



## BAB II

# LANDASAN TEORI

Dalam perencanaan suatu struktur, pembeban merupakan hal yang penting untuk diperhatikan karena dalam perencanaan dimensi tiap-tiap struktur sangat tergantung dari beban-beban yang bekerja. Sistem struktur ini dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain : panjang bentang, besarnya beban, dan fungsi bangunan tersebut. Pembebanan dilakukan dengan cara konvensional yang artinya pada waktu pelimpahan beban, beban pelat dilimpahkan ke balok yang diteruskan ke kolom dan dari kolom diteruskan ke pondasi.

### 2.1 PEMBEBANAN STRUKTUR

Ketentuan mengenai pembebanan didasarkan pada SNI 03-1727-1989  
Pembebanan Gedung antara lain :

Struktur gedung direncanakan kekuatannya terhadap :

- Beban Mati ( *Dead Load, D* )
- Beban Hidup ( *Live Load, L* )
- Beban Gempa ( *Earthquake Load, E* )
- Beban Angin ( *Wind Load, W* )

Untuk keadaan tertentu beban mati dan beban hidup dapat dikalikan suatu koefisien reduksi. Pengurangan beban-beban tersebut harus dilakukan apabila hal itu menghasilkan keadaan yang lebih berbahaya untuk struktur atau unsur struktur yang ditinjau.



### 2.1.1 Beban Mati (*Dead Load, D*)

Beban mati ialah 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 dalam menentukan beban mati dari suatu gedung, harus diambil menurut tabel 2.1 PPIUG 1983 (Bab 2 pasal 2.2).
2. Apabila dengan bahan 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 itu. Penyimpangan ini dapat terjadi terutama pada pasir (antara lain pasir besi), koral (antara lain koral kwarsa), batu pecah, batu alam, batu bata, genteng dan beberapa jenis kayu.
3. Berat sendiri dari bahan bangunan dan dari komponen gedung yang tidak tercantum dalam tabel 2.1 harus ditentukan tersendiri.

Berat sendiri bahan bangunan menurut tabel 2.1 Peraturan

Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (Bab 2 pasal 2.2) adalah :

1. Beton bertulang..... 2.400 kg/m<sup>3</sup>
2. Baja ..... 7.850 kg/m<sup>3</sup>



3. Kayu kelas 1 .....	1.000 kg/m <sup>3</sup>
4. Batu pecah.....	1.450 kg/m <sup>3</sup>
5. Pasangan bata merah.....	1.700 kg/m <sup>3</sup>
6. Pasangan batu karang.....	1.450 kg/m <sup>3</sup>
7. Pasir (kering udara sampai lembab) .....	1.600 kg/m <sup>3</sup>
8. Pasir (jenuh air).....	1.800 kg/m <sup>3</sup>

Berat sendiri komponen gedung menurut tabel 2.1 Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (Bab 2 pasal 2.2) adalah:

1. Adukan, per cm tebal :
  - dari semen ..... 21 kg/m<sup>2</sup>
  - dari kapur, semen merah atau tras ..... 17 kg/m<sup>2</sup>
2. Dinding pasangan bata merah dengan :
  - satu batu ..... 450 kg/m<sup>2</sup>
  - setengah batu..... 250 kg/m<sup>2</sup>
3. Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku) :
  - semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm adalah 11 kg/m<sup>2</sup>.
  - kaca, dengan tebal 3 - 4 mm adalah 10 kg/m<sup>2</sup>.
4. Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. minimum 0,8 m adalah 7 kg/m<sup>2</sup>.
5. Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso, per m<sup>2</sup> adalah 50 kg/m<sup>2</sup>.



6. Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal adalah  $24 \text{ kg/m}^2$ .

#### **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 kemandapan suatu struktur atau unsur struktur suatu gedung, maka dalam meninjau kemandapan tersebut menurut pasal 1.3 PPIUG 1983, beban mati tersebut harus dikalikan dengan koefisien reduksi 0,9.

#### **2.1.2 Beban Hidup ( *Live Load, L* )**

Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya 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.

##### **a. Beban Hidup Pada Lantai Gedung**

Beban hidup pada lantai gedung harus diambil menurut tabel 2.1 kedalam beban hidup tersebut sudah termasuk perlengkapan ruang sesuai dengan kegunaan



lantai ruangan yang bersangkutan, dan juga dinding–dinding pemisah ringan dengan berat tidak lebih dari  $100 \text{ kg/m}^1$ . Beban-beban berat, misalnya disebabkan oleh lemari-lemari arsip dan perpustakaan serta oleh alat-alat, mesin-mesin dan barang-barang lain tertentu yang sangat berat, yang harus ditentukan sendiri.

Adapun beban hidup pada lantai gedung :

- Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, hotel, restoran, asrama, dan rumah sakit.....  $250 \text{ kg/m}^2$
- Lantai ruang olah raga.....  $400 \text{ kg/m}^2$
- Lantai ruang dansa .....  $500 \text{ kg/m}^2$
- Lantai dan balkon-balkon dalam untuk lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama, rumah sakit, masjid, gereja, ruang pergelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap.....  $400 \text{ kg/m}^2$
- Tangga, bordes tangga, dan gang untuk lantai sekolah, toserba, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama, rumah sakit.....  $300 \text{ kg/m}^2$
- Lantai untuk : pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat, dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri dengan minimum .....  $400 \text{ kg/m}^2$
- Lantai gedung bertingkat :
  - Untuk lantai bawah .....  $800 \text{ kg/m}^2$



- Untuk lantai tingkat lainnya ..... 400 kg/m<sup>2</sup>
- Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum ..... 300 kg/m<sup>2</sup>

### b. Beban Hidup Pada Atap Gedung

Beban hidup pada atap dan/atau bagian atap serta pada struktur tudung (*canopy*) yang dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil minimum sebesar 100 kg/m<sup>2</sup> bidang datar.

### c. Reduksi Beban Hidup

Reduksi beban hidup dilakukan karena peluang untuk tercapainya suatu prosentase tertentu dari beban hidup yang membebani struktur pemikul suatu gedung selama umur gedung tersebut, bergantung pada bagian atau unsur struktur yang ditinjau. Berhubung peluang untuk terjadinya beban hidup penuh yang membebani semua bagian dan unsur struktur pemikul secara serempak selama umur gedung tersebut adalah sangat kecil, maka beban hidup tersebut dapat dikalikan dengan suatu koefisien reduksi.

Koefisien reduksi beban hidup sesuai dengan Peraturan Pembebanan

Indonesia Untuk Gedung 1983, pasal 3.5, tabel 3.3 adalah :



Tabel 2.1 Reduksi Beban Hidup

Penggunaan gedung	Koefisien reduksi beban hidup	
	Untuk perencanaan balok induk dan portal	Untuk peninjauan gempa
1. Perumahan/Penghunian : Rumah tinggal, Hotel	0,90	0,30
2. Gang dan tangga : Perumahan/penghunian	0,75	0,30

Sumber : Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983

### 2.1.3 Beban Gempa ( *Earthquake Load, E* )

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat beban gempa itu. Dalam hal pengaruh gempa pada struktur gedung ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik, maka yang diartikan dengan beban gempa disini adalah gaya-gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh gerakan tanah akibat gempa tersebut. Untuk menentukan besarnya beban gempa ada dua metode yang dapat digunakan yaitu : Analisa Gempa Statik Ekivalen dan Analisa Gempa Dinamis. Didalam perencanaan gedung ini akan digunakan metode Analisa Gempa Dinamis.

#### a. Metode Analisa Gempa Dinamis.

Beban dinamis adalah beban yang besar dan arahnya berubah sebagai fungsi dari waktu dan perubahannya yang sangat cepat, sehingga menimbulkan gerakan (*deformasi*) yang sangat cepat pula pada konstruksi. Analisa gempa dinamis adalah untuk menentukan pembagian gaya geser



tingkat akibat gerakan tanah oleh gempa. Analisa dinamis digunakan apabila bangunan tidak memenuhi syarat-syarat untuk analisa beban statik ekuivalen.

Dalam hal ini analisa dinamis dilakukan untuk bangunan sebagai berikut :

- Gedung-gedung yang strukturnya sangat tidak beraturan.
- Gedung-gedung dengan loncatan bidang muka yang besar.
- Gedung-gedung dengan kekuatan tingkat yang tidak merata.
- Gedung-gedung yang tingginya lebih dari 40 meter.
- Gedung-gedung yang bentuk, ukuran dan penggunaannya tidak umum.

Daktilitas struktur gedung tidak beraturan harus ditentukan yang representatif mewakili daktilitas 3 Dimensi. Tingkat daktilitas tersebut dapat dinyatakan dalam faktor reduksi gempa  $R$  representatif, yang nilainya dapat dihitung sebagai nilai rata-rata berbobot dari faktor reduksi gempa untuk 2 arah sumbu koordinat ortogonal dengan gaya geser dasar yang dipikul oleh struktur gedung dalam masing-masing arah tersebut sebagai besaran pembobotnya menurut persamaan :

$$R = \frac{V_x^0 + V_y^0}{V_x^0 / R_x + V_y^0 / R_y} \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana :

$R$  = faktor reduksi gempa

$R_x$  = faktor reduksi gempa untuk pembebanan gempa arah x

$V_x^0$  = gaya geser dasar dalam arah sumbu x

$R_y$  = faktor reduksi gempa untuk pembebanan gempa dalam arah y

$V_y^0$  = gaya geser dasar dalam arah sumbu y



Metode ini hanya dapat dipakai apabila rasio antara nilai-nilai faktor reduksi gempa untuk 2 arah pembebanan tersebut tidak lebih dari 1,5. nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respons ragam yang pertama.

Dilihat dari persyaratan didalam pemilihan cara untuk menganalisa beban gempa seperti diatas maka dalam perencanaan gedung ini akan digunakan Metode Analisis Gempa Dinamis.

Dalam analisis gempa dinamis terdapat 3 metode analisis yaitu :

1. Analisis Respons Dinamik
2. Analisis Ragam Spektrum Respons
3. Analisis Respons Dinamik Riwayat Waktu (*Time History Analysis*)

Dalam perencanaan ini digunakan metode analisis ragam spektrum respons.

#### **b. Analisis Ragam Spektrum Respons (*Respons Spectrum Analysis*)**

Analisis ini merupakan suatu cara analisis untuk menentukan respons dinamik struktur gedung 3 dimensi yang berperilaku elastik penuh, dimana respons dinamik maksimum setiap ragamnya yang diperoleh dari respons gempa rencana.

Perhitungan respons dinamik pada struktur tidak beraturan terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana menurut gambar sesuai dengan wilayah masing-masing yang nilai ordinatnya dikalikan faktor koreksi =  $I/R$



Dimana :

I = faktor keutamaan (menurut tabel 1 SNI-03-1726-2002)

R = faktor reduksi dari gempa representatif dari struktur gedung yang bersangkutan (menurut tabel 3 SNI-03-1726-2002)

Dalam hal ini jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan respons ragam menurut metode ini harus sedemikian rupa, sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%. Penjumlahan respons tersebut dilakukan dengan metode kombinasi kuadratistik lengkap (*complete quadratatic combination / CQC*) untuk waktu getaran yang mendekati 15%, sedangkan jika lebih dari 15% atau berjauhan dilakukan dengan metode akar jumlah kuadrat (*Square Roof of the Sum of Square / SRSS*).

