.6 spektrum respon dalam hal ini adalah plot antara koefisien gempa dasar C lawan periode getar struktur T. Secara umum dapat dikatakan bahwa koefisien gempa dasar C utamanya dipengaruhi oleh daerah gempa, periode getar T dan jenis tanah. Untuk setiap respon spektrum disajikan juga pengaruh kondisi tanah, yaitu spektrum untuk tanah keras dan tanah lunak. Definisi tanah keras dan tanah lunak dapat didekati menurut beberapa kriteria. Kriteria yang dipakai untuk menentukan jenis tanah ini diantaranya adalah jenis dan kedalaman tanah endapan, nilai N-SPT, nilai *undrain shear strenght*, cu, atau kecepatan gelombang geser Vs.

Secara umum Spektrum Respons adalah suatu diagram yang memberi hubungan antara percepatan respons maksimum suatu sistem Satu Derajat Kebebasan (SDK) akibat suatu gempa masukan tertentu, sebagai fungsi dari faktor redaman dan waktu getar alami sistem SDK tersebut. Spektrum Respons C-T yang ditetapkan untuk masing-masing Wilayah Gempa, adalah suatu diagram yang memberi hubungan antara percepatan respons maksimum (= Faktor Respons Gempa) C dan waktu getar alami T sistem SDK akibat Gempa

Rencana, dimana sistem SDK tersebut dianggap memiliki fraksi redaman kritis 5%. Kondisi $T = 0$ mengandung arti, bahwa sistem SDK tersebut adalah sangat kaku dan karenanya mengikuti sepenuhnya gerakan tanah. Dengan demikian, untuk $T = 0$ percepatan respons maksimum menjadi identik dengan percepatan puncak muka tanah ($C = A_0$). Bentuk spektrum respons yang sesungguhnya menunjukkan suatu fungsi acak yang untuk T meningkat menunjukkan nilai yang mula-mula meningkat dulu sampai mencapai suatu nilai maksimum, kemudian turun lagi secara asimtotik mendekati sumbu- T . Bentuk tersebut distandarkan (diidealisasikan) sebagai berikut : untuk $0 \leq T \leq 0,2$ detik, C meningkat secara linier dari A_0 sampai A_m ; untuk $0,2 \text{ detik} \leq T \leq T_c$, C bernilai tetap $C = A_m$; untuk $T > T_c$, C mengikuti fungsi hiperbola $C = A_r/T$. Dalam hal ini T_c disebut waktu getar alami sudut. Idealisasi fungsi hiperbola ini mengandung arti, bahwa untuk $T > T_c$ kecepatan respons maksimum yang bersangkutan bernilai tetap.

Dari berbagai hasil penelitian ternyata, bahwa untuk $0 \leq T \leq 0,2$ detik terdapat berbagai ketidakpastian, baik dalam karakteristik gerakan tanahnya sendiri maupun dalam sifat-sifat daktilitas sistem SDK yang bersangkutan. Karena itu untuk $0 \leq T \leq 0,2$ detik C ditetapkan harus diambil sama dengan A_m . Dengan demikian, untuk $T \leq T_c$ spektrum respons berkaitan dengan percepatan respons maksimum yang bernilai tetap, sedangkan untuk $T > T_c$ berkaitan dengan kecepatan respons maksimum yang bernilai tetap.

Berbagai hasil penelitian menunjukkan, bahwa A_m berkisar antara $2 A_0$ dan $3 A_0$, sehingga $A_m = 2,5 A_0$ merupakan nilai rata-rata yang dianggap layak untuk perencanaan. Selanjutnya, dari berbagai hasil penelitian juga ternyata, bahwa sebagai pendekatan yang baik waktu getar alami sudut T_c untuk jenis-jenis Tanah Keras, Tanah Sedang dan Tanah Lunak dapat diambil sebesar berturut-turut 0,5 detik, 0,6 detik dan 1,0 detik.



Gambar 2.6 Spektrum respon untuk masing-masing daerah gempa

b) Periode Getar (T)

Periode getar yang mempunyai respons struktur terhadap getaran gempa besarnya dipengaruhi oleh masa dan kekakuan struktur. Struktur yang kaku akan mempunyai periode getar yang lebih pendek dibandingkan struktur yang flexible.

Penggunaan dinding geser pada sistem struktur terutama pada bangunan tinggi yang didirikan diwilayah gempa berat tidak dapat dihindarkan karena untuk membatasi besarnya simpangan horisontal yang terjadi pada struktur.

Rumus pendekatan yang digunakan untuk menghitung waktu getar alami adalah sebagai berikut:

$$T_{\text{empiris}} = 0.085 H^{\frac{3}{4}} \quad \text{untuk portal baja} \quad \text{Persamaan 2.4.}$$

$$T_{\text{empiris}} = 0.06 H^{\frac{3}{4}} \quad \text{untuk portal beton} \quad \text{Persamaan 2.5.}$$

$$T_{\text{empiris}} = \frac{0.09H}{\sqrt{B}} \quad \text{untuk struktur lainnya} \quad \text{Persamaan 2.6.}$$

Di mana: H adalah tinggi bangunan

B adalah panjang bangunan pada arah yang ditinjau

Setelah didapat gaya gempa dari T_{empiris} , waktu getar yang sebenarnya harus dihitung dengan T_{Reyleigh} :

$$T_{\text{Reyleigh}} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot d_i^2}{g \cdot \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}} \quad \text{(detik)} \quad \text{Persamaan 2.7.}$$

Di mana: w_i adalah berat lantai ke-i

d_i adalah simpangan horisontal lantai ke-i

F_i adalah gaya gempa yang bekerja pada lantai ke-i

g adalah percepatan gravitasi

Waktu getar alami dari rumus empiris tidak boleh menyimpang lebih dari 20% dari T_{Reyleigh} .

c) Jenis Tanah

Gelombang gempa merambat melalui batuan dasar dibawah permukaan tanah dari kedalaman batuan dasar ini gelombang gempa merambat ke permukaan tanah sambil mengalami pembesaran atau amplifikasi bergantung pada jenis lapisan tanah yang berada di atas batuan dasar tersebut. Ada tiga kriteria yang dipakai untuk mendefinisikan batuan dasar yaitu:

- 1) *Standard penetrasi test* (N)
- 2) Kecepatan rambat gelombang geser (Vs)
- 3) Kekuatan geser tanah (Su)

Definisi dari jenis-jenis tanah tersebut ditentukan atas tiga (3) kriteria, yaitu V_s , N dan kekuatan geser tanah (S_u). Untuk menetapkan jenis tanah minimal tersedia 2 dari 3 kriteria, dimana kriteria yang menghasilkan jenis tanah yang lebih lunak adalah yang menentukan.

Tabel 2.2. Jenis tanah berdasarkan SNI gempa 2002

Jenis tanah	V_s (m/dt)	N	S_u (Kpa)
Keras	$V_s \geq 350$	$N \geq 50$	$S_u \geq 100$
Sedang	$175 \leq V_s < 350$	$15 \leq N < 50$	$50 \leq S_u < 100$
Lunak	$V_s < 175$	$N < 15$	$S_u < 50$
Khusus	Diperlukan evaluasi khusus ditiap lokasi		

d) Faktor Keutamaan (I)

Waktu ulang dari kerusakan struktur gedung akibat gempa akan diperpanjang dengan pemakaian suatu faktor keutamaan yang nilainya lebih besar dari 1,0. Suatu faktor yang lebih besar harus dipakai pada bangunan rumah sakit yang menjadi pusat pelayanan utama yang penting bagi usaha penyelamatan setelah gempa terjadi, gedung-gedung monumental, dan bangunan-bangunan yang dapat mendatangkan bahaya luar biasa kepada khalayak umum (seperti reaktor nuklir).

Menurut SNI Gempa 2002, pengaruh Gempa Rencana harus dikalikan dengan suatu Faktor Keutamaan (I) menurut persamaan :

$$I = I_1 I_2 \quad \text{Persamaan 2.8.}$$

Dimana I_1 adalah Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan periode ulang gempa berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa selama umur rencana dari gedung. Sedangkan I_2 adalah Faktor Keutamaan untuk menyesuaikan umur rencana dari gedung tersebut. Faktor-faktor Keutamaan I_1 , I_2 dan I ditetapkan menurut Tabel 2.2.

Besarnya beban Gempa Rencana yang direncanakan untuk berbagai kategori bangunan gedung, tergantung pada probabilitas terjadinya keruntuhan struktur bangunan selama umur rencana yang diharapkan. Karena gedung perkantoran merupakan bangunan yang memiliki fungsi biasa, serta dengan asumsi probabilitas terjadinya gempa tersebut selama kurun waktu umur gedung adalah 10%, maka berlaku $I_1 = 1,0$.

Gedung-gedung dengan jumlah tingkat sampai 10, karena berbagai alasan dan tujuan pada umumnya mempunyai umur kurang dari 50 tahun, sehingga $I_2 < 1$ karena periode ulang gempa tersebut adalah kurang dari 500 tahun. Gedung-gedung dengan jumlah tingkat lebih dari 30, monumen dan bangunan monumental, mempunyai masa layan yang panjang,

bahkan harus dilestarikan untuk generasi yang akan datang, sehingga $I_2 > 1$ karena periode ulang gempa tersebut adalah lebih dari 500 tahun. Pada contoh ini, bangunan perkantoran direncanakan mempunyai umur rencana 50 tahun, dengan demikian $I_2 = 1$. Untuk bangunan gedung perkantoran dari Tabel 2.2 didapatkan harga Faktor Keutamaan $I = 1$.

