

TUGAS AKHIR

“ANALISA KEKUATAN STRUKTUR ATAS DAN METODE PELAKSANAAN PADA PROYEK PEMBANGUNAN RUKO MEGA PROFIT BLOK 1 F2 DELATASI II KAWASAN MEGAMAS MANADO”

Diajukan Sebagai Persyaratan Untuk Menyelesaikan Studi Pada Program Studi
Diploma IV Konsentrasi Bangunan Gedung
Jurusan Teknik Sipil

Oleh :
Vendry Paraisu
12 012 034



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
POLITEKNIK NEGERI MANADO
JURUSAN TEKNIK SIPIL
2016**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Manado adalah salah satu kota berkembang, dengan maraknya pembangunan gedung yang meliputi perumahan, hotel, *apartemen*, *mall* dan ruko. Dengan seiring meningkatnya kebutuhan akan hunian dan bisnis khususnya pada pembangunan ruko, selalu mengutamakan tataletak dan lokasi yang dianggap sebagai tempat strategis dan menguntungkan.

Pembangunan Ruko Mega Profit Kawasan Megamas Manado terdiri dari 4 lantai, pembangunannya selalu mengikuti perkembangan dunia usaha untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Ruko biasanya digunakan dengan fungsi berbeda selain untuk tempat tinggal, bangunan ini juga digunakan sebagai tempat usaha berupa tempat bimbingan khusus bagi pelajar dan kantor.

Dengan maksud dan tujuan tersebut diatas maka dibangunlah gedung Ruko Mega Profit Blok I F2 sebanyak 24 unit dengan menggunakan konstruksi beton. Pada setiap konstruksi bangunan gedung, semua komponen struktur yang mendukung bangunan tersebut harus dipastikan kuat dan mampu menahan beban yang dipikul oleh struktur bangunan. Komponen struktur pada bangunan terbagi dalam dua bagian besar yaitu struktur atas dan struktur bawah, dan yang akan dibahas dalam penulisan tugas akhir ini hanya dibatasi pada stuktur atas yang mencakup kolom, balok, dan pelat lantai.

Pembangunan Ruko Mega Profit Blok I F2 terdiri atas tiga delatasi, dengan satu kelompok delatasi terdiri dari delapan ruko, dengan tiga ukuran panjang bentangan yang berbeda yakni ; delatasi I dan III memiliki ukuran bentangan 9 m untuk satu ruko, delatasi II memiliki ukuran bentangan 10 m untuk satu ruko, sedangkan yang lainnya memiliki ukuran bentangan 5 m. Hal terpenting dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan suatu gedung adalah harus dipastikan gedung tersebut kuat, aman dan nyaman untuk digunakan. Menurut (Hartono 1999), Suatu struktur bangunan gedung harus mampu menahan beban yang terjadi, baik beban dari dalam maupun beban dari luar. Oleh karena itu diperlukan suatu perhitungan atau analisis struktur yang tepat dan teliti agar dapat memenuhi kriteria kekuatan (*strength*), kenyamanan (*serviceability*), keselamatan (*Safety*), dan umur rencana bangunan (*durability*), selanjutnya perencanaan pembangunan proyek Ruko Mega Profit kawasan Megamas Manado merupakan

bangunan empat lantai yang dibangun dengan pelaksanaan pekerjaan yang membutuhkan pengaturan pekerjaan yang baik serta pengawasan yang tepat untuk mendapatkan hasil konstruksi yang berkualitas.

1.2 Maksud dan Tujuan Penulisan

Adapun maksud dan tujuan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung struktur atas (kolom, balok dan plat lantai) pada gedung ruko dengan menggunakan *software* ETABS.
- b. Menghitung penulangan struktur atas (kolom, balok dan pelat lantai)
- c. Menggambar penulangan struktur atas dengan menggunakan *software* Auto CAD.

1.3 Pembatasan Masalah

Untuk mempermudah perhitungan maka ada beberapa batasan yang diambil dalam perencanaan struktur antara lain :

- a. Berapa besar luas tulangan yang keluar berdasarkan hasil *output* dari *software* ETABS?
- b. Bagaimana penulangan struktur atas (kolom, balok dan pelat lantai) berdasarkan pembebanan dan perencanaan dimensi elemen struktur tersebut?
- c. Bagaimana gambar penulangan penulangan struktur atas, berdasarkan hasil perhitungan?

1.4 Metode Penelitian

Dalam penyusunan tugas akhir ini metode yang digunakan penulis adalah :

- a. Studi Pustaka
Mempelajari literatur yang membahas tentang perhitungan desain struktur bangunan yang sesuai dengan judul tugas akhir yang diangkat.
- b. Analisis Data
 1. Menghitung struktur dengan *software* ETABS, dengan mempertimbangkan beban yang bekerja didalam struktur yaitu (beban hidup, beban mati, dan beban gempa).
 2. Menghitung penulangan kolom, balok, plat lantai dan menggambar hasil perhitungan dengan *software* Auto CAD.

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, dibuat sistematika penulisan yang diharapkan dapat mempermudah pembaca memahami penulisan ini. berikut ini adalah sistematika penulisan tugas akhir :

BAB I. PENDAHULUAN

Berisi tentang tinjauan umum, latar belakang, maksud dan tujuan, pembatasan masalah, metodologi penulisan dan sistematika penulisan.

BAB II. DASAR TEORI

Berisi dasar teori untuk menghitung penulangan kolom, balok dan plat lantai yang akan digunakan dalam perencanaan struktur atas.

BAB III. PEMBAHASAN

Berisi tentang data-data proyek, sesuai rencana serta perhitungan kekuatan struktur atas dengan menggunakan program ETABS versi 9,6,0, dan menggambar penulangan dengan program Auto CAD

BAB IV. PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil penulisan tugas akhir

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Struktur Bangunan

Struktur bangunan merupakan suatu susunan yang terdiri dari komponen-komponen yang saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya agar mendapatkan konstruksi yang stabil (Sutrisno,1985). Pada prinsipnya elemen struktur berfungsi untuk mendukung keberadaan elemen nonstruktur yang meliputi elemen tampak, interior dan detail arsitektur sehingga membentuk satu kesatuan. Setiap bagian struktur bangunan tersebut juga mempunyai fungsi dan peranannya masing-masing.

Kegunaan lain dari struktur bangunan gedung yaitu meneruskan beban bangunan dari bagian atas menuju bagian bawah bangunan, lalu menyebarkannya ke tanah. Perancangan struktur harus memastikan bahwa bagian-bagian sistem struktur ini sanggup mengizinkan atau menanggung gaya gravitasi dan beban bangunan kemudian menyokong dan menyalurkannya ke tanah dengan aman. Ditinjau dari sisi susunannya, struktur bangunan gedung dibagi menjadi 2 (dua) bagian yaitu sebagai berikut :

2.1.1 Struktur Atas (*Upper Structure*)

Struktur atas suatu gedung adalah seluruh bagian struktur gedung yang berada diatas muka tanah. Struktur atas ini terdiri dari kolom, pelat lantai dan balok. Setiap komponen tersebut memiliki fungsi yang berbeda-beda didalam sebuah struktur.

2.1.2 Struktur Bawah (*Lower Structure*)

Struktur bawah suatu gedung adalah pondasi yang berhubungan langsung dengan tanah, atau bagian bangunan yang terletak dibawah permukaan tanah yang mempunyai fungsi memikul beban bangunan yang ada diatasnya. Pondasi harus diperhitungkan untuk dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap beratnya sendiri beban-beban bangunan (beban isi bangunan), gaya-gaya luar seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain. Disamping itu tidak boleh terjadi penurunan level melebihi batas yang di ijin.

2.2 Elemen Struktur Atas

Perencanaan awal elemen struktur direncanakan dengan asumsi berdasarkan kriteria minimum pada SK SNI T-15-1991-03, yang merupakan suatu perencanaan pendahuluan untuk menaksir atau memperkirakan dimensi dari struktur (balok, kolom dan pelat) sehingga didapat suatu dimensi yang optimal, tidak terlalu kuat juga tidak terlalu lemah (*over design and under design*).

A. Balok

Balok merupakan salah satu pekerjaan beton bertulang. Balok merupakan bagian struktur yang digunakan sebagai dudukan lantai dan pengikat kolom lantai atas. Fungsinya adalah sebagai rangka penguat horizontal. Balok mempunyai karakteristik utama yaitu lentur. Dengan sifat tersebut, balok merupakan elemen bangunan yang dapat diandalkan untuk menangani gaya geser dan momen lentur. Pendirian konstruksi balok pada bangunan umumnya mengadopsi konstruksi balok beton bertulang.

B. Kolom

Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur. Fungsi kolom adalah sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Bila diumpamakan, kolom itu seperti rangka tubuh manusia yang memastikan sebuah bangunan berdiri. Kolom termasuk struktur utama untuk meneruskan berat bangunan dan beban lain seperti beban hidup (manusia dan barang-barang), serta beban hembusan angin. Kolom berfungsi sangat penting, agar bangunan tidak mudah roboh. SK SNI T-15-1991-03 mendefinisikan kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral. Struktur dalam kolom dibuat dari besi dan beton. Keduanya merupakan gabungan antara material yang tahan tarikan dan tekanan. Besi adalah material yang tahan tarikan, sedangkan beton adalah material yang tahan tekanan. Gabungan kedua material ini dalam struktur beton memungkinkan kolom atau bagian struktural lain seperti sloof dan balok bisa menahan gaya tekan dan gaya tarik pada bangunan.