#### 2.1.4 Beban Angin ( *Wind Load, W* )

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isap), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan negatif ini dinyatakan dalam satuan  $\text{kg/m}^2$ . Menurut Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983) pada Bab 4 pasal 4.2 dan pasal 4.3 ditentukan sebagai berikut :

- Tekanan tiup harus diambil minimum  $25 \text{ kg/m}^3$ .



- Apabila dapat dijamin suatu gedung terlindung efektif terhadap angin dari suatu jurusan tertentu oleh gedung-gedung lain, maka tekanan tiup dari jurusan itu dapat dikalikan dengan koefisien reduksi sebesar 0,5.
- Dalam menentukan koefisien angin khususnya pada gedung tertutup, untuk bidang-bidang luar koefisien anginnya (+) berarti tekanan dan (-) berarti isapan, ditentukan sebagai berikut :

1. Dinding Vertikal :

dipihak angin	= + 0,9
dibelakang angin	= - 0,4
sejajar dengan arah angin	= - 0,4

2. Atap segitiga dengan sudut kemiringan  $\alpha$  :

dipihak angin :	$\alpha < 65^\circ$	= (0,02 $\alpha$ - 0,4)
	$65^\circ < \alpha < 90^\circ$	= (+0,9)
dibelakang angin, untuk semua $\alpha$		= (-0,4)

**2.2 KOMBINASI BEBAN**

**2.1.1 Kombinasi Beban Pada Struktur Beton Bertulang**

Menurut SNI-03-2847-2002, agar struktur dan komponen struktur memenuhi syarat kekuatan dan layak pakai terhadap bermacam-macam

kombinasi beban, maka harus dipenuhi ketentuan dari faktor beban berikut :

- a. Kuat perlu (U) yang menahan beban mati (D) paling harus sama dengan :

$$U = 1,4 D \dots\dots\dots (2-2)$$



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

$$U = 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2-3)$$

- b. Bila ketahanan struktur terhadap beban angin ( $W$ ) harus diperhitungkan dalam perencanaan, maka pengaruh kombinasi beban  $D$ ,  $L$ , dan  $W$  berikut harus dipelajari untuk menentukan nilai  $U$  yang terbesar :

(Faktor beban  $W$  dapat dikurangi menjadi 1,3 jika beban angin  $W$  belum direduksi oleh factor arah. Sedangkan factor beban untuk  $L$  boleh direduksi menjadi 0,5 kecuali untuk ruangan garasi, ruang pertemuan dan semua ruangan yang beban hidupnya lebih besar dari  $500 \text{ kg/m}^2$ .)

$$U = 1,2 D + 1,0L \pm 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R) \dots\dots\dots (2-4)$$

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

$$U = 0,9 D \pm 1,6 W \dots\dots\dots (2-5)$$

- c. Bila ketahanan struktur terhadap beban gempa ( $E$ ) harus diperhitungkan dalam perencanaan , maka nilai  $U$  harus diambil sebagai :

$$U = 1,2 D + 1,0L \pm 1,0 E \quad \text{atau}$$

$$U = 0,9 D \pm 1,0 E \dots\dots\dots (2-6)$$

### 2.3 ANALISA STRUKTUR

Perhitungan statika konstruksi portal, balok dan rangka batang dihitung dengan bantuan program SAP 2000 (*Structure Analysis Program 2000*). SAP 2000 adalah program komputer untuk menganalisa dan mendisain struktur



bangunan, baik yang berupa struktur bidang 2 dimensi maupun struktur 3 dimensi. Analisa struktur dapat dilakukan dengan berbagai macam kombinasi pembebanan. SAP 2000 menggunakan Metode Elemen Hingga sebagai dasar untuk menganalisis perhitungannya.

Metode Elemen Hingga adalah metode numerik yang menggunakan prinsip diskretisasi. Suatu model kontinum sebagai suatu sistem yang terdiri atas titik-titik bermateri yang tak terhingga, dibagi menjadi suatu model yang terdiri atas beberapa segmen diskrit (beberapa bagian yang lebih kecil) yang mudah dimengerti dan selanjutnya mudah dianalisa. Bagian-bagian yang lebih kecil tersebut dinamakan Elemen Hingga (*Finite Element*), dengan derajat kebebasan yang hingga pula pada sejumlah titik simpul.

Titik simpul merupakan titik bermateri dalam struktur dimana diambil komponen yang mewakili besaran dalam struktur, misalnya perpindahan atau deformasi. Dengan demikian hanya dipunyai kontrol atas besaran tersebut pada titik simpul, selanjutnya besaran pada titik bermateri lainnya dalam struktur merupakan interpolasi besaran pada titik simpul yang ditinjau. Komponen deformasi pada titik simpul dalam hal ini merupakan derajat perpindahan bebas. Kesenambungan perpindahan struktur tergantung pada komponen perpindahan titik simpul pada garis batas antara elemen yang bersebelahan. Banyaknya derajat kebebasan yang digunakan secara langsung mempengaruhi tingkat kesenambungan perpindahan struktur dan dengan demikian mempengaruhi tingkat ketelitian hasil perhitungan serta perilaku konvergensi dari analisis. Sifat khas dari *Finite Element Method* adalah bahwa sub bagian dari elemen-elemen dari



sebuah sistem struktur dapat diisolir atau dapat dianggap sebagai bagian yang bebas dan seimbang dengan tidak tergantung pada kesinambungannya dengan bagian lain yang berbatasan. Dengan demikian adalah mungkin untuk menggabungkan atau merakitkan beberapa elemen yang berbeda asalkan dengan derajat perpindahan titik bebas yang serasi atau cocok.

Pada tingkat element, deformasi dari suatu element didekati dengan mengambil sejumlah koordinat umum atau perpindahan yang mendefinisikan pada beberapa titik simpul. Hubungan dari komponen perpindahan titik simpul dengan komponen gaya umum (*generalised forces*) yang bekerja pada titik simpul disusun misalnya dengan prinsip kerja hayal (*virtual work*). Hubungan ini mencerminkan sifat bahan dan ukuran element. Dalam tahap global struktur atau tahap sistem, semua element digabungkan berdasarkan sifat bahan dan ukuran element. Dalam tahap global struktur atau tahap sistem, semua element digabungkan berdasarkan sifat kesinambungan topologi struktur. Perakitan kekakuan struktur hanya tergantung pada bagaimana element demi element digabungkan. Perakitan ini memberikan suatu sistem persamaan kesinambungan yang dapat diselesaikan untuk mendapatkan komponen perpindahan, yang pada gilirannya digunakan menghitung regangan dan tegangan.

Secara umum dibawah ini akan diuraikan perumusan dan penerapan

Metode Elemen Hingga yang terdiri dari 8 langkah yaitu :

### 2.3.1 Diskritisasi dan Pemilihan Konfigurasi Element

Diskritisasi adalah pembagian suatu sistem menjadi element-element yang lebih kecil, yang akan menghasilkan suatu harga pendekatan terhadap



keadaan sebenarnya. Jadi bukan merupakan solusi eksak. Massa dibagi menjadi sejumlah element yang lebih kecil disebut Finite Element. Titik potong sisi element disebut Titik Nodal (*Nodal Lines*) atau Bidang Nodal (*Nodal Planes*). Prinsip-prinsip yang harus diperhatikan dalam proses diskritisasi adalah pembagian, kesinambungan, kompatibilitas, konvergensi dan faktor kesalahan atau penyimpangan.

Pada umumnya prinsip pembagian dapat diterapkan untuk semua hal, segala sesuatu dapat dibagi-bagi menjadi satuan yang lebih kecil. Tentang prinsip kesinambungan, Aristoteles mengatakan bahwa sebuah massa yang berkesinambungan terbagi atas element-element. Misalnya antara dua buah titik pada suatu garis terdapat titik-titik yang lain. Dengan konsep keterbatasan (*finiteness*), sifat dapat dibagi (*divisibility*) dan kesinambungan (*continuity*) memungkinkan kita untuk membagi sesuatu menjadi komponen, satuan atau unsur yang lebih kecil. Konvergensi merupakan suatu prinsip, agar dalam melakukan suatu pendekatan perhitungan terdapat suatu besaran, solusinya atau hasilnya mendekati nilai yang sebenarnya atau dengan kata lain konvergen terhadap nilai yang sebenarnya. Proses diskritisasi tidak lain hanyalah suatu pendekatan. Konsekuensinya apa yang kita peroleh bukanlah suatu hasil eksak. Harga penyimpangan disebut kesalahan, dan kesalahan ini semakin kecil, kesalahan tersebut dapat dinyatakan sebagai :



$$t = A^* - A \dots\dots\dots (2-7)$$

Keterangan : t = kesalahan

A\* = solusi eksak

A = solusi pendekatan.

### 2.3.2 Memilih Model atau Fungsi Pendekatan

Titik-titik Nodal dari elemen merupakan titik yang dipilih sebagai fungsi matematis untuk menggambarkan bentuk distribusi dari besaran yang dicari itu pada suatu element. Umumnya fungsi polinom dipergunakan sebagai fungsi pendekatan karena sederhana untuk perumusan pada Finite Element.

Bila deformasi (U) sebagai besaran yang dicari, fungsi interpolasi polinom dapat dinyatakan :

$$U = N_1U_1 + N_2U_2 \dots\dots + N_mU_m \dots\dots\dots (2-8)$$

Disini  $U_1, U_2 \dots\dots U_m$  adalah deformasi yang dicari pada titik-titik nodal (besaran yang disebut derajat kebebasan atau *degrees of freedom*), dan  $N_1, N_2 \dots\dots N_m$  merupakan fungsi interpolasi.

### 2.3.3 Menentukan Hubungan Tegangan dan Regangan

Untuk meneruskan kelangkah berikutnya dimana digunakan suatu prinsip, misalnya prinsip energi potensial minimum untuk mendapatkan persamaan element, kita harus mendefinisikan besaran-besaran yang tercakup yang akan muncul dalam prinsip adalah regangan dari peralihan atau deformasi titik. Misalnya untuk kasus deformasi yang hanya terjadi dalam satu arah Y, regangan  $\epsilon_y$  dianggap cukup kecil dan dapat dinyatakan :



$$\epsilon_y = \frac{dv}{dy} \dots\dots\dots (2-9)$$

Keterangan :  $dv$  adalah deformasi dalam arah Y.

Hukum Hooke dapat dipakai untuk mendefinisikan hubungan tegangan regangan pada suatu massa pasif, yaitu :

$$\sigma_y = E_y \cdot \epsilon_y \dots\dots\dots (2-10)$$

dimana :

$\sigma_y$  = tegangan dalam arah vertikal

$E_y$  = modulus elastisitas bahan

Dengan substitusi diperoleh :

$$\sigma_y = E_y \frac{dv}{dy} \dots\dots\dots (2-11)$$

### 2.3.4 Menurut Persamaan Elemen

Dengan menggunakan hukum-hukum atau prinsip yang berlaku, selanjutnya dapat diperoleh persamaan yang menentukan tingkah laku, sifat-sifat serta keadaan dari elemen. Persamaan yang diperoleh disini adalah dalam bentuk umum sehingga dapat digunakan untuk semua elemen dalam massa yang telah dibagi-bagi (*discretized body*).