Tabel 2.3. Faktor keutamaan untuk berbagai kategori gedung dan bangunan

Kategori gedung	Faktor Keutamaan		
	I_1	I_2	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran.	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televise	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

e) Faktor Daktilitas Struktur (R)

Jika V_e adalah pembebanan maksimum akibat pengaruh gempa rencana yang dapat diserap oleh struktur bangunan gedung yang bersifat elastik penuh dalam kondisi di ambang keruntuhan, dan V_n adalah pembebanan gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan struktur bangunan gedung, maka berlaku hubungan sebagai berikut :

$$V_n = \frac{V_e}{R} \quad \text{Persamaan 2.9.}$$

R disebut Faktor Reduksi Gempa yang besarnya dapat ditentukan menurut persamaan :

$$1,6 \leq R = \mu f_1 \leq R_m \quad \text{Persamaan 2.10.}$$

Pada persamaan di atas, f_1 adalah Faktor Kuat Lebih Beban dan Bahan yang terkandung di dalam sistem struktur, dan μ (μ) adalah Faktor Daktilitas Struktur bangunan gedung. Faktor Daktilitas Struktur adalah perbandingan/rasio antara simpangan maksimum dari struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat mencapai kondisinya di ambang keruntuhan, dengan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan yang pertama pada elemen struktur. R_m adalah Faktor Reduksi Gempa yang maksimum yang dapat dikerahkan oleh sistem struktur yang bersangkutan. Pada Tabel 2.3 dicantumkan nilai

R untuk berbagai nilai μ yang bersangkutan, dengan ketentuan bahwa nilai μ dan R tidak dapat melampaui nilai maksimumnya.

Tabel 2.4. Parameter daktilitas struktur gedung

Taraf kinerja struktur gedung	μ	R
Elastis penuh	1,0	1,6
Daktail parsial	1,5	2,4
	2,0	3,2
	2,5	4,0
	3,0	4,8
	3,5	5,6
	4,0	6,4
	4,5	7,2
Daktail penuh	5,0	8,0
	5,3	8,5

Nilai Faktor Daktilitas Struktur (μ) di dalam perencanaan struktur bangunan gedung dapat dipilih menurut kebutuhan, tetapi harganya tidak boleh diambil lebih besar dari nilai Faktor Daktilitas Maksimum μ_m yang dapat dikerahkan oleh masing-masing sistem atau subsistem struktur gedung. Pada Tabel 2-4 ditetapkan nilai μ_m dari beberapa jenis sistem dan subsistem struktur gedung, berikut Faktor Reduksi Maksimum R_m yang bersangkutan.

Bangunan gedung perkantoran pada contoh di atas direncanakan sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen. Sistem struktur ini pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, dimana beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur. Dari Tabel 8-3, untuk sistem rangka pemikul momen biasa dari beton bertulang harga Faktor Daktilitas Maksimum $\mu_m = 2,1$ dan Faktor Reduksi Gempa Maksimum $R_m = 3,5$. Untuk struktur bangunan gedung yang direncanakan berperilaku elastis penuh pada saat terjadi Gempa Rencana, dari Tabel 2.3 didapat harga $\mu = 1$ dan $R = 1,6$.

Tabel 2.5. Faktor daktilitas maksimum (μ_m), faktor reduksi gempa maksimum (R_m), faktor tahanan lebih struktur (f_1) beberapa jenis sistem/subsistem struktur gedung

Sistem dan subsistem struktur gedung	Uraian sistem pemikul beban gempa	μ_m	R_m	f_1
1. Sistem dinding penumpu (Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau sistem bresing memikul hampir semua beban gravitasi. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing)	1. Dinding geser beton bertulang	2,7	4,5	2,8
	2. Dinding penumpu dengan rangka baja ringan dan bresing tarik	1,8	2,8	2,2
	3. Rangka bresing di mana bresingnya memikul beban gravitasi			
	a. Baja	2,8	4,4	2,2
	b. Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	1,8	2,8	2,2
2. Sistem rangka gedung (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul dinding geser atau rangka bresing)	1. Rangka bresing eksentris baja (RBE)	4,3	7,0	2,8
	2. Dinding geser beton bertulang	3,3	5,5	2,8
	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja	3,6	5,6	2,2
	b. Beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	3,6	5,6	2,2
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	a. Baja	4,1	6,4	2,2
	5. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail	4,0	6,5	2,8
	6. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail penuh	3,6	6,0	2,8
7. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3,3	5,5	2,8	
3. Sistem rangka pemikul momen (Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur)	1. Rangka pemikul momen khusus (SRPMK)			
	a. Baja	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	2. Rangka pemikul momen menengah beton (SRPMM)	3,3	5,5	2,8
	3. Rangka pemikul momen biasa (SRPMB)			
	a. Baja	2,7	4,5	2,8
	b. Beton bertulang	2,1	3,5	2,8
4. Rangka batang baja pemikul momen khusus (SRBPMK)	4,0	6,5	2,8	
4. Sistem ganda (Terdiri dari : 1) rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi; 2) pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral; 3) kedua sistem harus	1. Dinding geser			
	a. Beton bertulang dengan SRPMK beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	b. Beton bertulang dengan SRPMB saja	2,6	4,2	2,8
	c. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang	4,0	6,5	2,8
	2. RBE baja			
	a. Dengan SRPMK baja	5,2	8,5	2,8
	b. Dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	3. Rangka bresing biasa			
	a. Baja dengan SRPMK baja	4,0	6,5	2,8
	b. Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
	c. Beton bertulang dengan SRPMK			

direncanakan untuk memikul secara bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi/sistem ganda)	beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	4,0	6,5	2,8
	d. Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang (tidak untuk Wilayah 5 & 6)	2,6	4,2	2,8
	4. Rangka bresing konsentrik khusus			
	a. Baja dengan SRPMK baja	4,6	7,5	2,8
	b. Baja dengan SRPMB baja	2,6	4,2	2,8
5. Sistem struktur gedung kolom kantilever (Sistem struktur yang memanfaatkan kolom kantilever untuk memikul beban lateral)	Sistem struktur kolom kantilever	1,4	2,2	2
6. Sistem interaksi dinding geser dengan rangka	Beton bertulang biasa (tidak untuk Wilayah 3, 4, 5 & 6)	3,4	5,5	2,8
7. Subsistem tunggal (Subsistem struktur bidang yang membentuk struktur gedung secara keseluruhan)	1. Rangka terbuka baja	5,2	8,5	2,8
	2. Rangka terbuka beton bertulang	5,2	8,5	2,8
	3. Rangka terbuka beton bertulang dengan balok beton pratekan (bergantung pada indeks baja total)	3,3	5,5	2,8
	4. Dinding geser beton bertulang berangkai daktail penuh	4,0	6,5	2,8
	5. Dinding geser beton bertulang kantilever daktail parsial	3,3	5,5	2,8

f) Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental

Pemakaian struktur bangunan gedung yang terlalu fleksibel sebaiknya dihindari dengan membatasi nilai waktu getar fundamentalnya. Pembatasan waktu getar fundamental dari suatu atruktur gedung dimaksudkan untuk:

- Mencegah pengaruh P-delta yang berlebihan
- Mencegah simpangan antar tingkat yang berlebihan pada taraf pembebanan gempa yang menyebabkan pelelehan pertama
- Mencegah simpangan antar tingkat yang berlebihan pada taraf pembebanan gempa maksimum
- Mencegah kekuatan (kapasitas) struktur terpasang yang terlalu rendah.

Menurut SNI gempa 2002, pembatasan waktu getar alami fundamental dari struktur bangunan gedung tergantung dari banyaknya jumlah tingkat (n) serta koefisien ζ untuk wilayah gempa dimana struktur bangunan didirikan. Pembatasan waktu getar alamiah fundamental (T) dari struktur bangunan gedung ditentukan sebagai berikut:

$$T < \zeta.n$$

Persamaan 2.11.

Tabel 2.6. Koefisien ζ yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung

Wilayah Gempa	ζ
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

5. Beban Khusus

Beban khusus adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan, penurunan fondasi, swusut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang berasal dari keran, gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin, serta pengaruh-pengaruh khusus lainnya.

2.3.6.2. Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban cara LRFD berdasarkan Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002) adalah sebagai berikut:

$1,4D$	Persamaan 2.12.
$1,2D + 1,6L + 0,5 (L_a \text{ atau } H)$	Persamaan 2.13.
$1,2D + 1,6 (L_a \text{ atau } H) + (\partial_L L \text{ atau } 0,8W)$	Persamaan 2.14.
$1,2D + 1,3W + \partial_L L + 0,5 (L_a \text{ atau } H)$	Persamaan 2.15.
$1,2D \pm 1,0E + \partial_L L$	Persamaan 2.16.
$0,9D \pm (1,3W \text{ atau } 1,0E)$	Persamaan 2.17.

Kombinasi beban cara ASD berdasarkan buku "*Structural Steel Designer's Handbook*" adalah sebagai berikut:

$U_1 = D$	Persamaan 2.18.
$U_2 = D + L + (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$	Persamaan 2.19.
$U_3 = 0,75 \{D + L + (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + T\}$	Persamaan 2.20.
$U_4 = D + A$	Persamaan 2.21.
$U_5 = 0,75 \{D + (W \text{ atau } E)\}$	Persamaan 2.22.
$U_6 = 0,75 \{(W \text{ atau } E) + T + D\}$	Persamaan 2.23.
$U_7 = D + A + (S \text{ atau } 0,5W \text{ atau } E)$	Persamaan 2.24.
$U_8 = 0,75 \{D + L + (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (W \text{ atau } E)\}$	Persamaan 2.25.
$U_9 = 0,75 (D + L + W + 0,5S)$	Persamaan 2.26.
$U_{10} = 0,75 (D + L + 0,5W + S)$	Persamaan 2.27.
$U_{11} = 0,66 \{D + L + (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (W \text{ atau } E) + T\}$	Persamaan 2.28.