C. Pelat Lantai

Plat lantai adalah lantai yang tidak terletak di atas tanah langsung, merupakan lantai tingkat pembatas antara tingkat yang satu dengan tingkat yang lain. Plat lantai didukung oleh balok-balok yang bertumpu pada kolom-kolom bangunan. Ketebalan plat lantai ditentukan oleh besar lendutan yang diinginkan, lebar bentangan atau jarak antara balok-balok pendukung dan bahan konstruksi dan plat lantai

2.3 Peraturan – Peraturan

Perhitungan konstruksi gedung memperhatikan ketentuan – ketentuan yang berlaku yang terdapat pada buku – buku pedoman antara lain :

- a. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung SNI – 03 – 1726 – 2002, diterbitkan oleh Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
Beberapa ketentuan yang diambil dari Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung SNI – 03 – 1726 – 2002, dalam perencanaan Tugas Akhir ini adalah :
 - 1) Cara – cara analisis gempa
 - 2) Faktor respon gempa (C)
 - 3) Faktor keutamaan (I)
 - 4) Faktor jenis struktur (K)
 - 5) Wilayah / zone gempa
- b. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983
Beberapa ketentuan yang diambil dari Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 dalam perencanaan Tugas Akhir ini adalah :
 - 1) Berat sendiri bahan bangunan
 - 2) Beban hidup lantai gedung
- c. *Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (beta version, (SNI 03 – 2847 – 2002).*

2.3.1. Kategori Gedung

Bangunan yang direncanakan haruslah diketahui apakah termasuk dalam salah satu dari 5 kategori gedung yang disebut pada SNI – 03 – 1726 – 2002 pasal 4.1 tabel 1, yang mencantumkan faktor keutamaan I untuk berbagai kategori gedung

dan bangunan yang dipakai untuk menghitung beban gempa nominal (V), seperti yang terlihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Faktor Keutamaan I untuk berbagai Kategori Gedung dan Bangunan

Kategori Gedung	Faktor Keutamaan		
	I ₁	I ₂	I ₃
Gedung umum seperti penghunian, perniagaan dan perkantoran.	1,0	1,0	1,0
Monument 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 televisi.	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk penyimpanan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki diatas menara.	1,5	1,0	1,5

Sumber: SNI 03-1726-2002

Sedangkan bentuk suatu gedung dikategorikan sebagai gedung beraturan dan tidak beraturan, berdasarkan SNI 03 – 1726 – 2002, pasal 4.2, beberapa syarat struktur gedung ditetapkan sebagai gedung beraturan apabila memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- Tinggi gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m.
- Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan dan walaupun ada tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar bangunan denah struktur dalam arah tonjolan tersebut.
- Denah struktur tidak menunjukkan coakan sudut dan walaupun mempunyai coakan sudut, panjang sisi coakan tersebut tidak lebih dari 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut.

2.3.2. Daktilitas Struktur

Dalam SNI 03-1726-2002 sekarang memakai 2 parameter daktilitas struktur gedung yaitu factor daktilitas simpangan μ dan factor reduksi gempa R . Kalau μ menyatakan rasio simpangan diambang keruntuhan δ_m dan simpangan pada terjadinya pelelehan pertama, maka R adalah rasio beban gempa rencana dan beban gempa nominal. R ini merupakan indikator kemampuan daktilitas struktur gedung. Nilai μ dan R tercantum disamping berbagai jenis struktur yang diuraikan pada Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Parameter Daktilitas Struktur Gedung

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

Sumber : SNI 03-1726-2002

2.3.3 Perencanaan Elemen Struktur

Perencanaan awal elemen struktur direncanakan dengan asumsi berdasarkan kriteria minimum pada SK SNI T-15-1991-03, yang merupakan suatu perencanaan pendahuluan untuk menaksir atau memperkirakan dimensi dari struktur (balok, kolom dan pelat) sehingga didapat suatu dimensi yang imajal, tidak terlalu kuat juga tidak terlalu lemah (*over design and under design*).

A. Balok

Syarat dimensi awal balok harus memenuhi ketentuan pada “Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung” Tabel 3.2.5 (a) dan Pasal; 3.14.3 Ayat 1.

Syarat minimum :

$$h_{min} = \frac{L}{18.5} \text{ untuk balok dengan satu ujung menerus} \quad (1)$$

$$b_{min} = 250 \text{ mm dan } \frac{b}{h} \geq 0,3 \quad (2)$$

Dimana :

b = lebar penampang balok (mm)

h = tinggi penampang balok

L = panjang bentang balok, diukur dari pusat ke pusat (mm)

Pers. (2.1) dan (2.2) berlaku untuk mutu baja dengan $f_y = 400$ MPa. Untuk f_y selain 400 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $\left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$

Setelah proses *preliminary design* balok selesai, langkah selanjutnya adalah menentukan nilai-nilai dibawah ini berdasarkan hasil M_u (momen negatif max. di tumpuan) hasil *output* gaya-gaya dalam ETABS, yang kemudian akan menghasilkan dimensi tulangan pada balok di tumpuan dan lapangan. Berdasarkan SNI 03-2847-2002, nilai-nilai yang harus ditentukan untuk mendapatkan dimensi tulangan tersebut adalah sebagai berikut:

- Menentukan M_u (momen negatif max. di tumpuan)
- Menentukan $\rho_{balance}$

$$\rho_{balance} (\rho_b) = \beta_1 \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (3)$$

- Menentukan ρ_{min}

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (4)$$

- Menentukan ρ_{max}

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b \quad (5)$$

- Menentukan nilai M_n perlu

$$M_n \text{ perlu} = \frac{M_u}{\phi} \quad (6)$$

- Menentukan R_n

$$R_n = \frac{M_n \text{ perlu}}{b \times d^2} \quad (7)$$

- Menentukan m

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} \quad (8)$$

- Menentukan ρ_{perlu}

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \quad (9)$$

- Menentukan A_s perlu

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (10)$$

- Menentukan jumlah tulangan n

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4\pi} \times D_{tul}^2} \quad (11)$$

- Menentukan A_s ada

$$A_s \text{ ada} = 4 \times \frac{1}{4\pi} \times D_{tul}^2 \quad (12)$$

- Menentukan nilai a

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times B} \quad (13)$$

- Menentukan M_n ada

$$M_n \text{ ada} = A_s \text{ ada} \times f_y \times (d - a/2) \quad (14)$$

Catatan: syarat $M_n \text{ ada} > M_n \longrightarrow \text{OK !!!}$

Perhitungan untuk tulangan geser yang berada pada wilayah gempa 5 harus memenuhi persyaratan pada SNI-03-2847-2002 pasal 13 dan 23.10 sebagai berikut:

Perencanaan penampang untuk menahan geser:

$$\Phi V_n \geq V_u \quad (15)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (16)$$

$$\Phi (V_c + V_s) \geq V_u \quad (17)$$

Dimana:

Φ = faktor reduksi kuat geser senilai 0,75

V_u = kuat geser terfaktor

V_n = kuat geser nominal

V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan beton

V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan tulangan geser

B_w = lebar badan balok

d = tinggi efektif balok

f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan

s = jarak sengkang

B. Kolom

Menurut Sudarmoko (1996), kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan

pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total seluruh struktur.

Kolom berfungsi sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Bila diumpamakan, kolom seperti rangka tubuh manusia yang memastikan sebuah bangunan berdiri. Kolom termasuk struktur utama untuk meneruskan beban bangunan dan beban lain seperti beban hidup (manusia dan barang-barang), serta beban hembusan angin.

Kolom harus di rencanakan untuk memikul beban aksial berfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum yang berasal dari beban berfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang di tinjau. Untuk konstruksi rangka atau struktur menerus, pengaruh dari adanya beban yang tak seimbang pada lantai atau atap terhadap kolom luar ataupun dalam harus di perhitungkan. Kolom bertulang hampir selalu mengalami lentur, selain juga gaya aksial, sebagai akibat kondisi pembebanan dan hubungan dengan elemen struktur lain.

Elemen struktur kolom mempunyai nilai perbandingan antara panjangnya dengan dimensi penampang melintang relatif kecil di sebut kolom pendek dan kegagalannya di tentukan oleh tekuk. Dalam perhitungan momen akibat beban gravitasi yang bekerja pada kolom dapat di anggap terjepit, selama ujung-ujung tersebut menyatu dengan komponen struktur lainnya. Momen yang bekerja di setiap level lantai atau atap harus di pada kolom atas dan di bawah berdasarkan kekakuan relatif kolom.

Perbandingan b/h dari kolom tidak $<$ dari 0,4 dan dimensi minimumnya = 300 mm. diameter tulangan yang di gunakan pada kolom harus $>$ 12 mm. diameter minimum sengkang untuk kolom harus 8mm. lusan tulangan minimum untuk beban = 1% dari luas penampang dan luas tulangan maksimumnya = 6%.

