BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perancangan struktur merupakan unsur yang penting pada pembangunan suatu gedung agar gedung dapat menghasilkan gedung yang kuat,aman nyaman namun tetap ekonomis. Dalam perancangan suatu struktur gedung bertingkat tinggi,keamanan merupakan faktor utama yang harus diperhatikan. Gaya lateral maupun aksial harus diperhitungkan agar struktur memiliki ketahanan terhadap gaya – gaya tersebut.

Dalam perencanaan suatu gedung,analisis terhadap gaya – gaya dalam struktur diperlukan untuk memperkirakan reaksi yang akan ditimbulkan apabila suatu struktur bangunan dikenai gaya tersebut. Secara keseluruhan struktur bangunan gedung terdiri dari dua bagian yaitu struktur bagian atas yang berupa balok,kolom dan plat lantai,sedangkan struktur bagian bawah berupa pondasi. Struktur atas berfungsi sebagai pendukung gaya – gaya yang bekerja pada suatu gedung,sedangkan struktur bawah berfungsi sebagai penahan serta menyalurkan gaya – gaya tersebut ke tanah.

Pada dasarnya,kolom dan balok menempati posisi penting di dalam sistem struktur bangunan. Kegagalan pada struktur kolom dan balok akan berakibat langsung pada runtuhnya komponen struktur lain yang berhubungan dengannya,atau dapat juga menjadi batas keruntuhan total dari keseluruhan struktur bangunan.Sehingga,di dalam perencanaan kolom harus direncanakan dengan teliti,karena umumnya kegagalan atau keruntuhan komponen tekan tidak diawali dengan tanda peringatan yang jelas bersifat mendadak. Oleh karena itu sangat diperlukan perhitungan yang akurat terhadap perencanaan kolom dan balok bangunan gedung.

Berdirinya bangunan gedung tentunya harus melalui tahapan yaitu perhitungan struktur yang benar – benar teliti dan akurat,karena menyangkut keselamatan dan kenyamanan bagi para pengguna gedung. Struktur biasanya akan mampu bertahan terhadap *deformasi* jika memiliki kemampuan berubah bentuk *(berdeformasi).* Disamping memerlukan perhitungan yang teliti dan akurat,perencanaan bangunan gedung juga harus memperhatikan faktor ekonomis. Hal ini dimaksudkan agar bangunan yang direncanakan kokoh dengan tidak memakan banyak biaya. Tetapi sering didapati kegagalan suatu bangunan dikarenakan kurang teliti di dalam perhitungan, dalam hal ini (dimensi kolom dan balok,tulangan momen,tulangan geser) sehingga ketika gempa terjadi bangunan tersebut langsung ambruk. Juga sering didapati dalam merencanakan suatu kolom dan balok memerlukan biaya yang tidak sedikitsehingga sering merugikan konsumen. Untuk mendapatkan tujuan yang diinginkan kita harus benar – benar merencanakan kolom dan balok bangunan dengan sangat teliti mulai dari pendimensian kolom dan balok sampai pada kontrol penulangannya.

Untuk itu pada laporan ini penulis akan membahas perhitungan deformasi pada struktur. Akan tetapi penulis hanya membatasi untuk menghitung struktur pada bagian atas saja yaitu tentang kolom. Pada laporan ini penulis menggunakan metode matriks untuk membantu dalam menghitung gaya – gaya yang terjadi serta dapat menganalisis bagaimana hubungan dari pada deformasi terhadap jarak antar kolom pada suatu struktur bangunan gedung.

1.2 Maksud Dan Tujuan

1. Maksud

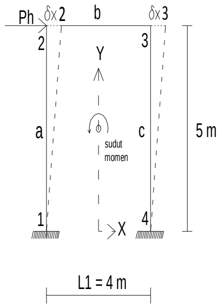
   Untukmengetahui hubungan jarak antar kolom dengan deformasi yang terjadi pada portal.

2. Tujuan
   - Untuk mengetahui berapa nilai deformasi dengan jarak antar kolom yang bervariasi, tetapi tinggi kolom tetap dan beban yang bekerja adalah beban horizontal dengan besar gaya (F = m x a).
   - Membandingkan hasil perhitungan deformasi secara manual dengan program komputer SAP 2000.

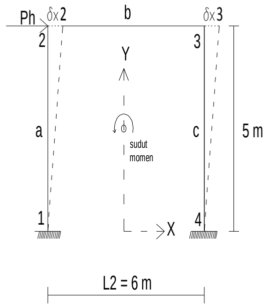
1.3 RumusanMasalah

Dalam penyelesaian tugas akhir ini adapun permasalahan yang akan di bahas ialah :

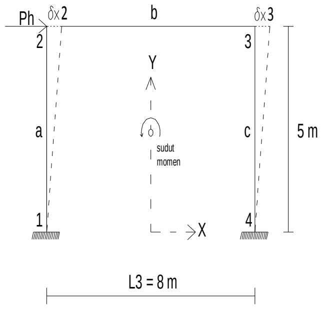
1. Menghitung berapa besarnya deformasi yang terjadi pada portal dengan jarak yang bervariasi.
2. Membandingkan besarnya deformasi yang terjadi pada portal dengan bentang antar kolom yang berbeda, dapat dilihat pada gambar 1,2,3,4,5 dan 6.
3. Menghitung berapa besarnya gaya dalam yang terjadi dari deformasi yang di dapat dengan beban horizontal, seperti terlihat pada gambar 1,2,3,4,5 dan 6.



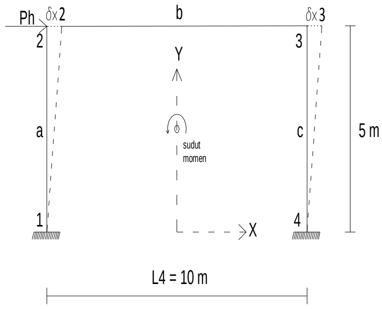
Gambar 1



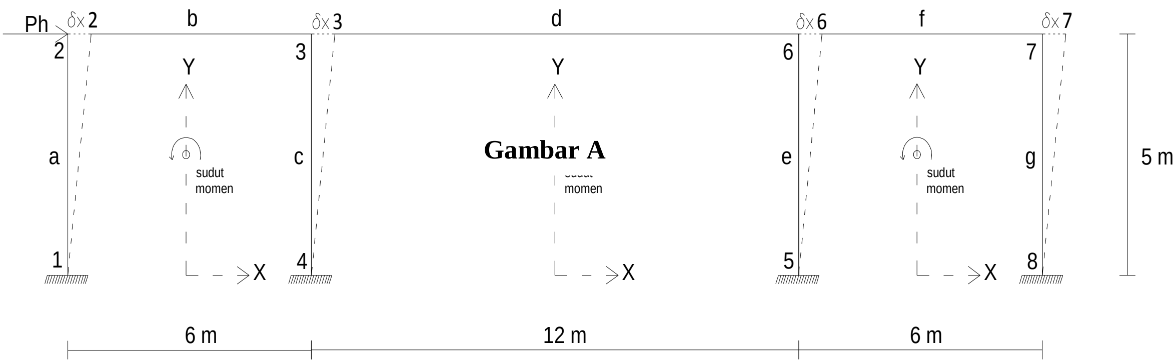
Gambar 2



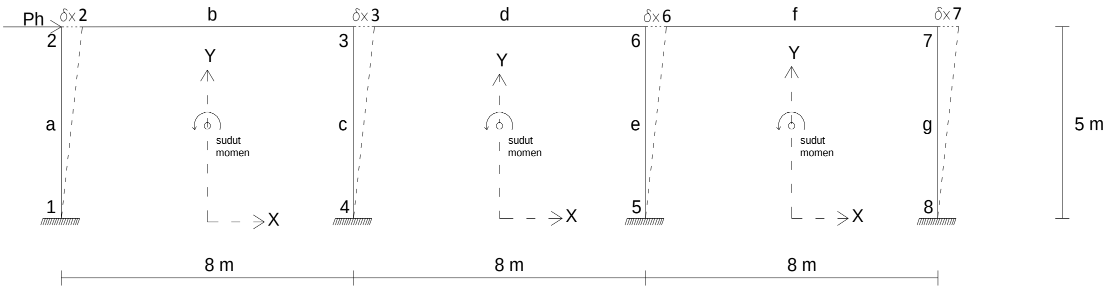
Gambar 3



Gambar 4

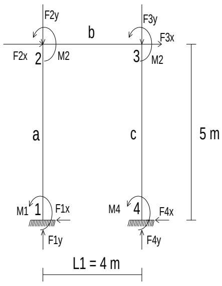


Gambar 5

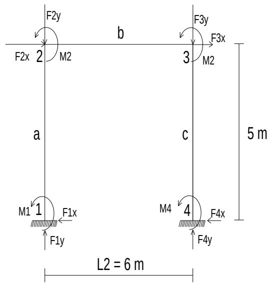


Gambar 6

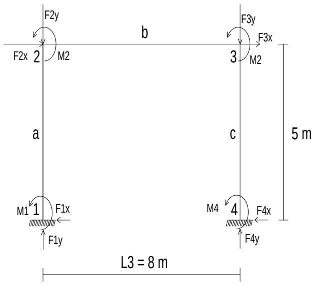
Gambar 1.1Deformasi Yang Terjadi Pada Portal



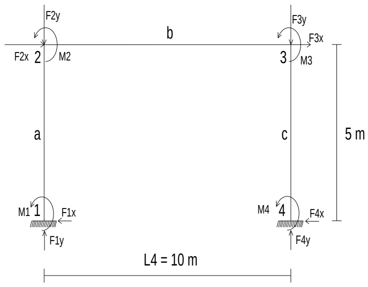
Gambar 1



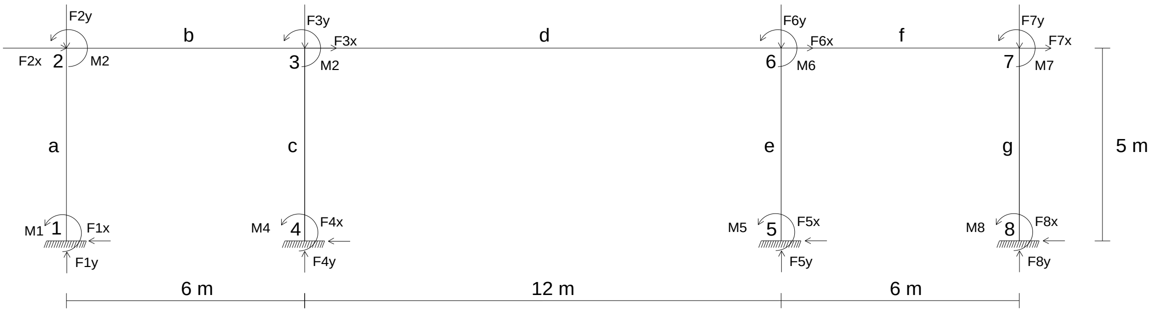
Gambar 2



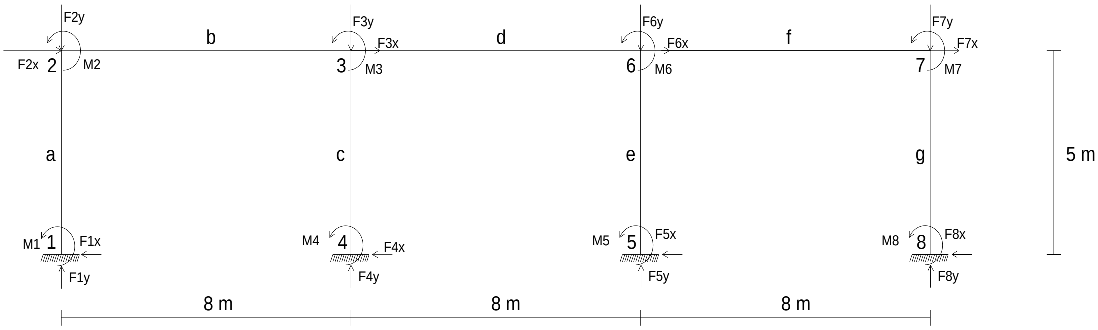
Gambar 3



Gambar 4



Gambar 5



Gambar 6

Gambar 1.2Gaya Dalam Akibat Beban Horizontal

1.4 Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup permasalahan yang ditinjau agar tidak terlalu luas,maka diambil beberapa batasan masalah sebagai berikut :