Keterangan:

- D adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan layan tetap
- L adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain
- L_a adalah beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak
- H=R adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air
- W adalah beban angin
- E adalah beban gempa, yang ditentukan menurut SNI 03-1726-1989, atau penggantinya
- L_r adalah beban hidup tereduksi
- A adalah beban dari *crane* dan sistem material lainnya
- S adalah beban salju
- T adalah beban *restraint*

dengan,

$$\partial_L = 0,5 \text{ bila } L < 5 \text{ kPa, dan } \partial_L = 1,0 \text{ } L \geq 5 \text{ kPa}$$

Kekecualian: faktor beban untuk L di dalam kombinasi pembebanan pada persamaan 2.14, 2.15, dan 2.16. harus sama dengan 1,0 untuk garasi parkir, daerah yang digunakan untuk pertemuan umum, dan semua daerah dimana beban hidup lebih besar daripada 5 kPa.

2.3.7. Persyaratan Teknis Pemasangan

- a) Karena pekerjaan pembuatan payung elektrik ini adalah *design and build* maka kontraktor harus mengecek ulang seluruh desain yang ada. Bila ada perbedaan hasil perhitungan kontraktor dengan desain, perencana kontraktor harus memberitahukan kepada Direksi/MK untuk bisa di ambil keputusan.
- b) Sebelum memulai pekerjaan, kontraktor harus mengajukan *shop drawing* untuk memperoleh persetujuan dari Direksi/MK.
- c) Bila hasil *review* desain disetujui, kontraktor harus membuat *mock up* dengan ukuran skalatis tertentu untuk dianalisis dengan menggunakan *wind tunnel*.
- d) Bahan-bahan yang akan digunakan sebelum dipasang terlebih dahulu diserahkan contoh-contohnya (minimal brosur alat yang akan dipasang) kepada Direksi/MK untuk memperoleh persetujuan.
- e) Kontraktor harus menyediakan alat bantu digunakan untuk mempermudah pelaksanaan pekerjaan maupun inspeksi dari Direksi/MK.

- f) Pelaksanaan pekerjaan harus dilakukan seorang ahli yang berpengalaman dalam bidang mekanikal elektrik.
- g) Tidak diperkenankan memasang peralatan sebelum mendapat ijin/persetujuan Direksi/MK sebelum pekerjaan pemasangan dimulai.
- h) Peralatan yang sudah terpasang (terutama kain payung) harus dibersihkan dari segala macam noda-noda yang melekat serta dilindungi dari segala benturan dengan benda-benda lainnya. Pelepasan *cover set* harus seijin MK.
- i) Pelaksanaan pengujian harus disaksikan Direksi/MK.
- j) Material yang terpasang harus ada surat jaminan keaslian produk (dari pabrik/produsen) dan garansi peralatan selama minimal 1 tahun.
- k) Kontraktor harus bertanggungjawab penuh atas desain payung, desain mekank maupun desain elektrik untuk pembuatan payung.
- l) Segala resiko yang terjadi akibat kesalahan desain dan pelaksanaan menjadi tanggungjawab kontraktor.

2.4. FINITE ELEMENT METHODE (FEM)

Finite element methode (FEM) didasari pada konsep bahwa kita dapat mengganti setiap rangkaian kesatuan (continuum) dengan susunan elemen yang bentuknya disederhanakan dengan pemindahan gaya dan hubungan material yang dijelaskan dengan baik. walaupun tidak akan didapat solusi bentuk tertutup untuk suatu rangkaian kesatuan (continuum), kita dapat memperoleh solusi pendekatannya untuk rangkaian elemen yang menggantikannya.



Gambar 2.7. Model *finite element*

Menurut FEM, sebuah pelat/piringan dapat dipisahkan menjadi sejumlah elemen terbatas (biasanya, dalam bentuk segitiga atau persegi), disebut *finite element* (elemen terbatas) dan dihubungkan pada titik-titiknya dan sepanjang batas antar elemen. fungsi-fungsi yang tidak diketahui (defleksi, slope, gaya dalam/internal force, dan momen) ditentukan dalam bentuk parameter yang belum ditentukan pada titik-titik tersebut. kondisi

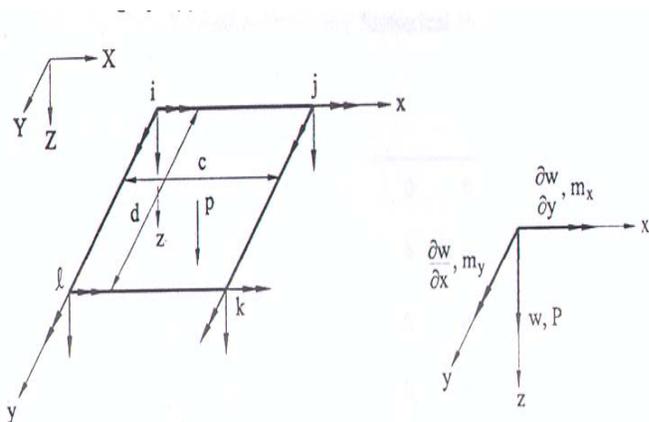
batas antara elemen terHINGGA. untuk menentukan fungsi yang belum diketahui pada suatu titik, salah satu asas variasi, dapat diterapkan. sebagai hasilnya, didapatkan sistem persamaan aljabar. solusi yang dihasilkan menentukan keadaan tegangan dan regangan pada pelat.

FEM dapat diperlakukan sebagai modifikasi terhadap metode Ritz. Perbedaannya adalah pada representasi pemindahan. Pada metode Ritz, pemindahan diberikan kepada seluruh bidang yang ditempati pelat. Sistem aljabar yang berpengaruh terhadap pendekatan ini akan menghasilkan struktur yang lengkap. Karena pada FEM, pemindahan dilakukan elemen per elemen, matriks sistem persamaan aljabar diperoleh dalam keadaan sudah terselesaikan sebagian, dan biasanya mempunyai struktur yang banded. Hal ini merupakan keuntungan yang sangat besar FEM dibandingkan dengan metode numerikal lainnya.

Untuk setiap elemen pelat (shell) hingga ada suatu hubungan antara pemindahan yang digeneralisasi pada titik (nodal point) pada gaya dan momen yang berhubungan pada titik tersebut. Hubungan ini dapat digambarkan dalam bentuk matriks yang disebut dengan matriks kekakuan (*stiffness matrix*).

2.4.1. Elemen pelat persegi

Untuk pelat persegi yang datar dibagi menjadi beberapa *finite element* persegi dengan dimensi $c \times d$, posisi *finite element* persegi ditentukan oleh empat titik nodal (sudut) i, j, k, l dan dibatasi garis lurus, lihat gambar 2.8.



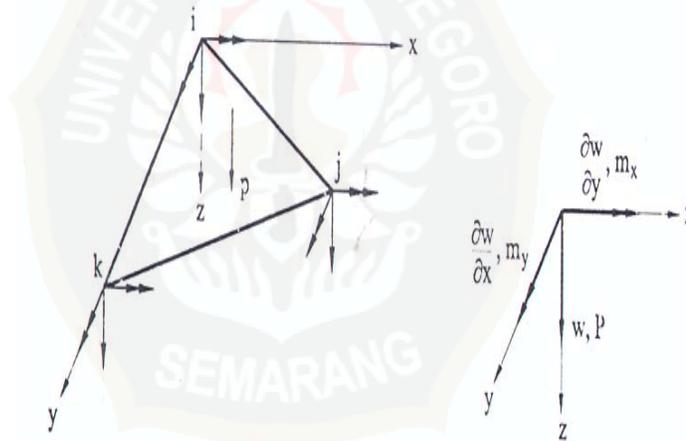
Gambar 2.8. Sistem koordinat *finite element* persegi

Pada setiap node q ($q = i, j, k, l$) dipertimbangkan posisi defleksi nodal w_q dan rotasi sumbu x & y , yaitu $(\partial_w / \partial_y)_q$ dan $(\partial_w / \partial_x)_q$, secara berturut-turut. Defleksi $(\partial_w / \partial_y)_q$ dan $(\partial_w / \partial_x)_q$ direferensikan sebagai kumpulan dari perpindahan nodal (*nodal displacement*).

Pada metode *finite element*, penggambaran shell persegi pada program SAP 2000 v.9 harus berlawanan arah jarum jam (\curvearrowright).

2.4.2. Elemen pelat segi tiga

Elemen segitiga dapat dengan mudah menyesuaikan batas-batas yang tidak beraturan dan dapat disesuaikan dalam ukuran yang memungkinkan elemen kecil dalam daerah-daerah konsentrasi tekanan. Dengan demikian, elemen ini digunakan secara luas pada teknik elemen hingga. Misalkan sebuah pelat datar dibagi menjadi serangkaian elemen hingga segitiga yang terletak pada sistem koordinat xyz , dimana salah satu sumbu koordinat (misalkan sumbu y , seperti ditunjukkan pada gambar 2.9) diarahkan sepanjang sisi tertentu dari FE.



Gambar 2.9. Sistem koordinat *finite element* segi tiga

Matriks perpindahan titik untuk FE ini termasuk defleksi titik w_q dan slope $(\partial_w / \partial_y)_q$, $(\partial_w / \partial_x)_q$, dimana $q = i, j, k$. Dengan demikian, elemen hingga segitiga mempunyai sembilan derajat kebebasan.

