

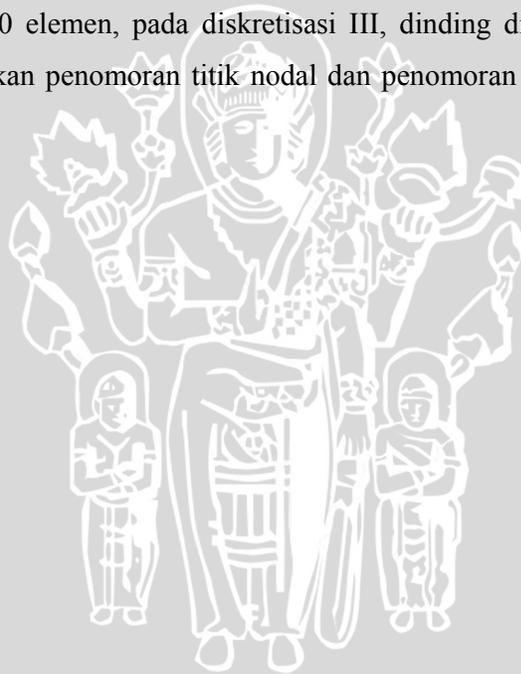
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Struktur Dinding

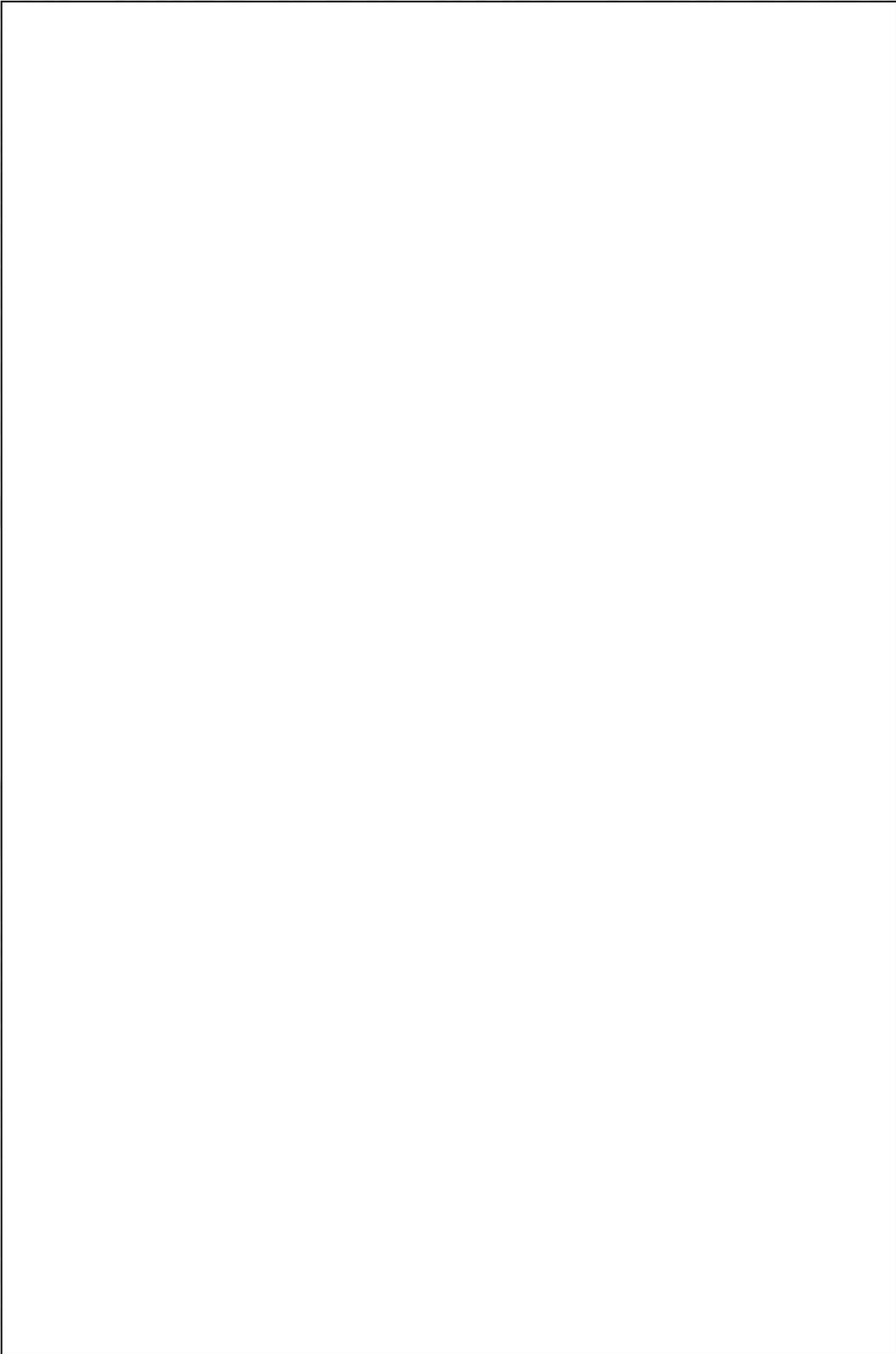
##### 4.1.1 Data struktur

Pada bab ini akan dibahas hasil perhitungan struktur dinding dengan pemrograman Fortran. Perhitungan yang dilakukan meliputi, perhitungan perpindahan titik nodal, perhitungan gaya, perhitungan regangan, dan perhitungan tegangan. Data yang diperlukan adalah data beban, data penomoran titik nodal, data penomoran elemen, data sifat bahan elemen dan data diskretisasi elemen. Pada analisis ini dinding dibagi menjadi 3 macam diskretisasi. Pada diskretisasi I, dinding dibagi menjadi 270 elemen, pada diskretisasi II, dinding dibagi menjadi 540 elemen, pada diskretisasi III, dinding dibagi menjadi 1080 elemen. Berikut ini dijelaskan penomoran titik nodal dan penomoran elemen pada setiap jenis diskretisasi.