Bentuk umum persamaan elemen :

$$[K] \cdot \{q\} = \{Q\} \dots\dots\dots (2-12)$$

Keterangan :

$[K]$  = matrik sifat elemen

$\{q\}$  = vektor besaran yang tidak diketahui pada titik nodal

$\{Q\}$  = vektor parameter gaya pada elemen nodal



Untuk problem khusus analisa tegangan, maka matrik-matrik tersebut diartikan :

[K] = matrik kekakuan

{q} = vektor peralihan titik nodal

{Q} = vektor gaya titik nodal

### 2.3.5 Penggabungan Persamaan-persamaan Elemen Untuk Mendapatkan Persamaan Global dan Memasukkan Syarat-syarat Batas

Syarat batas (*boundary condition*) tujuannya adalah untuk memperoleh persamaan-persamaan seluruh sistem yang menentukan pendekatan tingkah laku struktur secara keseluruhan. Sekali sebuah persamaan elemen diturunkan, selanjutnya didapat persamaan-persamaan yang sama untuk elemen yang lain berturut-turut. Kemudian persamaan tersebut digabungkan untuk mendapatkan persamaan global. Proses penggabungan ini didasarkan pada hukum kompatibilitas atau kontinuitas. Dalam hukum tersebut disyaratkan bahwa sistem harus tetap berkesinambungan, artinya titik-titik yang bersebelahan akan tetap berada berdampingan setelah beban luar dikenakan. Dengan perkataan lain, peralihan dua buah titik yang berdampingan atau bersebelahan harus sama.

Pada akhirnya akan diperoleh persamaan yang dinyatakan dengan matrik sebagai berikut :

$$[K] \cdot \{r\} = \{R\} \dots\dots\dots (2-13)$$

Keterangan :



$[K]$  = matrik penggabungan

$\{r\}$  = vektor penggabungan dari besaran yang dicari

$\{R\}$  = vektor penggabungan dari beban luar

Syarat batas adalah kondisi fisik yang membatasi struktur sehingga sistem tersebut dapat berdiri dalam suatu ruang secara unik.

Macam-macam syarat batas :

- a. Syarat batas paksa atau syarat batas geometri (*forced of geometric boundary condition*) adalah syarat batas yang dinyatakan dengan atau oleh besarnya peralihan.
- b. *Natural boundary condition* terjadi bila turunan kedua peralihan = 0 (Momen = turunan kedua dari peralihan).

Untuk menunjukkan syarat batas dalam pendekatan FEM biasanya perlu dilakukan modifikasi dari sistem persamaan yang telah digabungkan. Persamaan-persamaan sekarang mempunyai bentuk yang telah dimodifikasi dan hasil akhir dari modifikasi tersebut dapat dinyatakan :

$$\{\bar{K} \times \{r\} = \{\bar{R}\} \dots\dots\dots (2-14)$$

dimana matrik-matrik tersebut merupakan modifikasi dari matrik-matrik persamaan gabungan diatas terhadap syarat batas.

**2.3.6 Selesaikan Besaran Pertama (*Primary Unknown*)**

Persamaan gabungan yang telah dimodifikasi dengan memasukkan syarat-syarat batas tersebut akan merupakan sistem persamaan linier. Sistem persamaan ini dapat diselesaikan dengan cara elemenasi gauss atau iterasi.



### 2.3.7 Selesaikan Besaran Kedua

Seringkali besaran lain harus dihitung dari besaran pertama. Dalam hal ini peralihan tegangan, besaran pertamanya merupakan besaran peralihan (*displacement*), sedangkan besaran keduanya berupa regangan, tegangan, momen atau gaya geser.

### 2.3.8 Interpretasi Hasil

Yang penting dalam FEM ini adalah mereduksi hasil-hasil dari prosedur perhitungan menjadi suatu bentuk yang dapat segera dipergunakan untuk keperluan analisis dan desain. Hasil-hasil tersebut biasanya berupa output dari komputer. Selanjutnya memilih penampang-penampang yang kritis dari sistem dan menggambarkan nilai-nilainya atau peralihan dan tegangannya sepanjang sistem struktur.

## 2.4 PERENCANAAN STRUKTUR BETON BERTULANG

Perhitungan penulangan dari komponen struktur diselesaikan dengan menggunakan Metode Perencanaan Kekuatan (*Strenght Design Method*)

### 2.4.1 Metode Perencanaan Kekuatan (*Strenght Design Method*)

Didalam metode perencanaan kekuatan, penampang elemen struktur direncanakan berdasarkan hubungan tegangan-regangan yang nonlinier, sehingga dicapai kekuatan penuh. Sistem pembebanan yang dipergunakan menggunakan beban terfaktor. Menurut SNI-03-2847-2002 mempergunakan faktor beban atau *load factor* 1,2 untuk beban mati dan 1,6 untuk beban hidup.



Metode kekuatan batas merupakan suatu metode yang dipergunakan untuk menentukan kekuatan dari konstruksi beton, yaitu kekuatan rencana harus lebih besar dari kuat perlunya untuk mendukung beban terfaktor (Istimawan Dipohusodo, *Struktur Beton Bertulang dan Edward G. Nawy, Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*).

Berdasarkan jenis kekuatan yang dialami balok dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok yaitu:

- Penampang seimbang (***balance***) yaitu tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batas ( $\epsilon_{cu}$ )=0,003 dan hancur karena tekan.
- Penampang ***Over-reinforced***, keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Jika luas tulangan baja pada suatu tampang lebih dari yang diperlukan untuk mencapai keadaan balance maka tampang dikatakan bertulangan lebih (***over-reinforced***).
- Penampang ***Under-reinforced***, keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja. Jika luas baja pada suatu tampang kurang dari yang diperlukan untuk mencapai keadaan balance maka tampang dikatakan bertulangan getas (***under-reinforced***).

#### 2.4.2 Penulangan Lentur Murni

Didalam perencanaan penulangan penampang beton bertulang, jika tercapai keadaan seimbang ultimit (***balance***), maka besarnya rasio tulangan ditentukan sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (\text{SNI-03-2847-2002})$$

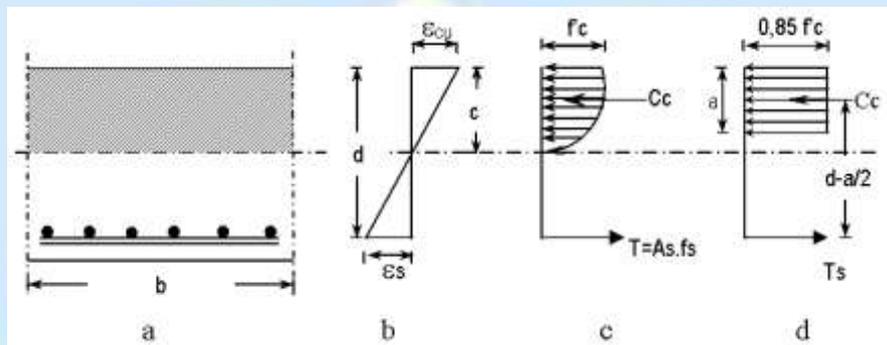


Dalam perencanaan penampang terhadap lentur murni haruslah direncanakan penampang pada keadaan *under reinforced* dengan besarnya rasio tulangan ditentukan sebagai berikut :

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b \text{ (SNI-03-2847-2002)} \dots\dots\dots (2-15)$$

$$\rho_{min} = 1,4 / f_y \text{ (SNI-03-2847-2002)} \dots\dots\dots (2-16)$$

### 2.4.2.1 Penampang Persegi Tulangan Tunggal



Gambar 2.1 Distribusi tegangan dan regangan pada penampang persegi tulangan tunggal: (a) Penampang melintang; (b) Diagram regangan (c) Diagram tegangan; (d) Blok regangan ekuivalen yang diasumsikan

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \dots\dots\dots (2-17)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots (2-18)$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \text{ Dengan syarat : } \rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max} \dots\dots\dots (2-19)$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} ; \phi = 0,8 \text{ (SNI-03-2847-2002)} \dots\dots\dots (2-20)$$

Untuk berbagai-bagai keadaan tepi pelat, dimana pada masing-masing tepi tersebut pelat dapat terletak bebas atau menerus atau terjepit elastis, momen-momen di dalam pelat dapat dihitung dengan perantaraan tabel 13.3.2 (Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N.I.-2 bab 13). Untuk nilai-nilai antara dari  $l_y/l_x$  dapat diadakan interpolasi linier.

$$M_n = C_c \cdot Z_u \dots\dots\dots (2-21)$$

$$M_n = 0,85 f'c \cdot a \cdot b (d - \frac{1}{2} a) \dots\dots\dots (2-22)$$

Dari persamaan diatas dengan rumus ABC didapat nilai a :

$$\sum H = 0$$

$$C_c - T_s = 0$$

$$T_s = C_c$$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 f'c \cdot a \cdot b$$

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b}{f_y} \dots\dots\dots (2-23)$$

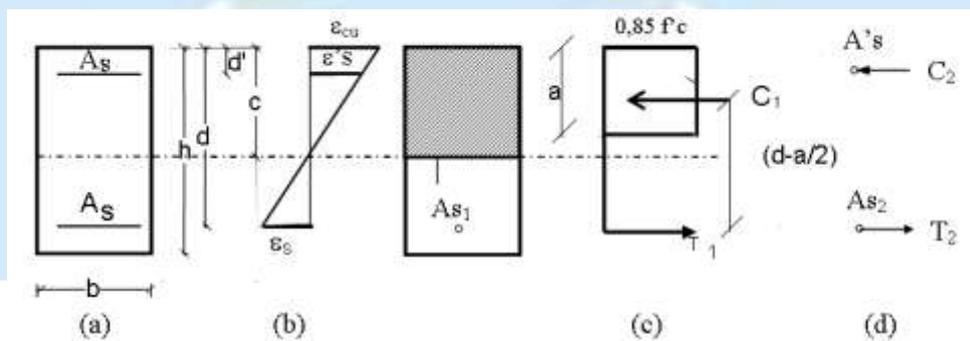
$$A_s = \frac{M_n}{f_y (d - \frac{1}{2} \cdot a)} \dots\dots\dots (2-24)$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \dots\dots\dots (2-25)$$

Bila didapatkan :

- $\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max}$  → Digunakan tulangan tunggal.
- $\rho > \rho_{max}$  → Digunakan tulangan rangkap.