Semua dimensi kolom berbentuk bujur sangkar dengan lebar minimal sama dengan lebar balok yang di tumpuhnya, dan harus memenuhi ketentuan pada "*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*" pasal 3.14.4 ayat 1. $b_{min} = 300\text{mm}$, dengan rumus sebagai berikut ;

$$\frac{b}{h} \geq 0,4 \text{ dan } \frac{L}{b} \leq 16 \quad (18)$$

dimana :

b = dimensi penampang terpendek (mm)

h = dimensi penampang yang tegak lurus penampang terpendek (mm)

L = tinggi kolom (mm)

Langkah selanjutnya adalah menentukan rencana tulangan kolom dengan menggunakan kurva diagram interaksi seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1 , sebagai berikut:

- Menentukan luas penampang bruto kolom (A_{gr}).

$$A_{gr} = b \times h \quad (19)$$

- Menentukan nilai sumbu vertikal.

$$\frac{P_u}{\phi \times A_{gr} \times 0,85 \times f'_c} \quad (20)$$

dimana: P_u adalah beban aksial kolom

- Menentukan nilai sumbu horisontal.

$$\frac{P_u}{\phi \times A_{gr} \times 0,85 \times f'_c} \times \frac{e_t}{h} \quad (21)$$

- Menentukan nilai d'/h (22)

- Plot nilai sumbu vertikal dan sumbu horizontal sehingga didapatkan nilai r .

- Tentukan nilai presentase tulangan (ρ) dengan $\rho = r \times \beta$ (nilai β tergantung dari mutu beton f'_c . Untuk f'_c 30 MPa $\beta = 1,2$). (23)

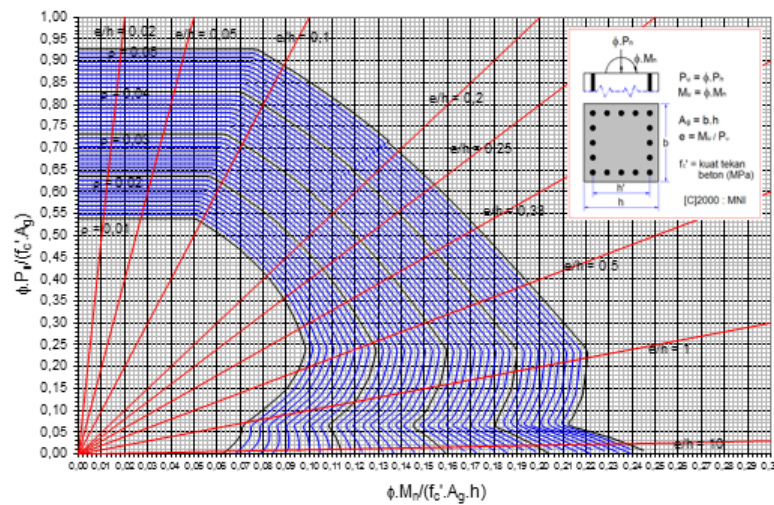
- Pembatasan rasio tulangan, dimana:

$$\rho_{maks} = 0,06 A_{gr} \quad (24)$$

$$\rho_{min} = 0,01 A_{gr} \quad (25)$$

- Menentukan luas tulangan (A_s).

$$A_s = \rho_{desain} \times A_{gr} \quad (26)$$



Gambar 2.1 Grafik Interaksi Kolom

Sumber : Ray Norman kolom beton bertulang

C. Pelat

Tebal pelat dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan pada “Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung” Pasal 3.2.5 Ayat 3.

1. Menentukan $l_{n1}, l_{n2}, \beta, h_{maks}, h_{min}$

l_{n1} = bentang bersih terpanjang, diukur dari muka kolom dan atau balok

l_{n2} = bentang bersih terpendek, diukur dari muka kolom dan atau balok

$$\beta = \frac{l_{n1}}{l_{n2}} \quad (27)$$

$$h_{min} = l_{n1} \frac{(0,8 + \frac{f_y}{1500})}{36} \quad (28)$$

$$h_{maks} = l_{n1} \frac{(0,8 + \frac{f_y}{1500})}{36 + 9\beta} \quad (29)$$

Dimana :

β = rasio panjang bentang terpanjang dengan panjang bentang terpendek

f_y = tegangan leleh baja (MPa)

h = tebal pelat (mm)

2. Menentukan jarak titik berat, inersia balok dan inersia pelat

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \times y_i)}{\sum A} \quad (30)$$

$$I_b = \left(\frac{1}{2} \times b \times h_b^3 \right) + (A \times d^2) \quad (31)$$

$$I_p = \frac{1}{2} \times L \times h_p^3 \quad (32)$$

Dimana :

$\bar{y}$ = jarak titik berat penampang (mm)

A = luas penampang (mm²)

y = jarak titik berat penampang keserat terluar (mm)

I_b = momen inersia balok (mm⁴)

I_p = momen inersia plat (mm⁴)

b = lebar penampang balok (mm)

h_b = tinggi penampang balok (mm)

h_p = tinggi penampang pelat (mm)

L = lebar pelat, dari pusat ke pusat (mm)

d = jarak titik berat penampang ke titik beratnya (mm)

3. Menentukan α_m

$$\alpha_i = \frac{I_{bi}}{I_{pi}} \quad (33)$$

$$\alpha_m = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{E_{bi} \times I_{bi}}{E_{pi} \times I_{pi}} \right)}{4} \quad (34)$$

Dimana :

α_i = rasio kekakuan lentur balok terhadap kekuatan lentur pelat

α_m = harga rata-rata dari perbandingan kekakuan lentur balok terhadap kekakuan lentur pelat pada keempat sisinya, dengan syarat tebal minimum pelat :

I_{bi}, I_{pi} = momen inersia balok dan pelat yang ditinjau (mm⁴)

E_{bi}, E_{pi} = modulus elastisitas beton = $4700 \sqrt{f'c}$

4. Control terhadap tebal minimum

Tebal pelat yang digunakan harus lebih dari :

$$h \geq \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5\beta \left[\alpha_m - 0,12 \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]} \quad (35)$$

2.4 Pembebanan

Berdasarkan peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung, 1983, struktur gedung harus direncanakan kekuatannya terhadap pembebanan-pembebanan sebagai berikut :

2.4.1 Beban Mati

Beban mati adalah 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 (PPIUG 1983 – pasal 1.0. ayat 1).

Beban mati yang direncanakan pada Tugas Akhir ini diambil dari table 2.1. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983.

- | | |
|---|-------------------------|
| 1. Beban finishing (keramik) | = 24 kg/m ² |
| 2. Plester 2.5 cm (2.5 x 21 kg/m ²) | = 53 kg/m ² |
| 3. Beban ME (Mecanical Electrical) | = 25 kg/m ² |
| 4. Beban plafond dan penggantung | = 18 kg/m ² |
| 5. Beban dinding bata | = 250 kg/m ² |

Beban material bangunan tergantung dari jenis bahan bangunan yang dipakai. Contoh berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung berdasarkan PPIUG table 2.1 adalah :

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1. Baja | = 7850 kg/m ³ |
| 2. Batu alam | = 2600 kg/m ³ |
| 3. Beton bertulang | = 2400 kg/m ³ |
| 4. Pasangan batu merah | = 1700 kg/m ³ |

2.4.2. Beban Hidup

Adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari beban-beban yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan lantai tersebut. Khusus pada atap kedalam beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan, baik akibat genangan maupun akibat tekanan jatuh (energi kinetic) butiran air (PPIUG 1983 – pasal 1.0. ayat 2). Beban hidup yang direncanakan pada

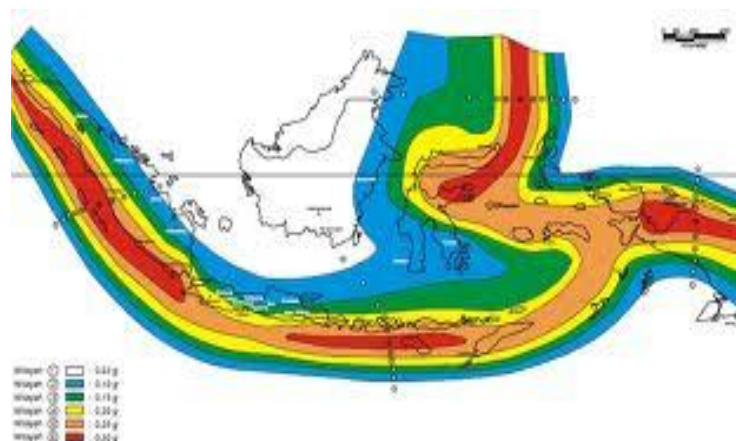
Tugas Akhir ini diambil dari Tabel 3.1. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983.

- Parkir = 400 kg/m^2
- Parkir lantai bawah = 800 kg/m^2
- Lantai kantor = 250 kg/m^2
- Lantai sekolah = 250 kg/m^2
- Ruang pertemuan = 400 kg/m^2
- Ruang dansa = 500 kg/m^2
- Lantai olahraga = 400 kg/m^2
- Tangga dan bordes = 300 kg/m^2

2.4.3. Beban Gempa

Struktur bangunan bertingkat tinggi harus dapat memikul beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, diantaranya beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi adalah beban mati struktur dan beban hidup sedangkan yang termasuk beban lateral adalah beban angin dan beban gempa.