- Variabel Yang Tetap :
    1. Mutu Beton (f'c = 25 Mpa)
    2. Modulus Elastisitas ($E = 4700 \sqrt{f'c}$)
    3. Percepatan (a = 0,3g)
    4. Tinggi (h = 5 M)
- Variabel yang Berbeda :
    1. Panjang Bentang (L)
    2. Dimensi Penampang (b/h)
    3. Inersia ($I = 1/12\ bh^3$)
    4. Gaya Horizontal (Ph = F = m . a)

1.5 Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai penulisan skripsi ini, maka dibagi secara sistematis ke dalam lima bab sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Meliputi : Latar Belakang, Perumusan Masalah, Maksud Dan Tujuan Penulisan Tugas Akhir, Batasan Masalah, Sistematika Penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi uraian dasar mengenai dasar – dasar teori mengenai Beton Bertulang dan masalah - masalah keteknikan yang sering dialami pada saat pelaksanaannya.

BAB III METODOLOGI PENULISAN

Dalam penulisan tugas akhir ini, studi literatur hanya meliputi analisis struktur portal Yang menggunakan beton bertulang, dengan membandingkan Bagaimana hubungan deformasi dengan jarak antar kolom terhadap kekakuan struktur.

BAB IV ANALISA PERHITUNGAN DAN PENGOLAHAN DATA

Dalam hal ini, pemodelan struktur yang digunakan untuk mengetahui besarnya deformasi yang terjadi dan kekakuan pada struktur portal adalah pemodelan yang menggunakan metode matriks kekakuan dan bantuan SAP 2000

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari keseluruhan analisa serta saran – saran yang dapat digunakan sebagai dasar perencanaan portal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Metode matriks merupakan konsep baru dalam analisis struktur yang memungkinkan langkah idealisasi struktur untuk menyusun persamaan – persamaan linear yang diperlukan dalam penentuan tanggap struktur, baik berupa perpindahan maupun gaya – gaya dalam pada suatu stuktur.Dengan metode matriks kekakuan kita dapat mengubah suatu masalah dengan derajat kebebasan tertentu, sehingga proses pemecahannya akan lebih sederhana.

*Susatio (2004)*menyatakan bahwa metode matriks kekakuan adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis.

Menurut *Purba dan Tarigan (2012)* Persoalan yang menyangkut geometri yang rumit terhadap struktur yang kompleks, pada umumnya sulit dipecahkan melalui matematika analisis. Formulasi dari metode matriks kekakuan dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini.

Konsep yang mendasari metode matriks kekakuan menurut *BargessLesmana danTallar(2009)* adalah prinsip *discretization*. *Diacretization* atau diskritisasi adalah membagi sesuatu menjadi bentuk yang lebih kecil dan penyatuan secara keseluruhan yang dapat menstumulir keadaaan tersebut secara menyeluruh.

Katili (2008) menyebutkan bahwa struktur diskrit terbentuk dari gabungan elemen yang perilakunya diharapkan mewakili perilaku struktur *kontinu*. Perilaku masing – masing elemen digambarkan dengan fungsi pendekatan yang mewakili peralihan dan tegangan yang akhirnya dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan matriks.

2.2 Perencanaan Portal

2.2.1 Metode Matriks Kekakuan

Perkembangan yang pesat dalambidang komputer menyebabkan analissis struktur yang mengacu pada metode matriks kekakuan menjadi populer dan dapat dilakukan menggunakan bantuan komputer. Hal ini dikarenakan langkah – langkah analisis pada metode matriks kekakuan sangat sistematis dan terpola sehingga mudah diprogram komputer.Dengan metode matriks kekakuan, analisis struktur yang kompleks dapat dilakukan dengan mudah dan cepat jika menggunakan bantuan komputer.Dalam metode ini, elemen struktur pada bangunan balok dan kolom harus di rencanakan sedemikian rupa,karena pada bagian ini yang akan mengalami lenturan,sehingga gaya internal yang terjadi adalah gaya aksial,gaya geser,dan momen.Untuk elemen portal pada setiap batang harus ditentukan komponen deformasi gaya yang bekerja untuk mendapatkan matriks kekakuan batang.

$$\{ f \} = [K] [\delta] \rightarrow \{ \delta \} = [K]^{-1} \{ f \}$$

Dimana : f = Gaya

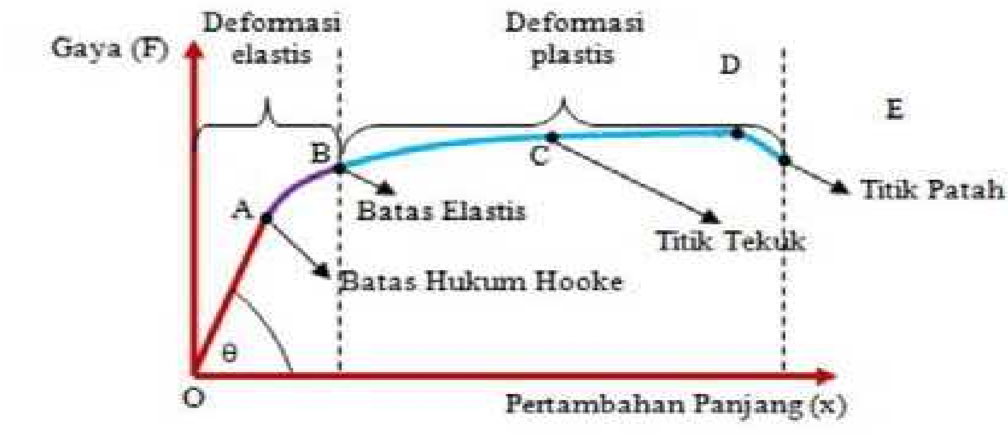
K = Kekakuan

δ = Deformasi

Dalam metode matriks kekakuan,beberapa hal perlu diketahui sebelum analisis struktur dilakukan.Sifat – sifat bahan yang menyatakan hubungan antara tegangan dan deformasi perlu diketahui.Hubungan antara tegangan atau gaya internal batang dengan deformasi menunjukan kekakuan suatu batang tertentu. Deformasi terjadi bila bahan mengalami gaya.

Selama deformasi,bahan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja sepanjang deformasi. Modulus elastisitas adalah ukuran kekerasan*(stiffness)* dari suatu bahan tertentu.Modulus inididefinisikan sebagai perbandingan tegangan yang bekerja pada

Sebuah benda dengan regangan-regangan yang terjadi.Modulus ini dapat ditentukan dari perhitungan atau pengukuran kurva tegangan – regangan *(Stress-strain)*seperti ditunjukan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3Kurva Tegangan - Regangan Beton

Prinsip lain yang harus diperhatikan adallah prinsip kesepadanan *(compability).* Batang – batang dihubungkan dengan suatu titik simpul untuk membentuk struktur secara keseluruhan.Orientasi batang pada suatu struktur dapat sembarang (batang dapat merupakan batang – batang horizontal , vertikal atau membentuk suatu sudut kemiringan tertentu).

Deformasi atau perpindahan ujung – ujung batang yang bertemu pada suatu ttitik simpul tertentu harus sepadan *(compatible)* dengan perpindahan pada titik simpul tersebut. Perpindahan titik – titik simpul suatu struktur biasanya diukur pada sumbu Certasius sebagai koordinat global struktur. Untuk memenuhi prinsip kesepadanan maka diperlukan suatu transformasi dari sumbu lokal batang kesumbu global struktur, agar semua pengukuran perpindahan gaya dilakukan pada suatu sistem koordinat tertentu.

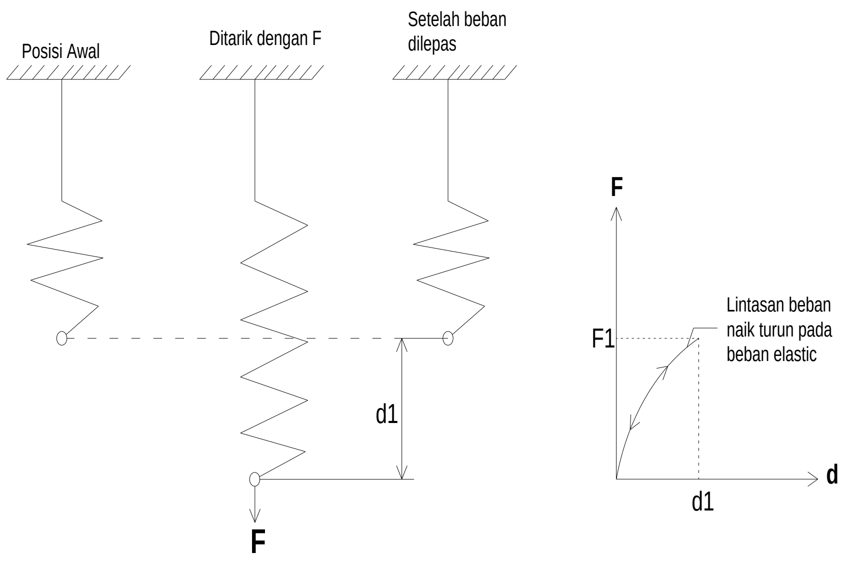
Apabila batang – batang digabungkan pada struktur yang stabil, keseimbangan antara beban luar dan perpindahan yang terjadi terpenuhi. Oleh pengaruh beban luar yang bekerja pada titik – titik simpul, dapat dihitung perpindahan titik simpul tersebut. Besarnya perpindahan titik simpul yang terjadi tergantung dari kekakuan struktur tersebut. Semakin kaku suatu struktur smakin kecil perpindahan yang terjadi.

Selanjutnya dari hubungan kesepadanan, dapat dihitung deformasi pada setiap batang yang pada akhirnya dengan hubungan gaya internal dan deformasi, gaya – gaya batang dapat diperoleh. Mengingat langkah – langkah hitungan dalam metode kekakuan,metode matriks kekakuan sering disebut metode perpindahan, karena pertama kali dihitung adalah perpindahan. Setelah perpindahan diperoleh gaya – gaya batang dihitung.