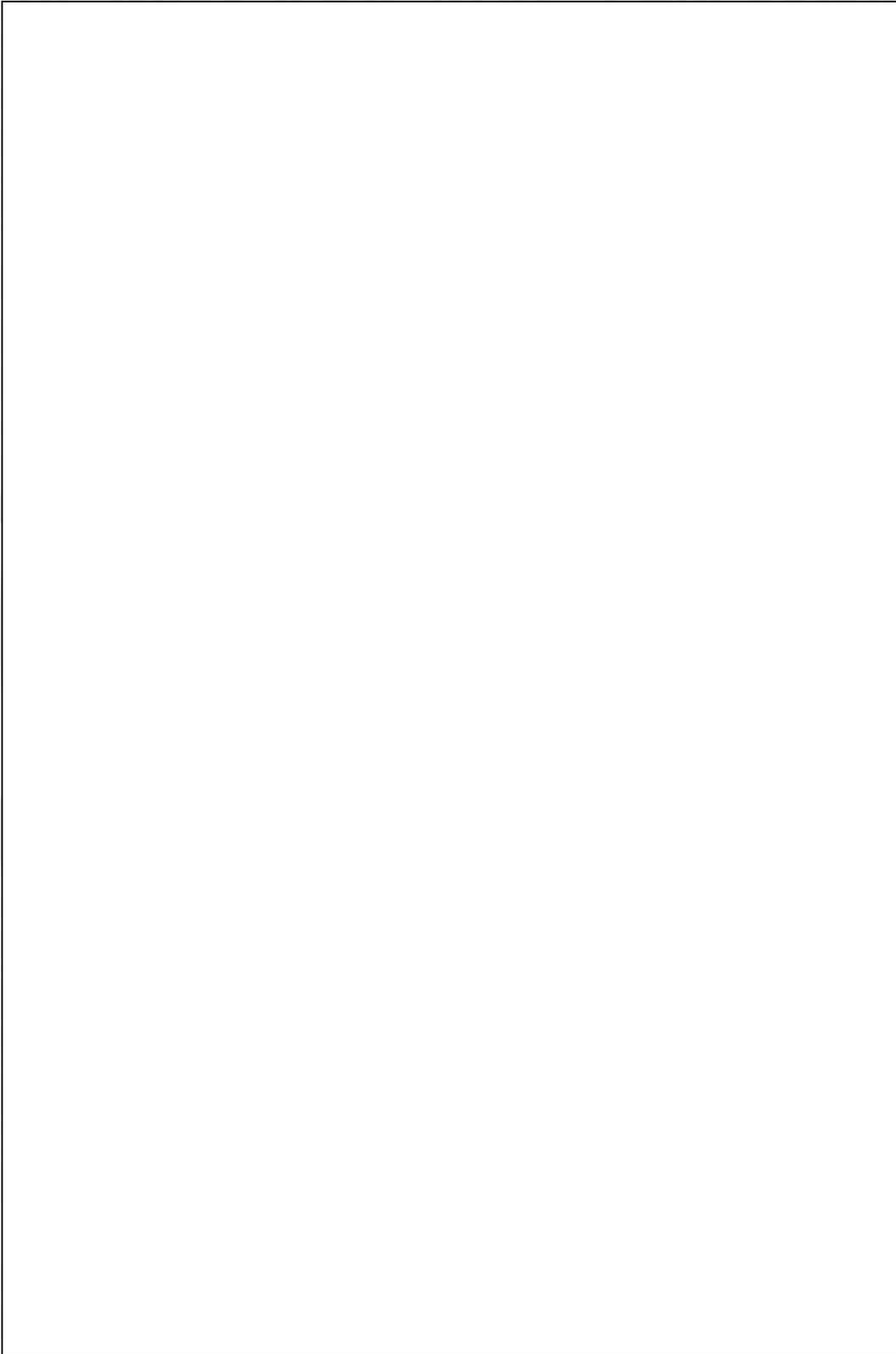




Gambar 4.1 Penomoran titik nodal pada diskretisasi I



Gambar 4.2 Penomoran elemen pada diskretisasi I



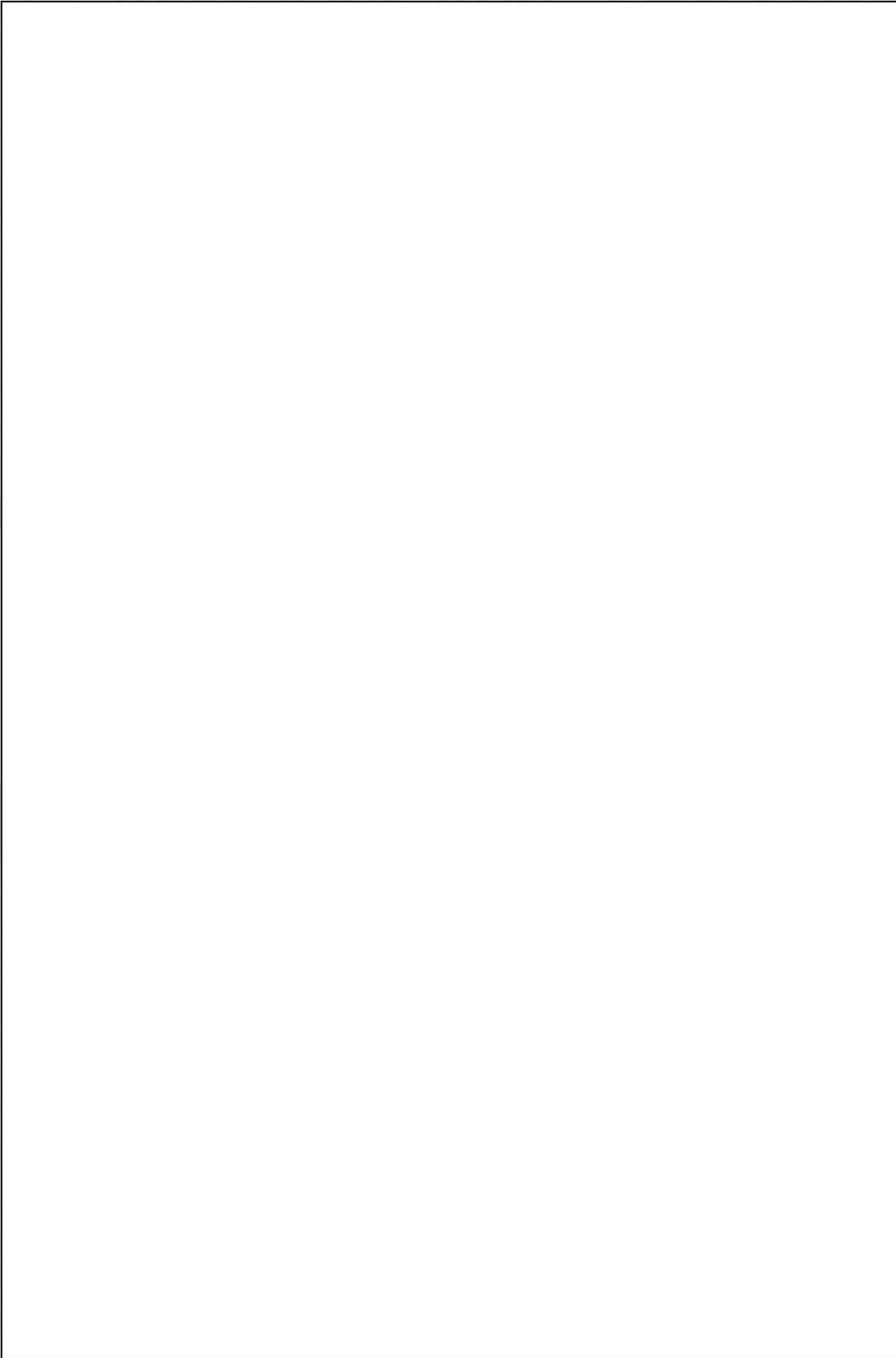
Gambar 4.3 Penomoran titik nodal pada diskretisasi II



Gambar 4.4 Penomoran elemen pada diskretisasi II



Gambar 4.5 Penomoran titik nodal pada diskretisasi III



Gambar 4.6 Penomoran elemen pada diskretisasi III

#### 4.1.2 Tipe analisis

Pada analisis ini terdapat dua tipe analisis. Analisis pertama membahas tentang pengaruh jumlah diskretisasi elemen dinding terhadap nilai perpindahan pada titik nodal yang sama, sedangkan analisis kedua membahas tentang pengaruh perbedaan modulus elastisitas mortar terhadap tegangan dan regangan yang terjadi pada struktur dinding.

##### 4.1.2.1 Data analisis pengaruh jumlah diskretisasi terhadap perpindahan

Untuk mendapatkan nilai perpindahan dari perhitungan menggunakan bahasa pemrograman Fortran, diperlukan data input sebagai berikut :

**Tabel 4.1** Data analisis pengaruh jumlah diskretisasi terhadap perpindahan

Data Input	Jumlah Elemen	E bata (N/cm <sup>2</sup> )	$\nu$ bata	E mortar (N/cm <sup>2</sup> )	$\nu$ mortar	Beban (N)
1	270	3700000	0,25	2000000	0,15	1000
2	540	3700000	0,25	2000000	0,15	1000
3	1080	3700000	0,25	2000000	0,15	1000

##### 4.1.2.2 Data analisis pengaruh modulus elastisitas mortar terhadap regangan dan tegangan

Untuk mendapatkan nilai regangan dan tegangan dari perhitungan menggunakan bahasa pemrograman Fortran, diperlukan data *input* sebagai berikut :

**Tabel 4.2** Data analisis pengaruh modulus elastisitas mortar terhadap regangan dan tegangan

Data Input	Jumlah Elemen	E bata (N/cm <sup>2</sup> )	$\nu$ bata	E mortar (N/cm <sup>2</sup> )	$\nu$ mortar	Beban (N)
1	540	3700000	0,25	1500000	0,15	1000
2	540	3700000	0,25	1750000	0,15	1000
3	540	3700000	0,25	2000000	0,15	1000

### 4.1.3 Analisis Struktur Dinding dengan Bahasa Pemrograman Fortran

#### 4.1.3.1 Program utama

Dalam program utama terdapat sejumlah memori yang dipergunakan dalam perhitungan *subroutine* program utama. Memori tersebut antara lain adalah koordinat titik nodal, modulus elastisitas, *poisson's ratio*, matrik D, tebal elemen, matrik kekakuan elemen, matrik B, 2 kali luas segitiga, matrik kolom A, jumlah matrik perpindahan, jumlah matrik perpindahan dan matrik gaya, jumlah perpindahan, jumlah tahanan titik nodal, dan nomor perpindahan yang ditahan. Memori tersebut dapat digunakan secara bersama-sama dalam program dengan perintah *common* diikuti dengan notasi data yang akan dipanggil.