Berdasarkan (SNI 03-1726-2002) Indonesia dibagi menjadi 6 wilayah gempa seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.2. Pembagian wilayah gempa ini, didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun, yang nilai rata-ratanya untuk tiap wilayah gempa ditetapkan dalam Tabel 2.3



Gambar 2.2 Pembagian Wilayah Gempa untuk Indonesia

Sumber: SNI - 1726 – 2002

Table 2.3 Percepatan Puncak Batuan untuk Masing-masing Wilayah Gempa

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar ('g')	Percepatan puncak muka tanah A_0 ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

Sumber: SNI - 1726 – 2002

Gaya gempa vertikal harus diperhitungkan untuk unsur-unsur struktur gedung yang memiliki kepekaan yang tinggi terhadap beban gravitasi dari dua atau lebih tingkat di atasnya serta balok beton pratekan berbentuk panjang. Sedangkan gaya gempa lateral bekerja pada setiap pusat massa lantai.

Beban gempa nilainya ditentukan oleh 3 hal, yaitu oleh besarnya probabilitas beban itu dilampaui dalam kurun waktu tertentu, oleh tingkat daktilitas struktur yang mengalaminya, dan oleh kekuatan lebih yang terkandung didalam struktur tersebut. Peluang terlampauinya beban nominal tersebut dalam kurun waktu umur gedung 50 tahun adalah 10% dan gempa yang menyebabkannya adalah gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun.

2.4.4 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SK SNI-03-2847-2002 dikatakan pada ketentuan umum pasal 11.1.1 bahwa struktur dan komponen struktur harus direncanakan hingga semua penampang mempunyai kuat rencana minimum sama dengan kuat perlu yang dihitung berdasarkan kombinasi beban dan gaya terfaktor yang sesuai dengan ketentuan tata cara ini. Pasal 11.1.2 mengatakan bahwa komponen struktur juga harus memenuhi ketentuan lain yang tercantum dalam tata cara ini untuk menjamin tercapainya perilaku struktur yang cukup baik pada tingkat beban kerja. Beban yang bekerja pada struktur harus dikalikan dengan beberapa faktor beban sebagai berikut:

1. Kuat perlu (SK SNI-03-2847-2002, *hal.* 59 pasal 11.2.1).

Kuat perlu U untuk menahan beban mati D paling tidak harus sama dengan:

$$U = 1,4 D \quad (36)$$

Kuat perlu U untuk menahan beban mati D , beban hidup L dan juga beban atap A atau beban hujan R , paling tidak harus sama dengan:

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \quad (37)$$

2. (SK SNI-03-2847-2002, *hal.* 59 pasal 11.2.2) bila ketahanan struktur terhadap beban angin W harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka pengaruh kombinasi beban D , L dan W berikut harus ditinjau untuk menentukan nilai U yang terbesar, yaitu:

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R) \quad (38)$$

Kombinasi beban juga harus memperhitungkan kemungkinan beban hidup L yang penuh dan kosong untuk mendapatkan kondisi yang paling berbahaya, yaitu:

$$U = 0,9 D \pm 1,6 W \quad (39)$$

3. Kombinasi pembebanan sementara akibat gempa.

$$U = 1,2 D + 0,5 L \pm 1,0 (I/R) E \quad (40)$$

dimana :

D	= Beban Mati
L	= Beban Hidup
E	= Beban Gempa
I	= Faktor Keutamaan Struktur

2.4.5 Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)

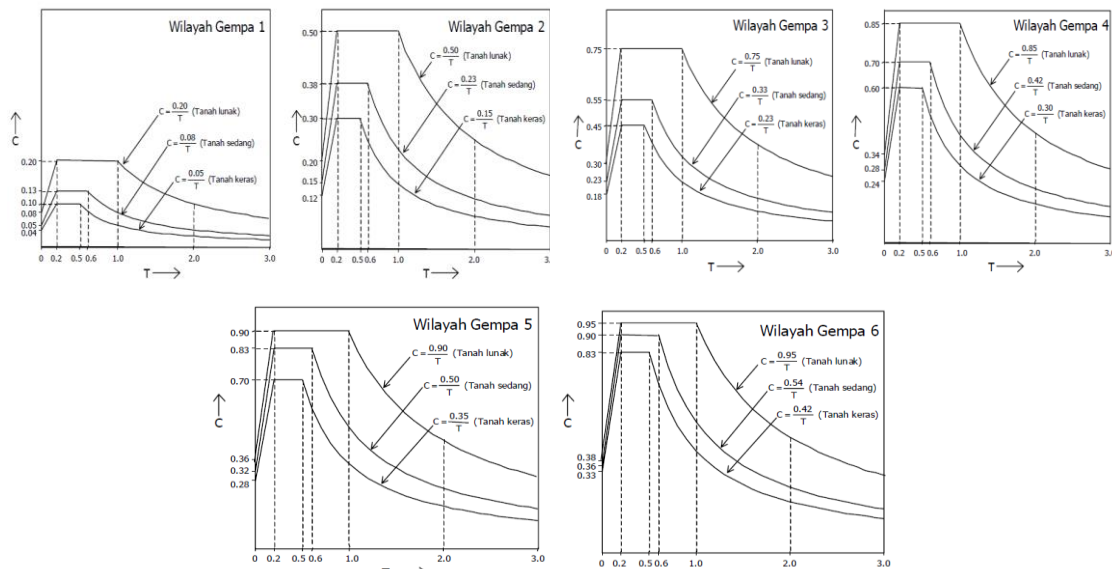
Ketidakpastian kekuatan bahan terhadap pembebanan pada komponen struktur dianggap sebagai faktor reduksi kekuatan ϕ yang nilainya ditentukan menurut pasal 11.3 (SK SNI-03-2847-2002). Nilai ketentuan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Struktur lentur tanpa beban aksial (misalnya: balok), $\phi = 0,80$.
2. Beban aksial dan beban aksial dengan lentur:
 - a. Aksial tarik dan aksial tarik dengan lentur, $\phi = 0,80$.
 - b. Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur:
 - Komponen struktur dengan tulangan spiral atau sengkang ikat, $\phi = 0,70$.
 - Komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, $\phi = 0,60$.
 - c. Geser dan torsi, $\phi = 0,75$.
 - d. Tumpuan pada beton, $\phi = 0,65$.

A. Faktor respons gempa (C)

Faktor respons gempa C dinyatakan dalam percepatan gravitasi yang nilainya tergantung pada waktu getar alami struktural gedung dan kurvanya dicantumkan dalam spectrum respons gempa rencana yang ditunjukkan dalam Gambar 2.3.

Faktor respons gempa ditunjukkan pada gambar 2 SNI-03-1726-2002. dalam gambar tersebut C adalah faaktor respons gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi dan T adalah waktu getar alami struktur gedung yang dinyatakan dalam detik.



Gambar 2.3 Diagram respons spectrum gempa rencana

Sumber: SNI 1726-2002

B. Taksiran waktu getar alami struktur

Perhitungan taksiran waktu secara empiris sesuai dengan Method A dari UBC Section 1630.2.2, adalah :

$$T_{1/e} = C \times (h_n)^{3/4} \quad (41)$$

dimana:

C = Koefisien untuk bangunan beton bertulang (0,0731)

h_n= Tinggi gedung dalam m, diukur dari taraf penjepitan

C. Pembatasan waktu getar alami fundamental T₁

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alamai fundamental T₁ dari struktur gedung harus dibatasi, bergantung pada koefisien ζ untuk wilayah gempa tempat struktur gedung berada dan jumlah tingkatnya n pada Tabel 2.4

$$T_1 = \zeta \times n \quad (42)$$

dimana :

ζ = Koefisien yang tergantung wilayah gempa

n = Jumlah tingkat gedung yang tinjau

Tabel 2.4 Koefisien 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

Sumber: SNI 1726-2002

D. Beban gempa nominal static ekuivalen/beban geser dasar

Berdasarkan SNI 03 – 1726 – 2002.Pasal 6.1.2., Struktur gedung dapat direncanakan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam arah masing-masing sumbu utama denah tersebut.

Apabila kategori gedung memiliki faktor keutamaan I menurut Tabel 1 dan strukturnya untuk suatu arah sumbu utama denah struktur dan sekaligus arah pembebanan gempa rencana memiliki faktor reduksi R dan waktu getar alami fundamental T_1 , maka beban geser dasar nominal statik ekuivalen V yang terjadi di tingkat dasar dihitung dengan rumus :

$$V = \frac{C.I.Wt}{R} \quad (43)$$

Dimana :

V = Gaya geser dasar nominal

C = Faktor respons gempa

I = Faktor keutamaan gedung

W = Berat total gedung termasuk beban hidup yang bekerja

R = Faktor reduksi gempa

E. Distribusi gaya geser horisontal gempa

Menurut Beban geser dasar nominal V menurut pasal 6.1.2 harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_1 yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke-i dengan rumus : (SNI 03 – 1726 – 2002,Pasal 6.1.3)

$$F_i = \frac{W_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot z_i} = V \quad (44)$$

Dimana :

F_i = Gempa nominal statik ekuivalen

W_i = Berat lantai tingkat ke-i termasuk beban hidup

Z_i = Ketinggian lantai tingkat ke-i diukur dari taraf penjepitan lateral

2.5 **Software ETABS v 9.6.0**

2.5.1 **Sejarah Singkat Software Etabs**

Program ETABS (*Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems*) merupakan suatu program yang digunakan untuk melakukan analisis dan desain pada struktur bangunan dengan cepat dan tepat yang dikembangkan oleh perusahaan *Computers and Structures, Incorporated* (CSI) yang berlokasi di Barkeley, California, Amerika Serikat. Berawal dari penelitian dan pengembangan riset oleh Dr. Edward L. Wilson pada tahun 1970 di University of California, Barkeley Amerika Serikat, maka pada tahun 1975 didirikan perusahaan CSI oleh Ashraf Habibullah.