2.2.2 Sifat – Sifat Bahan

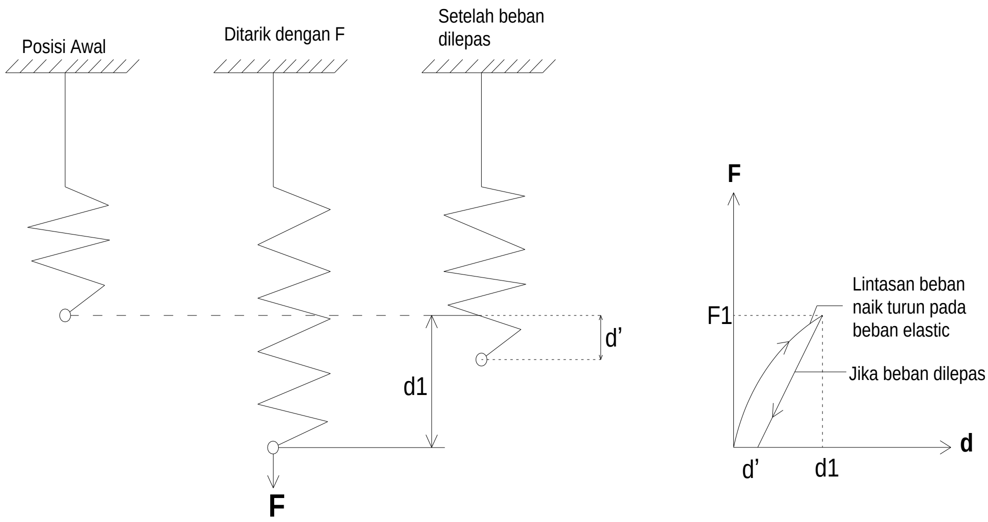
2.2.2.1Bahan Yang Bersifat Elastic Dan Inelastic

Perilaku bahan yang bersifat elastic ditunjukkan pada gambar 2.4, dimana hubungan beban dan perpindahan mempunyai intasan yang sma baikpada saat dibebani maupun pada saat beban dilepas serta selalu kembali ke posisi semula.



Gambar 2.4 Bahan Elastic

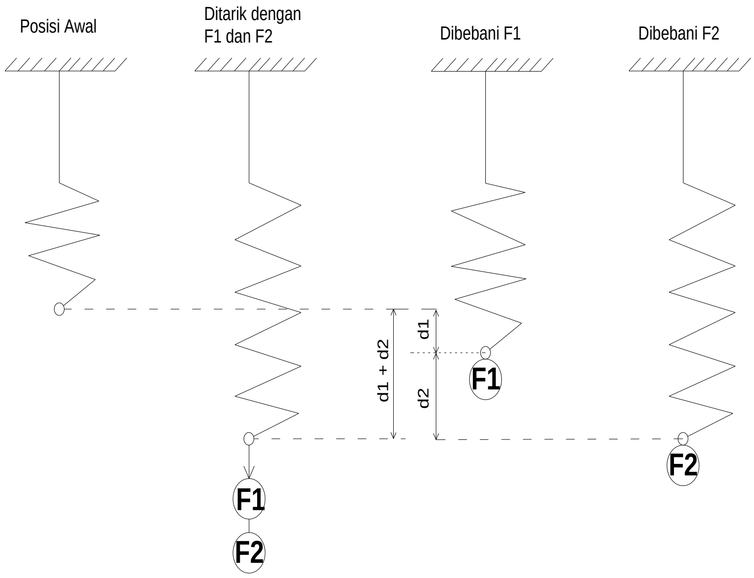
Pada bahan elastic, jika beban dilepas maka bahan tersebut tidak kembali ke posisi semula, tetapi masih terdapat deformasi tertentu seperti ditunjukkan pada gambar 2.5



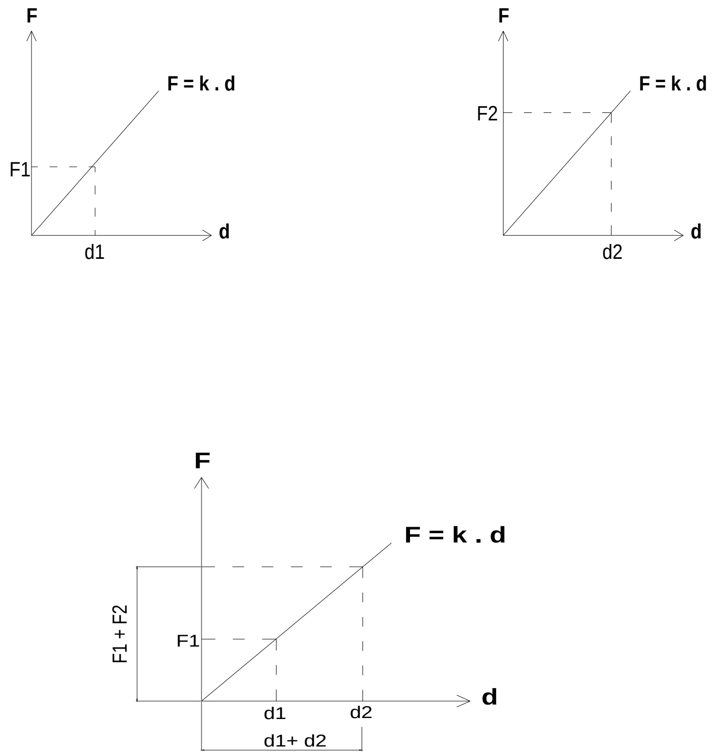
Gambar 2.5 Bahan Inelastic

2.2.2.2Bahan Yang Bersifat Linier Dan Nonlinier

Suatu bahan dapat bersifat linier dan nonlinier. Padabahan linier berlaku prinsip superposisi, sedangkan pada bahan nonlinier tidak.Hal iniditunjukkan pada gambar 2.6 dan gambar 2.7 untuk bahan linier serta gambar 2.8 dan gambar 2.9 untuk bahan nonlinier.



Gambar 2.6 Perilaku Pegas (Bahan) Linier



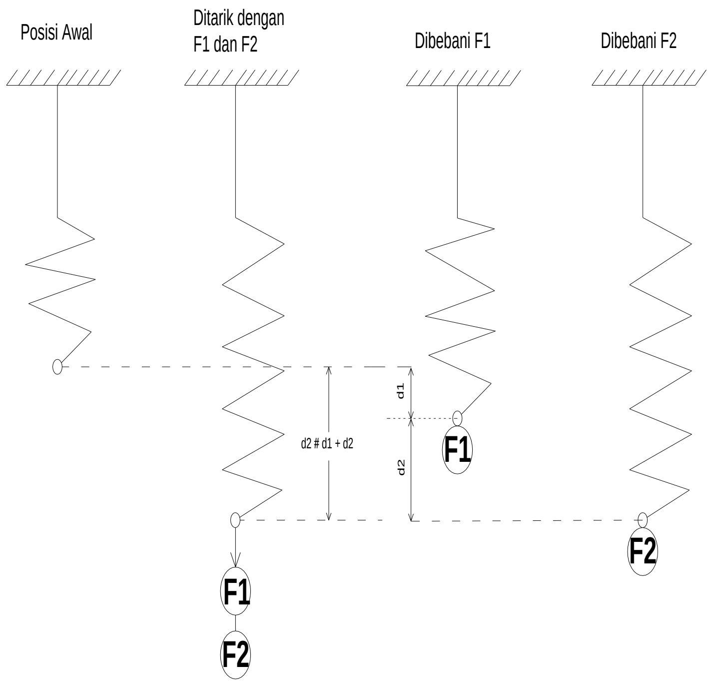
Gambar 2.7 Hubungan Beban Dan Perpindahan Bahan Linier

(berlaku prinsip superposisi)

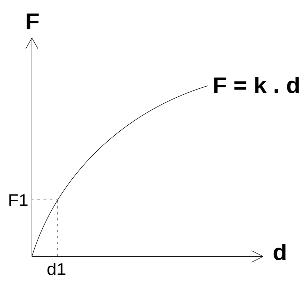
Pada bahan linier hubungan antara beban (F) dan perpindahan (d) mengikuti garis lurus,sehingga berlaku :

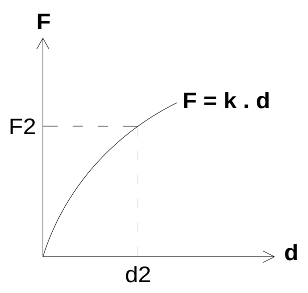
$F = k . d$ Jika padagambar 2.8 mempunyai kekakuan yang tinggi, maka diperlukan gaya yang besar untuk memberikan perpindahan yang besar. Untuk gaya yang konstan, maka perpindahan akan semakin kecil jika kekakuan pegas semakin besar. Pada bahan nonlinier, hubungan antara gaya (F) dan perpindahan (d) mengikuti suatu garis nonlinier. Dalam hal ini berlaku :

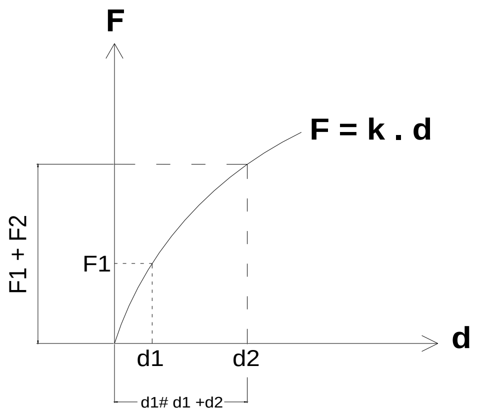
$$\mathbf{F = k . d^n}$$



Gambar 2.8 Perilaku Pegas (Bahan)nonlinier





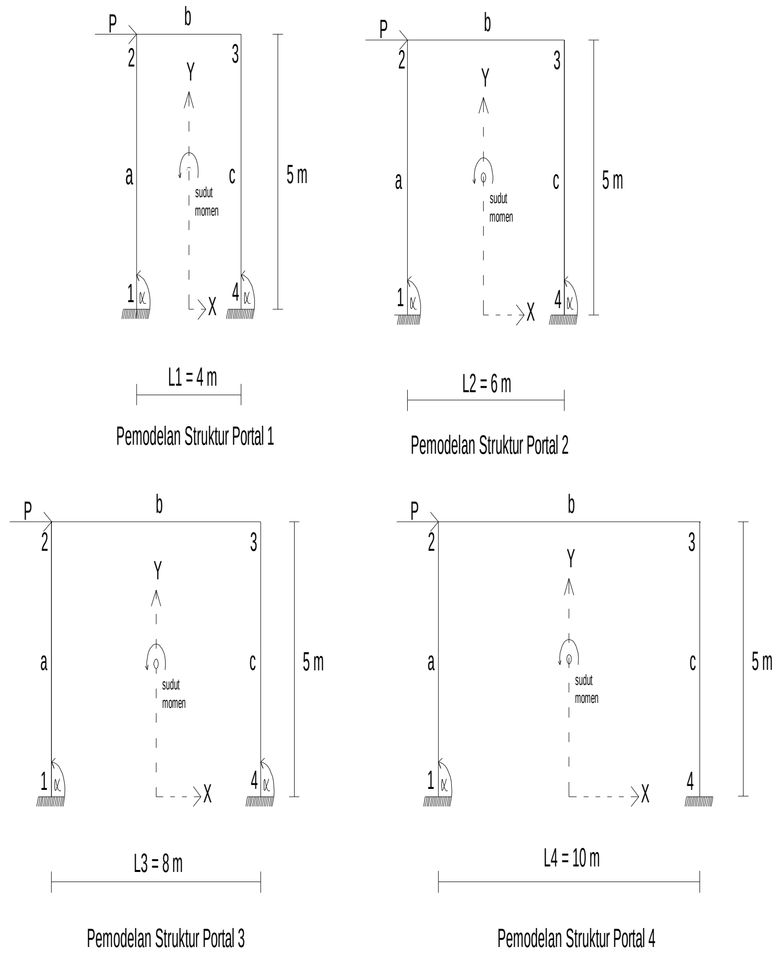


Gambar 2.9 Hubungan Beban Dan Perpindahan Nonlinier

(Tidak berlaku prinsip superposisi)

2.3 Struktur Portal Bidang2.3.1 Tinjauan Umum

Portal bidang adalah suatu struktur dimana titik kumpul yang merupakan pertemuan batang – batang dihubungkan secara kaku. Portal bidang terdiri dari balok dan kolom.Pada pembahasan ini,pemodelan portal yang akan dianalisis dapat dilihat pada gambar 2.10 yang terdiri dari balok dan kolom.