**2.4.2.2 Penampang Persegi Bertulangan Rangkap**



Gambar2.2 Distribusi tegangan dan regangan pada penampang balok; (a) Penampang melintang balok; (b) Diagram regangan; (c) Diagram tegangan ekuivalen yang diasumsikan akibat tulangan tarik; (d) Tegangan akibat tulangan tekan.

$$C_1 = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \dots\dots\dots (2-26)$$



$$C_2 = A_{s2} \cdot f_y = A' \cdot f_y \dots\dots\dots (2-27)$$

$$T_1 = A_{s1} \cdot f_y \dots\dots\dots (2-28)$$

$$A_{s1} = A_s - A's \dots\dots\dots (2-29)$$

**Bagian 1 :**

$$T_1 = C_1$$

$$A_{s1} \cdot f_y = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b$$

$$a = \frac{A_{s1} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \dots\dots\dots (2-30)$$

$$Mn_1 = T_1(d - a/2) = A_s \cdot f_y (d - a/2) = (A_s - A's) f_y (d - a/2)$$

**Bagian 2 :**

$$A's = A_{s2}$$

$$T_2 = C_2 = A_{s2} \cdot f_y \dots\dots\dots (2-31)$$

$$Mn_2 = A_{s2} \cdot f_y (d - d')$$

$$Mn = Mn_1 + Mn_2 = ((A_s - A's) f_y (d - a/2)) + (A's \cdot f_y (d - d')) \dots\dots\dots (2-32)$$

**Kontrol :**

$$\epsilon_s = f_y / E_s \dots\dots\dots (2-33)$$

$$\epsilon's = \frac{c - d}{c} \cdot \epsilon_{cu} \Rightarrow \epsilon_{cu} = 0,003 \text{ (SNI-03-2847-2002)}$$

- Jika  $\epsilon's > \epsilon_s \longrightarrow$  Tulangan baja desak sudah leleh.

$$Mn_2 = A's \cdot f_y (d - d') \quad C_2 = A's \cdot f_y \text{ (2-72)}$$

$$A's = \frac{Mn_2}{f_y(d - d')} \Rightarrow f_y = \epsilon's \cdot E_s \dots\dots\dots (2-34)$$

- Jika  $\epsilon's < \epsilon_y \longrightarrow$  Tulangan baja desak belum leleh dalam hal ini  
( $f_y = f's = \epsilon's \cdot E_s$ ).

$$Mn_2 = A's \cdot f's (d - d') \dots\dots\dots (2-35)$$



$$A's = \frac{Mn_2}{f's(d-d')} \dots\dots\dots (2-36)$$

Tulangan tarik :  $A_s = A_{s1} + A_{s2} \dots\dots\dots (2-37)$

Tulangan tekan :  $A's = A_{s2} \dots\dots\dots (2-38)$

**2.4.2.3 Penampang Balok T**

Pelat pada umumnya dicor secara monolit dengan baloknya, maka kekuatan dan kekakuan balok segiempat akan bertambah dengan adanya kontribusi bagian pelat. Lebar bagian plat yang dianggap dapat bekerja sama dengan balok dalam membentuk penampang balok berflens harus memenuhi persyaratan lebar efektif *flens* (be).

SNI-03-2847-2002, memberikan batasan lebar efektif *flens* (be) sebagai berikut :

- Untuk balok dengan pelat kedua sisi
  - $be \leq 8 T$
  - $be \leq 1/4 L$
  - $be \leq 1/2 L_n$
- Untuk balok dengan pelat satu sisi
  - $be \leq 6 T$
  - $be \leq 1/12 L$
  - $be \leq 1/2 L_n$

Keterangan :

- T = Tebal pelat.
- L = Panjang bentang balok.
- $L_n$  = Jarak dari pusat ke pusat balok.

Dari nilai-nilai  $be$  yang didapat, dipakai nilai  $be$  terkecil.

Tebal dari pelat dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi ketentuan SNI T-15-1991-03.

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + \beta \left[ \alpha_m \cdot 0,12 \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]} \dots\dots\dots (2-39)$$

Tetapi tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36 + 9\beta} \dots\dots\dots (2-40)$$

Dan tidak lebih dari :

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{f_y}{1500}\right)}{36} \dots\dots\dots (2-41)$$

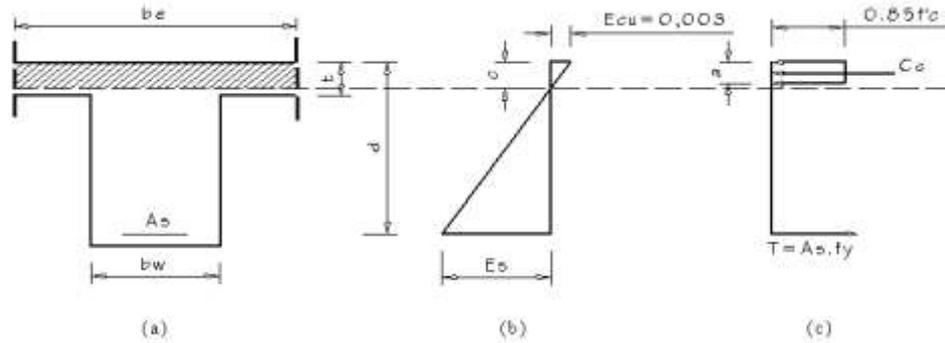
Dalam segala hal tebal minimum pelat tidak boleh kurang dari harga berikut :

- Untuk  $\alpha_m < 2,0$ ..... 120 mm.
- Untuk  $\alpha_m \geq 2,0$ ..... 90 mm.

Penampang T, dalam perhitungan gaya tekan  $C_c$  tergantung pada tinggi garis netral  $c$ , yang dapat diidentifikasi sebagai berikut :

**a. Tinggi garis netral  $c$  kurang dari tebal  $flens$  ( $c < t$ )**

Apabila tinggi garis netral  $c$  kurang dari tebal  $flens$ , maka hal ini dapat dianggap sebagai penampang segiempat dan pada analisisnya sebagai lebar balok harus dipakai lebar  $flens$  ( $be$ ) pada sisi yang tertekan.



Gambar 2.3 Penampang balok T : (a) Penampang melintang; (b) Diagram regangan; (c) Diagram tegangan.

$$C = T$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot b_e \cdot a = A_s \cdot f_y$$

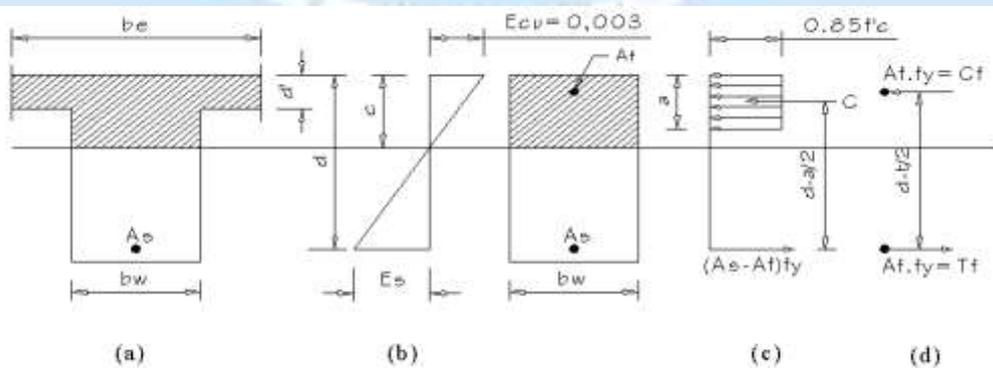
$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_e} \dots\dots\dots (2-42)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \dots\dots\dots (2-43)$$

**b. Tinggi garis netral c lebih besar dari tebal flens (c > t)**

Jika c lebih besar daripada tebal flens (t) dan a lebih kecil daripada t, dalam desainnya balok tersebut ditinjau sebagai balok segiempat dengan lebar balok  $b_e$ .

1). Mencari luas tulangan tekan imajiner ( $A_s$ )



Gambar 2.4 Penampang balok T : (a) Penampang melintang; (b) Diagram regangan; (c) Diagram tegangan.



$$C_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot (b_e - b_w) \cdot t \dots\dots\dots (2-44)$$

$$T_n = A_s f_y \dots\dots\dots (2-45)$$

$$C_n = T_n \dots\dots\dots (2-46)$$

$$A_{sf} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot (b_e - b_w) \cdot t}{f_y} \dots\dots\dots (2-47)$$

$$M_{nf} = T_n \cdot (d - t/2) \dots\dots\dots (2-48)$$

2). Mencari luas tulangan tarik  $A_{s1}$  (anggapan tulangan tunggal) :

$$M_{n1} = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w \cdot (d - a/2) \dots\dots\dots (2-49)$$

$$C = T \dots\dots\dots (2-50)$$

$$A_{s1} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w}{f_y} \dots\dots\dots (2-51)$$

Angka penulangan tarik maksimum yang diijinkan adalah :

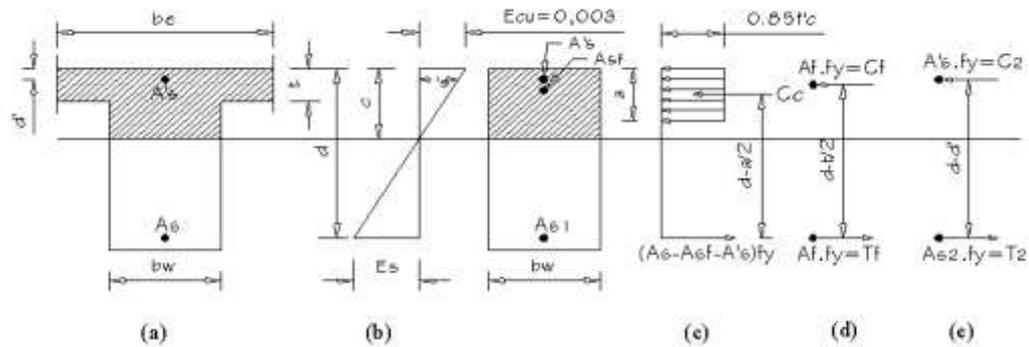
$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \leq 0,75 \cdot \rho_b$$

- Jika  $\rho < 0,75 \cdot \rho_b$  maka digunakan tulangan tarik.

$$A_s = A_{s1} + A_{sf}$$

- Jika  $\rho > 0,75 \cdot \rho_b$  maka digunakan tulangan rangkap.

3). Perhitungan untuk kondisi  $\rho \geq 0,75 \cdot \rho_b$  (digunakan tulangan rangkap)



Gambar 2.5 Penampang balok T : (a) Penampang melintang; (b) Diagram regangan; (c) Diagram tegangan.

$$A_{s1} = A_s - A_{sf} - A'_s \dots \dots \dots (2-52)$$

$$T = C$$

$$(A_s - A_{sf} - A'_s) \cdot f_y = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_w$$

$$a = \frac{(A_s - A_{sf} - A'_s) \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_w} \dots \dots \dots (2-53)$$

$$M_{n1} = (A_s - A_{sf} - A'_s) \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$M_{n2} = A_{sf} \cdot f_y \cdot (d - t/2)$$

$$M_{n3} = A'_s \cdot f_y \cdot (d - d')$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} + M_{n3} \dots \dots \dots (2-54)$$

Kontrol :

$$\epsilon_s \geq f_y/E_s \dots \dots \dots (2-55)$$

$$\epsilon'_s = \frac{c-d}{c} \cdot \epsilon_{cu} \Rightarrow \epsilon_{cu} = 0,003 \dots \dots \dots (2-56)$$

- Jika  $\epsilon'_s > \epsilon_s \rightarrow$  (tulangan baja desak sudah leleh maka  $f'_s = f_y$ )

$$M_{n3} = A_{sf} \cdot f_y \cdot (d - d')$$

$$C_2 = A_{s2} \cdot f_y \dots \dots \dots (2-57)$$



$$A_{s2} = \frac{M_{n3}}{f_y \cdot (d - d')} \dots\dots\dots (2-58)$$

$$f_y = \epsilon'_s \cdot E_s \dots\dots\dots (2-59)$$

- Jika  $\epsilon'_s < \epsilon_s \rightarrow$  (tulangan baja desak belum leleh dalam hal ini

$$f_y = f'_s = \epsilon'_s \cdot E_s)$$

$$M_{n3} = A_{s2} \cdot f_y (d - d')$$

$$A_{s2} = \frac{M_{n3}}{f'_s (d - d')}$$

$$\text{Tulangan tarik : } A_s = A_{s1} + A_{s2} + A_{sf} \dots\dots\dots (2-60)$$

$$\text{Tulangan tekan : } A'_s = A_{s2} \dots\dots\dots (2-61)$$

### 2.4.3 Penulangan Lentur dan Normal

Keruntuhan kolom yang terjadi akibat kegagalan materialnya (yaitu lelehnya baja atau hancurnya beton), diklasifikasikan sebagai kolom pendek. Apabila panjang kolom bertambah, kemungkinan kolom runtuh karena tekuk semakin besar. Dengan demikian, ada transisi dari kolom pendek (runtuh material) ke kolom panjang/langsing (runtuh tekuk) yang terdefinisi dengan menggunakan perbandingan panjang efektif (k/lu), dengan jari-jari girasi(r).