Setiap tahanan pengerjaan program utama pada perhitungan tegangan dan regangan bidang dijelaskan berikut ini, sedangkan proses jalannya program utama terdapat pada lampiran.

a) Membaca data parameter

1) Membaca jumlah titik nodal, jumlah elemen, tebal elemen, jumlah tahanan titik nodal

Data program pertama dimasukkan adalah jumlah titik nodal (NN), jumlah elemen (NE), tebal elemen (TH), dan jumlah tahanan titik nodal (NT). Tumpuan pada program ini ditunjukkan dengan mengisikan nilai perpindahan pada tumpuan adalah 0. NTT(I) menunjukkan nomor perpindahan yang ditahan pada urutan tahanan titik nodal ke-I. Setelah itu apabila menginginkan menampilkan matrik kekakuan lokal, isi nilai ICETAK=1, apabila matrik kekakuan lokal tidak ingin dicetak maka ICETAK diisi dengan nilai 0.

2) Baca jumlah perpindahan

Jumlah perpindahan yang terjadi dihitung dengan perhitungan sebagai berikut :

$$NP=2xNN.$$

Keterangan :

NP= Jumlah perpindahan

NN= Jumlah titik nodal

3) Baca koordinat titik nodal

Memasukkan data koordinat dapat dilakukan dengan 2 cara, pertama adalah dengan memasukkan manual, kedua adalah memasukkan dari file. Apabila menginginkan data yang dimasukan berasal dari *file* maka

mengisikan nilai  $IM=1$ , apabila tidak  $IM=0$ . Cara baca koordinat titik nodal adalah dengan mengisikan nilai  $XC(I)$  dan  $YC(I)$ .  $XC(I)$  merupakan koordinat arah sumbu X titik nodal ke-I, sedangkan  $YC(I)$  merupakan koordinat sumbu Y titik nodal ke-I. Setelah itu periksa apakah terdapat kesalahan dalam memasukkan koordinat titik nodal, apabila terdapat kesalahan maka isi nilai  $ISL=1$ , jika tidak isi  $ISL=0$ . Kemudian isi  $IBH=1$  untuk mencetak koordinat titik nodal dan  $IBH=0$  untuk tidak mencetak titik nodal.

- 4) Baca titik nodal penyusun elemen, modulus elastisitas elemen, dan *poisson's ratio*

Setelah data koordinat titik nodal dibaca, masukkan nilai modulus elastisitas.  $EL1$  menunjukkan modulus elastisitas pertama,  $EL2$  menunjukkan modulus elastisitas kedua, begitu juga dengan *poisson's ratio*,  $PR1$  menunjukkan *poisson's ratio* pertama, sedangkan  $PR2$  menunjukkan *poisson's ratio* kedua. Kemudian masukkan data elemen, apabila  $IM=1$ , data elemen yang diperoleh adalah dari *file* apabila  $IM=0$ , maka data elemen diperoleh dengan mengisikan manual.  $N$  menunjukkan nomor elemen,  $NEL(N,I)$  menunjukkan nomor titik nodal yang terdapat pada elemen ke-N pada nomor titik nodal lokal ke-I,  $EMC(N)$  menunjukkan modulus elastisitas elemen ke-N, apabila  $EMC(N)=1$ , maka  $EMC(N)=EL1$ , sedangkan  $EMC(N)=2$ , maka  $EMC(N)=EL2$ ,  $PRC(N)$  menunjukkan *poisson's ratio* elemen ke-N, apabila  $PRC(N)=1$ , maka  $PRC(N)=PR1$ , sedangkan  $PRC(N)=2$  maka  $PRC(N)=PR2$ . Kemudian periksa apakah terdapat data elemen yang salah, apabila terdapat data elemen yang salah isi  $ISL=1$ , jika tidak isi  $ISL=0$ . Untuk mencetak data elemen dapat dilakukan dengan mengisi nilai  $IBH=1$ , jika tidak  $IBH=0$ .

- 5) Memeriksa titik nodal

Untuk memeriksa titik nodal dapat dilakukan dengan, pertama mengisi ketentuan nilai  $ICK(I)=0$  untuk setiap titik nodal.  $ICK(I)$  menunjukkan  $ICK$  titik nodal ke-I. Setelah itu diambil semua nomor titik nodal penyusun elemen yaitu  $K=NEL(I,J)$ ,  $I$  menunjukkan nomor elemen,  $J$  menunjukkan nomor titik nodal penyusun elemen ke-J, kemudian memberi nilai  $ICK(K)=1$ . Setelah itu diperiksa nilai  $ICK$  akhir pada setiap titik nodal. Apabila nilai  $ICK$  pada nomor titik nodal ke-I adalah 0, maka nomor titik

nodal ke-I belum dimasukkan ke dalam nomor titik nodal penyusun elemen, apabila K lebih besar dari dari jumlah titik nodal maka titik nodal ke-K tidak ada di daftar.

b) Menyusun matrik kekakuan global

1) Inisialisai matrik kolom A

Matrik kolom A adalah matrik kekakuan global, matrik perpindahan, dan matrik gaya yang dirubah menjadi matrik kolom. Pada inisialisasi ini yang pertama kali dilakukan adalah menghitung lebar matrik kolom A dan kemudian menginisialisai matrik kolom A dengan nilai 0. Perhitungan jumlah matrik kolom A dijelaskan sebagai berikut :

$$NP1X = NP$$

$$NP2X = NP1X + NP$$

$$TOTAL = NP2X + NP \times NP$$

Keterangan :

$$NP = \text{Jumlah Perpindahan}$$

$$NP1X = \text{Jumlah kolom matrik A pada kolom perpindahan}$$

$$NP2X = \text{Jumlah kolom matrik A pada kolom perpindahan dan gaya}$$

$$TOTAL = \text{Jumlah kolom matrik A}$$

2) Mengambil nomor perpindahan global, koordinat titik nodal, modulus elastisitas, dan *poisson's ratio*

Dalam perhitungan matrik kekakuan lokal dibentuk *subroutine* program, maka nilai koordinat titik nodal, modulus elastisitas, dan *poisson's ratio* diambil dari program utama. Sedangkan untuk menjumlah matrik kekakuan lokal menjadi matrik kekakuan global, terlebih dahulu dipanggil nomor perpindahan global yang terdapat pada setiap elemen. Proses memanggil data tersebut dijelaskan sebagai berikut :

$$J = NEL(KK, I)$$

$$NS(2 \times I - 1) = J \times 2 - 1$$

$$NS(2 \times I) = J \times 2$$

$$X(I) = XC(J)$$

$$Y(I) = YC(J)$$

$$EM(I) = EMC(KK)$$

$$PR(I) = PRC(KK)$$

Keterangan :

J	=	Nomor titik nodal
KK	=	Nomor elemen
NEL(KK,I)	=	Nomor titik nodal pada elemen ke-KK pada nomor titik nodal lokal ke-I
NS(2xI-1)	=	Nomor perpindahan global pada nomor perpindahan lokal ke-(2xI-1)
NS(2xI)	=	Nomor perpindahan global pada nomor perpindahan lokal ke-(2xI)
X(I)	=	Koordinat titik nodal arah sumbu x pada nomor titik nodal lokal ke-I
XC(J)	=	Koordinat titik nodal arah sumbu x pada nomor titik nodal global ke-J
Y(I)	=	Koordinat titik nodal arah sumbu y pada nomor titik nodal lokal ke-I
YC(J)	=	Koordinat titik nodal arah sumbu y pada nomor titik nodal global ke-J
EM(1)	=	Notasi modulus elastisitas yang dipakai pada <i>subroutine</i> matrikelemen
EMC(KK)	=	Modulus elastisitas elemen ke-KK
PR(1)	=	Notasi <i>poisson's ratio</i> yang dipakai pada <i>subroutine</i> matrikelemen
PRC(KK)	=	<i>poisson's ratio</i> elemen ke-KK

### 3) Menghitung matrik kekakuan elemen

Proses perhitungan matrik kekakuan elemen terdapat pada *subroutine* matrikelemen. Untuk mengambil nilai yang dihasilkan dalam perhitungan *subroutine* tersebut dipanggil dengan perintah sebagai berikut :

CALL MATRIKELEMEN(KK,ICETAK)

Dalam perintah memanggil *subroutine* tersebut terdapat 2 argumen yang dipanggil dari program utama, yaitu KK dan ICETAK. KK merupakan nomor elemen, sedangkan ICETAK adalah argumen yang digunakan untuk perintah mencetak matrik kekakuan elemen atau tidak mencetak matrik kekakuan elemen.