Persoalan memilih polinomial yang sesuai untuk menjelaskan perpindahan pada FE segitiga lebih sulit daripada menentukan perpindahan pada elemen segi empat. Persamaan yang paling sederhana untuk fungsi defleksi $w(x,y)$ yang memenuhi seluruh syarat umum, adalah polinomial kubus. Namun polinomial kubus yang lengkap terdiri dari 10 syarat. Karena itu, kita harus menyesuaikan polinomial kubus ini dengan pertimbangan sembilan derajat kebebasan FE. Disarankan untuk mengambil polinomial kubus diatas dalam bentuk:

$$W(x,y) = \alpha_1 + \alpha_2x + \alpha_3y + \alpha_4x^2 + \alpha_5xy + \alpha_6y^2 + \alpha_7x^3 + \alpha_8(x^2y + y^2x) + \alpha_9y^3 \quad \text{Persamaan 2.29.}$$

Elemen pelat *bending* segi tiga, berdasarkan polinomial memiliki beberapa kelemahan. Kontinuitas slope disepanjang elemen tidak dijamin. Lebih jauh lagi, matriks kekakuannya dapat berbentuk tunggal untuk beberapa orientasi sisi FE dengan mengacu kepada sumbu koordinat. Dengan demikian elemen jenis ini tidak selalu dapat menyediakan hasil akurat ketika digunakan untuk analisa pelat *bending*. Namun karena kesederhanaannya, polinomial ini digunakan dalam praktek keteknikan. Matriks perpindahan *nodal* adalah sebagai berikut:

$$\{\delta\}_e = [\delta_i, \delta_j, \delta_k] \quad \text{Persamaan 2.30.}$$

Dimana;

$$\{\delta_i\} = [w_i, (\partial_w / \partial_y)_i, (\partial_w / \partial_x)_i] \quad \text{Persamaan 2.31.}$$

Pada metode *finite element*, penggambaran *shell* segi tiga pada program SAP 2000 v.9 harus berlawanan arah jarum jam (↻).

Beberapa keuntungan *finite element methode* (FEM), adalah sebagai berikut:

1. Solusi yang diperoleh dengan FEM didapatkan tanpa menggunakan persamaan diferensial yang mempengaruhi → governing.
2. Metode ini memiliki pengertian mekanika yang jelas dan langsung dan dapat diformulasikan kedalam teknik yang sudah lazim dikenal oleh *engineer* praktisi.
3. Metode ini dapat diterapkan dengan baik pada batas dan kondisi pembebanan yang berubah-ubah (*arbitrary boundary*) yang dapat ditangani dengan cara yang sama dengan masalah yang lebih sederhana.
4. Dimungkinkan melakukan otomasi menyeluruh terhadap operasi numerik untuk menyelesaikan persoalan nilai batas oleh FEM.
5. FEM dapat diterapkan pada analisa tekanan dari kombinasi struktur yang terdiri dari berbagai elemen struktural seperti pelat, *shell*, balok (*beam*), lengkungan (*arch*), dll.

Beberapa kelemahan *finite element methode* (FEM), adalah sebagai berikut:

1. FEM membutuhkan komputer yang sangat kuat dengan kecepatan dan kapasitas yang besar.
2. Sulit untuk memastikan keakuratan hasil numerik ketika menganalisa sistem struktural yang besar.
3. Metode ini sangat sulit menyesuaikan dengan penyelesaian persoalan yang disebut dengan singular problem (seperti pelat dan kerangka dengan retakan, titik sudut

(*corner point*), *diskontinuitas*, aksi internal, dll), dan persoalan dominan yang tidak terbatas.

4. Metode ini menunjukkan banyak kesulitan yang berhubungan dengan persoalan kontinuitas C^1 dan analisis pembengkokan elemen yang tidak sesuai pada pelat (dan kerangka).

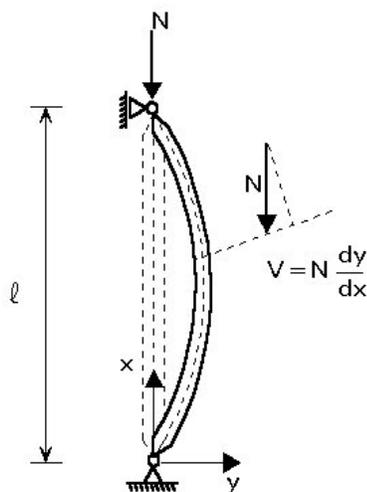
2.5. BUCKLING PADA STRUKTUR BAJA

Beban tekuk kritis dapat mempengaruhi suatu struktur. Beban kritis tersebut, mengumpamakan syarat batas dan pembebanan sederhana, yang sering ditemui dalam berbagai kasus-kasus struktur, yakni:

- *Flexural buckling* pada kolom.
- *Lateral buckling* pada balok.
- *Plate dan shell buckling*.
- *Local buckling*

2.5.1. Flexural Buckling pada Kolom

Ketidakstabilan dapat terjadi dalam semua sistem atau bagian dimana tegangan kompresi/*compression stresses* ada. Jenis tekuk yang paling sederhana adalah sebagai suatu penampang tekan yang langsung dimampatkan oleh gaya aksial yang sama dan berkebalikan (Gambar 2.10).



Gambar 2.10. *Flexural buckling* pada kolom.

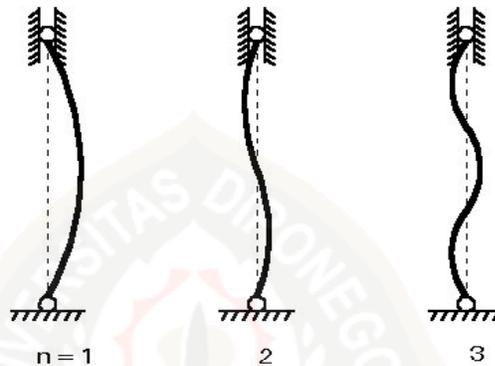


Gambar 2.11 *Torsional buckling* pada kolom

Dalam beberapa kasus tekuk, ada juga yang disebut tekuk torsi atau kombinasi dari tekuk torsi dan tekuk *flexural*, jika suatu bagian adalah tipe *thin-walled*, lihat Gambar 2.11.

Pada beban kritis, keseimbangan stabil kolom yang lurus ada di batas nya dan di sana ada suatu bentuk wujud yang dibelokkan oleh kolom yang juga dapat memenuhi keseimbangan. Karena bentuk wujud ini, momen lentur pada panampang melintang manapun diberi suatu tekanan pin-ended dengan memakai rumus-rumus yang relevan.

Gambar 2.12 menunjukkan 3 jenis pertama dari tekuk :



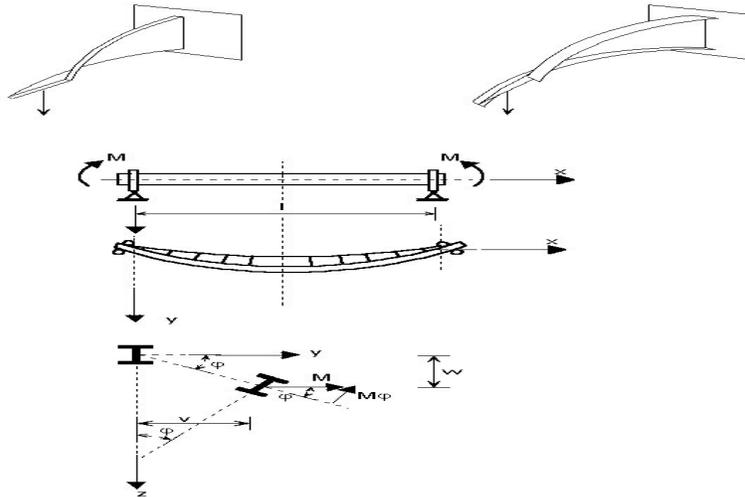
Gambar 2.12. *Buckling modes*

Beban kritis untuk suatu kolom *pin-ended* telah dihitung oleh Leonhard Euler pada tahun 1744. Sejarah mengatakan, itu adalah solusi yang pertama diberikan kepada suatu masalah stabilitas. Prosedur yang sama digunakan untuk kasus lain dengan syarat batas.

Beban kritis tersebut di atas tidak mempertimbangkan efek dari gaya geser yang besar; ini bisa dilakukan dengan menambahkan deformasi akibat geser.

2.5.2. *Lateral Buckling pada Balok*

Manakala suatu balok dibengkokkan pada poros kuatnya, secara normal berdefleksi hanya di dalam wahana itu . Bagaimanapun, jika balok tidak mempunyai kekakuan lateral cukup atau tumpuan lateral untuk memastikan bahwa ini terjadi, kemudian mungkin menggesperkan ke luar dari wahana pembebanan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13.

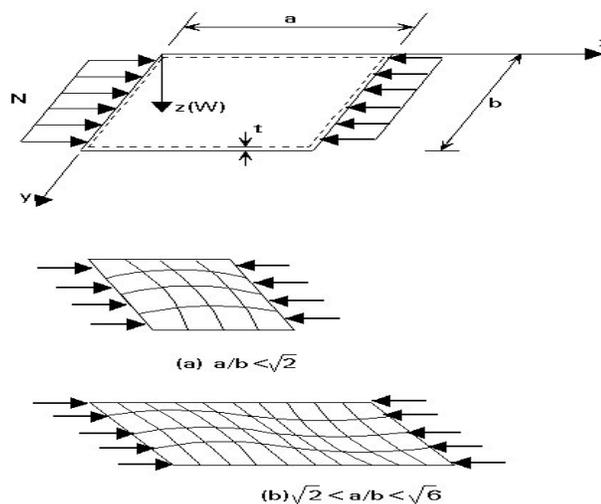


Gambar 2.13 *Lateral buckling* pada balok

Pada suatu balok elastis lurus, tidak ada penurunan (*displacements*) *out-of-plane* sampai momen terapan menjangkau nilai kritis nya, manakala balok menekuk oleh defleksi ke samping dan menjadi bengkok (Gambar 2.13), tekuk ke samping, oleh karena itu, melibatkan puntir dan lentur ke samping. Untuk kasus yang paling sederhana, dari suatu balok dengan tumpuan sederhana simetris, memuat dalam bidang utama kaku nya oleh momen yang sama, persamaan kesetimbangan diferensial dari balok tersebut.