(k) = Faktor yang tergantung pada kondisi ujung kolom.

(lu) = Panjang tak tertumpu kolom.



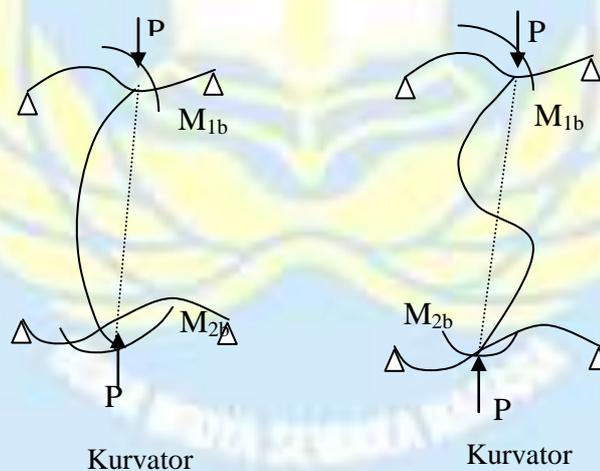
### 2.4.3.1 Kontrol Kelangsingan Kolom

Berdasarkan SNI-03-2847-2002, pengaruh kelangsingan dari komponen struktur terdiri dari :

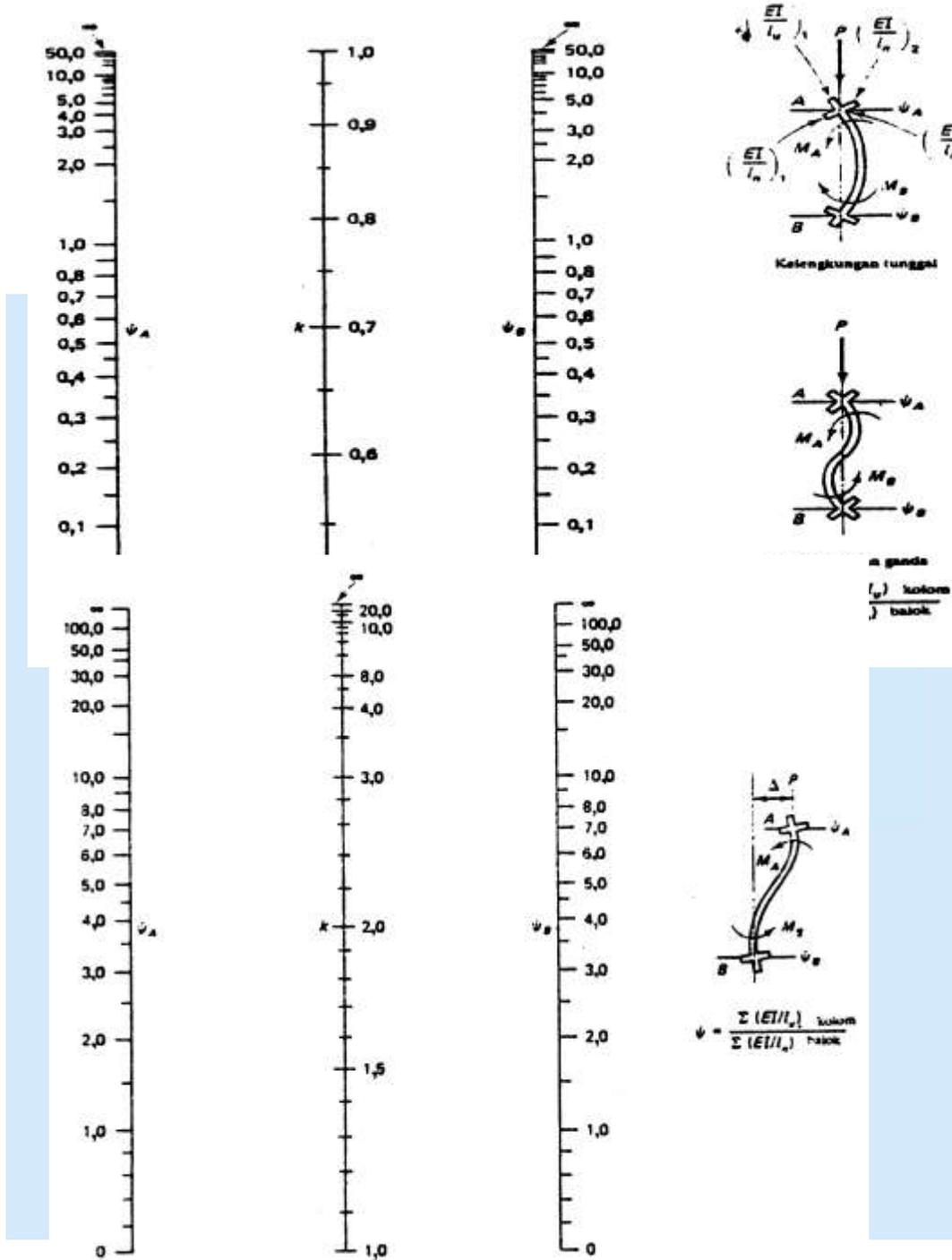
- a. Untuk pengaruh tekan yang ditahan terhadap goyangan kesamping, pengaruh dari kelangsingan boleh diabaikan bila :

$$klu/r < 34 - \frac{12M_{1b}}{M_{2b}} \quad (\text{Rangka pengaku lateral/Braced frame}).$$

Dengan  $M_{1b}$  dan  $M_{2b}$  adalah momen ujung berfaktor dari kolom, dengan  $M_{1b} < M_{2b}$ . Bila rasio  $M_{1b}/M_{2b}$  berharga positif, terjadi kelengkungan tunggal (*single curvature*) dan bila berharga negatif terjadi kelengkungan ganda (*double curvature*).



Gambar 2.6 Kelengkungan Tunggal dan Kelengkungan Ganda



Gambar 2.7 Faktor Panjang Efektif  $k$  untuk Rangka  
 (a) Dengan Pengaku (b) Tanpa Pengaku



b. Untuk komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan ke samping, pengaruh dari kelangsingan boleh diabaikan bila :

$$k l_u / r < 22 \quad (\text{Rangka tanpa pengaku lateral/Unbraced frame}).$$

Dimana :

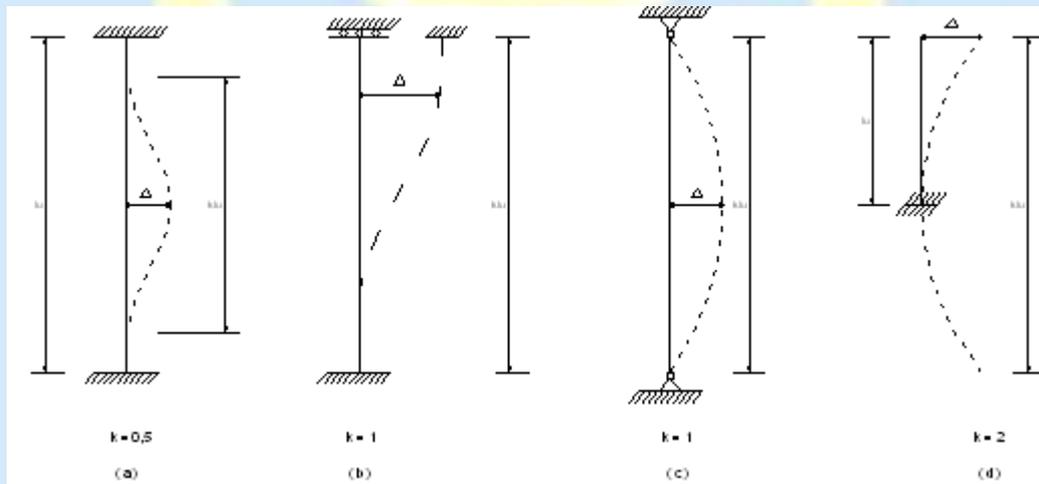
$K$  = faktor panjang kolom

$M_1, M_2$  = momen pada ujung-ujung yang berlawanan pada batang tekan kolom

$M_2$  = selalu lebih besar dari  $M_1$

$\frac{M_1}{M_2}$  = positif untuk kelenkungan tunggal (*single curvature*)

$\frac{M_1}{M_2}$  = negatif untuk kelenkungan ganda (*double curvature*)



Gambar 2.8 Besar faktor panjang kolom k Untuk kondisi tipikal dengan pengaku  
(a). Jepit-jepit, (b). Jepit-jepit dengan gerak lateral, (c). Sendi, (d). Jepit bebas.

Panjang efektif  $k.l_u$  digunakan kalau panjang modifikasi kolom untuk memperhitungkan efek tahanan ujung yang bukan sendi.  $k.l_u$  menunjukkan panjang kolom ujung sendi ekuivalen yang mempunyai beban tekuk euler yang sama dengan kolom yang ditinjau.



Besar faktor panjang efektif tahanan ujung k bervariasi antara 0.5 - 2.

- Kedua ujung kolom jepit  $k = 0.5$
- Kedua ujung sendi, tidak ada gerak lateral  $k = 1$
- Kedua ujung jepit, ada gerak lateral  $k = 1$
- Satu ujung terjepit, ujung lainnya bebas  $k = 2$

Untuk satu batang yang merupakan kerangka struktur, tahanan ujungnya tekuk diantara kondisi sendi dan kondisi jepit.

Harga k aktual dapat ditentukan dari *diagram Jackson dan Morelald*.

Apabila tidak memakai diagram, besarnya k dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan dari komentar keruntuhan ACI sebagai berikut :

1. Batang tekan berpengaku :

$$k = 0.7 + 0.05 (\psi_A + \psi_B) \leq 1.0 \dots\dots\dots (2-62)$$

$$k = 0.85 + 0.05 \psi_{\min} \leq 1 \dots\dots\dots (2-63)$$

dimana :

$\psi_A, \psi_B$  adalah kedua ujung kolom.

$\psi_{\min}$  adalah ujung terkecil dari kedua harga tersebut.

$\psi$  adalah perbandingan angka kekakuan semua batang tekan dengan semua batang lentur dalam bidang, pada satu ujung kolom.

$$\psi = \frac{\sum (E_i / I_i) \text{kolom}}{\sum (E_i / I_i) \text{balok}}$$

dimana :

$l_u$  = panjang tidak tertumpu kolom

$l_u$  = bentang bersih balok.