Gambar 2.10 Pemodelan Portal

2.3.2 Matriks Kekakuan Batang Dalam Koordinat Lokal

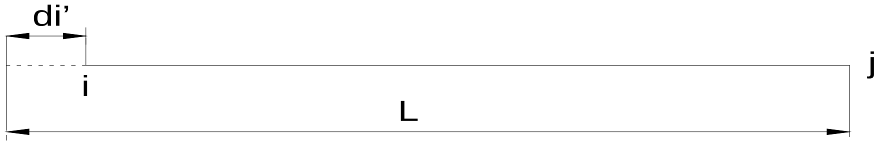
Matriks kekakuan batang dalam koordinat lokal dapat diturunkan dengan 1 (satu) satuan deformasi pada ujung batang dan dicari besar gaya batang akibat deformasi tersebut. Untuk elemen portal ada 6 komponen deformasi pada setiap batang yang berhubungan dengan gaya batang seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11

b. Deformasi Batang

a. Gaya Internal Batang

Gambar 2.11 Gaya Batang Dan Deformasi Elemen Portal Bidang

Pada gambar 2.9 di’x, di’y, dan Øi berturut – turut adalah perpindahan arah horizontal, vertikal, dan rotasi jung kiri. Hal yang sama di definisikan untuk dj’x, dj’y, dan Øj. Sedangkan gaya – gaya fix, fiy dan Mi adalah gaya aksial, gaya normal dan momen pada ujung kiri. Demikian secara sama berturut – turut adalah gaya aksial, gaya normal dan momen ujung kanan untuk fjx,fjy dan Mj. Langkah untuk mendapatkan matriks kekakuan batang sebagai berikut : a. Dikerjakan di’x, sedangkan perpindahan yang lain = 0,seperti ditunjukan pada gambar 2.12



a. Deformasi di’

b. Gaya batang oleh deformasi di’x

Gambar 2.12 Hubungan Gaya Dan Deformasi Oleh di'x

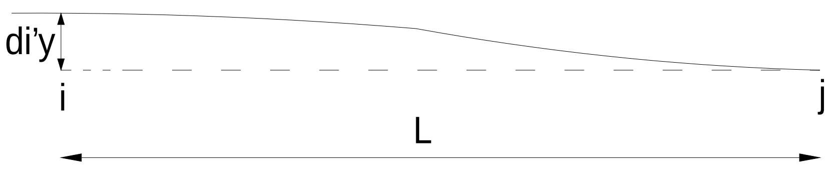
Di ujung i : Di ujung j :

fix = 0 fjx = 0

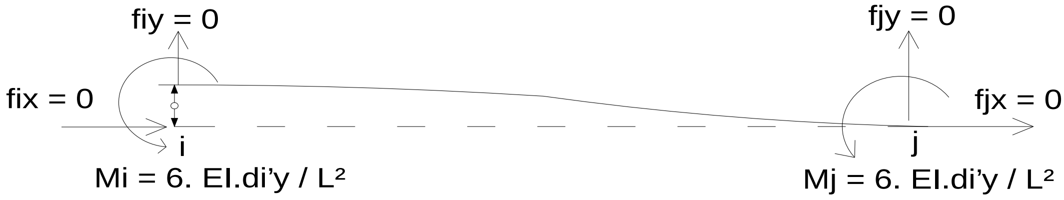
fiy = $\frac{12\,EI}{L^3}$di’y fjy = $\frac{12\,EI}{L^3}$di’y

Mi = $\frac{6\,EI}{L^2}$di’y Mj = $\frac{6\,EI}{L^2}$di’y

b. Dikerjakan di’y, sedangkan perpindahan yang lain = 0,seperti yang ditunjukkan gambar 2.13



a. Deformasi di’y



b. Gaya – gaya batang oleh deformasi di’y

Gambar 2.13 Hubungan Gaya Dan Deformasi di'y

c. Dikerjakan Øi, sedangkan perpindahan yang lain = 0

Di ujung i :

fix = 0

fiy = $\frac{6EI}{L^2}$ Øi

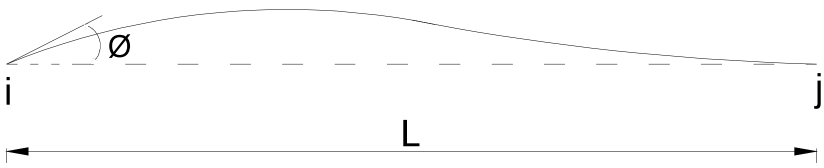
Mi = $\frac{4EI}{L}$ Øi

Di ujung j :

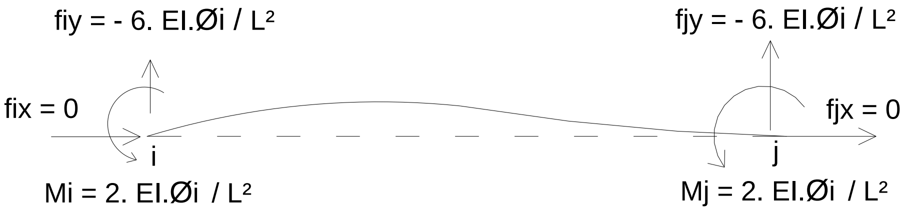
fjx = 0

fjy = - $\frac{6EI}{L^2}$ Øi

Mj = $\frac{2EI}{L}$ Øi



a. Deformasi Øi



b. Gaya – gaya batang oleh Øi

Gambar 2.14 Hubungan Gaya Dan Deformasi Øi

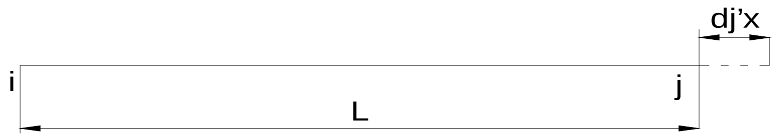
d. Dikerjakandj'x, sedangkan perpindahan yang lain = 0

Di ujung i : Di ujung j :

fix $= -\frac{EA}{L}$ dj'x fjx $= -\frac{EA}{L}$ dj'x

fiy = 0 fjy = 0

Mi = 0 Mj = 0



a. Deformasi dj'x

b. Gaya – gaya batang oleh dj'x

Gambar 2.15 Hubungan Gaya Dan Deformasi dj'x

e. Dikerjakan dj'y, perpindahan yang lain = 0

Di ujung i :

fix = 0

fiy = $-\frac{12EI}{L^3}$ dj'y

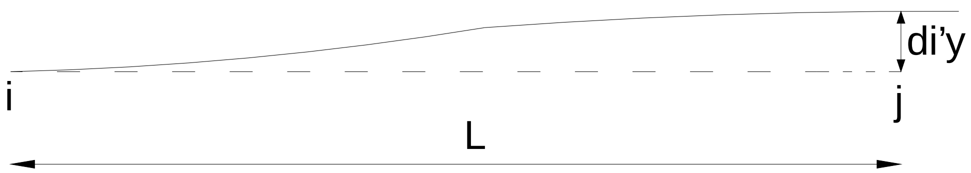
Mi = $-\frac{6EI}{L^2}$ dj'y

Di ujung j :

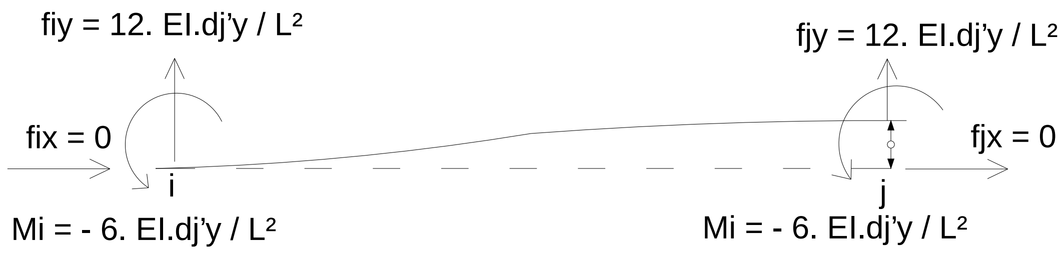
fjx = 0

fjy = $\frac{12EI}{L^3}$ dj'y

Mj = $-\frac{6EI}{L^2}$ dj'y



a. Deformasi dj'y



b. Gaya batang oleh dj'y

Gambar 2.16 Hubungan Gaya Dan Deformasi dj'y

f. Dikerjakan Øj, perpindahan yang lain = 0

Di ujung i :

fix = 0

fiy = $\frac{6EI}{L^2}$ Øj

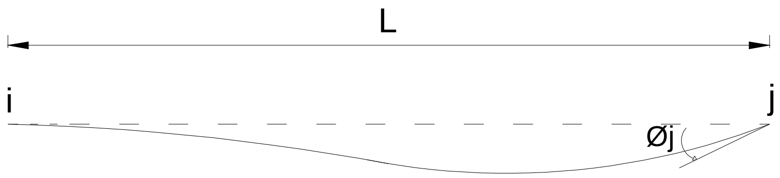
Mi = $\frac{2EI}{L}$ Øj

Di ujung j :

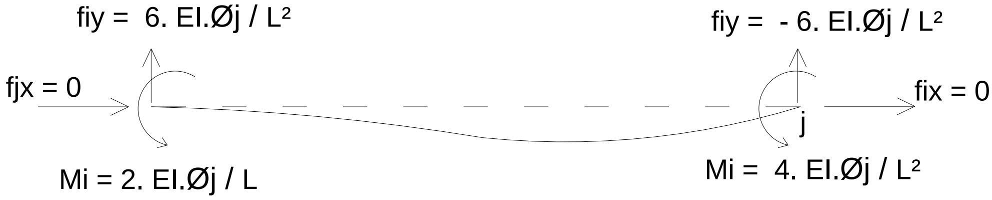
fjx = 0

fjy = $\frac{6EI}{L^2}$ Øj

Mj = $\frac{4EI}{L}$ Øj



a. Deformasi Øj



b. Gaya batang oleh Øj

Gambar 2.17 Hubungan Gaya Dan Deformasi Øj

Dari hubungan gaya dan deformasi, matriks kekakuan batang (dalam koordinat lokal) dapat ditulis sebagai berikut :