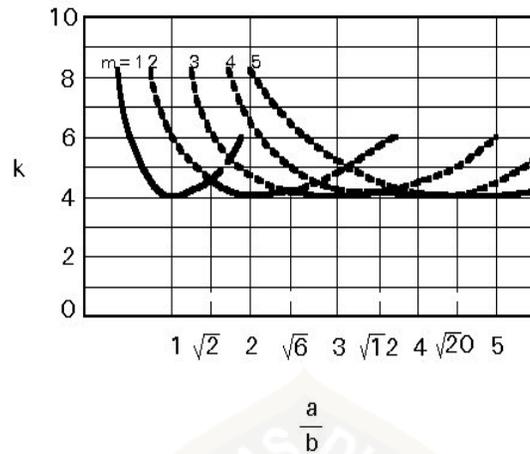
2.5.3. Plate dan Shell Buckling

Contoh yang paling sederhana dari fenomena ini adalah suatu segi-empat dengan empat tepi mendukungnya (yang dicegah dari memindahkan *out-of-plane* agar dapat berputar bebas) yang terisi di (dalam) tekanan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.14.

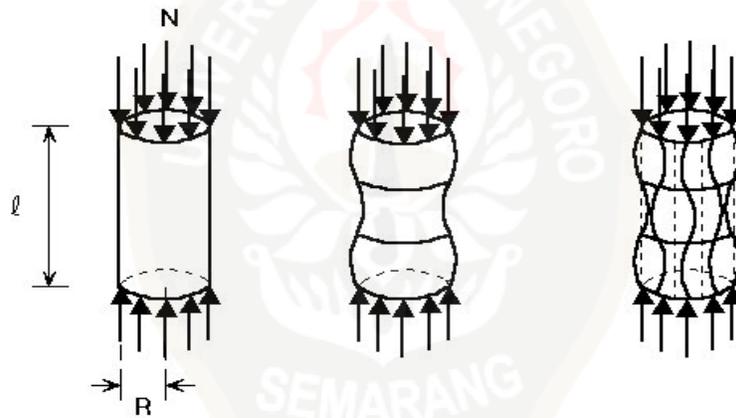


Gambar 2.14 *Plate buckling*

Sebagai batang tekan, pelat tetap tipis (tidak berubah bentuk) sampai beban yang diterapkan menjangkau nilai kritisnya, yang akan menyebabkan terjadinya defleksi lateral.

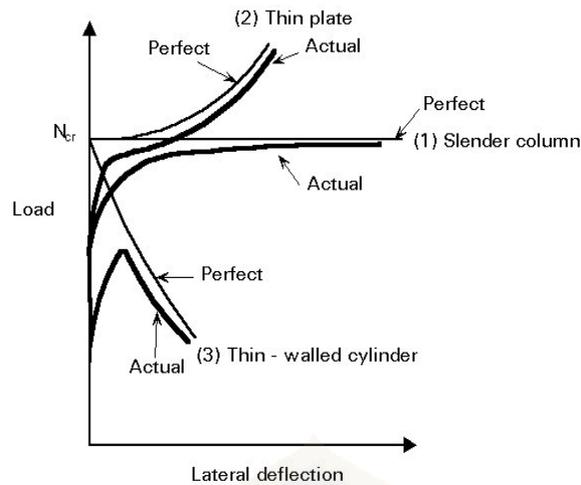


Gambar 2.15. Hubungan antara k dan rasio a/b dari pelat



Gambar 2.16 *Shell buckling*

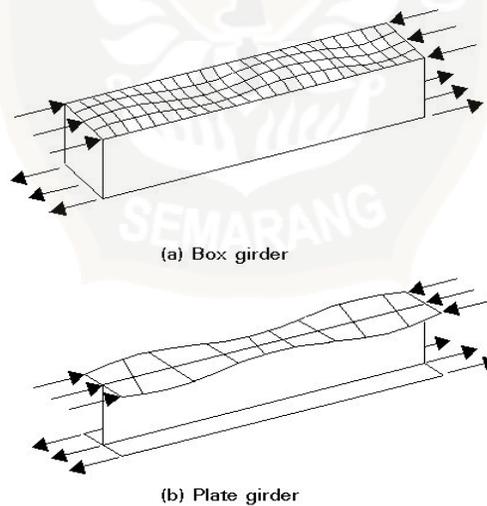
Perbedaan yang pokok pada perilaku kolom, pelat dan cangkang ditunjukkan pada Gambar 2.17. Untuk perilaku pada batas elastis, beban kritis dan beban maksimum yang dibawa oleh suatu kolom aktual (tidak sempurna) adalah dalam persetujuan layak. Untuk pelat, jika kekuatan *postcritical* dicapai dengan defleksi lateral (tekuk ke samping) kecil yang wajar, suatu beban yang lebih besar dari beban kritis boleh jadi bisa diterima. Untuk silinder berjenis *thin-walled*, bagaimanapun, beban maksimum pada kondisi yang riil (tidak sempurna) adalah lebih sedikit dibanding beban kritis secara teoritis.



Gambar 2.17 *Elastic postbuckling curve for compressed element*

2.5.4. Tekuk Lokal (*Local Buckling*)

Local buckling adalah peristiwa tekuk pada pelat tipis yang mendapat beban tekan. Kondisi ini menyebabkan elemen pelat (dari suatu profil) menekuk sebelum tercapai kekuatan profil yang direncanakan, lihat gambar 2.18.



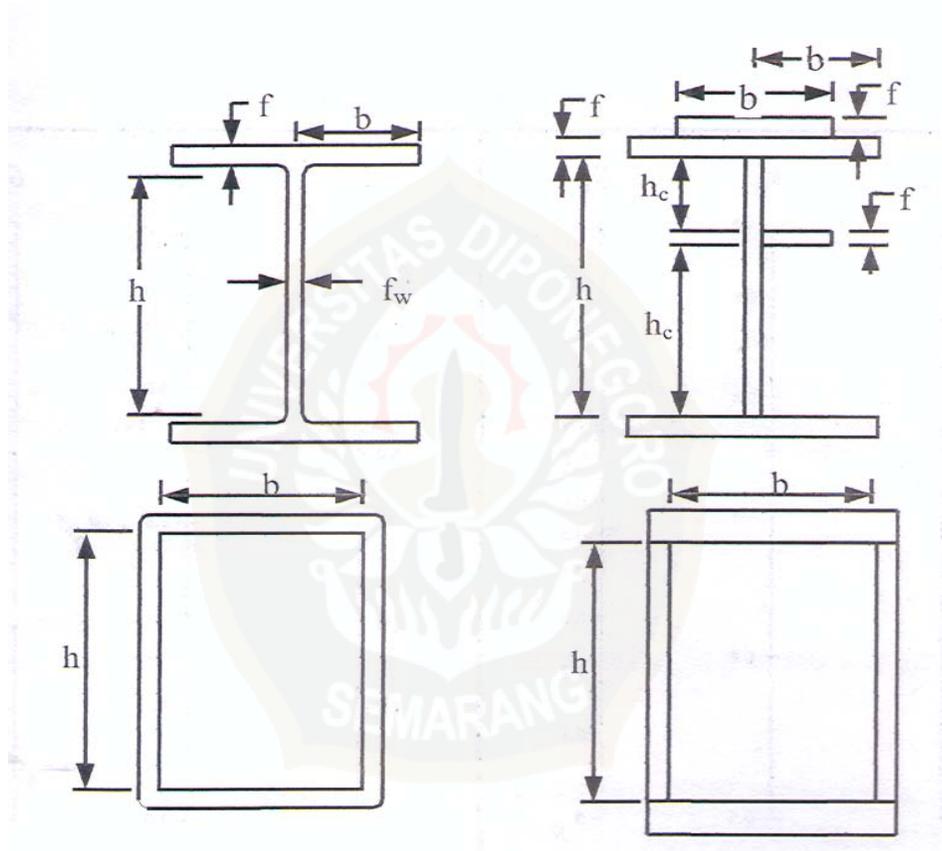
Gambar 2.18 *Local buckling*

Local buckling dapat terjadi lebih dulu pada salah satu elemen pelat pembentuk penampang. Dengan adanya *Local buckling*, akan menyebabkan elemen yang tertekuk tidak dapat memikul bagian beban yang harus diterimanya, sehingga kapasitas dukung seluruh penampang akan berkurang. Untuk menghindari terjadinya *local buckling*, perbandingan lebar dan tebal pelat harus memenuhi persyaratan tertentu (Lihat tabel 2.5).

Menurut Peraturan Baja Indonesia (SNI 03-1729-2000), penampang profil baja diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Penampang kompak (*compact section*), jika $\lambda \leq \lambda_p$
2. Penampang tidak kompak (*non compact section*), jika $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$
3. Penampang langsing (*slender section*), jika $\lambda > \lambda_r$

Penampang kompak berarti tidak terjadi *local buckling*.