Selain program analisis struktur ETABS, ada beberapa program yang dikembangkan oleh CSI diantaranya program SAP, dan program SAFE. Ketiga program ini sudah dipakai dan diaplikasikan (teruji) di lapangan oleh konstruksi-konstruksi di lebih dari 100 negara di dunia.

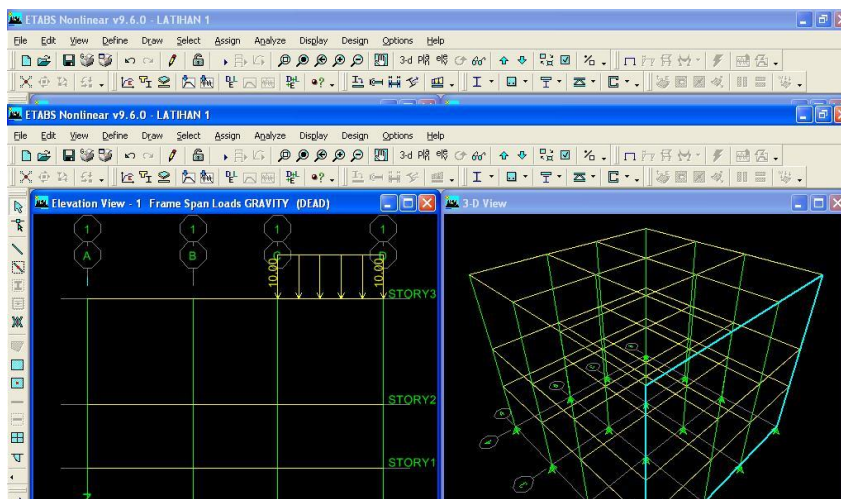
Program ETABS digunakan secara spesialis untuk analisis struktur *high rise building* seperti bangunan perkantoran, apartemen, rumah sakit, dan lain sebagainya. Dengan tampilan yang menarik dan aplikasi yang mudah digunakan, program ETABS akan sangat membantu dalam merencanakan serta menganalisis suatu struktur bangunan gedung berlantai banyak.

Program ETABS sendiri telah teruji aplikasinya di lapangan. Di Indonesia sendiri, konsultan-konsultan perencana struktur ternama telah menggunakan program ini untuk analisis struktur dan banyak gedung yang telah dibangun dari hasil perencanaan tersebut.

2.3.2 Kelebihan dan Kekurangan *Software* Etabs

Kelebihan *Software* ETABS adalah memiliki ketepatan mendesain dan menganalisis gedung bertingkat banyak karena bisa menghitung joint yang lebih banyak daripada aplikasi software lainnya, sebut saja software SAP2000 yang unggul pada pendesainan jembatan. Software ETABS disarankan dalam mendesain atau menganalisis kekuatan struktur bangunan berlantai banyak yang simetris, karena hasil *output* lebih efisien, ekonomis, dan teruji.

Kekurangan *software* ETABS adalah hanya lebih akurat digunakan pada proses desain dan analisis bangunan gedung saja, tetapi untuk ketepatan dan keunggulan dalam pendesaian jembatan dan bentuk struktur yang tidak simetris, software SAP jauh lebih unggul dan disarankan untuk dipakai daripada software ETABS.



Gambar 2.4 Contoh Pemodelan ETABS

Sumber: Aplikasi Perencanaan Struktur Gedung Dengan ETABS

Adapun sistem struktur yang di desain dalam Tugas Akhir ini berbentuk simetris, sehingga untuk perencanaan maupun analisis struktur ini, penulis memilih aplikasi *software* ETABS, untuk menganalisis gaya-gaya dalam struktur yang kemudian berdasarkan gaya-gaya dalam tersebut akan direncanakan dimensi tulangan dari struktur yang dibahas.

Dipilihnya *software* ini karena ketepatan dari perencanaan serta analisis struktur telah terbukti lebih baik dibandingkan dengan aplikasi *software* lainnya ditinjau dari kekuatan sampai hasil akhir dimensi penulangan yang keluar terbukti lebih efisien dan ekonomis.

2.6 Metode Pelaksanaan Struktur

Metode pelaksanaan struktur merupakan penjabaran tata cara dan teknik teknik persyaratan pekerjaan struktur. Adapun persyaratan teknis yang mendukung suatu metode pelaksanaan pekerjaan struktur sebelum memulai kegiatan konstruksi, seperti persyaratan struktur beton, dan persyaratan teknis metode pelaksanaan pekerjaan.

2.6.1 Persyaratan Struktur Beton

Menurut Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002), dalam perencanaan struktur beton bertulang harus dipenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

- Analisa struktur dilakukan dengan cara-cara mekanika teknik yang baku.
- Analisis dengan komputer, harus sesuai dengan penjelasan mengenai prinsip cara kerja program, data masukan serta penjelasan mengenai data keluaran.
- Percobaan model diperbolehkan bila diperlukan untuk menunjang analisis teoritis.

2.6.2 Persyaratan Teknis Metode Pelaksanaan

Menurut peraturan Menteri Pekerjaan Umum (2009), menyusun metode pelaksanaan pekerjaan struktur, diantaranya :

- Persyaratan alat kerja dan bahan bangunan.
- Persyaratan pekerjaan bekisting.
- Persyaratan detail penulangan.
- Persyaratan pekerjaan beton.

2.6.2.1 Persyaratan Peralatan Kerja

Alat kerja sangat berperan penting dalam menunjang keberhasilan suatu proyek, terutama dalam membantu melaksanakan pekerjaan-pekerjaan yang sulit dikerjakan dengan tangan manusia, sekaligus mempermudah, memperlancar dan memperbesar intensitas pekerjaan, serta menghindari pemborosan waktu, biaya dan tenaga kerja. Secara ringkas peralatan digunakan untuk efisiensi biaya waktu dan tenaga kerja dalam suatu proyek sehingga proyek sangat tergantung pada peralatan yang tersedia. Oleh karena itu, perlu adanya perawatan dan pemeliharaan alat kerja untuk menghindari resiko kerusakan alat kerja, (Wibowo A, 2011)

Dalam (SNI 03-4433-1997), menyebutkan peralatan untuk produksi beton siap pakai harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- Peralatan untuk menakar harus mempunyai ketelitian $\pm 3\%$ terhadap berat semen, air atau seluruh agregat yang sedang ditakar dan ketelitian $\pm 5\%$ untuk bahan tambahan yang sedang ditakar.
- Semua alat penakar harus dirawat baik agar selalu bersih dan siap pakai.
- Semua alat penakar harus ditepatkan titik nolnya setiap hari dan harus dikalibrasi setiap enam bulan.
- Mesin pengaduk harus memenuhi persyaratan standar yang berlaku untuk standar lain yang disepakati bersama.

Secara umum tujuan penggunaan alat kerja dalam pelaksanaan proyek, baik itu alat berat maupun ringan bertujuan untuk :

- Mempercepat penyelesaian pekerjaan.
- Meningkatkan kualitas dan kuantitas pekerjaan.
- Meningkatkan efisiensi dan produktifitas pekerjaan.
- Menghemat biaya.

2.6.2.2 Persyaratan Bahan Bangunan

Berdasarkan Keputusan Menteri Pekerjaan Umum (1998), bahan untuk struktur yang digunakan harus memenuhi semua persyaratan keamanan, termasuk keselamatan terhadap lingkungan dan pengguna bangunan, serta sesuai standar teknis yang terkait. Bahan yang dibuat atau dicampurkan di lapangan harus diproses sesuai dengan standar tata cara yang baku untuk keperluan yang dimaksud. Bahan bangunan perfabrikasi harus dirancang sehingga memiliki sistem hubungan yang baik dan mampu mengembangkan kekuatan bahan-bahan yang dihubungkan serta mampu bertahan terhadap gaya angkat pada saat pelaksanaan.

Penggunaan bahan yang tepat akan sangat mempengaruhi kualitas bangunan yang dikerjakan, demikian juga penyediaan bahan yang sangat sesuai dengan jadwal akan sangat mempengaruhi kelancaran pelaksanaan pekerjaan. Penyediaan bahan tambah bangunan harus sesuai dengan item pekerjaan yang telah ditentukan dalam *time schedule* (Wibowo A, 2004)

1. Agregat

Menurut (SNI 03-2847-2002), agregat merupakan material granular, misalnya pasir, kerikil, dan batu pecah, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau aduka semen hidrolik. Ketentuan dalam penggunaan pada pekerjaan struktur beton, dilakukan menurut (SNI 03-2847-2002), antara lain :

- Agregat untuk beton harus memenuhi salah satu ketentuan Spesifikasi Agregat Untuk Beton (ASTM C 33)
- Ukuran maksimum nominal agregat kasar harus tidak melebihi :
 - 1/5 jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan, ataupun
 - 1/3 ketebalan plat lantai, ataupun
 - 3/4 jarak bersih minimum antara tulangan-tulangan atau kawat-kawat, atau bundel tulangan.