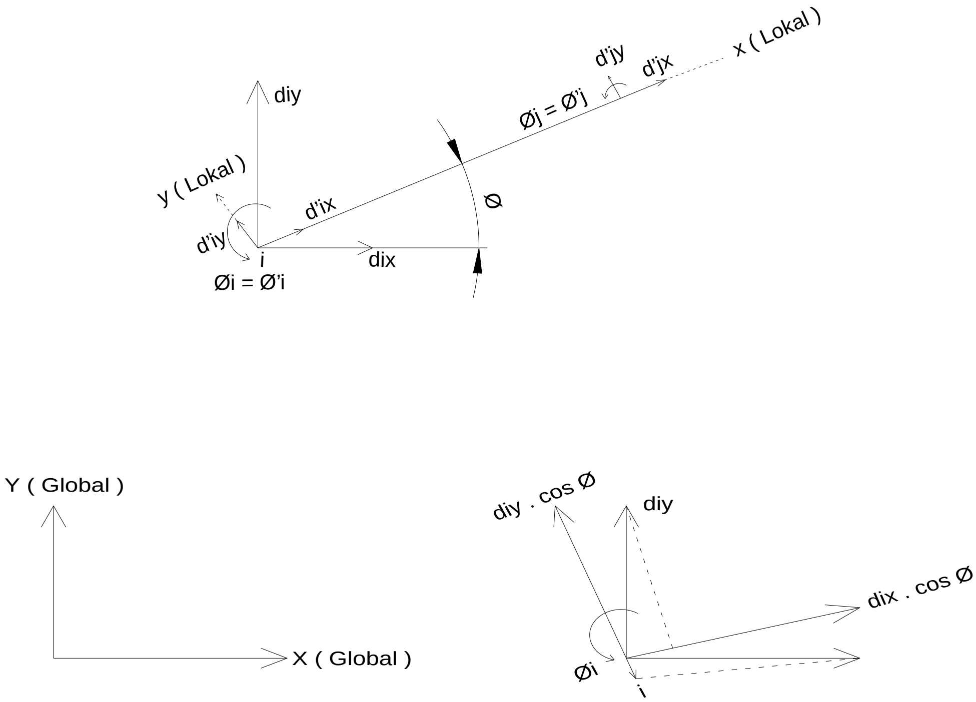
$$\{ f \} = [Ks] \{ \delta \}$$

Dimana :

$$Ks = \begin{bmatrix} EA/L & 0 & 0 & -EA/L & 0 & 0 \\ 0 & 12\,EI/L^3 & 6\,EI/L^2 & 0 & -12\,EI/L^3 & 6\,EI/L^2 \\ 0 & 6\,EI/L^2 & 4\,EI/L & 0 & -6\,EI/L^2 & 2\,EI/L \\ -EA/L & 0 & 0 & EA/L & 0 & 0 \\ 0 & -12\,EI/L^3 & -6\,EI/L^2 & 0 & 12\,EI/L^3 & -6\,EI/L^2 \\ 0 & 6\,EI/L^2 & 2\,EI/L & 0 & -6\,EI/L^2 & 4\,EI/L \end{bmatrix}$$

2.4 Transformasi Perpindahan

Perpindahan dalam koordinat lokal (deformasi batang) dengan orientasi sudut sembarang dapat ditransformasikan ke perpindahan dalam koordinat global.Perpindahan dalam arah koordinat global dinyatakan dalam dalam salib sumbu global X – Y.Untuk mentranformasikan perpindahan dalam koordinat lokal ke perpindahan koordinat global dapat diperoleh menggunakan bantuan gambar 2.16 sebagai berikut :



Gambar 2.18Tranformasi dari Perpindahan{ di'} pada salib sumbu lokal (x – y) Keperpindahan { di } pada salib sumbu global { X – Y }

Di ujung i :

$d_i'x = dix \cos Ø + diy \cos Ø$

$d_i'y = - dix \cos Ø + diy \cos Ø$

$Ø'i = Øi$

Di ujung j :

$d_j'x = djx \cos Ø + djy \cos Ø$

$d_j'y = - djx \cos Ø + djy \cos Ø$

$Ø'j = Øj$

Hubungan antar deformasi batang dan perpindahan dapat ditulis dalam bentuk :

$$\{ \bar{\delta} \} = [T] \{ \delta \} \qquad (2.3)$$

$$\left\{\begin{matrix} \bar{d}_{1x} \\ \bar{d}_{1y} \\ \bar{\emptyset}_1 \\ \bar{d}_{2x} \\ \bar{d}_{2y} \\ \bar{\emptyset}_2 \end{matrix}\right\} \left\{\begin{matrix} C & S & 0 & 0 & 0 \\ -S & C & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C & S & 0 \\ 0 & 0 & -S & C & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix}\right\} \left\{\begin{matrix} d_{1x} \\ d_{1y} \\ \emptyset_1 \\ d_{2x} \\ d_{2y} \\ \emptyset_2 \end{matrix}\right\}$$

Dengan :

C =Cos Ø = $\frac{xj-xi}{L}$, S = Sin Ø = $\frac{Yj-Yi}{L}$ dan Xj = absis ujung j, Xi = absis ujung i, Yj = Ordinat ujung j, Yi = Ordinat ujung i.

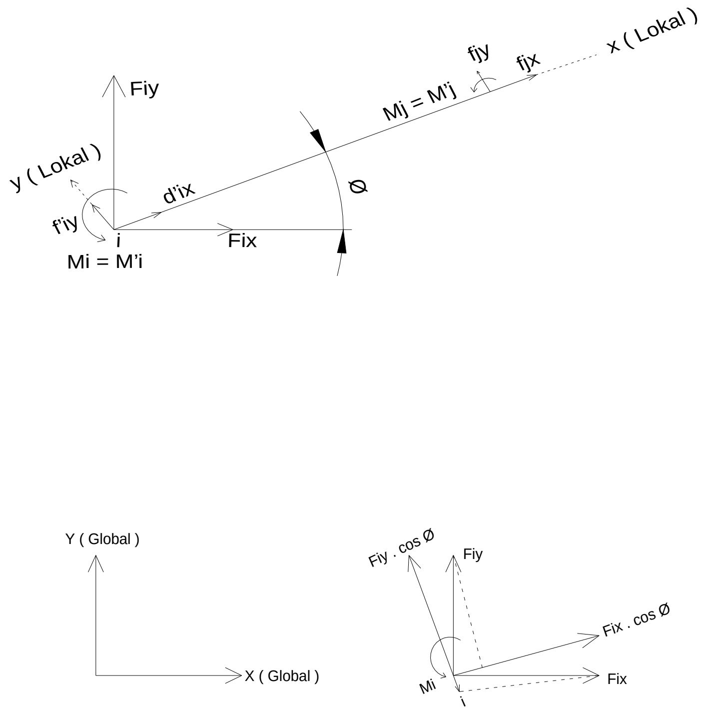
Dari persamaan 2.3 dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut :

$$\{\, \delta \,\} = [\, T \,]\, \{\, \delta \,\} \qquad (2.4)$$

Dengan matriks Transformasi [T] :

$$[\, T \,] \left\{\begin{matrix} \text{Cos}\,\alpha & \text{Sin}\,\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\text{Sin}\,\alpha & \text{Cos}\,\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \text{Cos}\,\alpha & \text{Sin}\,\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\text{Sin}\,\alpha & \text{Cos}\,\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{matrix}\right\}$$

2.5.1 Transformasi Gaya Dengan cara yang sama, gaya batang (dalam koordinat lokal) { f } dapatditransformasikan ke gaya dalam koordinat global { F } seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.16



Gambar 2.19 Transformasi Dari Gaya Batang{ f } pada sumbu lokal (x – y) Ke Gaya – gaya { F } pada salib sumbu global (X – Y)

Dari gambar 2.17 dapatditulis persamaan sebagai berikut :

$$\{ f \} = [\, T \,] \{ F \} \qquad (2.5)$$

Dimana :

$$\begin{bmatrix} fix \\ fiy \\ Mi \\ fjx \\ fjy \\ M'j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C & S & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -S & C & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C & S & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -S & C & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Fix \\ Fiy \\ Mi \\ Fjx \\ Fjy \\ Mj \end{bmatrix}$$

2.6 Matriks Kekakuan Dalam Koordinat Global

Selanjutnya agar matriks kekakuan dapat dirakit ke dalam matriks kekakuan struktur, matriks kekauan koordinat lokal harus di transformasikan terlebih dahulu menjadi matriks kekakuan dalam koordinat global. Matriks kekakuan dalam koordinat global dapat diperoleh Sebagai Berikut :

Subtitusikan persamaaan 2.4 **{ δ' } = [T] { δ** } pada persamaan **{ *f* } = [k] { δ' }** sehingga diperoleh :

{ *f* } = [k] [T] { δ } Selanjutnya Subtitusikan persamaaan 2.5 { *f* } = [T] { F } pada persamaan terakhir, sehingga diperoleh persamaan :

[T] { F } = [k] [T] { δ } Kalikan kedua ruas persamaan dengan $[\ T\ ]^T$ Sehingga diperoleh persamaan : $[\ \boldsymbol{T}\ ]^{\boldsymbol{T}}$ **[T] { F } =** $[\ \boldsymbol{T}\ ]^{\boldsymbol{T}}$ **[k] [T] { δ }** Karena matriks transformasi [T] adalah matriks orthogonal, yaitu : $[\ \boldsymbol{T}\ ]^{\boldsymbol{T}} = [\ \boldsymbol{T}\ ]^{-1}$

maka persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut:

$\mathbf{F}$ **=** $[\ \boldsymbol{T}\ ]^{\boldsymbol{T}}$**[k] [T] { δ }(2.6)** Selanjunya untuk mengambil kekakuansumbu global [K] dapat ditulis sebagai berikut :

[$\mathbf{K}$] = $[\ \boldsymbol{T}\ ]^{\boldsymbol{T}}$**[k] [T]** **(2.7)** Sebagai matriks kekakuan dalam koordinat global , persamaan 2.7 dapat ditulis sebagai berikut :

$\mathbf{F}$ **= [K] { δ }** **(2.8)**

Dalam hal ini , matriks kekakuan dalam koordinat global **[K] =** $[\ \boldsymbol{T}\ ]^{\boldsymbol{T}}$ **[k] [T]**dapat ditulis sebagai berikut :

$$
\begin{array}{cccccc}
d1x & d1y & \text{Ø}1 & d2x & d2y & \text{Ø}1
\end{array}
$$

$$
\left[\begin{array}{ccc|ccc}
AC^2 \frac{12I}{L^2} S^2 & \left(A - \frac{12I}{L^2}\right) CS & -\frac{6I}{L} S & -\left(AC^2 + \frac{12IS}{L^2} S^2\right) & -\left(A - \frac{12I}{L^2}\right) CS & -\frac{6I}{L} S \\
\left(A - \frac{12I}{L^2}\right) CS & AS^2 \frac{12I}{L^2} C^2 & \frac{6I}{L} C & -\left(A + \frac{12I}{L^2}\right) CS & -\left(AS^2 + \frac{12I}{L^2} C^2\right) & \frac{6I}{L} C \\
-\frac{6I}{L} S & \frac{6I}{L} C & 4I & \frac{6I}{L} S & -\frac{6I}{L} C & 2I \\
\hline
-\left(AC^2 + \frac{12IS}{L^2} S^2\right) & -\left(A - \frac{12I}{L^2}\right) CS & \frac{6I}{L} S & AC^2 \frac{12I}{L^2} S^2 & \left(A - \frac{12I}{L^2}\right) CS & \frac{6I}{L} S \\
-\left(A + \frac{12I}{L^2}\right) CS & -\left(AS^2 + \frac{12I}{L^2} C^2\right) & -\frac{6I}{L} C & \left(A - \frac{12I}{L^2}\right) CS & \left(AS^2 + \frac{12I}{L^2} C^2\right) & -\frac{6I}{L} C \\
-\frac{6I}{L} S & \frac{6I}{L} C & 2I & \frac{6I}{L} S & -\frac{6I}{L} C & 4I
\end{array}\right]
$$

2.7 Deformasi Dan Gaya Batang

Setelah perpindahan struktur dalam koordinat global, deformasi (perpindahan titik kumpul) dalam koordinat lokal dapat dihitung sebagai berikut :

$$\boldsymbol{d_i}' = \mathbf{T} \ \{\boldsymbol{d_i}\}$$

Perpindahan $\boldsymbol{d_i}$ pada persamaan di atas merupakan perpindahan global batang yang berkaitan dengan batang pada elemen.