Gambar 2.19. Penampang melintang profil

Tabel 2.6. Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan (f_y dinyatakan dalam Mpa, simbol mengacu pada gambar 2.19)

Jenis Elemen		Perbandingan Lebar Terhadap Tebal (λ)	Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal	
			λ_p (kompak)	λ_r (tak-kompak)
Elemen tanpa Pengaku	Pelat sayap balok-I dan kanal dalam lentur	$\frac{b}{t}$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$ [c]	$\frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}}$ [e]
	Pelat sayap balok-I hibrida atau balok tersusun yang dilas dalam lentur	$\frac{b}{t}$	$\frac{170}{\sqrt{f_{yf}}}$	$\frac{420}{\sqrt{\frac{(f_{yf} - f_r)}{k_e}}}$ [e][f]
	Pelat sayap dari komponen-komponen struktur tersusun dalam tekan	$\frac{b}{t}$	-	$\frac{290}{\sqrt{\frac{f_y}{k_e}}}$ [f]
	Sayap bebas dari profil siku kembar yang menyatu pada sayap lainnya, pelat sayap dari komponen struktur kanal dalam aksial tekan, profil siku dan pelat yang menyatu dengan balok atau komponen struktur tekan	$\frac{b}{t}$	-	$\frac{250}{\sqrt{f_y}}$
	Sayap dari profil siku tunggal pada penyokong, sayap dari profil siku ganda dengan pelat kopel pada penyokong, elemen yang tidak diperkaku, yaitu yang ditumpu pada salah satu sisinya	$\frac{b}{t}$	-	$\frac{200}{\sqrt{f_y}}$
	Pelat badan dari profil T	$\frac{d}{t}$	-	$\frac{335}{\sqrt{f_y}}$

Tabel 2.7. Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan (f_y dinyatakan dalam Mpa, simbol mengacu pada Gambar 2.19)

Jenis Elemen		Perbandingan Lebar Terhadap Tebal (λ)	Perbandingan Maksimum Lebar Terhadap Tebal	
			λ_p (kompak)	λ_r (tak-kompak)
Elemen dengan Pengaku	Pelat sayap dari penampang persegi panjang dan bujursangkar berongga dengan ketebalan seragam yang dibebani lentur atau tekan, pelat penutup dari pelat sayap dan pelat diafragma yang terletak diantara baut-baut atau las	$\frac{b}{t}$	$\frac{500}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{625}{\sqrt{f_y}}$
	Bagian lebar yang tak terkekang dari pelat penutup berlubang [b]	$\frac{b}{t}$	-	$\frac{830}{\sqrt{f_y}}$
	Bagian-bagian pelat badan dalam tekan akibat lentur [a]	$\frac{h}{t_w}$	$\frac{1680}{\sqrt{f_y}}$ [c]	$\frac{2550}{\sqrt{f_y}}$ [g]
	Bagian-bagian pelat badan	$\frac{h}{t_w}$	Untuk $\frac{N_u}{\phi_b N_y} \leq 0,125$ [c]	$\frac{2550}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{0,74 N_u}{\phi_b N_y} \right]$ [g]

dalam kombinasi tekan dan lentur		$\frac{1680}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{2,75 N_u}{\phi_b N_y} \right]$	
		Untuk $\frac{N_u}{\phi_b N_y} > 0,125$ [c] $\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left[2,33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right] \geq \frac{665}{\sqrt{f_y}}$	
Elemen-elemen lainnya yang diperkaku dalam tekan murni yaitu dikekang sepanjang kedua sisinya	$\frac{b}{t}$ $\frac{h}{t_w}$	-	$\frac{665}{\sqrt{f_y}}$
Penampang bulat berongga Pada tekan aksial Pada lentur	$\frac{D}{t}$	[d] - $\frac{14800}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{22000}{\sqrt{f_y}}$ $\frac{62000}{\sqrt{f_y}}$
<p>[a] Untuk balok hibrida, gunakan tegangan leleh pada sayap f_{yf} sebagai ganti f_y.</p> <p>[b] Ambil luas netto pelat pada lubang terbesar.</p> <p>[c] Dianggap kapasitas rotasi inelastis sebesar 3, untuk struktur-struktur pada zona gempa tinggi diperlukan kapasitas rotasi yang lebih besar.</p>		<p>[e] f_r = tegangan tekan residual pada pelat sayap = 70 MPa untuk penampang dirol = 115 MPa untuk penampang dilas</p>	

<p>[d] Untuk perencanaan plastis gunakan $\frac{9000}{f_y}$</p>	<p>[f] $k_e = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}}$ tapi, $0,35 \leq k_e \leq 0,763$</p> <p>[g] f_y adalah tegangan leleh minimum.</p>
--	---

2.5.5. Kesimpulan

- Untuk bagian-bagian tertekan, seperti batang, balok, pelat dan cangkang (*shells*), beban kritis adalah nilai yang terikat untuk beban ultimate dari bagian yang aktual (tidak sempurna)
- Beban kritis dihubungkan dengan kondisi keseimbangan netral dari anggota.
- Pada kasus sederhana, beban yang kritis bisa dilakukan perhitungan dengan menyelesaikan persamaan kesetimbangan differensial untuk menggambarkan fenomena yang terjadi.

2.6. SAMBUNGAN LAS

Pengelasan pada jaman lampau dilakukan dengan metode yang sangat sederhana, yaitu kedua potongan logam yang akan disambung dipanasi sampai membara, kemudian kedua sisi yang akan disambung tadi disatukan dan ditempa bersama-sama sehingga menyatu. Untuk sambungan struktural maka hal demikian sangat tidak dianjurkan, karena tidak terjamin kekuatannya.

Sekarang ini orang mengenal dua macam pengelasan yang umum dipergunakan yaitu:

- a. Las yang menggunakan campuran gas *acetylen* (gas karbit) dan oksigen. Api yang timbul digunakan untuk memanasi kedua ujung logam yang akan disambung hingga lumer, kemudian batang kawat sebagai bahan pengisi dilumerkan dan disatukan pada sambungan tersebut. Pengelasan macam ini hanya digunakan untuk penyambungan ringan dan untuk pekerjaan-pekerjaan dengan bahan dasar yang tipis. Pengelasan ini terbanyak justru digunakan untuk memotong bahan-bahan logam.
- b. Elektroda las. Saat ini paling umum digunakan untuk pekerjaan konstruksi. Arus listrik dialirkan melalui batang elektroda pada batang yang akan disambung, karena hubungan pendek yang terjadi mengakibatkan elektroda dan batang yang disambung meleleh bersama-sama sehingga menyatu. Elektroda las yang dibungkus dengan bahan yang apabila merupakan akan menghasilkan gas dan kerak yang melindungi sambungan terhadap oksidasi lebih lanjut.

2.6.1. Jenis Las

a) Las tumpul

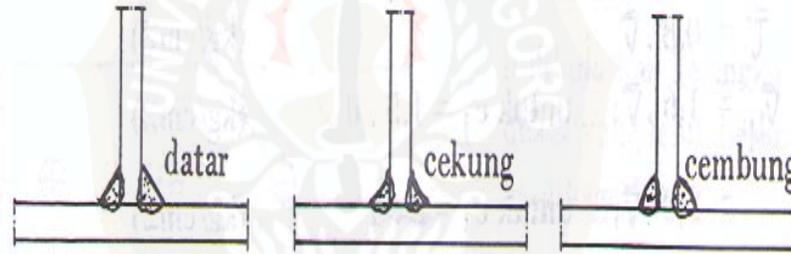
Las tumpul penetrasi penuh adalah las tumpul di mana terdapat penyatuan antara las edan bahan induk sepanjang kedalaman penuh sambungan. Las tumpul penetrasi sebagian adalah las tumpul di mana kedalaman penetrasi lebih kecil daripada kedalaman penuh sambungan. Bentuk las tumpul tergantung dari tebal bagian yang akan disambung.

b) Las sudut

Kekuatan las sudut didasarkan atas tebal efektif dari las tersebut. Kekuatan suatu las sudut tergantung pada arah gaya yang bekerja padanya, yang mungkin sejajar atau melintang pada arah panjang las.

- Macam las sudut

- 1) Las sudut pipih/datar (paling banyak digunakan)
- 2) Las sudut cekung
- 3) Las sudut cembung



Gambar 2.20. Macam las sudut

c) Las pengisi

Las pengisi adalah las sudut di sekeliling lubang bulat atau selot. Las pengisi harus dianggap sebagai las sudut.

2.6.2. Penentuan tebal las

2.6.2.1. Tebal las tumpul

➤ Tebal rencana las tumpul ditetapkan sebagai berikut:

- a) Las tumpul penetrasi penuh: tebal rencana las untuk las tumpul penetrasi penuh adalah ukuran las
- b) Las tumpul penetrasi sebagian: tebal rencana las untuk las tumpul penetrasi sebagian ditetapkan sesuai dengan ketentuan dibawah ini:
 - 1) Sudut antara bagian yang akan disambung $\leq 60^\circ$
Satu sisi: $t_1 = (d-3)$ mm
Dua sisi: $t_1 = (d_1 + d_2 - 6)$ mm

2) Sudut antara bagian yang akan disambung > 60°

Satu sisi: $t_1 = d$ mm

Dua sisi: $t_1 = (d_1 + d_2)$ mm

Dimana: d adalah kedalaman yang dipersiapkan untuk las.

d_1 dan d_2 adalah nilai untuk tiap sisi las.

- Penentuan bentuk las tumpul berdasarkan tebal pelat yang akan disambung adalah sebagai berikut:



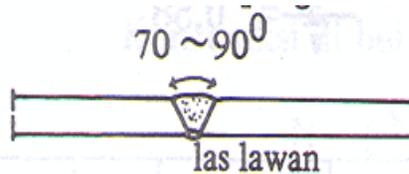
Gambar 2.21. Las tumpul

- a) $s : 4$ mm ; digunakan las sebelah, tanpa pekerjaan pendahuluan.
Kedua pelat dilekatkan satu sama lain, selanjutnya di las.
- b) $s : 4 - 8$ mm ; digunakan las dua belah, tanpa pekerjaan pendahuluan.
Mula-mula pengelasan dilakukan dibagian atas, kemudian dibalik dan di las. Las ini disebut las-I
- c) $s : 4 - 20$ mm ; karena tidak bisa dibalik, maka digunakan las-V, perlu pekerjaan pendahuluan.