2. Batang depan tanpa pengaku yang kedua ujungnya:

Untuk  $\psi < 2$

$$k = \frac{20 - \psi m}{20} \cdot \sqrt{1 + \psi m} \dots\dots\dots (2-64)$$

untuk  $\psi \geq 2$

$$k = \sqrt{0.9 + \psi m} \dots\dots\dots (2-65)$$

dimana :

$\psi m$  adalah  $\psi$  rata-rata untuk kedua ujung batang tertekan tersebut.

3. Batang tekan tanpa pengaku yang kedua ujungnya sendi :

$$k = 2.0 + 0.3\psi$$

dimana :

$\psi$  adalah harga pada ujung yang tertekan.

- c. Untuk semua komponen struktur tekan dengan  $k l_u / r > 100$ , harus dianalisis memperhitungkan pengaruh beban aksial, variasi momen inersia pada kekakuan kolom dan pada momen jepit ujungnya, pengaruh lendutan terhadap momen dan gaya, dan pengaruh lamanya pembebanan.

Berdasarkan SNI-03-2847-2002, komponen struktur harus didefinisikan dengan menggunakan beban aksial terfaktor  $P_u$  yang didapat dari analisa rangka konvensional dan suatu momen terfaktor yang dibesarkan  $M_c$  yang dirumuskan sebagai berikut :

$$M_c = \delta_b \cdot M_{2b} + \delta_s \cdot M_{2s} \dots\dots\dots (2-66)$$



Dimana :

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - P_u/\phi P_c} \geq 1,0$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \Sigma P_u/\phi \Sigma P_c} \geq 1,0$$

Keterangan :

$\Sigma P_u, \Sigma P_c$  = Jumlah untuk semua kolom pada satu tingkat.

$C_m$  = Faktor yang menghubungkan diagram momen seragam ekuivalen. Hanya untuk kolom berpengaku yang mengalami beban ujung ;  $C_m = 0,6 + 0,4 M_{1b}/M_{2b} \geq 0,4$  sedangkan untuk semua kasus lain harga  $C_m$  harus diambil sebesar 1,0.

Menghitung beban tekuk terluar ( $P_c$ ) SNI-03-2847-2002 dengan

rumus :

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(klu)^2} ; klu = \text{Panjang efektif kolom} \dots \dots \dots (2-67)$$

Kekakuan batang ( $EI$ ), SNI-03-2847-2002 dihitung dengan rumus :

$$EI = \frac{(E_c I_g / 5) + E_s I_s}{1 + \beta d} \text{ atau } EI = \frac{(E_c I_g / 5)}{1 + \beta d} + E_s I_s \dots \dots \dots (2-68)$$

Keterangan :

$E_c$  = Elastisitas beton.

$E_s$  = Elastisitas baja tulangan.

$I_g$  = Momen inersia bruto dengan mengabaikan  $A_s$ .

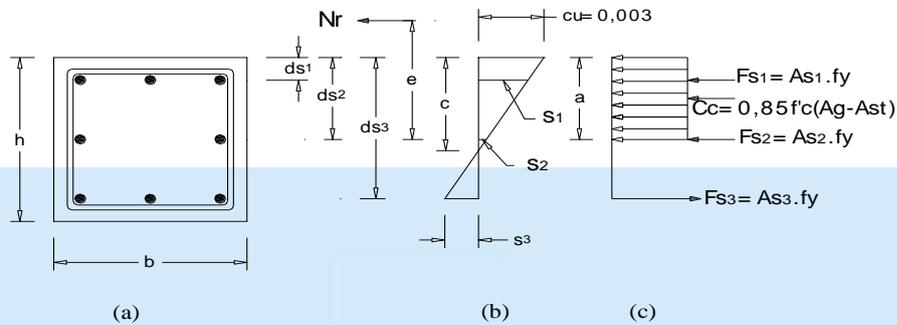
$I_s$  = Momen inersia baja tulangan.

$\beta d$  = Rasio faktor maksimum beban mati terhadap faktor maksimum beban total ; misal :  $\beta d = 1,2 / (1,2 D + 1,6 L)$ .



### 2.4.3.2 Perhitungan Tulangan Lentur dan Normal Kolom

Penulangan Lentur dan Normal untuk Kolom Persegi



Gambar 2.9 Penampang kolom persegi; (a) Penampang melintang; (b) Diagram regangan; (c) Blok diagram tegangan.

Untuk perhitungan tulangan lentur dan normal digunakan metode diagram iterasi M - N, yaitu diagram yang menyatakan hubungan antara momen lentur dan gaya normal yang mampu dipikul oleh penampang beton bertulang. Adapun langkah-langkah perhitungan tulangan lentur dan normal kolom adalah sebagai berikut:

1. Tentukan jarak tulangan tepi beton ( $ds_1, ds_2, ds_3$ )
2. Tentukan jumlah tulangan yang dipakai dengan syarat rasio tulangan ( $\rho$ ) adalah  $1\% < \rho < 6\%$  atau  $\rho_{min} = 1\%$  dan  $\rho_{max} = 6\%$
3. Tentukan gaya normal sentris maksimum ( $Nr_{max}$ ) ditentukan berdasarkan :

$$\text{Gaya normal nominal } (N_n) = 0,85f'_c(b.h - A_{st}) + f_y.A_{st}$$

Dimana besarnya :

$$N_n \text{ max} = 0,80 . N_n \longrightarrow \text{kolom bersengkang}$$

$$N_n \text{ max} = 0,85 . N_n \longrightarrow \text{kolom dengan tulangan spiral}$$

$$\text{Gaya normal rancang } (N_r) = \phi . N_{n_{max}}$$



4. Tentukan gaya normal tarik sentris yang ditentukan berdasarkan :

$$N_n = A_{st} \cdot f_y$$

$$N_r = \phi \cdot N_n \longrightarrow \phi = 0,80$$

5. Tentukan gaya normal rancang ( $N_r$ ) dan momen lentur rancang ( $M_r$ ) dalam keadaan setimbang (*balance*), dengan langkah-langkah :

- Tentukan garis netral ( $c_b$ ) dengan perbandingan linier antara regangan beton dan regangan baja, dimana beton mencapai regangan maximum ( $\epsilon_{cu}$ ) = 0,003 pada saat baja mengalami regangan tarik leleh ( $\epsilon_s = f_y/E_s$ ).
- Tentukan tegangan pada masing-masing tulangan ( $f_s$ ) dengan batas tegangan maximum sama dengan tegangan leleh baja ( $f_y$ ).
- Tentukan gaya pd masing-masing tulangan dan beton ( $F_s$  dan  $C_c$ ).
- Tentukan gaya normal rancang ( $N_r$ ) dan momen rancang ( $M_r$ )

$$N_n = \sum F_s + C_c$$

$$N_r = \phi \cdot N_n$$

$$M_n = \sum F_s \cdot d_s + C_c (h/2 - a/2)$$

$$M_r = \phi \cdot M_n$$

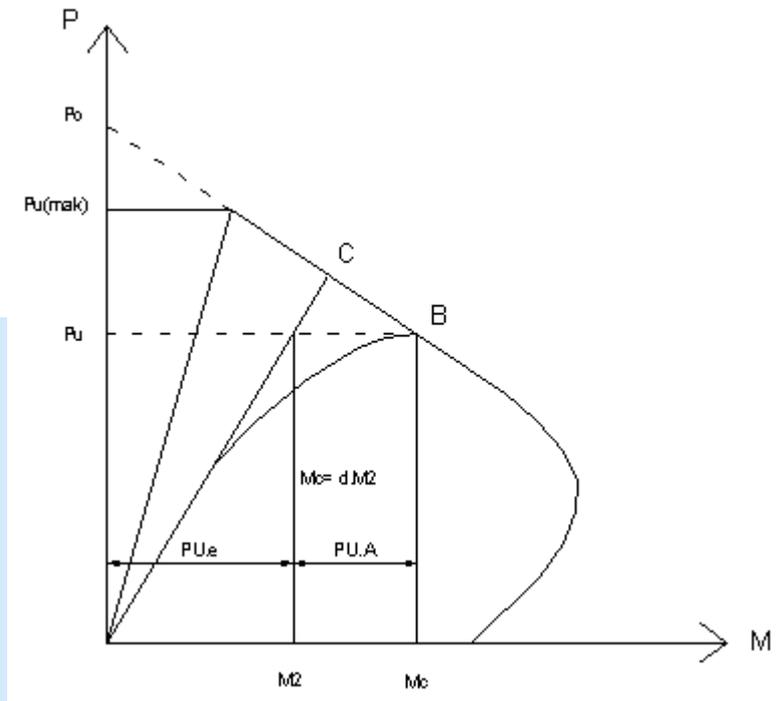
6. Tentukan gaya normal rancang ( $N_r$ ) dan momen rancang ( $M_r$ ) pada keadaan *under reinforced* dengan cara ambil beberapa nilai  $c < c_b$ , kemudian hitung besarnya  $N_r$  dan  $M_r$  untuk masing-masing nilai  $c$  yang dipilih, dengan cara yang sama dengan langkah perhitungan  $N_r$  dan  $M_r$  pada keadaan *balance*, dengan catatan  $\phi$  dapat ditingkatkan



secara linier menjadi 0,80 apabila  $\phi N_n$  lebih kecil dari  $0,1 f'_c A_g$  dan  $\phi N_b$ .

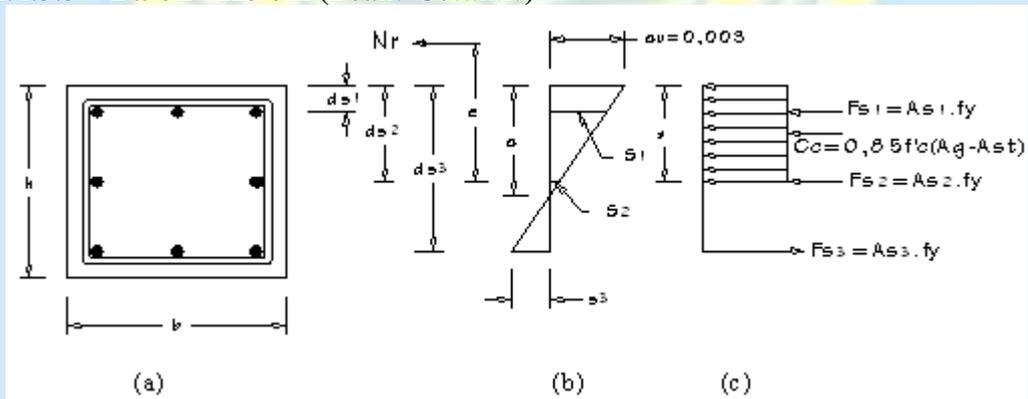
7. Tentukan gaya normal rancang ( $N_r$ ) dan momen rancang ( $M_r$ ) pada keadaan *over reinforced* dengan cara : ambil beberapa nilai  $c > c_b$  kemudian hitung besarnya  $N_r$  dan  $M_r$  untuk masing-masing nilai  $c$  yang dipilih, dengan cara yang sama dengan langkah perhitungan  $N_r$  dan  $M_r$  pada keadaan balance, dengan batas  $N_r \leq N_{rmax}$ .
8. Gambarkan diagram iterasi M-N dengan menghubungkan titik yang didapat dari langkah 3 sampai langkah 7 dengan  $M_r$  pada sumbu- x dan  $N_r$  pada sumbu- y.
9. Plot titik koordinat ( $M_u, N_u$ ) untuk kolom pendek dan plot titik koordinat ( $M_c, N_u$ ) untuk kolom langsing yang didapat dari hasil perhitungan pada diagram iterasi M-N. Bila koordinat  $M_u$  dan  $N_u$  atau  $M_c$  dan  $N_u$  berada didalam (dikiri) kurva M-N berarti tulangan memenuhi syarat / kolom aman, bila tidak harus ulangi langkah dua.