Setelah deformasi batang dihitung, gaya – gaya batang dapat diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$f_i = f_i \ \{\boldsymbol{\delta_i}\}$$

2.8 Beton Bertulang

2.8.1 Pengertian Beton Bertulan

Beton adalah pasir, kerikil atau batu pecah, semen dan air. Bahan lain *(admixture)* dapat ditambahkan pada campuran beton untuk meningkatkan *workability, durabilty,* dan waktu pengerasan. Beton mempunyai kekuatan tekan yang tinggi, dan kekuatan tarik yang rendah. Beton dapat retak karena adanya tegangan tarik akibat beban, susut yang tertahan, atau perubahan temperatur. Beton bertulang adalah kombinasi dari beton dan baja dimana baja tulangan memberikan kekuatan tarik, baja tulangan juga dapat memberikan tambahan kekuatan tekan pada struktur beton.

Pada konstruksi beton bertulang , balok utama yang langsung ditumpu oleh kolom dianggap menyatu secara kaku dengan kolom. Sistem kolom dan balok induk seperti ini dikatakan sebagai sistem portal. Sistem portal telah lama digunakan sebagai sistem bangunan yang dapat menahan beban vertikal gravitasi dan beban horizontal akibat gempa. Sistem ini memanfaatkan kekakuan balok – balok utama dan kolom. Dengan demikian integritas anatara balok utama dan kolom harus mendapat perhatian dan pendetailan tersendiri, karena disekitar daerah ini timbul gaya geser dan momen yang besar yang dapat menyebabkan retak atau patahnya penampang.

2.8.2 Keunggulan Dan Kerugian Penggunaan Beton Bertulang

Konstruksi beton bertulang mempunyai beberapa keunggulan, antara lain :

a. Memiliki kekuatan tekan yang relativ leih tinggi dari pada kebanyakan bahan lainnya.
b. Konstruksi beton bertulang sangat kokoh dan tahan terhadap api dan air
c. Tidak memerlukan biaya pemeliharaan yang tinggi.
d. Dibanding dengan bahan yang lain, beton bertulang memiliki masa layan yang sangat panjang dan sangat ekonomis.
e. Salah satu ciri khas beton adalah kemampuannya untuk di cetak menjadi bentuk yang sangat beragam.
f. Beton terbuat dari bahan lokal yang murah (pasir, kerikil, air) dan relatif membutuhkan sedikit semen dan baja yang mungkin saja harus di datangkan dari tempat lain.
g. Keahlian buruh yang dibutuhkan untuk membuat konstruksi lebih rendah bila dibandingkan dengan bahan lain seperti baja.

Selain memiliki keunggulan konstruksi beton bertulang juga mempunyai beberapa kerugian, antara lain :

a. Beton memiliki kekuatan tarik yang rendah sehingga memerlukan penggunaan tulangan tarik.
b. Beton bertulang memerlukan bekisting untuk menahan beton tetap pada tempatnya sampai beton mengeras.
c. Rendahnya kekuatan per satuan berat dari betonmenyebabkan beton bertulang menjadi berat. Ini akan berpengaruh terutama pada struktur dengan bentang – bentang panjang dimana beban mati akibat berat sendiri yang sangat besar akan mempengaruhi momen lentur.

d. Rendahnya kekuatan per satuan volume mengakibatkan beton bertulang akan berukuran relative besar. Hal penting yang harus dipertimbangkan untuk bangunan tinggi dan struktur dengan bentang panjang.
e. Sifat beton sangat bervariasi karena bervariasinya proporsi campuran dan pengerjaanya. Penuangan dan perawatan beton umumnya tidak bisa ditangani seteliti yang dilakukan pada proses produksi material lain seperti baja struktur.
f. Sifat susut *(shrinkage)* dan rangkak *(creep)* pada beton bila tidak diperhatikan dapat menimbulkan masalah.

2.8.3 Kendala Dan Permasalahan Beton Bertulang

Yang menjadi perhatian dalam perencanaan komponen beton bertulang seperti pada kolom dan balok adalah sambungan. Selain berfungsi untuk menyalurkan beban – beban yang bekerja, sambungan juga harus berfungsi menyatukan masing – masing kompponen beton tersebut menjadi satu kesatuan yang monolit sehingga dapat mengupayakan stabillitas struktur bangunannya.

Beberapa kriteria pemilihan jenis sambungan antara komponen beton bertulang diantaranya meliputi :

a. Kekuatan *(Strength)*

Sambungan harus memiliki kekuatan untuk dapat menyalurkan gaya – gaya yang terjadi ke elemen struktur lainnya selama waktu layan (serviceability), termasuk adanya pengaruh dari rangkak dan susut beton.

b. Daktalitas *(Ductulity)*

Kemampuan dari sambungan untuk dapat mengalami perubahan bentuk tanpa mengalami keruntuhan. Pada daerah sambungan untuk mendapatkan daktalitas yang baik dengan merencanakan besi tulangan yang meleleh terlebih dahulu dibandingkan dengankeruntuhan material betonnya.

c. Perubahan volume *(Volume Change Accommodation)*

Sambungan dapat mengantisipasi adanya retak, susut dan perubahan temperature yang dapat menyebabkan adanya tambahan tegangan yang cukup besar.

d. Ketahanan *(Durability)*

Kondisi sambungan dipengaruhi cuaca langsung atau korosi diperlukan adanya penambahan bahan – bahan pencegah seperti stainlass steel epoxy atau galvanized.

e. Tahan kebakaran *(Fire Resistance)*

Perencanaan sambungan harus mengantisipasi kemungkinan adanya kenaikan temperatur pada sistem sambungan pada saat kebakaran, sehingga kekuatan dari beton maupun baja pada sambungan tidak mengalami pengurangan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Metodologi penelitian merupakan suatu cara peneliti bekerja untuk memperoleh data yang dibutuhkan yang selanjutnya akan digunakan untuk dianalisa sehingga memperoleh kesimpulan yang ingin dicapai dalam penelitian. Metodologi penelitian ini bertujuan untuk mempermudah pelaksanaan dalam melakukan penelitian guna memperoleh pemecahan masalah dengan maksud dan tujuan yang telah ditetapkan secara sistematis.**3.2 Bahan Dan Alat** 1. Alat

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Buku Literatur Metode Matriks Kekakuan
b. Materi mengenai contoh perhitungan struktur portal dengan menggunakan metode Matriks Kekakuan.
c. Program *Microsoft Excel 2010*
d. Program SAP 2000
e. Panduan analisis struktur dengan SAP 2000

2. Alat Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah : * Komputer / Laptop + Mesin Print + Tinta + Kertas **3.3 Metode Penelitian** Dalam pelaksanaan penelitian ini metode yang digunakan adalah analisis kekakuan struktur Portal dengan metode Matriks Kekakuan dan SAP 2000. 1. Metode Analisis Dengan Matriks Kekakuan Langkah – langkah sebagai berikut : * Menentukan Masing – Masing Sudut Setiap Elemen * Menentukan Kekakuan Elemen Sumbu Global * Menentukan Kekakuan Elemen Sumbu Global Setelah Direduksi Kekangan * Menentukan Displacemen Lokal ($\bar{\delta}$) yaitu dengan mentransform displacemen Global. * Menentukan Besar Gaya Pada Node Untuk Masing – Masing Elemen * Rekapitulasi Hasil Akhir 2.

Metode Analisis Dengan SAP 2000

Secara garis besar, perhitungan analisis struktur portal dengan SAP 2000 akan melalui beberapa tahap, yaitu :

* Menentukan Geometri Model Struktur *
Mendefinisikan Data – Data, seperti jenis dan kekuatan bahan, dimensi penempang elemen struktur, macam beban dan pembebanan

* Menentapkan Data – Data yang telah didefinisikan ke model struktur, seperti data Beban dan Data Penampang

* Memeriksa Input Data

* Analisis Mekanika Teknik

3.4 Pengumpulan Data

Dalam membuat suatu analisis, diperlukan data – data sebagai bahan acuan. Untuk melakukan analisis yang baik, maka diperlukan data yang mencakup informasi dan Data spesifikasi bahan, digunakan untuk mengetahui karakteristik bahan yang digunakan dalam pemodelan struktur yang akan dianalisis, yaitu :

a. Balok : f’c = 25 Mpa
b. Kolom : f’c = 25 Mpa
c. Baja Tulangan : fy = 350 Mpa

3.4.1 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang berasal dari peraturan – peraturan atau ketentuan – ketentuan serta referensi kepustakaan yang ada untuk digunakan dalam menganalisa suatu struktur. Data sekunder merupakan data – data penunjang yang diperlukan dalam analisa struktur. Yang termasuk dalam klasifikasi data sekunder adalah literatur – lieratur penunjang grafik, tabel dan peta.

1. Data Teknis

Data teknis merupakan data yag berhuungan langsung dengan perancangan srtuktur seperti data tanah, bahan yang digunakan, beban rencana yang bekerja dan sebagainya.

2. Data Non Teknis

Data yang berfungsi sebagai penunjang perencanaan, seperti kondisi dan letak proyek. Data yang harus dilengkapi baik berupa data berdasarkan jenisnya(primer dan sekunder) dalam perencanaan pemodelan struktur pada penulisan tugas akhir ini antara lain :

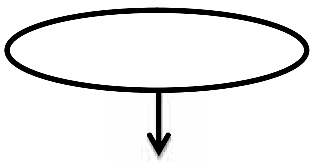
a. Sistem struktur yang digunakan dalam pemodelan struktur
b. Data pembebanan yang digunakan
c. Mutu bahan yang digunakan
d. Metode analisis yang digunakan
e. Standar dan referensi yang digunakan dalam perencanaan pemodelan srtuktur dalam penulisan tugas akhir ini.