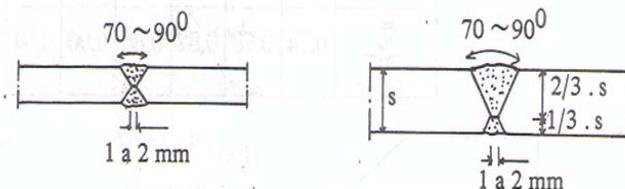
Gambar 2.22. Las-V tanpa las lawan

Jika benda kerja (pelat) dapat dibalik, maka dari yang 4 – 12 mm dipergunakan las-V dengan las-lawan.



Gambar 2.23. Las-V dengan las lawan

- d) $s : 12 - 30$ mm ; jika benda kerja tidak bisa dibalik, lakukan las-V (las dari sebelah).
Jika benda kerja bisa dibalik, gunakan las-X (las dari 2 belah)



Gambar 2.24. Las-X

2.6.2.2. Tebal las sudut

1) Berdasarkan syarat pembakaran

- $5\text{mm} < s \leq 9\text{mm}$

$$a \leq \frac{s+1}{2} \text{ (mm)}$$

- $9\text{mm} < s \leq 13\text{mm}$

$$a \leq \frac{s+2}{2} \text{ (mm)}$$

- $s > 14 \text{ mm}$

Tidak lagi digunakan satu lapis las, tetapi berlapis-lapis. Sebab lebih efektif bila tebal las (a) dalam satu lapis diambil tidak lebih besar dari 7 mm.

- $t_1 < t$

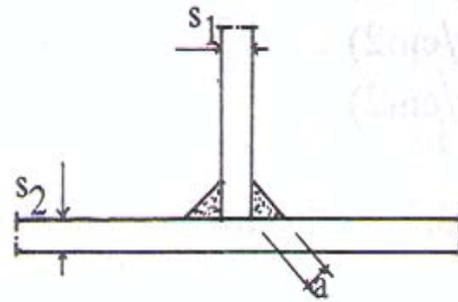
$$a_1 \leq 0,7 \cdot t_1 \text{ (mm)}$$

- $t_1 > t$

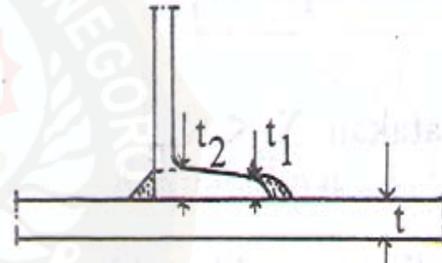
$$a_1 \leq \frac{s+1}{2} \text{ (mm)}$$

- $t_2 < t$

$$a_2 \leq 0,7 \cdot t_2 \text{ (mm)}$$



Gambar 2.25. Las sudut datar



Gambar 2.26. Las sudut dua lapis

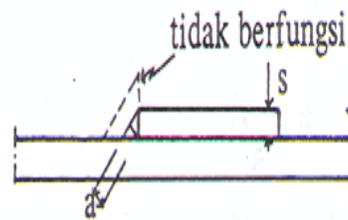
2) Berdasarkan tebal pelat yang akan disambung

$$a \leq \frac{1}{2} \cdot s \cdot \sqrt{2} \approx 0,7 \cdot s \text{ (mm)}$$

Keterangan:

s = tebal pelat yang terkecil

a = tebal las



Gambar 2.26. Las sudut untuk pelat

2.6.3. Kekuatan las

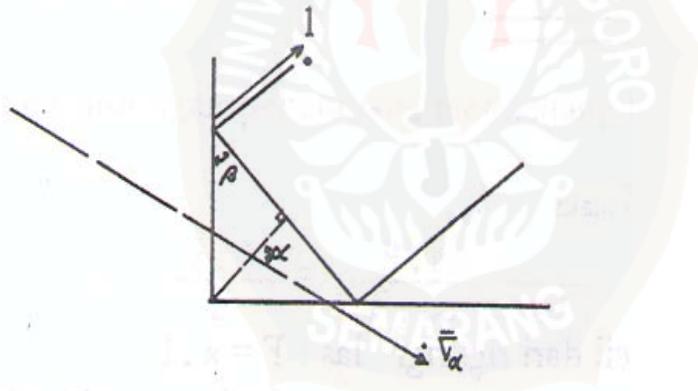
$$P = \frac{\bar{\sigma}_\alpha}{\bar{\sigma}} \cdot \bar{\sigma} \cdot n \cdot F \quad (\text{kg}) \quad \text{Persamaan 2.32.}$$

$$F = a \cdot L_{nt} \quad (\text{mm}^2) \quad \text{Persamaan 2.33.}$$

$$L_{nt} = L_{brt} - (3 \cdot a) \quad (\text{mm}) \quad \text{Persamaan 2.34.}$$

$$L_{nt} = \frac{P}{\frac{\bar{\sigma}_\alpha}{\bar{\sigma}} \cdot \bar{\sigma} \cdot n \cdot a} \quad (\text{mm}) \quad \text{Persamaan 2.35.}$$

$$\frac{\bar{\sigma}_\alpha}{\bar{\sigma}} = \frac{1}{\sqrt{\sin^2 \alpha + 3 \cdot \cos^2 \alpha}} \quad \text{Persamaan 2.36.}$$



Syarat: $L_{nt} \leq 40 \cdot a$

$L_{nt} > 4 \text{ cm}$

Untuk profil I gaya yang bekerja pada badan dan sayap adalah sebagai berikut:

$$P_{flens} = \frac{F_{flens}(I)}{F_{total}(I)} \cdot P \quad (\text{kg}) \quad \text{Persamaan 2.37.}$$

$$P_{web} = \frac{F_{web}(I)}{F_{total}(I)} \cdot P \quad (\text{kg}) \quad \text{Persamaan 2.38.}$$

Keterangan:

P = gaya yang bekerja pada bidang las

F = luas bidang las

L_{nt} = panjang netto las

L_{brt} = panjang bruto las

F_{flens} = luas sayap

F_{web} = luas badan

P_{flens} = gaya yang bekerja pada sayap

P_{web} = gaya yang bekerja pada badan

2.6.4. Kontrol tegangan

- Cek tegangan akibat gaya normal dan momen

$$\sigma_N = \left(\frac{N}{F}\right) \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \text{Persamaan 2.39.}$$

$$\sigma_M = \left(\frac{M}{W}\right) \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \text{Persamaan 2.40.}$$

$$\sigma = \sigma_N \pm \sigma_M \leq \bar{\sigma} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \text{Persamaan 2.41.}$$

- Cek tegangan geser rata-rata akibat gaya geser

$$\tau_r = \left(\frac{D}{F}\right) \leq 0.58\bar{\sigma} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \text{Persamaan 2.42.}$$

- Cek tegangan akibat geser dan normal

$$\sigma_{\text{ditiil}} = \sqrt{\sigma^2 + 3.\tau_r^2} \leq \bar{\sigma} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad \text{Persamaan 2.43.}$$

Keterangan:

N = gaya arah normal

D = gaya geser

M = momen yang timbul

F = luas bidang las

α = sudut yang dibentuk oleh arah gaya dan bidang geser las

σ_N = tegangan akibat normal

σ_M = tegangan akibat momen

$\bar{\sigma}$ = tegangan normal ijin

$$= 1666,667 \text{ kg/cm}^2$$

τ_r = tegangan geser

2.7. UJI WIND TUNNEL

Beban angin terhadap suatu struktur bangunan penting diketahui dan diperhitungkan. Pada tahap perancangan, ada suatu kendala untuk memperkirakan besarnya beban angin tersebut, terutama apabila bentuk bangunan sangat rumit (kompleks). Untuk memperkirakan besarnya gangguan angin terhadap struktur bangunan, dilakukan suatu eksperimen terhadap model bangunan yang dimaksud di sebuah terowongan angin.

Wind tunnel atau terowongan angin adalah sarana simulasi permodelan prototipe dimana rasio pengecilan model disesuaikan dengan ukuran ruang uji terowongan angin. Hasil pengujian di terowongan angin dapat memperkaya informasi sebelum keputusan rancangan angin ditetapkan, sehingga terhindar dari risiko kerugian biaya, tenaga, dan waktu yang besar bilamana hanya mengandalkan perhitungan manual yang mungkin melakukannya dapat keliru. Terowongan angin kecepatan rendah tidak hanya memenuhi kebutuhan aeronotika, juga dipakai untuk memenuhi kebutuhan industri konstruksi dan teknik sipil.

Konstruksi payung besar dengan ukuran 23,8m x 23,8m dengan tiang setinggi 16 meter adalah bangunan berisiko terhadap beban angin, sehingga dalam perhitungan kekuatan strukturnya, beban angin yang akan diterima saat pengoperasiannya harus diikuti sertakan ke dalam salah satu kasus pembebanan. Beban angin dapat diklasifikasikan menjadi beban statis dan dinamis, atau dalam istilah bidang aerodinamika disebut dengan *steady* aerodinamika dan *unsteady* aerodinamika.

Kecepatan angin maksimum untuk payung terbuka adalah 36 km/jam, sedangkan untuk kecepatan angin maksimum untuk payung tertutup adalah 120 km/jam.