Diagram M - N dapat digambarkan dengan menghubungkan titik koordinat yang didapat dari perhitungan  $M_r$  dan  $N_r$ , dengan harga dari  $M_r$  didistribusikan pada sumbu - X dan harga  $N_r$  didistribusikan pada sumbu - Y



Gambar 2.10 Diagram Interaksi Kolom pembesaran gaya tekan – momen (P-M).

### 2.4.3.3 Balok - Kolom (*Beam-Column*)



Gambar 2.11 Penampang balok - kolom; (a) Penampang melintang; (b) Diagram regangan; (c) Blok diagram tegangan

Kuat tekan nominal  $P_n$  dari komponen struktur tekan tidak boleh diambil lebih besar dari (SNI-03-2847-2002):

$$P_{n(max)} = 0,8 \{0,85 \cdot f_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}\} \dots\dots\dots (2-69)$$



Untuk komponen struktur dengan tulangan pengikat/bersengkang

$$Pn_{(max)} = 0,85 \{0,85.f'c (Ag - Ast)+fy.Ast\} \dots\dots\dots (2-70)$$

Untuk komponen struktur dengan tulangan spiral

Keterangan,  $Ag$  = luas bruto total penampang beton (b.h)

$Ast$  = luas total tulangan baja ( $As + A's$ )

Beban nominal ini masih harus direduksi dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ), sehingga kuat tekan normal ( $Nn$ ) =  $\phi \cdot Pn_{(max)}$

Kuat tarik nominal sentris menggunakan rumus :

$$Pn = As \cdot fy \dots\dots\dots (2-71)$$

$$Nn = \phi \cdot Pn \dots\dots\dots (2-72)$$

Berdasarkan SNI-03-2847-2002 faktor reduksi kekuatan  $\phi$  yang digunakan adalah :

- Aksial tekan dan aksial tarik dengan lentur  $\phi = 0,8$
- Aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur
- Untuk komponen struktur dengan tulangan spiral dan sengkang ikat  $\phi = 0,70$
- Untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa  $\phi = 0,65$

Dengan perbandingan linear antara regangan beton dengan regangan baja, dimana beton mencapai regangan maksimum ( $\epsilon_{cu}$ ) = 0,003 pada saat baja mencapai regangan tarik leleh ( $\epsilon_s$ ), maka didapat gaya normal rancang ( $Nr$ ) dan momen rancang ( $Mr$ ) sebagai berikut

$$Nn = \Sigma fs + Cc$$

$$Nr = \phi \cdot Mn$$



$$M_n = \sum f_s \cdot d_s + C_c (h/2 - a/2)$$

$$M_r = \phi \cdot M_n$$

#### 2.4.3.4 Penulangan Geser

SNI-03-2847-2002 menetapkan bahwa perencanaan penampang didasarkan pada perumusan berikut :

$$V_u \leq \phi V_n \dots\dots\dots (2-72)$$

Keterangan :

$V_u$  = Gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau.

$V_n$  = Kuat geser nominal yang dihitung.

$\phi$  = Faktor reduksi kekuatan.

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots (2-119)$$

Keterangan :

$V_c$  = Kekuatan geser nominal dari beton.

$V_s$  = Kekuatan geser nominal dari tulangan geser.

Besarnya  $V_c$  bervariasi tergantung dari beban yang bekerja pada struktur. Untuk komponen struktur yang menahan geser dan lentur saja, SNI-03-2847-2002 memberikan kapasitas kemampuan beton (tanpa tulangan geser) untuk menahan geser adalah :

$$V_c = \left[ \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right] b_w \cdot d \text{ (SNI-03-2847-2002)} \dots\dots\dots (2-73)$$



Jika penampang komponen struktur terlentur juga menahan torsi terfaktor

Tu lebih dari :

$$\phi \left[ \left( \sqrt{\frac{f'c}{20}} \right) \sum x^2 \cdot y \right] \text{ (SNI-03-2847-2002) ..... (2-75)}$$

Maka kuat geser Vc adalah :

$$V_c = \frac{\left( \sqrt{f'c/6} \right) b_w \cdot d}{\sqrt{1 + \left( 2,5C \frac{T_u}{V_u} \right)^2}} \text{ (SNI-03-2847-2002) ..... (2-76)}$$

Besarnya Vs bila digunakan tulangan geser yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur adalah :

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S} \text{ (SNI-03-2847-2002) ..... (2-77)}$$

Keterangan :

Av = Luas penampang tulangan geser total dengan jarak S. Untuk sengkang keliling tunggal Av = 2 . As ; dimana As adalah luas penampang batang tulangan sengkang (mm<sup>2</sup>).

SNI-03-2847-2002 menetapkan perlu tidaknya dipasang sengkang dengan pemeriksaan terhadap nilai Vu, adapun persyaratan tersebut adalah sebagai berikut :

1.  $V_u \leq 1/2 \phi V_c$  (SNI-03-2847-2002)

Untuk kondisi ini tidak diperlukan tulangan geser.

2.  $1/2 \phi V_c < V_u \leq \phi V_c$  (SNI-03-2847-2002)

Untuk kondisi ini diperlukan tulangan geser minimum dengan luas :



$$A_v = 1/3 \frac{b_w \cdot S}{f_y} \quad (\text{SNI-03-2847-2002})$$

Tulangan geser maksimum dengan jarak :  $S_{maks} \leq d/2 \leq 600 \text{ mm}$ .

$$3. V_u > \phi V_c \quad (\text{SNI-03-2847-2002})$$

Untuk kondisi ini harus memenuhi :  $V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$

Dipasang tulangan sebesar :

$$A_v = \frac{V_s \cdot S}{f_y \cdot d} \quad (\text{SNI-03-2847-2002}).$$

Tulangan geser maksimum dengan jarak :  $S_{maks} \leq d/4 \leq 300 \text{ mm}$ .

#### 2.4.3.5 Perhitungan Kolom Pendek

Kekuatan nominal dari kolom ( $P_n$ ) :

$$P_n = K_c \cdot F_c \cdot A_c + F_y \cdot A_{st} + (K_s \cdot F_{ys} \cdot A_{sp})$$

Dimana,

$K_c = 0,85$  (disebabkan oleh kekuatan maksimumnya yang dapat dipertahankan pada struktural aktual mendekati harga  $0,85 f'_c$ ).

$f'_c =$  kekuatan beton silinder utama yang berumur 28 hari.

$A_c =$  luas beton bersih, berdasarkan luas kasar beton untuk kolom dengan pengikat dan luas inti kolom untuk kolom bertulangan spiral.

$A_{st} =$  luas tulangan memanjang

$F_y =$  tegangan leleh untuk tulangan memanjang

$K_s =$  konstan yang bervariasi dari 1,5 s.d 2,5 dengan rata-rata 1,95.

$F_{ys} =$  tegangan leleh tulangan spiral



$A_{sp}$  = volume dari tulangan spiral persatuan panjang kolom.

Catatan : suku ketiga dihilangkan bila tidak ada tulangan spiral.

Tanpa suku yang mewakili tulangan spiral, kekuatan nominal untuk kolom pendek adalah :

$$P_n = P_o = 0,85 f'_c \cdot A_n + f_y \cdot A_{st} = 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$$

Dimana,

$P_o$  = kapasitas beban sentris maksimum (KN)

$A_n$  = luas beton netto =  $A_g - A_{st}$  (mm<sup>2</sup>)

$A_g$  = luas beton bruto/gross (mm<sup>2</sup>)

$A_{st}$  = luas tulangan memanjang =  $A_s + A_{s'}$

$P_o$  dapat juga dinyatakan dengan :

$$P_o = A_g [0,85 f'_c (1 - \rho) + f_y \cdot \rho] = A_g [0,85 f'_c + \rho (f_y - 0,85 f'_c)]$$

SNI tidak memperbolehkan nominal  $P_n$  maksimum melampaui 0,80  $P_o$  untuk kolom dengan pengikat dan 0,85  $P_o$  untuk kolom dengan tulangan spiral.

SNI-03-2847-2002, menyatakan kuat tekan rancang  $\phi P_n$  dari komponen struktur tekan tidak boleh diambil lebih besar dari ketentuan berikut :

$$\phi P_n(\max) = 0,80 \phi [0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}]$$

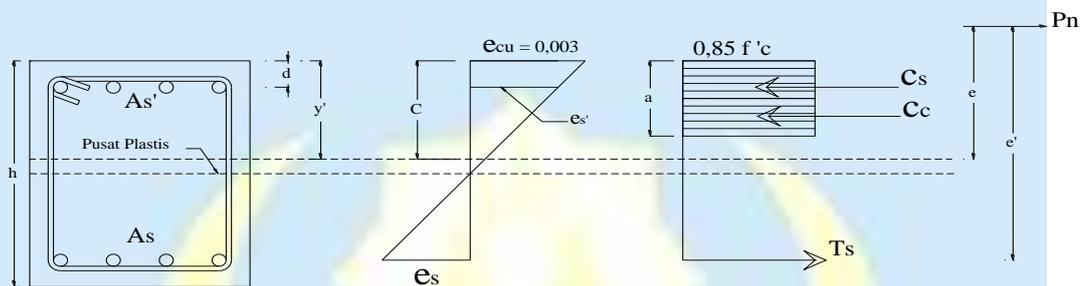
$\phi$  = 0,65 untuk kolom dengan sengkang biasa

$\phi$  = 0,70 untuk kolom dengan tulangan spiral maupun sengkang ikat

(SNI-03-2847-2002)

**2.4.3.6 Kekuatan/Perilaku Kolom Pendek yang Dibebani Eksentris (Beban dan Beban Lentur)**

Prinsip-prinsip balok mengenai distribusi tegangan dan balok tegangan segi empat ekuivalen dapat diterapkan juga pada kolom. Persamaan keseimbangan gaya dan momen dari gambar untuk kolom pendek sebagai berikut :



Gambar 2.12 Penampang melintang kolom segiempat dengan diagram regangan, tegangan dan gaya pudarnya. Ada gaya memanjang  $P_n$  yang bekerja pada keadaan runtuh dan mempunyai eksentrisitas “ $e$ ” dari pusat plastis (atau bias pada pusat geometri) penampang.