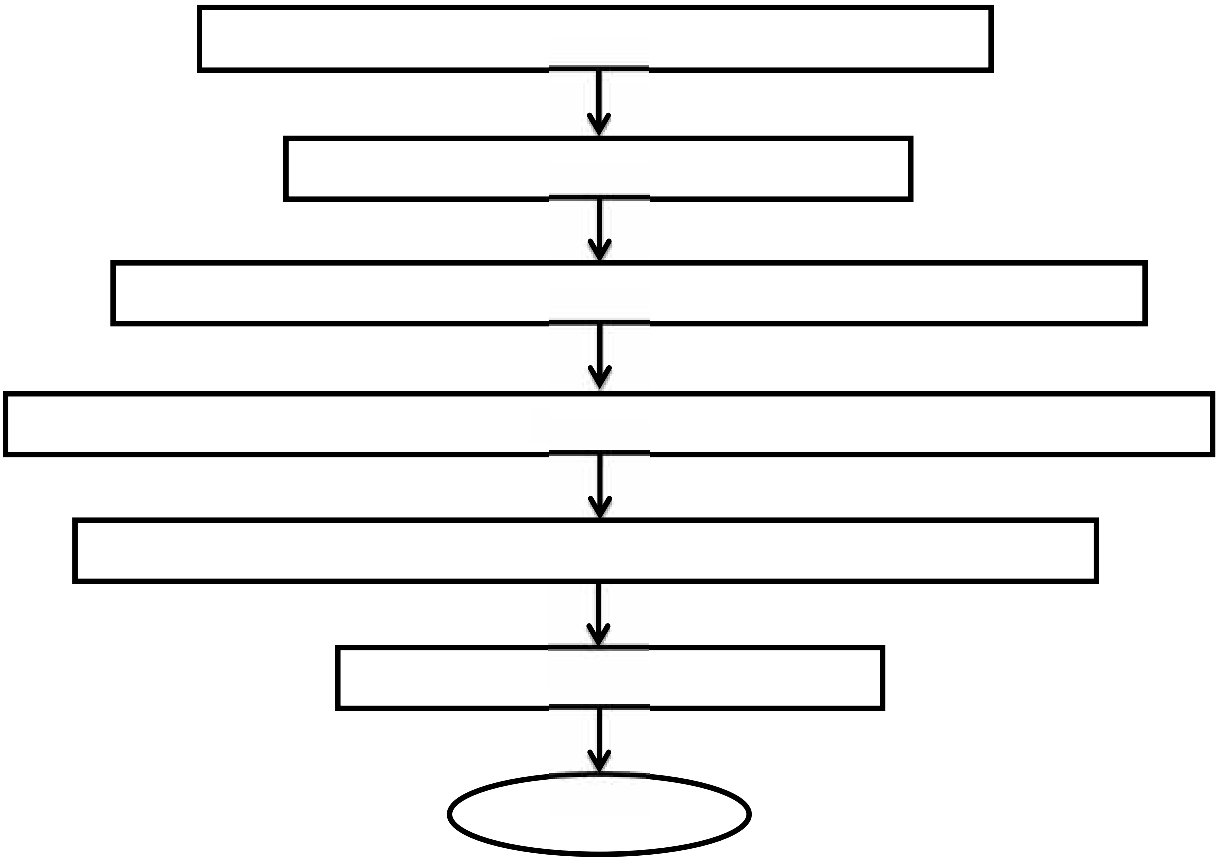
Pada penulisan tugas akhir ini, langkah selanjutnya setelah menentukan data – data yang diperlukan adalah menentukan metode pengumpulan / pengolahan data.

Metode pengolahan data yang dilakukan pada penulisan tugas akhir ini adalah :

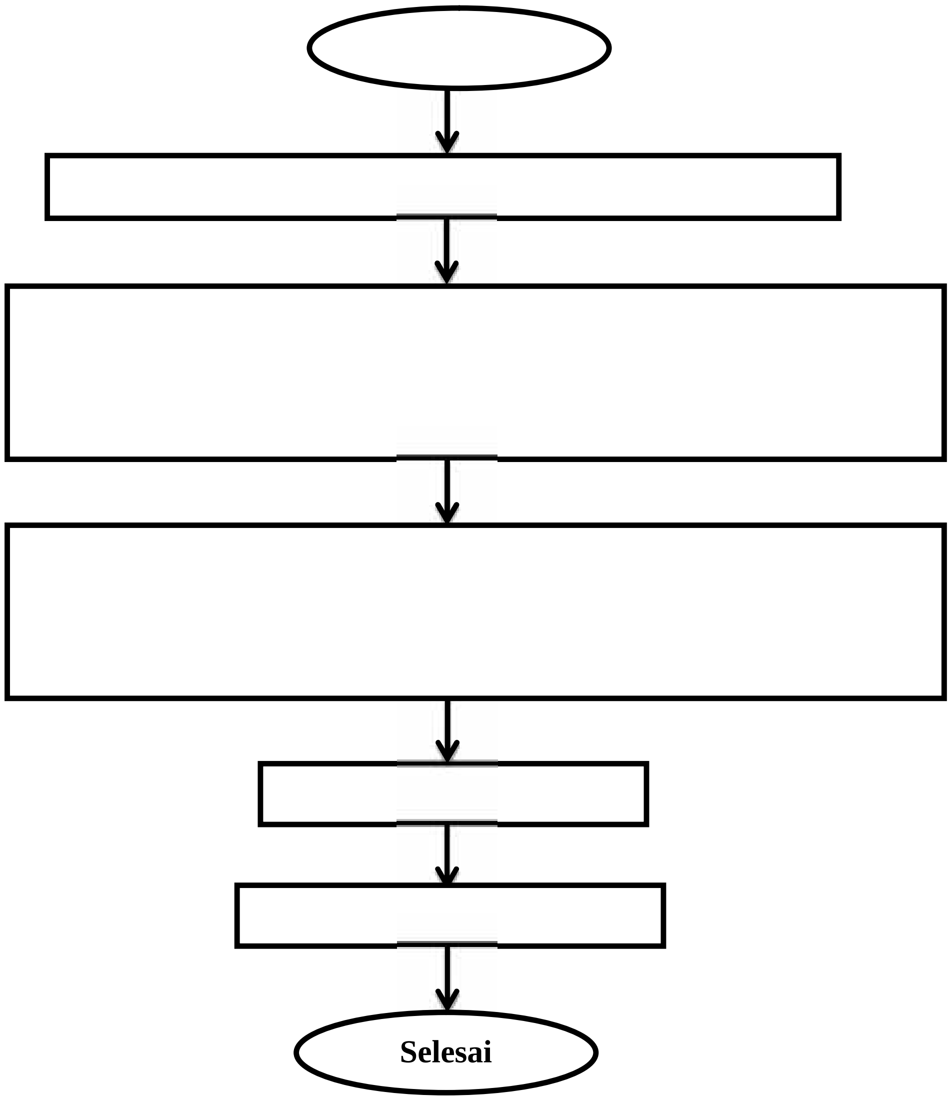
1. Studi Pustaka

   Pengumpulan data dengan data – data dari pedoman, bahan acuan dan standar yang diperlukan dalam pemodelan struktur portal. Setelah data yang diperlukan telah diperoleh, maka dilakukan proses perhitungan.





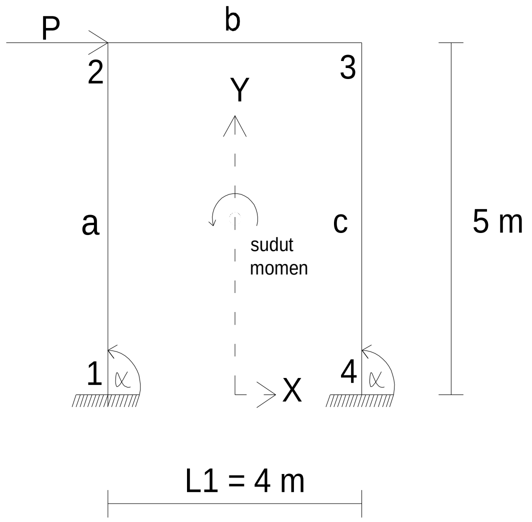
Gambar 3.20Diagram Alir Penelitian Dengan Metode Matriks Kekakuan



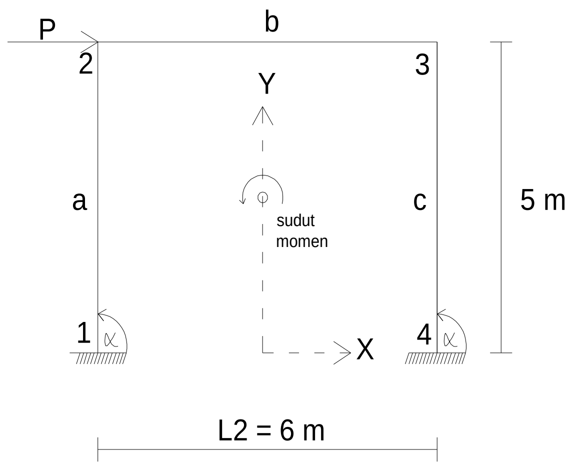
Gambar 3.21 Diagram Alir Penelitian Dengan SAP 2000

Tahap selanjutnya adalah pemodelan perencanaan struktur portal dimana pemodelan disertai jarak bentang antar kolom, tinggi kolom, beban horizontal, serta data yang dibutuhkan dalam pemodelan program komputer. Metode dalam penulisan tugas akhir ini adalah pemodelan struktur portal dengan menggunakan metode matriks kekakuan yang tujuannya adalah untuk mengetahui bagaimana hubungan dari pada jarak antar kolom terhadap kekakuan struktur dengan cara menganalisa besarnya deformasi yang terjadi pada kolom dengan bentang yang berbeda. **3.5**