#### 4) Menghitung matrik kekakuan global

Perhitungan matrik kekakuan global didapat dari penjumlahan matrik kekakuan lokal. Letak nilai pada matrik kekakuan lokal diposisikan ke dalam matrik kekakuan global yang berbentuk matrik kolom yang diberi nama matrik kolom A. Apabila ada kesamaan letak akibat kesamaan titik nodal dalam suatu elemen maka nilai tersebut dijumlah. Matrik kekakuan global yang terdapat pada matrik A hanya pada bagian segitiga atas, selain itu nilai matrik A yang lain adalah 0. Hal tersebut dilakukan karena bentuk matrik kekakuan global adalah simetris, sehingga apabila menginginkan nilai yang terdapat pada matrik segitiga bawah, bias mengambil dari matrik segitiga atas. Perhitungan matrik kekakuan global adalah sebagai berikut :

$$II = NS(I)$$

$$JJ = NS(J)+1-II$$

$$J1 = NP2X+(JJ-1) \times NP+II-(JJ-1) \times (JJ-2)/2$$

$$A(J1) = A(J1)+ESM(I,J)$$

Keterangan :

II, JJ = Koefisien nilai untuk menghitung lokasi matrik kekakuan lokal pada matrik kekakuan global

NS(I) = Nomor perpindahan global pada nomor perpindahan lokal ke-I

NS(J) = Nomor perpindahan global pada nomor perpindahan lokal ke-J

NP = Jumlah perpindahan

NP2X = Jumlah kolom matrik A pada kolom perpindahan dan gaya

J1 = Nomor kolom matrik A

ESM(I,J) = Nilai matrik kekakuan elemen baris ke-I, kolom ke-J

A(J1) = Nilai matrik kolom A kolom ke-J1

Pada perhitungan JJ ada kemungkinan nilai yang didapat adalah  $JJ \leq 0$ , maka jika nilai  $JJ \leq 0$  maka perhitungan pada saat nilai tersebut dilewati.

#### c) Perhitungan perpindahan titik nodal

##### 1) Modifikasi matrik kekakuan global

Akibat adanya beban dan tumpuan, maka matrik kekakuan global perlu dimodifikasi nilainya. Modifikasi ini terdapat pada *subroutine*

bebandantumpuan, sehingga dalam program utama cukup dipanggil *subroutine* ini dengan perintah CALL BEBANDANTUMPUAN.

2) Eliminasi Gauss pada matrik kekakuan global

Sebelum persamaan diselesaikan, Eliminasi Gauss pada matrik kekakuan global terlebih dahulu diproses. Eliminasi Gauss pada program ini dihitung pada *subroutine* elgauss, maka pada program utama untuk menghitung Eliminasi Gauss cukup dengan memanggil *subroutine* tersebut dengan perintah CALL ELGAUSS.

3) Menyelesaikan persamaan

Matrik kekakuan global yang telah dieliminasi, maka persamaan diselesaikan. Perhitungan ini diproses pada *subroutine* perpindahan. Pada program utama cukup diperintahkan CALL PERPINDAHAN untuk menghitung penyelesaian persamaan ini, kemudian didapatkan nilai perpindahan. Setelah nilai perpindahan titik nodal didapat, kemudian dicetak.

d) Menghitung reaksi tumpuan

1) Mengambil nomor perpindahan global, koordinat titik nodal, modulus elastisitas, dan *poisson's ratio*

Untuk mengambil matrik kekakuan elemen dari *subroutine* program, maka nilai koordinat titik nodal, modulus elastisitas, dan *poisson's ratio* diambil dari program utama. Proses memanggil data tersebut dijelaskan sebagai berikut :

$$J = \text{NEL}(\text{KK}, \text{I})$$

$$\text{NS}(2 \times \text{I} - 1) = \text{Jx}2 - 1$$

$$\text{NS}(2 \times \text{I}) = \text{Jx}2$$

$$\text{X}(\text{I}) = \text{XC}(\text{J})$$

$$\text{Y}(\text{I}) = \text{YC}(\text{J})$$

$$\text{EM}(1) = \text{EMC}(\text{KK})$$

$$\text{PR}(1) = \text{PRC}(\text{KK})$$

Keterangan :

$$J = \text{Nomor titik nodal}$$

$$\text{KK} = \text{Nomor elemen}$$

$$\text{NEL}(\text{KK}, \text{I}) = \text{Nomor titik nodal pada elemen ke-KK pada nomor titik nodal lokal ke-I}$$

- NS(2xI-1) = Nomor perpindahan global pada nomor perpindahan lokal ke-(2xI-1)
- NS(2xI) = Nomor perpindahan global pada nomor perpindahan lokal ke-(2xI)
- X(I) = Koordinat titik nodal arah sumbu x pada nomor titik nodal lokal ke-I
- XC(J) = Koordinat titik nodal arah sumbu x pada nomor titik nodal global ke-J
- Y(I) = Koordinat titik nodal arah sumbu y pada nomor titik nodal lokal ke-I
- YC(J) = Koordinat titik nodal arah sumbu y pada nomor titik nodal global ke-J
- EM(1) = Notasi modulus elastisitas yang dipakai pada *subroutine* matrikelemen
- EMC(KK) = Modulus elastisitas elemen ke-KK
- PR(1) = Notasi *poisson's ratio* yang dipakai pada *subroutine* matrikelemen
- PRC(KK) = *poisson's ratio* elemen ke-KK

2) Mengambil nilai perpindahan titik nodal elemen

Proses mengambil nilai perpindahan titik nodal elemen tidak jauh berbeda dengan cara mengambil nomor perpindahan global pada elemen. Proses tersebut dijelaskan sebagai berikut :

- NS1 = NS(I)
- NS2 = NS(I+1)
- U(I) = A(NS1)
- U(I+1) = A(NS2)

Keterangan :

- NS1 = Nomor perpindahan global
- NS(I) = Nomor perpindahan global pada nomor perpindahan lokal ke-I
- NS2 = Nomor perpindahan global
- NS(I+1) = Nomor perpindahan global pada nomor perpindahan lokal ke-(I+1)
- U(I) = Nilai perpindahan pada nomor perpindahan lokal ke-I

$A(NS1)$  = Nilai matrik kolom A, kolom ke-NS1

$U(I+1)$  = Nilai perpindahan pada nomor perpindahan lokal ke-(I+1)

$A(NS2)$  = Nilai matrik kolom A, kolom ke-NS2

3) Menghitung gaya pada titik nodal

Gaya pada titik nodal elemen diperoleh dari perkalian antara matrik kekakuan lokal dengan perpindahan. Jumlah gaya pada setiap titik nodal yang sama adalah 0, kecuali pada titik nodal yang ditumpu. Jumlah gaya pada titik nodal yang ditumpu menunjukkan reaksi tumpuan. Proses perkalian dijelaskan sebagai berikut :

$MT$  = NS(I)

$G(MT)$  =  $G(MT)+ESM(I,K) \times U(K)$

Keterangan :

$MT$  = Nomor perpindahan global

$NS(I)$  = Nomor perpindahan global pada nomor perpindahan lokal ke-I

$G(MT)$  = Gaya pada nomor perpindah global ke-MT

e) Menghitung regangan elemen, tegangan elemen, dan gaya pada titik nodal elemen

1) Membaca jeda perhitungan

Untuk hasil perhitungan elemen yang banyak, bisa mengakibatkan kesulitan membaca. Oleh karena itu, dibuat jeda perhitungan. IJT menunjukkan nomor elemen sampai ke-IJT yang akan dihitung. Apabila nilai IJT yang dimasukkan melebihi dari jumlah elemen, maka IJT dianggap sama dengan jumlah elemen.

2) Mengambil nomor perpindahan global, koordinat titik nodal, modulus elastisitas, dan *poisson's ratio*

Untuk mendapatkan matrik B, matrik D, dan matrik kekakuan lokal dari *subroutine* program, maka nilai koordinat titik nodal, modulus elastisitas, dan *poisson's ratio* diambil dari program utama. Proses memanggil data tersebut dijelaskan sebagai berikut :

$J$  = NEL(KK,I)

$NS(2xI-1)$  =  $Jx2-1$

$NS(2xI)$  =  $Jx2$

$X(I)$  = XC(J)

$Y(I)$  = YC(J)

EM(1)	= EMC(KK)
PR(1)	= PRC(KK)
Keterangan :	
J	= Nomor titik nodal
KK	= Nomor elemen
NEL(KK,I)	= Nomor titik nodal pada elemen ke-KK pada nomor titik nodal lokal ke-I
NS(2xI-1)	= Nomor perpindahan global pada nomor perpindahan lokal ke-(2xI-1)
NS(2xI)	= Nomor perpindahan global pada nomor perpindahan lokal ke-(2xI)
X(I)	= Koordinat titik nodal arah sumbu x pada nomor titik nodal lokal ke-I
XC(J)	= Koordinat titik nodal arah sumbu x pada nomor titik nodal global ke-J
Y(I)	= Koordinat titik nodal arah sumbu y pada nomor titik nodal lokal ke-I
YC(J)	= Koordinat titik nodal arah sumbu y pada nomor titik nodal global ke-J
EM(1)	= Notasi modulus elastisitas yang dipakai pada <i>subroutine</i> matrikelemen
EMC(KK)	= Modulus elastisitas elemen ke-KK
PR(1)	= Notasi <i>poisson's ratio</i> yang dipakai pada <i>subroutine</i> matrikelemen
PRC(KK)	= <i>poisson's ratio</i> elemen ke-KK