Gaya tahanan nominal  $P_n$  dalam keadaan runtuh :

$$P_n = C_c + C_s - T_s$$

$$\text{Momen tahanan nominal } M_n = P_n \cdot e$$

Untuk kolom bertulangan simetris pusat-pusat plastisnya sama dengan pusat geometrisnya.

$$M_n = P_n \cdot e = C_c (y - a/2) + C_s (y - d') + T_s (d - y)$$

$$\text{Karena : } C_c = 0,85 f'_c \cdot a \cdot b; \quad C_s = A_s' \cdot f_s'; \quad T_s = A_s \cdot f_s$$

Maka,

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' - A_s \cdot f_s$$

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b (y - a/2) + A_s' \cdot f_s' (y - d') + A_s \cdot f_s (d - y)$$



Pada persamaan diatas tinggi garis netral  $c$  dianggap kurang daripada tinggi efektif  $d$  penampang, juga baja pada sisi yang tertarik memang mengalami tarik. Kondisi ini dapat berubah apabila eksentrisitas  $e$  beban  $P_n$  sangat kecil.

Untuk eksentrisitas kecil ini yang seluruh bagian penampangnya mengalami tekan, kontribusi tulangan tarik harus ditambahkan kepada kontribusi baja dan beton yang tertekan. Suku " $A_s s'$ " dalam persamaan, dalam hal ini mempunyai tanda positif karena semua baja mengalami tekan. Dalam persamaan ini juga diasumsikan bahwa :

$$(b \cdot a - A_s s') = b \cdot a$$

Yaitu volume beton yang hilang akibat adanya tulangan yang diabaikan.

Perlu ditekankan bahwa gaya aksial  $P_n$  tidak boleh melebihi kekuatan gaya aksial maksimum  $P_n(\max)$ . Tulangan  $A_s$  dan  $A_s'$  akan mencapai kekuatan lelehnya  $f_y$  apabila keruntuhan yang terjadi berupa hancurnya beton. Apabila keruntuhannya berupa lelehnya tulangan baja, maka besarnya  $f_s$  harus disubstitusikan dengan  $f_y$  ( $f_s = f_y$ ). Apabila  $f_s'$  atau  $f_s$  lebih kecil dari  $f_y$  maka yang dipakai adalah tegangan aktualnya.

$$f_s' = E_s \cdot \epsilon_s = E_s \frac{0,003(c - d')}{c} \leq f_y$$

$$f_s = E_s \cdot \epsilon_s = E_s \frac{0,003(d - c)}{c} \leq f_y$$



#### 2.4.4 Perencanaan Pondasi

Pondasi adalah suatu struktur yang berfungsi untuk menyangga dan meneruskan beban-beban dari bangunan di atasnya (termasuk berat sendiri pondasi) ke lapisan tanah dibawahnya. Karena itu pondasi harus di rencanakan manpu menerima beban sesuai dengan kapasitas atau daya dukung tanah yang diijinkan. Berdasarkan hal tersebut maka pondasi harus diletakkan diatas tanah kuat, bebas dari lumpur, dan pengaruh perubahan cuaca.

##### 2.4.4.1 Jenis-Jenis Pondasi

Secara umum, pondasi dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu :

- a. Pondasi Dangkal (*Shallow Foundation*): yaitu suatu pondasi dimana perbandingan antara kedalaman dengan lebarnya kurang dari 4 atau

$\left(\frac{D}{B} < 4\right)$ . Termasuk kedalam kategori pondasi dangkal adalah :

- b. Pondasi setempat / pondasi telapak
- c. Pondasi lajur
- d. Pondasi pelat bertulang
- e. Pondasi pelat menyeluruh / penuh
- f. Pondasi Dalam (*Deft Foundation*): adalah suatu pondasi dimana kedalamannya lebih besar atau sama dengan empat kali lebarnya atau

$\left(\frac{D}{B} \geq 4\right)$ . Pondasi dalam meneruskan beban-beban di atasnya melalui poer.

Pondasi dalam dapat berupa :

- g. Pondasi tiang pancang (umumnya terdiri dari beberapa tiang)
- h. Pondasi tiang bor (umumnya berupa tiang tunggal)



- i. Pondasi sumuran / caisson (dengan kedalaman dasar 4 - 6 m)

#### 2.4.4.2 Pemilihan Jenis / Type Pondasi

Untuk mendapatkan pondasi yang memenuhi syarat aman dan ekonomis, maka pemilihan jenis/tipe pondasi perlu dipertimbangkan terhadap beberapa hal sebagai berikut :

- a. Keadaan tanah dasar pondasi yaitu menyangkut letak kedalaman tanah yang diharapkan mampu untuk menahan beban dari bangunan di atasnya, besarnya tegangan ijin tanah dasar pondasi pada kedalaman tersebut, struktur lapisan tanah dibawah pondasi dan letak air tanah.
- b. Fungsi bangunan di atasnya (*super structure*) yang meliputi besar beban yang harus ditahan oleh pondasi dan batas penurunan yang masih diijinkan.
- c. Waktu dan biaya pelaksanaan yaitu menyangkut lama waktu pelaksanaan pondasi dan besarnya anggaran yang disediakan.

#### 2.4.4.3 Daya Dukung

Mekanisme pendukung pondasi berdasarkan prinsip bahwa beban vertikal dan momen yang bekerja pada pondasi, sebagian besar ditahan oleh daya dukung tanah (*bearing capacity*) tanah pada dasar pondasi dan beban mendatar sebagian besar ditahan oleh hambatan geser (*sliding resistance*) dari besar pondasi. Dalam hal ini metode yang dapat digunakan untuk



mendapatkan daya dukung puncak ( $q_{ult}$ ) suatu pondasi dapat ditentukan dengan beberapa metode yang ada seperti halnya :

**a. Persamaan Daya Dukung Terzaghi.**

Persamaan daya dukung terzaghi ini dimaksudkan untuk pondasi dangkal dimana pondasi ( $D$ ) lebih kecil atau sama dengan lebar pondasi ( $B$ ) yang direncanakan. Adapun persamaan daya dukung menurut terzaghi dirumuskan sebagai berikut :

$$q_{ult} = c \cdot Nc \cdot Sc + q \cdot Nq + 0,5y \cdot B \cdot Ny \cdot Sy$$

dimana :

$$Nq = \frac{a^2}{2 \cos^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)} \dots\dots\dots (2-78)$$

$$a = e^{(0,75 \pi - \phi/2) \tan \phi}$$

$$Nc = (Nq - 1) \cos \phi$$

$$Ny = \frac{\tan \phi}{2} \left( \frac{K_{py}}{\cos^2 \phi} - 1 \right) \dots\dots\dots (2-79)$$

Sedangkan nilai dari  $Sc$ ,  $Sy$  diambil dari 4-1 dan nilai tipikal, nilai  $Kpy$  diambil dari tabel 4-2 buku “Joseph E Bowles, Analisis dan Desain Pondasi”.

**b. Persamaan Daya Dukung Meyerhof**

Menurut meyerhof persamaan daya dukung pondasi dirumuskan sebagai berikut :



$$q_{ult} = c \cdot Nc \cdot Sc \cdot Dc + q \cdot Nq \cdot Dc + 0,5y \cdot B \cdot Ny \cdot Sy \cdot dy ;$$

untuk beban vertikal

$$q_{ult} = c \cdot Nc \cdot Sc \cdot ic + q \cdot Nq \cdot ic + 0,5y \cdot B \cdot Ny \cdot Sy \cdot iy ;$$

untuk beban horisontal

dimana :

$$Nq = e^{\pi \sin \phi} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \dots\dots\dots (2-80)$$

$$Nc = (Nq - 1) \cos \phi \text{ dan } Ny = (Nq - 1) \tan (1,4 \cdot \phi) \dots\dots\dots (2-81)$$

Sedangkan untuk faktor bentuk, kedalaman dan inklinasi diambil dari tabel 4-3 buku “joseph E. Bowles, Analisis dan Desain Pondasi”.

Menurut Meyerhof persamaan tegaangan ijin tanah dirumuskan sebagai berikut :

$$q_{ult} = \frac{\left\{ qc \cdot B \left( 1 + \frac{D}{B} \right) \right\}}{40} \dots\dots\dots (2-82)$$

$$q \text{ tanah} = \frac{q_{ult}}{fk} \dots\dots\dots (2-83)$$

dimana :

$q_{ult}$  = Daya dukung batas

$qc$  = Nilai konus pada kedalaman tertentu

$B$  = Lebar pondasi dalam 1 meter

$D$  = Kedalamn pondasi

$\sigma t$  = Tegangan ijin tanah

$fk$  = Faktor keamanan ( $fk = 3$ )



#### 2.4.4.4 Pondasi Bor Pile

Penggunaan pondasi tiang BorePile karena daya dukung tanah dipermukaan tidak mampu mendukung berat bangunan di atasnya dan beban yang membebaninya, untuk menyalurkan beban di atasnya ke tanah yang mempunyai daya dukung yang lebih besar. Pondasi tiang bore pile dipasang kedalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, kemudian diisi dengan tulangan dan dicor beton. Tiang ini biasanya dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat bor. Jika tanah mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik keatas pada waktu selesai pengecoran beton.

Langkah-langkah perencanaan pondasi bore pile dan dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Perhitungan daya dukung tiang bore pile dari uji kerucut statis (sondir) :
  - a. Tahanan ujung ultimate tiang ( $Q_b$ ) dinyatakan oleh persamaan

$$Q_p = A_b \cdot q_c$$

Dimana,  $A_b$  = luas penampang ujung bawah tiang

$Q_c$  = daya dukung tanah

Meyerhoff (1976) juga menyarankan penggunaan  $q_c$  adalah  $q_c$  rata-rata dihitung dari  $8d$  diatas dasar tiang sampai  $4d$  dibawah dasar tiang.

Bila belum ada data hubungan antara tahanan kerucut ( $q_c$ ) dan tahanan tanah yang meyakinkan, Tamlinson (1977) menyarankan penggunaan faktor  $\omega$  untuk menghitung tahanan ujung :



$$Q_p = \omega \cdot A_b \cdot q_c \quad \rightarrow \quad \text{dengan } \omega = 0,5$$

b. Tahanan geser dinding tiang dinyatakan dalam persamaan

$$Q_s = K \cdot JHP$$

Dimana,  $K$  = keliling tiang

$JHP$  = Jumlah Hambatan Pelekatan

c. Kapasitas ultimate tiang bore pile

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= A_b \cdot q_c + K \cdot JHP \end{aligned}$$

d. Daya dukung ijin tiang

$$\bar{Q} = \frac{Q_p}{SF} + \frac{Q_s}{SF}$$

Kontrol daya dukung tiang :

$$\frac{EV}{n} \leq \bar{Q}$$

Daya dukung pada kelompok Bore Pile

$$Q_{\text{mak}} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_x \cdot y_1}{\sum x^2} \pm \frac{M_y \cdot x^2}{\sum y^2}$$

Beban yang diterima tiang adalah beban maksimum

Untuk daya dukung kelompok tiang harus dikoreksi terlebih dahulu dengan koefisien efisiensi (E).

Menurut Los Angeles Group – Avtion Formula,

$$E_g = 1 - \frac{d \cdot \{m \cdot (n-1) + (m-1) + \sqrt{2 \cdot (m-1) \cdot (n-1)}\}}{\pi \cdot s \cdot m \cdot n}$$



Kontrol daya dukung tiang :

$$Q_{\text{mak}} \leq 1,5 \cdot \bar{Q}$$

## 2.5 Peraturan Yang Digunakan

Peraturan-peraturan yang digunakan dalam perencanaan Tugas Akhir ini adalah :

1. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI-03-2847-2002.
2. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983).
3. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung SNI 03-1729-2002.
4. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002.