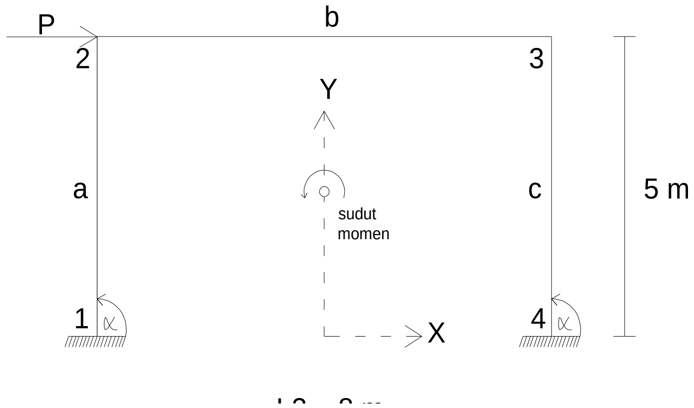
Perencanaan Pemodelan Struktur Portal



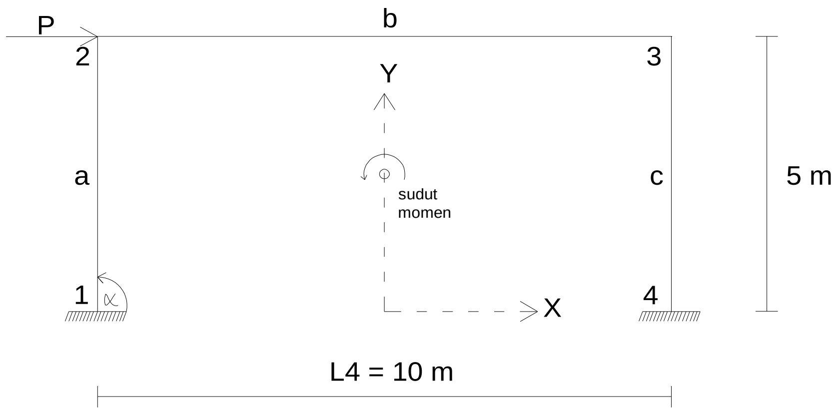
Pemodelan Struktur Portal 1



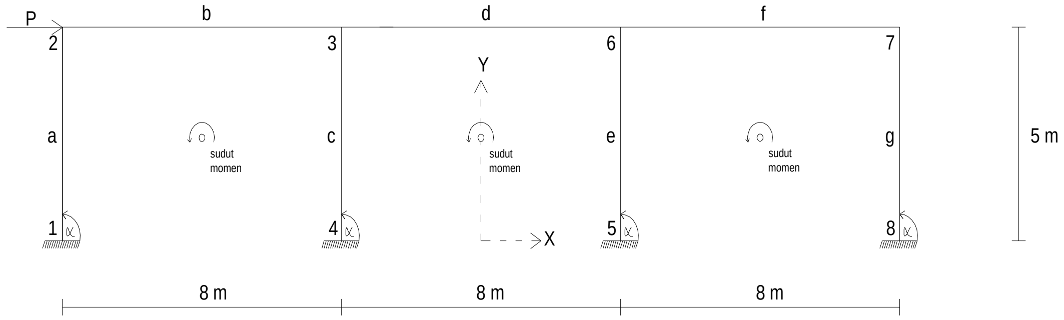
Pemodelan Struktur Portal 2



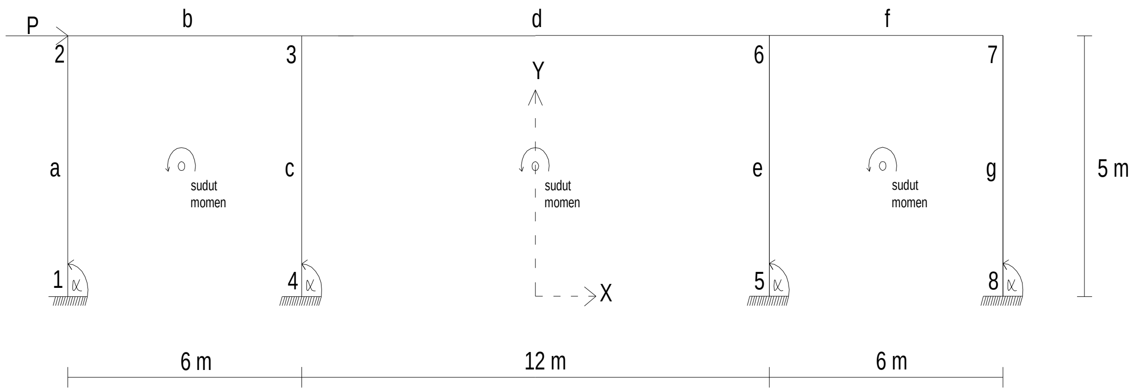
Pemodelan Struktur Portal 3



Pemodelan Struktur Portal 4



Pemodelan Struktur Portal 6



Pemodelan Struktur Portal 5

Gambar 3.22Pemodelan Portal Yang Di Analisa

3.5.1 Portal Monolit Pemodelan Struktur atas portal yang merupakan kesatuan antar joint balok dan kolom.Prosedur perhitungan analitis struktur (dengan metode matriks kekakuan). Metode analisis matriks sebagai berikut :

$$\{ F\} = [Ks] \{ \delta \} \rightarrow \{ \delta \} = [K]^{-1} \{ F\}$$

Dimana :

f = Gaya luar (Kg)

δ = Deformasi

Ks = Matriks kekakuan pada sumbu lokal pada setiap elemen.

Dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$Ks \begin{bmatrix} EA/L & 0 & 0 & -EA/L & 0 & 0 \\ 0 & 12EI/L^3 & 6EI/L^2 & 0 & -12EI/L^3 & 6EI/L^2 \\ 0 & 6EI/L^2 & 4EI/L & 0 & 6EI/L^2 & 2EI/L \\ -EA/L & 0 & 0 & EA/L & 0 & 0 \\ 0 & -12EI/L^3 & -6EI/L^2 & 0 & 12EI/L^3 & -6EI/L^2 \\ 0 & 6EI/L^2 & 2EI/L & 0 & -6EI/L^2 & 4EI/L \end{bmatrix}$$

K*f* = Matriks kekakuan sumbuglobal yang sudah direduksi kekangan.

Ks = Matriks kekakuan pada sumbu global setiap elemen dan dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$
\mathbf{K} = \frac{E}{L}
\begin{array}{cccccc}
d1x & d1y & Ø1 & d2x & d2y & Ø1 \\
\end{array}
$$

$$
\left[\begin{array}{ccc|ccc}
AC^2\,\frac{12I}{L^2}S^2 & \left(A-\frac{12I}{L^2}\right)CS & -\frac{6I}{L}S & -\left(AC^2+\frac{12IS}{L^2}S^2\right) & -\left(A-\frac{12I}{L^2}\right)CS & -\frac{6I}{L}S \\
\left(A-\frac{12I}{L^2}\right)CS & AS^2\,\frac{12I}{L^2}C^2 & \frac{6I}{L}C & -\left(A+\frac{12I}{L^2}\right)CS & -\left(AS^2+\frac{12I}{L^2}C^2\right) & \frac{6I}{L}C \\
-\frac{6I}{L}S & \frac{6I}{L}C & 4I & \frac{6I}{L}S & -\frac{6I}{L}C & 2I \\
\hline
-\left(AC^2+\frac{12IS}{L^2}S^2\right) & -\left(A-\frac{12I}{L^2}\right)CS & \frac{6I}{L}S & AC^2\,\frac{12I}{L^2}S^2 & \left(A-\frac{12I}{L^2}\right)CS & \frac{6I}{L}S \\
-\left(A+\frac{12I}{L^2}\right)CS & -\left(AS^2+\frac{12I}{L^2}C^2\right) & -\frac{6I}{L}C & \left(A-\frac{12I}{L^2}\right)CS & \left(AS^2+\frac{12I}{L^2}C^2\right) & -\frac{6I}{L}C \\
-\frac{6I}{L}S & \frac{6I}{L}C & 2I & \frac{6I}{L}S & -\frac{6I}{L}C & 4I
\end{array}\right]
$$

3.5.1.1 *Menentukan Kekakuan masing – masing Elemen Batang :*

Elemen a

$$\text{Cos } \theta a = \frac{x_2 - x_1}{La} = \frac{-14-(-14)}{5} = 0$$

$$\text{Sin } \theta a = \frac{y_2 - y_1}{La} = \frac{5-0}{5} = 1$$

Elemen b

$$\text{Cos } \theta b = \frac{x_3 - x_2}{Lb} = \frac{-10-(-14)}{4} = 1$$

$$\text{Sin } \theta b = \frac{y_3 - y_2}{Lb} = \frac{5 -}{4}$$

Elemen c

$$\text{Cos } \theta c = \frac{x_4 - x_3}{Lc} = \frac{-10-(-10)}{5} = 0$$

$$\text{Sin } \theta c = \frac{y_4 - y_3}{Lc} = \frac{0 -}{5} \quad - 1$$

3.5.1.2 *Menentukan Kekakuan Elemen Sumbu Global*

$$\{ f \} = [Ke] \{ \delta \} \rightarrow \{ \delta \} = [K]^{-1} \{ f \}$$

$f1 = Ka_{11} . \delta_1 + Ka_{12} . \delta_2$

$f2 = (Ka_{22} + Kb_{11}) \delta_2 + Ka_{21} . \delta_1 + Kb_{12} . \delta_3$

$f3 = Kb_{21} . \delta_2 + (Kb_{22} + Kc_{11}) . \delta_3 + Kc_{12} . \delta_4$

$f4 = Kc_{21} . \delta_3 + Kc_{22} . \delta_4$

Tabel 4.2 Kekakuan Elemen Sumbu Global

	δ1 = 0 d1x d1y Ø1	δ2 d2x d2y Ø2	δ3 d3x d3y Ø3	δ4 = 0 d4x d4y Ø4	
f1 { f1x f1y M1	Ka11	Ka12	0	0	d1x d1y Ø1
f2 { f2x f2y M2	Ka21	(Ka22 + Kb11)	Kb12	0	d2x d2y Ø2
f3 { f3x f3y M3	0	Kb21	(Kb22 +Kc11)	Kc12	d3x d3y Ø3
f4 { f4x f4y M4	0	0	Kc21	Kc22	d4x d4y Ø4

3.5.1.3 *Menentukan Kekakuan Sumbu Global Setelah Direduksi Kekangan*

$$\textbf{BC} = \delta_1 = \delta_4 = 0 \rightarrow \textbf{DOF} = 6\text{x}6$$

Tabel 4.3 Kekakuan Sumbu Global Setelah Direduksi kekangan

	δ2 d2x d2y Ø2	δ3 d3x d3y Ø3	
f2 { f2x f2y M2	(Ka22 + Kb11)	Kb12	d2x d2y Ø2
f3 { f3x f3y M3	Kb21	(Kb22 +Kc11)	d3x d3y Ø3

Maka Displacement Diperoleh :

$$\{ \boldsymbol{\delta} \} = \overline{\mathbf{K}}^{-1} \cdot \{ f \}$$

Dimana :

δ = Deformasi

K^{-1} = Invers Kekakuan

f = Gaya

3.5.1.4 *Menentukan Displacemen Lokal* { $\overline{\boldsymbol{\delta}}$ }

Untuk menentukan displacemen Lokal dengan mentransform displacmen global,

yaitu :

$$\{ \overline{\boldsymbol{\delta}} \} = \{ \mathbf{T} \} \cdot \{ \boldsymbol{\delta} \}$$

Dimana : { T } = Matriks Transformasi

Ditentukan untuk masing – masing elemen (batang), displacemen lokal dapat ditulis sebagai berikut :

$$\begin{Bmatrix} \overline{d_{1x}} \\ \overline{d_{1y}} \\ \overline{\emptyset_1} \\ \overline{d_{2x}} \\ \overline{d_{2y}} \\ \overline{\emptyset_2} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} C & S & 0 & 0 & 0 \\ -S & C & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C & S & 0 \\ 0 & 0 & -S & C & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} d_{1x} \\ d_{1y} \\ \emptyset_1 \\ d_{2x} \\ d_{2y} \\ \emptyset_2 \end{Bmatrix}$$

3.5.1.5 *Menentukan Besar Gaya Pada Elemen*

Menentukan besar gaya pada node untuk masing –masing elemen, yaitu :

$$\{ f \} = [\,Ke\,]\,[\,T\,]\,\{ \delta \}$$

$$= [\,Ke\,]\,\{ \bar{\delta} \}$$

Dimana : { f }= Gaya

[Ke] = Matriks Kekakuan Lokal Pada Masing – masing Elemen

{ δ } = Deformasi elemen pada sumbu global

{ $\bar{\delta}$ }= Deformasi Pada sumbu Lokal

Elemen a :

$$\begin{matrix} f_{1x} \\ f_{1y} \\ M_1 \\ f_{2x} \\ f_{2y} \\ M_2 \end{matrix} = \left(\quad \textbf{Ka} \quad * \quad \right) \begin{matrix} d_{1'x} \\ d_{1'y} \\ M_1 \\ d_{2'x} \\ d_{2'y} \\ M_2 \end{matrix}$$

Elemen b :

$$\begin{matrix} f_{2x} \\ f_{2y} \\ M_2 \\ f_{3x} \\ f_{3y} \\ M_3 \end{matrix} = \left(\quad \textbf{Kb} \quad * \quad \right) \begin{matrix} d_{2'x} \\ d_{2'y} \\ M_2 \\ d_{3'x} \\ d_{3'y} \\ M_3 \end{matrix}$$

Elemen c :

$$\begin{matrix} f_{3x} \\ f_{3y} \\ M_3 \\ f_{4x} \\ f_{4y} \\ M_4 \end{matrix} = \begin{pmatrix} \\ \\ \mathbf{Kc} \\ \\ \\ \end{pmatrix} * \begin{matrix} d_{3'x} \\ d_{3'y} \\ M_3 \\ d_{4'x} \\ d_{4'y} \\ M_4 \end{matrix}$$

3.5.1.6 *Rekapitulasi Hasil Akhir*

$$\begin{Bmatrix} F1x \\ F1y \\ M1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} Kg \\ Kg \\ Kg\ .\ Cm \end{Bmatrix} \qquad \begin{Bmatrix} F2x \\ F2y \\ M2 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} Kg \\ Kg \\ Kg\ .\ Cm \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} F3x \\ F3y \\ M3 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} Kg \\ Kg \\ Kg\ .\ Cm \end{Bmatrix} \qquad \begin{Bmatrix} F4x \\ F4y \\ M4 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} Kg \\ Kg \\ Kg\ .\ Cm \end{Bmatrix}$$