### 3) Mengambil nilai perpindahan titik nodal elemen

Proses mengambil nilai perpindahan titik nodal elemen sama seperti proses mengambil nilai perpindahan titik nodal elemen sebelumnya. Proses tersebut dijelaskan sebagai berikut :

NS1	= NS(I)
NS2	= NS(I+1)
U(I)	= A(NS1)
U(I+1)	= A(NS2)

Keterangan :

- NS1 = Nomor perpindahan global  
 NS(I) = Nomor perpindahan global pada nomor perpindahan lokal ke-I  
 NS2 = Nomor perpindahan global  
 NS(I+1) = Nomor perpindahan global pada nomor perpindahan lokal ke-(I+1)  
 U(I) = Nilai perpindahan pada nomor perpindahan lokal ke-I  
 A(NS1) = Nilai matrik kolom A, kolom ke-NS1  
 U(I+1) = Nilai perpindahan pada nomor perpindahan lokal ke-(I+1)  
 A(NS2) = Nilai matrik kolom A, kolom ke-NS2

4) Memanggil matrik B, matrik D, dan matrik ESM

Pada program utama diperlukan data nilai matrik B, matrik D, dan matrik ESM yang terdapat pada subroutine matrikelemen, maka untuk mendapatkan nilai tersebut cukup dengan perintah sebagai berikut :

CALL MATRIKELEMEN(KK,ICETAK)

5) Menghitung gaya pada titik nodal elemen

Perhitungan gaya titik nodal elemen ditunjukkan dengan perhitungan sebagai berikut ini :

$$F(I) = 0$$

$$F(I) = F(I) + ESM(I,K) \times U(K)$$

Keterangan :

F(I) = Gaya lokal pada nomor perpindahan lokal ke-I

ESM(I,K) = Matrik kekakuan lokal baris ke-I, kolom ke-K

U(K) = Nilai perpindahan pada nomor perpindahan lokal ke-K

Pada perhitungan di atas, nilai gaya lokal terlebih dahulu diinisialisasi dengan nilai 0, agar nilai gaya tidak terjumlah dengan perhitungan gaya pada elemen berikutnya. Setelah gaya pada titik nodal elemen diperoleh, kemudian langsung dicetak.

6) Menghitung regangan elemen

Perhitungan regangan elemen ditunjukkan dengan perhitungan sebagai berikut ini :

$$REG(I) = 0$$

$$REG(I) = REG(I) + B(I,K) \times U(K) / AR1$$

Keterangan :

REG(I) = Regangan elemen bagian ke-I

B(I,K) = Matrik B baris ke-I, kolom ke-K

U(K) = Nilai perpindahan pada nomor perpindahan lokal ke-K

AR1 =  $2 \times$  luas segitiga

Pada perhitungan di atas, nilai regangan elemen terlebih dahulu diinisialisasi dengan nilai 0, agar nilai regangan tidak terjumlah dengan perhitungan regangan pada elemen berikutnya.

7) Menghitung tegangan elemen

Perhitungan tegangan elemen ditunjukkan dengan perhitungan sebagai berikut ini :

TEG(I) = 0

TEG(I) = TEG(I) + D(I,K)  $\times$  (REG(K))

Keterangan :

TEG(I) = Tegangan elemen bagian ke-I

B(I,K) = Matrik B baris ke-I, kolom ke-K

U(K) = Nilai perpindahan pada nomor perpindahan lokal ke-K

AR1 =  $2 \times$  luas segitiga

Pada perhitungan di atas, nilai tegangan elemen terlebih dahulu diinisialisasi dengan nilai 0, agar nilai tegangan tidak terjumlah dengan perhitungan tegangan pada elemen berikutnya.

8) Menghitung tegangan utama elemen

Perhitungan tegangan utama elemen ditunjukkan dengan perhitungan sebagai berikut ini :

$$TG1 = \frac{TEG(1) + TEG(2)}{2}$$

$$TG2 = \sqrt{\left(\frac{TEG(1) - TEG(2)}{2}\right)^2 + TEG(3)^2}$$

$$TEG1 = TG1 + TG2$$

$$TEG2 = TG1 - TG2$$

Keterangan :

TG1, TG2 = Koefisien nilai untuk menghitung tegangan utama

TEG(1) = Tegangan elemen arah sumbu x

TEG(2) = Tegangan elemen arah sumbu y

TEG(3) = Tegangan geser elemen

TEG1 = Tegangan utama pertama elemen

TEG2 = Tegangan utama kedua elemen

Setelah perhitungan tegangan utama, hasil perhitungan regangan elemen, tegangan elemen, tegangan utama elemen dicetak.

#### 4.1.3.2 Subroutine program

Untuk praktisnya suatu program, dapat diselesaikan dengan berbagai subroutine. Berikut ini akan dibahas mengenai perhitungan yang terdapat pada subroutine, sedangkan proses jalannya *subroutine* program terdapat pada lampiran.

##### a) Subroutine matrikelemen

*Subroutine* matrikelemen memberikan perhitungan matrik kekakuan elemen, maka diperlukan data yang dipergunakan bersama-sama dengan perhitungan program utama. Data tersebut adalah matrik B, 2 kali luas segitiga, koordinat titik nodal, modulus elastisitas, *poisson's ratio*, tebal elemen, dan matrik kekakuan elemen. Perhitungan pada *subroutine* ini dijelaskan sebagai berikut :

##### 1) Menghitung matrik D

Perhitungan matrik D adalah mengolah data modulus elastisitas dan *poisson's ratio* yang telah dibaca pada program utama. Perhitungan matrik D dijelaskan sebagai berikut :

$$R = \frac{EM(1)}{(1-PR(1))^2}$$

$$D(1,1) = R$$

$$D(2,2) = D(1,1)$$

$$D(3,3) = R \times \left( \frac{1-PR(1)}{2} \right)$$

$$D(1,2) = PR(1) \times R$$

$$D(2,1) = D(1,2)$$

$$D(1,3) = 0$$

$$D(3,1) = 0$$

$$D(2,3) = 0$$

$$D(3,2) = 0$$

Keterangan :

R = Koefisien nilai untuk menghitung matrik D

D(x,y) = Nilai matrik D baris ke-x, kolom ke-y

## 2) Menghitung matrik B

Perhitungan matrik B adalah mengolah data koordinat titik nodal pada setiap elemen yang telah dibaca pada program utama. Perhitungan matrik B dijelaskan sebagai berikut :

$$B(I,J) = 0$$

$$B(1,1) = Y(2)-Y(3)$$

$$B(1,3) = Y(3)-Y(1)$$

$$B(1,5) = Y(1)-Y(2)$$

$$B(2,2) = X(3)-X(2)$$

$$B(2,4) = X(1)-X(3)$$

$$B(2,6) = X(2)-X(1)$$

$$B(3,1) = B(2,2)$$

$$B(3,2) = B(1,1)$$

$$B(3,3) = B(2,4)$$

$$B(3,4) = B(1,3)$$

$$B(3,5) = B(2,6)$$

$$B(3,6) = B(1,5)$$

$$AR1 = X(2) \times Y(3) + X(3) \times Y(1) + X(1) \times Y(2) - X(2) \times Y(1) - X(3) \times Y(2) - X(1) \times Y(3)$$

$$AR2 = \textit{Absolute} (AR1)$$

Keterangan :

$$B(I,J) = \text{Nilai matrik B baris ke-I, kolom ke-J}$$

$$X(I) = \text{Koordinat titik nodal arah sumbu x pada nomor titik nodal lokal ke-I}$$

$$Y(I) = \text{Koordinat titik nodal arah sumbu y pada nomor titik nodal lokal ke-I}$$

$$AR1 = 2 \text{ kali luas segitiga}$$

$$AR2 = \text{Nilai } \textit{absolute} \text{ dari nilai AR1}$$

Pada perhitungan di atas, nilai matrik B diinisialisasi terlebih dahulu dengan nilai 0, agar nilai matrik B yang tidak diperbarui diisi dengan nilai 0.