2. Air

Ketentuan penggunaan air berdasarkan persyaratan yang diberlakukan, dalam hal ini ditetapkan menurut (SNI 03-2847-2002), antara lain :

- Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan
- Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali memenuhi ketentuan dalam pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.

3. Baja Tulangan

Ketentuan penggunaan baja tulangan berdasarkan persyaratan yang berlaku, dalam hal ini ditetapkan menurut (SNI 03-2847-2002), antara lain :

- Baja tulangan yang digunakan harus tulangan ulir, kecuali baja polos diperkenankan untuk tulangan spiral atau tendon
- Baja tulangan ulir (BJTD) harus memenuhi ketentuan Spesifikasi Untuk Baja Ulir dan Polos *Low-alloy* untuk Penulangan Beton (ASTM A 706M)

- Jaringan kawat polos untuk sengkang harus memenuhi Spesifikasi Untuk Jaringan Kawat Baja Polos Untuk Penguatan Beton (ASTM A 185).

4. Semen

Menurut (SNI 03-4433-1997), Semen untuk campuran beton dapat memakai jenis-jenis semen Portland yang memenuhi mutu dan cara uji semen portland. Bahan semen untuk campuran beton harus disimpan sedemikian rupa untuk mencegah kerusakan atau pengaruh bahan yang dapat mengganggu, setiap bahan yang telah terganggu atau terkontaminasi tidak boleh digunakan untuk pembuatan beton.

Proses pencampuran bahan tambahan yang disyaratkan, adalah sebagai berikut:

- Semua bahan beton harus diaduk secara seksama dan harus dituangkan seluruhnya sebelum pencampuran disis kembali.
- Beton siap pakai harus dicampur dan diantarkan

2.6.2.3 Persyaratan Pekerjaan Bekisting

Bekisting merupakan struktur sementara yang berfungsi sebagai alat bantu dalam membentuk beton dimana perkembangannya sejalan dengan perkembangan beton itu sendiri. Bekisting berfungsi sebagai acuan untuk mendapatkan bentuk profil yang diinginkan serta sebagai penampung dan penumpu sementara beton basah selama proses pengeringan. Dengan adanya inovasi teknologi dalam bidang bekisting, saat ini produksi dilakukan oleh pabrik dengan desain sedemikian rupa sehingga bekisting mudah dibongkar, dipasang serta memungkinkan untuk dimanfaatkan lebih dari satu kali.

Proses pembongkaran bekisting bergantung pada kecepatan mengerasnya beton, dan baru dibongkar setelah ditanyakan aman. Pembuatan dan pemasangan bekisting tergantung dari banyak faktor yang mempengaruhi yaitu bahan yang tersedia atau yang diperlukan, cara dan pengadaan tenaga kerja, tuntutan akan hasil pengerjaan yang dibutuhkan terutama terutama dalam hal akurasi dan kerapian serta biaya alat-alat yang digunakan.

Pengangkatan beton pada bekisting dapat dihindari dengan melumasi penampang bekisting yang bersentuhan itu dengan minyak bekisting. Namun pemakaian minyak bekisting tidak boleh terlalu banyak karena dapat merubah warna permukaan beton. Apabila papan bekisting dikerjakan dengan sederhana, maka papan bekisting dapat dipakai sekitar 3 sampai 5 kali. Sedangkan untuk balok persegi dan bulat dapat dipakai sekitar 7 sampai 10 kali. Bekisting hendaknya disusun rapih sehingga dapat dipergunakan kembali. (Widhyawati, Yana, et.al 2010)

Menurut (SNI 03-2847-2002), pelaksanaan pekerjaan harus memenuhi persyaratan yang diberlakukan. Dalam hal ini perencanaan bekisting, pembongkaran bekisting dan penopang, serta penopang kembali.

1. Perencanaan Bekisting

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan bekisting, adalah sebagai berikut :

- Bekisting harus menghasilkan struktur akhir yang memenuhi bentuk, garis, dan dimensi komponen struktur seperti yang disyaratkan pada gambar rencana dan spesifikasi
- Bekisting harus kuat dan cukup rapat untuk mencegah kebocoran mortar
- Bekisting harus diperkaku dan diikat dengan baik untuk mempertahankan posisi dan bentuknya.
- Bekisting dan tumpuannya harus direncanakan sedemikian sehingga tidak merusak struktur yang dipasang sebelumnya.
- Perencanaan bekisting harus menyertakan pertimbangan faktor-faktor sebagai berikut :
 - Kecepatan dan metode pengecoran beton
 - Beban selama konstruksi, termasuk beban-beban vertikal, horisontal, dan tumbukan.
 - Persyaratan-persyaratan cetakan khusus untuk konstruksi cangkang, plat lipat, kubah, beton arsitektural atau elemen-elemen sejenis.
- Bekisting untuk elemen struktur beton harus dirancang dan dibuat sedemikian rupa hingga elemen struktur dapat bergerak tanpa menimbulkan kerusakan pada saat gaya prategang di aplikasikan

2. Pembongkaran Bekisting dan Penopang, Serta Penopangan Kembali

a. Pembongkaran Bekisting

Bekisting harus dibongkar dengan cara-cara yang tidak mengurangi keamanan dan kemampuan layan struktur. Beton yang akan dipengaruhi oleh pembongkaran cetakan harus memiliki kekuatan cukup sehingga tidak akan rusak oleh operasi pembongkaran. Pembongkaran bekisting dapat dilakukan minimal 2-3 hari setelah pengecoran, dengan syarat bekisting tidak menerima beban.

b. Pembongkaran penopang dan penopangan kembali

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan pembongkaran penopang dan penopangan kembali, adalah sebagai berikut :

- Sebelum dimulainya pekerjaan konstruksi, kontraktor harus embuat prosedur dan jadwal untuk pembongkaran penopang dan pemasangan kembali penopang
- Analisis struktur dan data kekuatan beton yang dipakai dalam perencanaan dan pembongkaran cetakan dan penopang dan pemasangan kembali penopang harus diserahkan oleh kontraktor kepada pengawas lapangan apabila diminta
- Berdasarkan ketentuan-ketentuan yang berlaku untuk plat lantai dan balok dimana tidak boleh ada beban konstruksi yang bertumpu pada struktur, juga tidak boleh ada penopang dibongkar dari suatubagian struktur yang sedang dibangun. Kecuali apabila bagian dari struktur tersebut bersama-sama dengan bekisting dan penopang yang tersisa memiliki kekuatan yang memadai untuk menopang berat sendirii dan bebannn yannnggg ditumpukan kepadanya.
- Penopang cetakan untuk beton prategang tidak boleh dibongkar sampai kondisi gaya prategang yang telah diaplikasikan mencukupi bagi komponen struktur prategang tersebut untuk memikul beban matinya dan beban kostruksi yang diantisipasi.

2.6.2.4 Persyaratan Perancah

Konstruksi bekisting untuk struktur yang mendukung bebas terdiri dari suatu konstruksi penyangga dari perancah kayu atau perancah baja bersekrup/*scaffolding* (Widhyawati, et.al 2010)

1. Perancah Kayu atau Bambu

Umumnya diletakan dibagian atas gelagar balok yang cukup panjang dan lebarnya, untuk mencegah bekisting melesak. Penyetelan tinggi perancah dapat menggunakan bantuan dua biji kayu yang dapat digeser. Perancah ini termasuk tipe penyangga tradisional

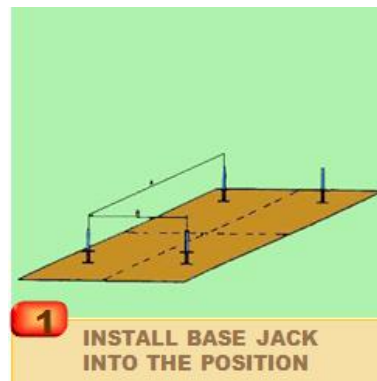
2. Perancah baja Bersekrup (*Scaffolding*).

Merupakan jenis perancah dengan bermacam-macam panjang dan besarnya. Keunggulan perancah baja selain pemasangannya yang muda dan cepat, perancah ini juga mampu menyangga beban sampai dengan 5-20 kN (500-2000 kg). Perancah baja sekrup terdiri dari dua pipa baja yang disambung dengan selubung sekrup atau mur penyetl. Penggunaan perancah baja bersekrup membutuhkan pengawasan serta ketelitian dan pemasangannya. Penyetelan dari perancah kayu atau perancah baja bersekrup (*scaffolding*) memerlukan persyaratan seperti dibawah ini :

- Perancah harus berdiri tegak lurus. Hal ini berguna untuk mencegah perubahan bekisting akibat ari gaya-gaya horisontal. Penyetelan dalam arag tegak lurus arus dengan *waterpass*.
- Bila beberapa lantai bertingkat akan dicor berurutan, maka lendutan akibat dari lantai yang telah mengeras harus dihindarkan dengan menempatkan perancah diperpanjang sebaik mungkin.
- Tempat dar perancah perlu dipilih sedemikian rupa sehingga beban-eban dapat terbagi serta mungkin. Hal ini berguna untuk mencegah perubahan bentuk yang berbeda-beda akibat dari perpendekan elastis perancah yang timbul karena pembebanan dan perbedaan penurunan tanah.