2.8. ANGKUR BAJA

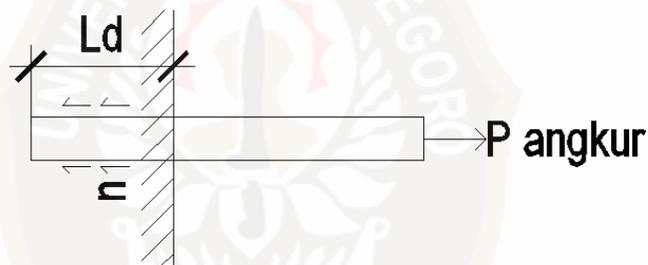
Untuk perencanaan angkur harus digunakan baja ulir untuk memperbesar *bond* (lekatan) antara baja dan beton karena terjadi *inter locking* (saling mengunci) antara baja dan beton. Konfigurasi (posisi angkur) diletakkan sedemikian rupa, sehingga angkur dapat menahan momen yang bekerja pada bagian pondasi struktur payung elektrik. Momen yang digunakan adalah momen dari hasil pengujian *wind tunnel*, yaitu 85,5 tonmeter untuk arah sumbu X (M_x) & arah sumbu Y (M_y) dan 120,9124 tonmeter untuk arah diagonal (M_R).

Gaya tarik pada angkur ditentukan dengan dua cara yaitu berdasarkan pengujian pencabutan-keluar pelekatan (*bond pull-out test*) dan tegangan leleh (f_y) yang terjadi pada baja/ankur.

2.8.1. Berdasarkan pengujian pencabutan-keluar pelekatan (*bond pull-out test*)

Tegangan-tegangan pelekatan yang diizinkan mula-mula sebagian besar ditetapkan

penegasan. Suatu batang ditanamkan dalam sebuah silinder atau balok empat persegi panjang dari beton dan gaya yang dibutuhkan untuk mencabut batang itu keluar atau membuatnya bergeser secara berlebihan, diukur. Gambar 2.27 memperlihatkan pengujian seperti itu secara skematis, dengan menghilangkan detail-detail seperti pelat-pelat perletakkan *hemispheris*. Geseran batang relatif terhadap beton di ukur di bawah (ujung yang dibebani) dan di atas (ujung bebas). Bahkan suatu beban yang sangat kecil pun dapat menyebabkan pergeseran dan menimbulkan tegangan pelekatan yang tinggi didekat ujung yang dibebani, tetapi membiarkan bagian sebelah atas batang sama sekali tidak menerima tegangan, seperti pada Gambar 2.27. Makin beban yang dikerjakan, geseran di ujung yang dibebani bertambah besar, dan baik tegangan pelekatan yang tinggi maupun geseran, keduanya meluas lebih dalam ke dalam bahan percobaan. Peletakan maksimum yang kira-kira ideal adalah seperti pada skets-skets tersebut, distribusinya bergantung pada jenis batang dan di sepanjang batang mungkin lebih bervariasi daripada yang diperlihatkan.



Gambar 2.27 pull-out test

Apabila geseran pertama kali mencapai ujung yang tidak dibebani, perlawanan maksimum hampir telah dicapai. Kegagalan yang umum terjadi adalah:

- 1) Pembelahan membujur beton, karena digunakan batang-batang yang diprofilkan
- 2) Tercabutnya batang dari beton, karena digunakan batang yang sangat kecil atau digunakan agregat yang sangat ringan
- 3) Pecahnya batangnya, karena penanaman batang yang cukup panjang.

Perlawanan rata-rata pelekatan u selalu dihitung seakan-akan ia adalah merata di atas panjang penyaluran batang. Dalam pengujian ini, simulasi dari kondisi-kondisi yang berguna tidak dicoba, tidak ada retak-retak tarik yang memotong batang, dan beton yang berdekatan dalam tekan memperbesar geseran pada ujung yang dibebani. Gesekan pada dasar, menahan terbelahnya bahan percobaan, bahkan banyak pengujian telah menggunakan spiral-spiral untuk mencegah terjadinya keruntuhan pembelahan. Pengujian terutama berguna apabila perlawanan pelekatan relatif dan bukannya perlawanan pelekatan nyata yang diterima, seperti dalam perbandingan perlawanan geseran dari ukuran "lug" dan pola-pola yang berbeda. Masalah utama pembelahan tidak ditangani secara realistis.

Modifikasi-modifikasi dari pengujian ini, yang disebut bahan percobaan pencabutan keluar tarik, juga telah digunakan (Gambar 2.27) dengan menghilangkan tekan pada beton. Tarik pada satu ujung adalah pada satu batang dalam (a) atau dua batang dalam (b), sementara ujung yang lain ditahan dengan menarik batang yang lain. Walaupun lebih baik daripada pengujian seperti pada gambar 2.27 setiap pengujian menimbulkan beberapa masalah khusus dari sambungan-sambungan tulangan yang mempunyai jarak dan setiap pola retak dipengaruhi oleh interaksi ini.

2.8.2. Berdasarkan tegangan leleh (f_y) yang terjadi pada baja/angkur

Gaya tarik pada angkur ditentukan berdasarkan tegangan leleh (f_y) yang terjadi pada baja, dengan rumus sebagai berikut:

$$P = \frac{A \cdot f_y}{SF} \quad (\text{N}) \quad \text{Persamaan 2.44.}$$

$$P = \frac{\frac{1}{4} \pi D^2 \cdot f_y}{SF} \quad (\text{N}) \quad \text{Persamaan 2.45.}$$

Dimana: P adalah gaya tarik/cabut angkur (N)
 A adalah luas bidang angkur (mm^2)
 D adalah diameter angkur (mm)
 f_y adalah tegangan leleh angkur (N/mm^2)
 SF adalah *safety factor*
 SF = 1,5

Panjang penyaluran angkur (l_d) adalah keperluan penanaman, dalam kondisi-kondisi tertentu, untuk menjamin angkur dapat diberi tegangan sampai ke titik lelehnya, dengan suatu cadangan untuk menjamin kekerasan bagian konstruksi.

Berdasarkan Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SK SNI T-15-1991-03), panjang penyaluran angkur (l_d) dihitung dengan ketentuan sebagai berikut:

$$l_d = l_{db} \cdot C_1 \cdot C_2 \quad (\text{mm}) \quad \text{Persamaan 2.46.}$$

Dimana: l_d adalah panjang penyaluran angkur (mm)
 l_{db} adalah panjang penyaluran dasar (mm)
 c_1 dan c_2 adalah faktor-faktor pengali (mm)

1. Penentuan panjang penyaluran dasar (ℓ_{db})

a) Untuk $D < 36\text{mm}$, maka:

$$\ell_{db} = \frac{0,02 \cdot A_b \cdot f_y}{\sqrt{f'_c}} \quad (\text{mm}) \quad \text{Persamaan 2.47.}$$

$$\ell_{db} > 0,06 \cdot D \cdot f_y \quad (\text{mm}) \quad \text{Persamaan 2.48.}$$

b) Untuk $D = 45\text{mm}$, maka:

$$\ell_{db} = \frac{25 \cdot f_y}{\sqrt{f'_c}} \quad (\text{mm}) \quad \text{Persamaan 2.49.}$$

c) Untuk $D = 55\text{mm}$, maka:

$$\ell_{db} = \frac{40 \cdot f_y}{\sqrt{f'_c}} \quad (\text{mm}) \quad \text{Persamaan 2.50.}$$

d) Untuk kawat deform, maka

$$\ell_{db} = \left(\frac{3D \cdot f_y}{8} \right) \cdot \sqrt{f'_c} \quad (\text{mm}) \quad \text{Persamaan 2.51.}$$

2. Penentuan besar c_1

ℓ_{db} harus dikalikan dengan c_1 untuk:

a) Tulangan atas, dimana "tulangan atas" adalah tulangan horisontal yang diletakkan sedemikian hingga lebih dari 300 mm beton segar dicorkan pada komponen struktur di bawah tulangan tersebut, maka:

$$c_1 = 1,4 \quad \text{Persamaan 2.52.}$$

b) Tulangan dengan $f_y > 400 \text{ MPa}$

$$c_1 = \left(2 - \frac{400}{f_y} \right) \quad \text{Persamaan 2.53.}$$

c) Beton agregat ringan,

➤ Bila f_{ct} ditentukan dan proporsi campuran beton direncanakan sesuai dengan SK SNI S-37-1990-03 tentang Spesifikasi Beton Tahan Sulfat, maka:

$$c_1 = \frac{\sqrt{f'_c}}{1,8 f_{ct}} \quad \text{Persamaan 2.54.}$$

$$c_1 > 1,0$$

➤ Bila f_{ct} ditentukan, maka:

$$c_1 = 1,33 \quad (\text{untuk beton ringan total})$$

$$c_1 = 1,18 \quad (\text{untuk beton ringan berpasir})$$

Bila digunakan penggantian sebagian pasir boleh dilakukan interpolasi linier dari kedua konstanta di atas.

3. Penentuan besar c_2

ℓ_{db} boleh dikalikan c_2 , untuk:

a) Jarak antar tulangan

Untuk tulangan yang disalurkan dalam panjang yang ditinjau dan secara lateral ditempatkan tidak kurang dari 150 mm pusat ke pusat dan jarak dari muka komponen ke batang tepi tidak kurang dari 70 mm di ukur dalam arah pengaturan jarak tulangan, maka:

$$c_2 = 0,8$$

b) Tulangan lebih

Bila penjangkaran atau penyaluran untuk f_y tidak khusus diperlukan, tulangan dalam komponen struktur lentur yang lebih dari keperluan berdasarkan analisis, maka:

$$c_2 = \frac{A_{s\,perlu}}{A_{s\,ada}}$$

c) Spiral

Untuk tulangan yang berada di dalam lilitan spiral yang diameternya tidak kurang dari 5 mm dan jarak lilitannya tidak lebih dari 100 mm, maka:

$$c_2 = 0,75$$

4. Batasan panjang penyaluran angkur

$\ell_d > 300$ mm, kecuali dalam perhitungan panjang lewatan dan penyaluran dari tulangan bagian badan seperti yang tercantum dalam Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SK SNI T-15-1991-03).