3) Menghitung perkalian matrik B *transpose* dengan matrik D

Perhitungan perkalian matrik B *transpose* dengan matrik D ditunjukkan sebagai berikut :

$$C(I,J) = 0$$

$$C(I,J) = C(I,J) + B(K,I) \times D(K,J)$$

Keterangan :

$C(I,J)$  = Nilai matrik C baris ke-I, kolom ke-J, hasil perkalian matrik B baris ke-K, kolom ke-I dengan matrik D baris ke-K, kolom ke-J

$B(K,I)$  = Nilai matrik B baris ke-K, kolom ke-I

$D(K,J)$  = Nilai matrik D baris ke-K, kolom ke-J

Pada perhitungan di atas, nilai matrik C terlebih dahulu diinisialisasi dengan nilai 0, agar nilai matrik C tidak terjumlah dengan perhitungan pada baris matrik berikutnya.

4) Menghitung matrik kekakuan elemen

Perhitungan perkalian matrik kekakuan elemen ditunjukkan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$SUM = 0$$

$$SUM = SUM + C(I,K) \times B(K,J)$$

$$ESM(I,J) = SUM \left( \frac{TH}{2 \times AR2} \right)$$

Keterangan :

$SUM$  = Nilai perkalian matrik C baris ke-I, kolom ke-K dengan matrik D baris ke-K, kolom ke-J

$ESM(I,J)$  = Nilai matrik kekakuan elemen baris ke-I, kolom ke-J

$TH$  = Tebal elemen

$AR2$  = Nilai *absolute* dari nilai  $AR1$

Pada perhitungan di atas, nilai  $SUM$  terlebih dahulu diinisialisasi dengan nilai 0, agar nilai  $SUM$  tidak terjumlah dengan perhitungan pada baris matrik berikutnya. Setelah matrik kekakuan elemen didapat, maka dicetak pada tahap berikutnya, jika nilai ICETAK yang dibaca pada program utama adalah 1. Nilai matrik kekakuan elemen tidak dicetak jika nilai ICETAK yang dibaca pada program utama adalah 0.

b) *Subroutine* bebandantumpuan

*Subroutine* bebandantumpuan memberikan perhitungan modifikasi matrik kolom A akibat nilai beban dan tumpuan yang diberikan, maka diperlukan data yang dipergunakan bersama-sama dengan perhitungan program utama. Data tersebut adalah matrik A, jumlah kolom matrik perpindahan, jumlah kolom matrik perpindahan dan gaya, jumlah perpindahan, jumlah tahanan titik nodal,

dan nomor perpindahan yang ditahan. Perhitungan pada *subroutine* ini dijelaskan sebagai berikut :

1) Baca beban dan modifikasi matrik kekakuan global akibat beban

Pada tahap ini dibaca nilai beban pada nomor perpindahan titik nodal. ICA menunjukkan nomor perpindahan yang dibebani dan BV menunjukkan nilai beban yang bekerja pada ICA. Beban yang dibaca memberikan perubahan nilai pada matrik A kolom gaya. Perhitungan tersebut dijelaskan sebagai berikut :

$$A(NP1X+ICA) = A(NP1X+ICA)+BV$$

Keterangan :

NP1X = Jumlah kolom matrik A pada kolom perpindahan

ICA = Nomor perpindahan yang dibebani

BV = Nilai beban yang bekerja pada nomor perpindahan

$A(NP1X+ICA)$  = Nilai matrik A pada kolom ke- $(NP1X+ICA)$

Apabila menginginkan memasukkan data beban lagi, maka dapat dilakukan dengan membaca nilai IBH=1, dan jika tidak mengisi IBH=0.

2) Modifikasi matrik kekakuan global akibat nomor perpindahan yang ditahan

Data nomor perpindahan yang ditahan mengakibatkan partisi pada baris dan kolom matrik kekakuan global. Partisi tersebut dilakukan dengan mengisi nilai 0 pada baris dan kolom matrik kekakuan global yang dipartisi, terkecuali pada nilai yang terletak pada diagonal matrik kekakuan global. Meskipun nilai matrik tersebut termasuk kolom dan baris nomor perpindahan yang ditahan, nilai tersebut tidak ikut dipartisi karena bisa menghentikan jalannya program pada saat perhitungan eliminasi gauss. Berhentinya program tersebut diakibatkan oleh perhitungan suatu nilai yang dibagi dengan angka 0. Perhitungan modifikasi matrik kekakuan global akibat nomor perpindahan yang ditahan dijelaskan sebagai berikut :

$$K = NTT(I)-1$$

$$M = NTT(I)+J-1$$

$$IJ = NP2X+(J-1) \times NP + NTT(I)-(J-1) \times (J-2)/2$$

$$A(IJ) = 0$$

$$KJ = NP2X+(J-1) \times NP + K-(J-1) \times (J-2)/2$$

$$A(KJ) = 0$$

Keterangan :

K	= Koefisien nilai untuk menghitung lokasi kolom matrik kekakuan global yang dipartisi
J	= Koefisien nilai yang menunjukkan partisi baris matrik berikutnya
NTT(I)	= Nomor perpindahan yang ditahan pada urutan ke-I
NP	= Nomor perpindahan
M	= Koefisien nilai untuk menghitung lokasi baris matrik kekakuan global yang dipartisi
NP2X	= Jumlah kolom matrik A pada kolom perpindahan dan gaya
IJ	= Nomor kolom matrik A yang menunjukkan baris matrik kekakuan global
A(IJ)	= Matrik A kolom ke-IJ
KJ	= Nomor kolom matrik A yang menunjukkan kolom matrik kekakuan global
A(KJ)	= Matrik A kolom ke-KJ

Pada perhitungan di atas terdapat syarat yang harus dijalankan, agar modifikasi matrik kekakuan global sesuai dengan yang diharapkan. Syarat tersebut antara lain adalah, jika nilai  $M > NP$  maka perhitungan dilewati, jika nilai  $K \leq 0$  maka perhitungan dilewati, setiap sekali jalan nilai K dikurangi 1 untuk perhitungan partisi kolom berikutnya.

c) *Subroutine* elgauss

*Subroutine* elgauss memberikan perhitungan modifikasi matrik kolom A akibat eliminasi gauss, maka diperlukan data yang dipergunakan bersama-sama dengan perhitungan program utama. Data tersebut adalah matrik A, jumlah kolom matrik perpindahan, jumlah kolom matrik perpindahan dan gaya, dan jumlah perpindahan. Perhitungan pada *subroutine* ini dijelaskan sebagai berikut:

$$A(JK) = A(JK) - A(INK) \times A(INL) / A(II)$$

Keterangan :

A(JK) = Matrik A kolom ke-JK yang menunjukkan nilai matrik yang akan dieliminasi

A(INK) = Matrik A kolom ke-INK yang menunjukkan lawan dari matrik yang akan dieliminasi

$A(INL)$  = Matrik A kolom ke-INL yang menunjukkan faktor pengali untuk lawan matrik yang akan dieliminasi

$A(II)$  = Matrik A kolom ke-II yang menunjukkan faktor pembagi untuk lawan matrik yang akan dieliminasi

d) *Subroutine* perpindahan

*Subroutine* perpindahan memberikan perhitungan penyelesaian persamaan untuk mendapatkan perpindahan pada titik nodal, maka diperlukan data yang dipergunakan bersama-sama dengan perhitungan program utama. Data tersebut adalah matrik A, jumlah kolom matrik perpindahan, jumlah kolom matrik perpindahan dan gaya, dan jumlah perpindahan. Perhitungan pada *subroutine* ini dijelaskan sebagai berikut :

1) Eliminasi gauss pada kolom matrik gaya

Rangkaian eliminasi gauss pada kolom matrik gaya dijelaskan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$A(NP1X+J)=A(NP1X+J)-A(IL) \times A(NP1X+I)/A(NP2X+I)$$

Keterangan :

$A(NP1X+J)$  = Matrik A kolom ke-(NP1X+J) yang menunjukkan nilai matrik yang akan dieliminasi

$A(NP1X+I)$  = Matrik A kolom ke-(NP1X+I) yang menunjukkan lawan dari matrik yang akan dieliminasi

$A(IL)$  = Matrik A kolom ke-IL yang menunjukkan faktor pengali untuk lawan matrik yang akan dieliminasi

$A(NP2X+I)$  = Matrik A kolom ke-(NP2X+I) yang menunjukkan faktor pembagi untuk lawan matrik yang akan dieliminasi

2) Substitusi balik untuk menentukan perpindahan nodal

Sebelum melakukan substitusi balik, persamaan paling bawah diselesaikan terlebih dahulu. Perhitungan dijelaskan sebagai berikut :

$$A(NP)=A(NP1X+NP)/A(NP2X+NP)$$

Keterangan :