Langkah-langkah dalam pemasangan perancah *scaffolding* menurut (Wibowo A, 2004), adalah sebagai berikut :

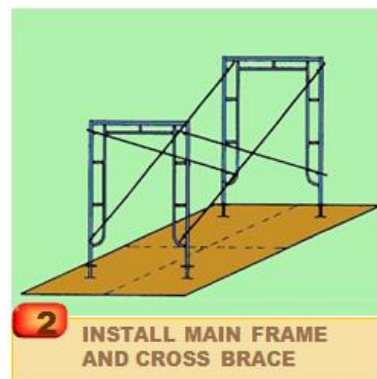
- a. Memasang *Jack Base*, yaitu bagian yang terdapat dibagian paling awah, dilengkapi dengan ulir untuk mengatur ketinggian, Gambar 2.5



Gambar 2.5 Pemasangan Jack Base dan main frame

Sumber : Wibowo A, 2004

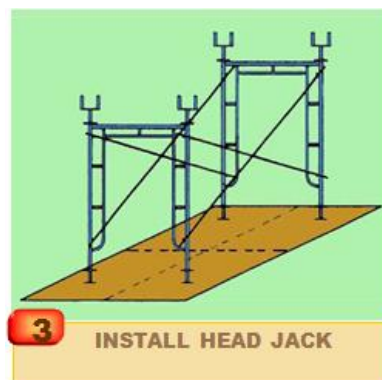
- b. Memasang *main frame*, yaitu portal besi yang dirangkai diatas *jack base*
- c. Memasang *cross brace*, yaitu penghubungan dua *main frame* dipasang arah melintang, Gambar 2.6



Gambar 2.6 Pemasangan cross brace

Sumber: Wibowo A, 2004

- d. Memasang *U Head*, yaitu bagian atas *main frame* dan *leader* yang berfungsi untuk menyangga balok kayu pada bagian bekisting. *Head Jack* kemudian di fungsikan menopang kayu yang nantinya akan menjadi dasar sehingga dududkan bekisting balok, Gambar 2.7.
- e. Setelah selesai pemasangan perancah dilanjutkan pemasangan bekisting , dengan pertimbangan perancah telah siap dalam menopang pekerjaan bekisting balok.



Gambar 2.7 Pemasangan Head Jack

Sumber : Wibowo A, 2004

2.6.2.5 Persyaratan Detail Penulangan

Menurut (SNI 03-2847-2002), tulangan merupakan batang baja berbentuk polos atau berbentuk ulir yang berfungsi untuk menahan gaya tarik pada komponen struktur beton. Dalam penulangan beton terdapat berbagai tulangan sebagai komponen baja yang menjadi bahan utama dalam pekerjaan struktur, dalam hal ini :

- Tulangan polos, yaitu batangan baja yang permukaan sisi luarnya rata, tidak bersirip dan tidak berukir
- Tulangan ulir, batangan baja yang permukaan sisi luarnya tidak rata, tetapi bersirip atau berukir.
- Tulangan spiral, tulangan yang dililitkan secara menerus membentuk suatu ulir lingkaran silindris
- Sengkang, tulangan yang digunakan untuk menahan tegangan geser dan torsi dalam suatu komponen struktur, terbuat dari batangan tulangan, kawat baja persegi dan dipasang tegak lurus atau membentuk sudut terhadap tulangan longitudinal, dipakai pada komponen struktur lentur balok.

1. Kait Standar

Kait standar dalam pembengkokan tulangan harus memenuhi ketentuan dalam (SNI 03-2847-2002), seperti :

- Bengkokkan 180° ditambah perpanjangan 4db, tapi kurang dari 60 mm pada ujung bebas kait.
- Bengkokkan 90° ditambah perpanjangan 12db pada ujung bebas kait.

- Untuk sengkang dan kait pengikat :
 - Untuk batang D-16 mm dan yang lebih kecil, bengkokan 90° ditambah perpanjangan $6d_b$ pada ujung bebas kait.
 - Untuk batang D-19 mm, D-22 mm, dan D-25 mm, bengkokan 90° ditambah perpanjangan $12d_b$ pada ujung bebas kait

Keterangan :

D = jarak dari serat tekan terluar terhadap titik berat tulangan tarik

d_b = diameter nominal batang tulangan

2. Diameter Bengkokan Minimum

Diameter bengkokan minimum dalam pembengkokan tulangan harus memenuhi ketentuan dalam (SNI 03-2847-2002), dalam hal ini :

- Diameter bengkokan yang diukur pada bagian dalam batang tulangan tidak boleh kurang dari nilai dalam (Tabel 2.5), ketentuan ini tidak berlaku untuk sengkang dan sengkang ikat dengan ukuran D-10 mm hingga D-16 mm.
- Diameter dalam dari bengkokan untuk sengkang dan sengkang ikat tidak boleh kurang dari $4d_b$ untuk batang D-16 mm dan yang lebih kecil.
- Untuk batang yang lebih besar dari pada D-16 mm, diameter bengkokan harus memenuhi (tabel 2.5)

Tabel 2.5 Diameter Bengkokan Minimum Sengkang

Ukuran tulangan	Diameter minimum
D-10 sampai dengan D-25	$6d_b$
D-29, D-32, dan D-36	$8d_b$
D-44 dan D-56	$10d_b$

Sumber : SNI 03-2847-2002

3. Cara Pembengkokan

Proses pembengkokan harus memenuhi ketentuan dalam (SNI 03-2847-2002), seperti :

- Toleransi letak tulangan longitudinal dari bengkokan dan ujung akhir tulangan harus sebesar 50 mm kecuali pada ujung tidak menerus dari komponen struktur dimana toleransinya harus sebesar 13 mm.
- Cara pembengkokan yaitu semua tulangan harus dibengkokn dalam keadaan baik. Tulangan yang sebagian sudah tertanam di dalam beton tidak boleh dibengkokan di lapangan, kecuali seperti yang ditentukan pada gambar rencana, atau diizinkan oleh pengawas lapangan.

4. Selimut Beton

Ketentuan toleransi untuk tinggi d dan selimut beton minimum dalam komponen struktur lentur dan komponen struktur lentur dan komponen struktur tekan harus memenuhi ketentuan toleransi tinggi dan selimut beton minimum dalam (Tabel 2.6).

Tabel 2.6 Toleransi Tinggi dan Selimut Beton Minimum

	Toleransi untuk d	Toleransi untuk selimut Beton minimum
$d \leq 200 \text{ mm}$	$\pm 10 \text{ mm}$	-10 mm
$d > 200 \text{ mm}$	$\pm 13 \text{ mm}$	-13 mm

Sumber : SNI 03-2847-2002

Keterangan :

d = Jarak dari serat tekan terluar terhadap titik berat tulangan tarik.

5. Batasan Spasi Tulangan

Batasan spasi tulangan harus memenuhi ketentuan, dimana tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih. Tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antar lapisan tidak boleh kurang dari 25 mm. Pada komponen struktur tekan yang

deberi tulangan spiral atau sengkang pengikat, jarak bersih antar tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari $1,5d_b$ (diameter tulangan)

6. Sengkang Pengikat

Ketentuan untuk penulangan sengkang pengikat pada komponen struktur tekan, dilaksanakan sebagai berikut :

- Semua batang tulangan non prategang harus diikat dengan sengkang dan sengkang ikat laterak, paling sedikit ukuran D-10 mm untuk tulangan longitudinal lebih kecil dari D-32 mm, dan paling tidak D-13 mm untuk tulangan D-36 mm, D-4 mm, dan D-56.
- Sengkang ikat harus diatus sedemikian hingga setiap sudut dan tulangan longitudinal yang berselang harus mempunyai dukungan lateral atau perkuatan sisi yang didapat dari sudut sebuah sengkang
- Jika terdapat balok atau konsol (satu ujungnya terpasang pada suatu penopang tetap dan ujung lainnya bebas) pendek yang merangka pada keempat sisi suatu tulangan kolom, sengkang dan sengkang ikat boleh dihentikan pada lokasi tidak lebih dari 75 mm di bawah tulangan terbawah dari balok atau konsol pendek yang paling kecil dimensi vertikalnya.

7. Pelindung Beton Untuk Tulangan

Beton bertulang dengan tebal selimut beton minimum harus disediakan, dengan tulangan harus memenuhi ketentuan dalam persyaratan tebal minimum selimut beton dalam (Tabel 2.7)

Tabel 2.7 Persyaratan Tebal Minimum Selimut Beton

	Tebal selimut minimum (mm)
a) Beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	75
b) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca: Batang D-19 hingga D-56..... Batang D-16, jaringan kawat polos P16 atau kawat ulir D16 dan yang lebih kecil.....	50 40
c) Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau beton tidak langsung berhubungan dengan tanah : <u>Pelat, dinding, pelat berusuk :</u> D 16 dan yang lebih kecil..... Batang D-36 dan yang lebih kecil..... <u>Balok, kolom :</u> Tulangan utama, pengikat, sengkang, lilitan spiral <u>Komponen struktur cangkang, pelat lipat :</u> Batang D-19 dan yang lebih besar..... Batang D-16, jaring kawat polos p16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil.....	 40 20 40 20 15

Sumber : SNI 03-2847-2002

2.6.2.6 Persyaratan Pekerjaan Beton

Menurut (SNI 03-2847-2002), beton merupakan campuran antara semen portland atau semen hidrulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah luas tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja. Ketentuan pekerjaan beton dalam hal ini meliputi proses pemilihan dan pencampuran beton, pengantaran, pengecoran, perawatan beton setelah pengecoran, sampai pada evaluasi dan penerimaan beton.

1. Pemilihan Campuran Beton

Menurut (SNI 03-2847-2002), terdapat beberapa hal yang perlu untuk diperhatikan dalam pemilihan campuran beton, dalam hal ini.

- Proporsi material untuk campuran beton harus ditentukan untuk menghasilkan sifat-sifat :
 - Kecelakaan dan konsistensi yang menjadikan beton mudah dicor kedalam cetakan dan celah di sekeliling tulangan dengan berbagai kondisi pelaksanaan pengecoran yang harus dilakukan, tanpa terjadinya segregasi berlebih
 - Ketahanan terhadap lingkungan
- Untuk setiap campuran beton yang berbeda, baik dari aspek material yang digunakan ataupun proporsi campurannya harus dilakukan pengujian.
- Proporsi beton, termasuk rasio air-semen, dapat ditetapkan sesuai dengan perancangan proporsi campuran berdasarkan pengalaman lapangan dan hasil campuran uji, yaitu :
 - Harus terdiri dari satu catatan hasil uji lapangan, beberapa catatan hasil uji kuat tekan, atau hasil uji campuran percobaan.

2. Pencampuran

Menurut (SNI 03-2847-2002), pencampuran merupakan adukan antara agregat dan semen portland atau jenis semen hidrolik yang lain dan air. Dalam proses pencampuran terdapat bahan agregat halus dan agregat kasar sebagai bahan utama. Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir sebesar 5mm, sementara agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir 5 mm – 40 mm.

Adukan beton yang dicampur di lapangan harus memenuhi ketentuan yang diberlakukan dalam (SNI 03-2847-2002), dalam hal ini :

- Semua bahan beton harus diaduk secara seksama dan harus dituangkan seluruhnya sebelum pencampur diisi kembali

- Beton siap pakai harus dicampurkan diantarkan sesuai persyaratan (SNI 03-4433-1997), untuk Spesifikasi Beton Siap Pakai.
- Adukan beton yang dicampur di lapangan harus dibuat sebagai berikut:
 - Pencampuran harus dilakukan dengan menggunakan jenis pencampur yang telah disetujui
 - Mesi pencampur harus diputar dengan kecepatan yang disarankan oleh pabrik pembuat.
 - Pencampuran harus dilakukan secara terus menerus selama sekurang-kurangnya 1½ menit setelah semua bahan berada dalam wadah pencampur, kecuali bila dapat diperhatikan bahwa waktu yang lebih singkat dapat memenuhi persyaratan uji keseragaman campuran berdasarkan Spesifikasi Beton Siap Pakai (SNI 03-4433-1997)
- Pengolahan, penakaran, dan pencampuran bahan harus memenuhi aturan yang berlaku berdasarkan Spesifikasi Beton Siap Pakai (SNI 03-4433-1997)
- Catatan rinci harus disimpan dengan data-data yang meliputi :
 - Jumlah adukan yang dihasilkan;
 - Proporsi bahan yang digunakan;
 - Perkiraan lokasi pengecoran pada struktur;
 - Tanggal dan waktu pencampuran dan pengecoran.

3. Pengantaran

Menurut (SNI 03-2847-2002), terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pengantaran campuran beton, dalam hal ini :

- Beton harus diantarkan dari suatu tempat pencampuran ke lokasi pengecoran dengan cara-cara yang dapat mencegah terjadinya pemisahan (*segregasi*) atau hilangnya bahan.
- Peralatan pengantaran harus mampu mengantarkan beton ke tempat pengecoran tanpa pemisahan bahan dan tanpa sela yang dapat mengakibatkan hilangnya plastisitas campuran.

4. Pengecoran

Menurut (SNI 03-2847-2002), terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses pengecoran beton, seperti :\

- Beton harus dicor sedekat mungkin pada posisi akhirnya untuk menghindari terjadinya segregasi akibat penanganan kembali atau segregasi akibat pengaliran
- Pengecoran beton harus dilakukan dengan kecepatan sedemikian hingga beton selama pengecoran tersebut tetap dalam keadaan plastis dan dengan mudah dapat mengisi ruang di antara tulangan.
- Beton yang telah mengeras sebagian atau beton yang telah terkontaminasi oleh bahan lain tidak boleh digunakan untuk pengecoran
- Beton yang ditambah dengan air lagi atau beton yang telah dicampur ulang setelah pengikatan awal tidak boleh digunakan, kecuali bila disetujui oleh pengawas lapangan.
- Setelah dimulainya pengecoran, maka pengecoran tersebut harus dilakukan secara terus menerus hingga mengisi secara penuh panel atau penampang sampai batasnya, atau sambungan yang ditetapkan.
- Permukaan atas cetakan vertikal secara umum harus datar
- Semua beton harus dipadatkan secara menyeluruh dengan menggunakan peralatan yang sesuai selama pengecoran dan harus diupayakan mengisi sekeliling tulangan dan seluruh celah dan masuk ke semua sudut cetakan.
- Kondisi permukaan baja tulangan pada saat beton dicor harus bebas dari lumpur, minyak, atau segala jenis zat pelapis bukan logam yang dapat mengurangi kapasitas lekatan.

5. Perawatan Beton Setelah Pengecoran

Menurut (SNI 03-2847-2002), terdapat ketentuan yang perlu diperhatikan dalam perawatan beton setelah pengecoran, dalam hal ini :

- Beton harus dirawat pada suhu di atas 10°C dan dalam kondisi lembab untuk sekurang-kurangnya selama 7 hari setelah pengecoran.
- Beton kuat awal tinggi harus dirawat pada suhu di atas 10°C dan dalam kondisi lembab untuk sekurang-kurangnya selama 3 hari pertama.
- Proses perawatan harus sedemikian hingga beton yang dihasilkan mempunyai tingkat keawetan paling tidak sama dengan yang dihasilkan oleh metode perawatan pada perawatan beton setelah pengecoran.

- Bila diperlukan oleh pengawas lapangan, maka dapat dilakukan penambahan uji kuat tekan beton sesuai dengan perawatan benda uji dilapangan untuk menjamin bahwa proses perawatan yang dilakukan telah memenuhi persyaratan.

6. Evaluasi dan Penerimaan Beton

Dalam (SNI 03-2847-2002), menyebutkan untuk memenuhi ketentuan evaluasi dan penerimaan beton setelah pengecoran, harus melalui proses pengujian beton yang diuji coba dalam frekuensi pengujian.

a. Pengujian Beton

- Beton harus diuji dengan teknisi pengujian lapangan yang memenuhi kualifikasi harus melakukan pengujian beton segar di lokasi konstruksi.
- Menyiapkan contoh-contoh uji silinder yang diperlukan dan mencatat suhu beton segar pada saat menyiapkan contoh uji untuk pengujian kuat tekan. Teknisi laboratorium yang mempunyai kualifikasi harus melakukan semua pengujian-pengujian laboratorium yang disyaratkan.

b. Frekuensi pengujian

- Pengujian masing-masing mutu beton yang dicor setiap harinya haruslah dari satu contoh uji per hari, atau tidak kurang dari satu contoh uji untuk setiap 120 m^3 beton.
- Pada suatu pengerjaan pengecoran, jika volume total adalah sedemikian hingga frekuensi pengujian yang disyaratkan oleh pengujian kekuatan masing-masing mutu beton yang dicor setiap harinya hanya akan menghasilkan jumlah uji kekuatan beton kurang dari 5 untuk suatu mutu beton, maka contoh uji harus diambil dari paling sedikit 5 adukan yang dipilih secara acak atau dari masing-masing adukan bila mana jumlah adukan yang digunakan adalah kurang dari 5
- Contoh untuk uji kuat tekan harus diambil menurut metode pengujian dan pengambilan contoh untuk campuran beto segar (SNI 03-2458-1991). Benda uji silinder yang digunakan untuk uji kuat tekan harus

dibentuk dan dirawat di laboratorium menurut metode pembuatan dan perawatan benda uji di lapangan (SNI 03-4810-1998), dan diuji menurut metode pengujian kuat tekan beto (SNI 03-1978-1990).

- Jika volume total dari suatu mutu beton yang digunakan kurang dari 40 m³ maka pengujian kuat tekan tidak perlu dilakukan bila bukti terpenuhinya kuat tekan diserahkan dan disetujui oleh pengawas lapangan.