$A(NP)$  = Matrik A kolom ke-NP yang menunjukkan nilai perpindahan pada nomor perpindahan ke-NP

$A(NP1X+NP)$  = Matrik A kolom ke-(NP1X+NP)

$A(NP2X+NP)$  = Matrik A kolom ke-(NP2X+NP)

Setelah persamaan tersebut diselesaikan maka persamaan yang lain juga bisa diselesaikan dengan cara substitusi balik. Perhitungan dijelaskan sebagai berikut :

$$\text{SUM} = \text{SUM} + \text{A(IJ)} \times \text{A(N)}$$

$$\text{A(I)} = (\text{A(NP1X+I)} - \text{SUM}) / \text{A(NP2X+I)}$$

Keterangan :

SUM = Jumlah nilai perkalian persamaan yang telah diketahui

A(IJ) = Matrik A kolom ke-IJ yang menunjukkan nilai matrik kekakuan global yang akan dikalikan dengan matrik perpindahan yang terletak pada matrik A kolom ke-N

A(N) = Matrik A kolom ke-N yang menunjukkan nilai perpindahan yang telah diketahui

A(I) = Matrik A kolom ke-I yang menunjukkan nilai perpindahan pada nomor perpindahan ke-I

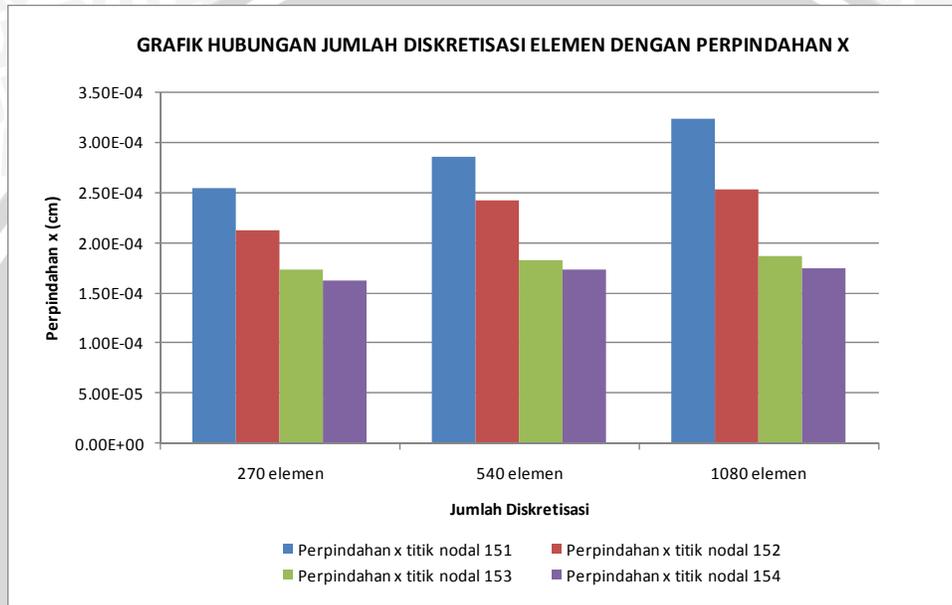
A(NP1X+I) = Matrik A kolom ke-(NP1X+I) yang menunjukkan nilai matrik gaya yang akan dikurangi dengan SUM

A(NP2X+I) = Matrik A kolom ke-(NP2X+I) yang menunjukkan nilai matrik kekakuan global yang berfungsi sebagai pembagi matrik A kolom ke-(NP1X+I) yang telah dikurangi dengan SUM untuk mendapatkan nilai perpindahan

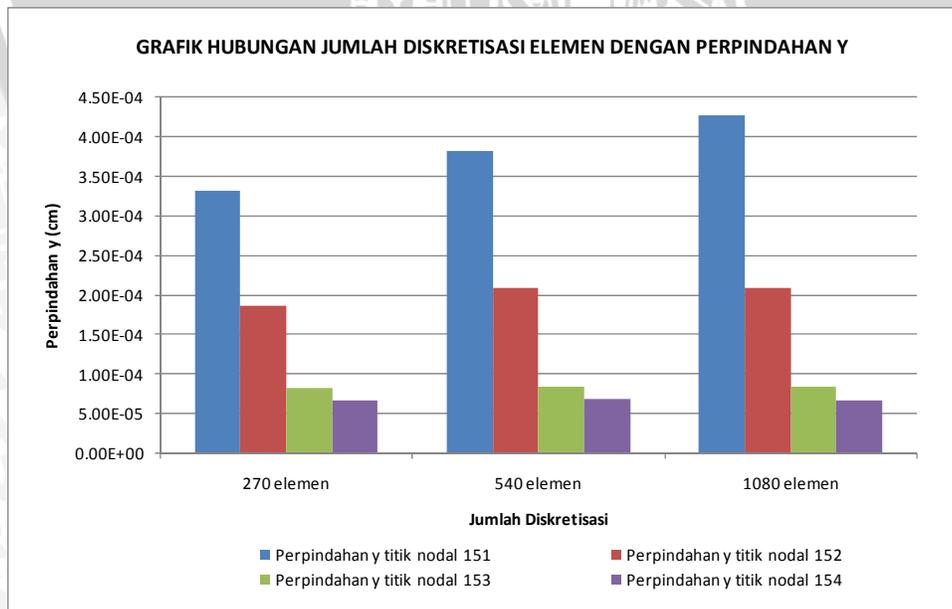
## 4.2 Hasil Analisis

### 4.2.1 Hasil analisis pengaruh jumlah diskretisasi terhadap perpindahan

Setelah data yang terdapat pada analisis pengaruh jumlah diskretisasi terhadap perpindahan dimasukkan ke program, diperoleh nilai perpindahan titik nodal. Nilai perpindahan titik nodal dijelaskan pada lampiran. Berikut ini dijelaskan hubungan perpindahan titik nodal dengan jumlah pembagian elemen pada nomor titik nodal 151 sampai nomor titik nodal 154.



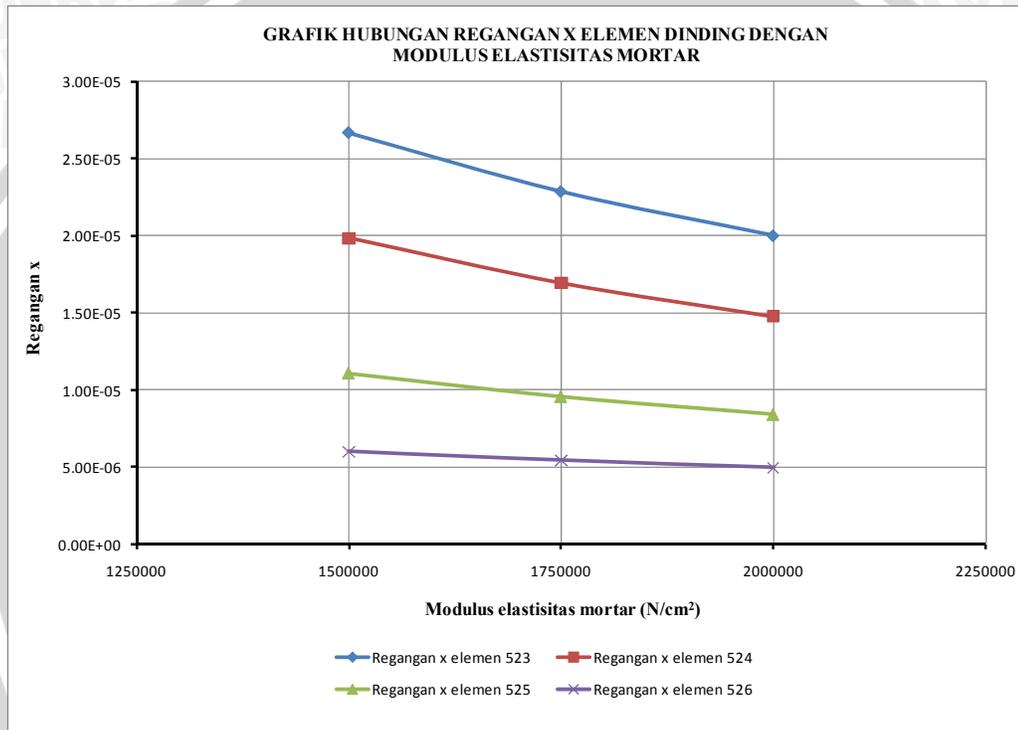
Gambar 4.7 Hubungan jumlah diskretisasi elemen dengan perpindahan x



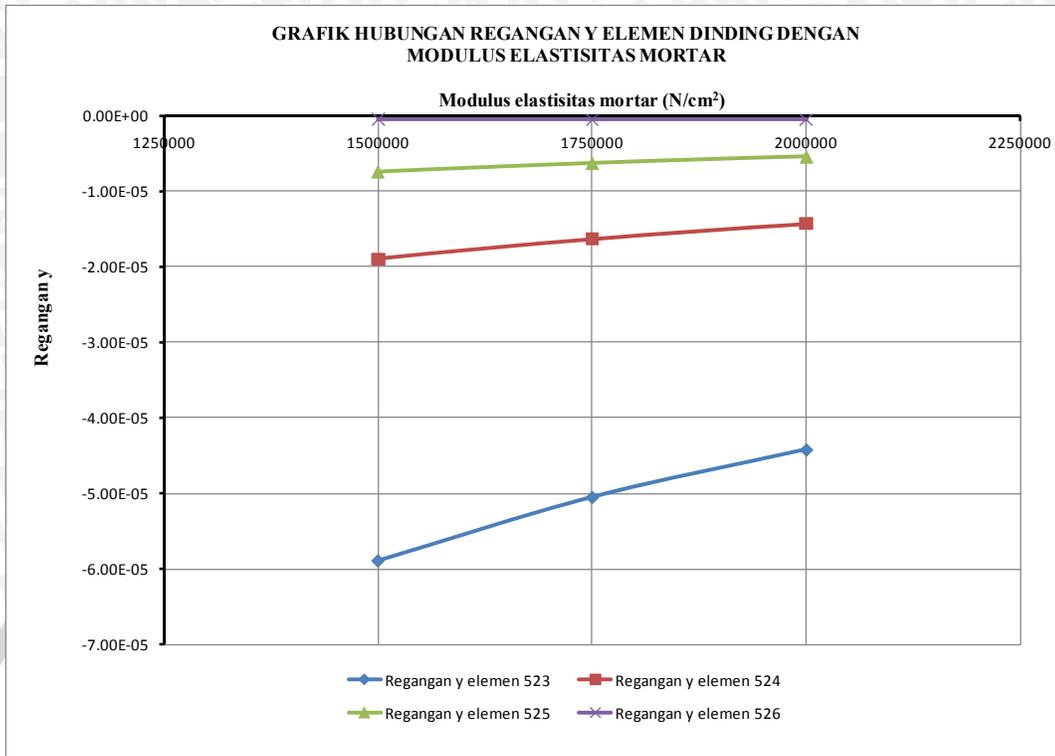
Gambar 4.8 Hubungan jumlah diskretisasi elemen dengan perpindahan y

#### 4.2.2 Hasil analisis pengaruh modulus elastisitas mortar terhadap regangan dan tegangan

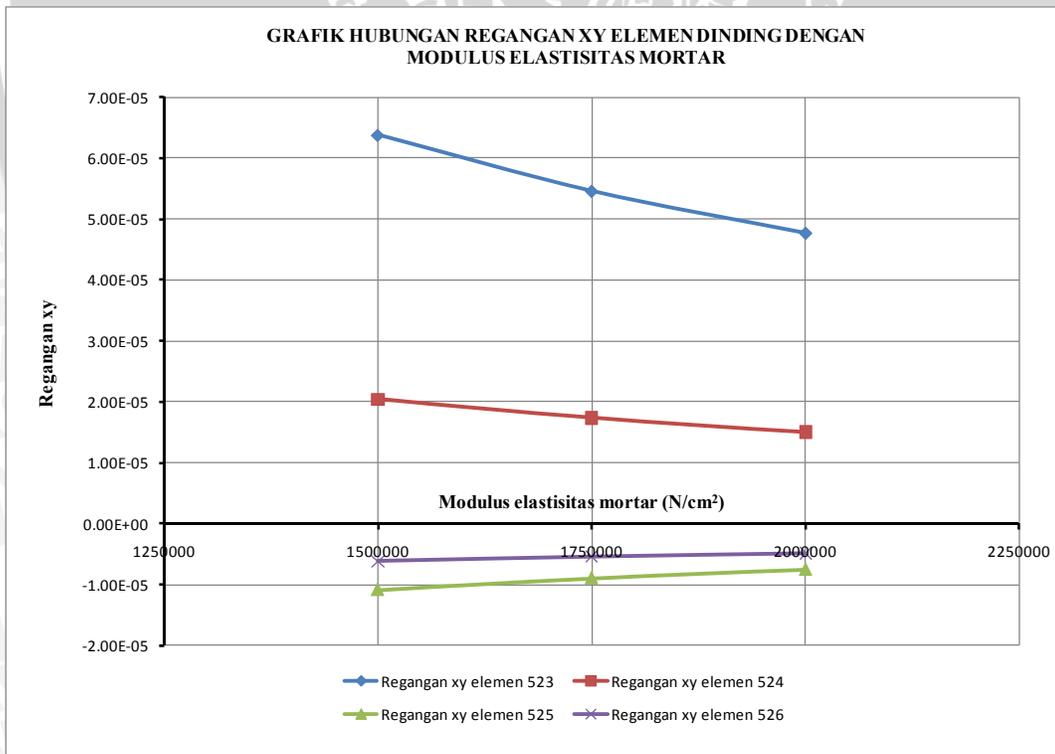
Setelah data yang terdapat pada analisis pengaruh modulus elastisitas mortar terhadap regangan dan tegangan dimasukkan ke program, diperoleh nilai regangan dan tegangan yang terjadi pada elemen dinding. Nilai regangan dan tegangan dijelaskan pada lampiran. Berikut ini dijelaskan hubungan regangan dengan modulus elastisitas mortar dan tegangan dengan modulus elastisitas mortar pada nomor elemen 523 sampai nomor elemen 526.



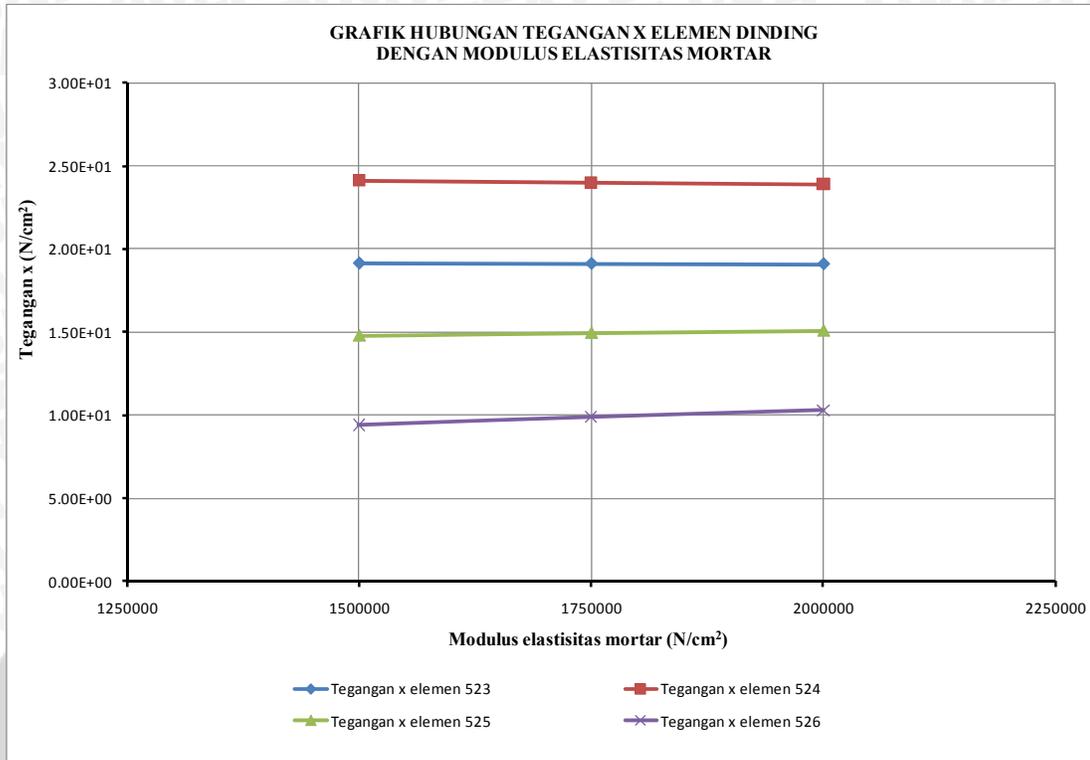
Gambar 4.9 Hubungan regangan x elemen dinding dengan modulus elastisitas mortar



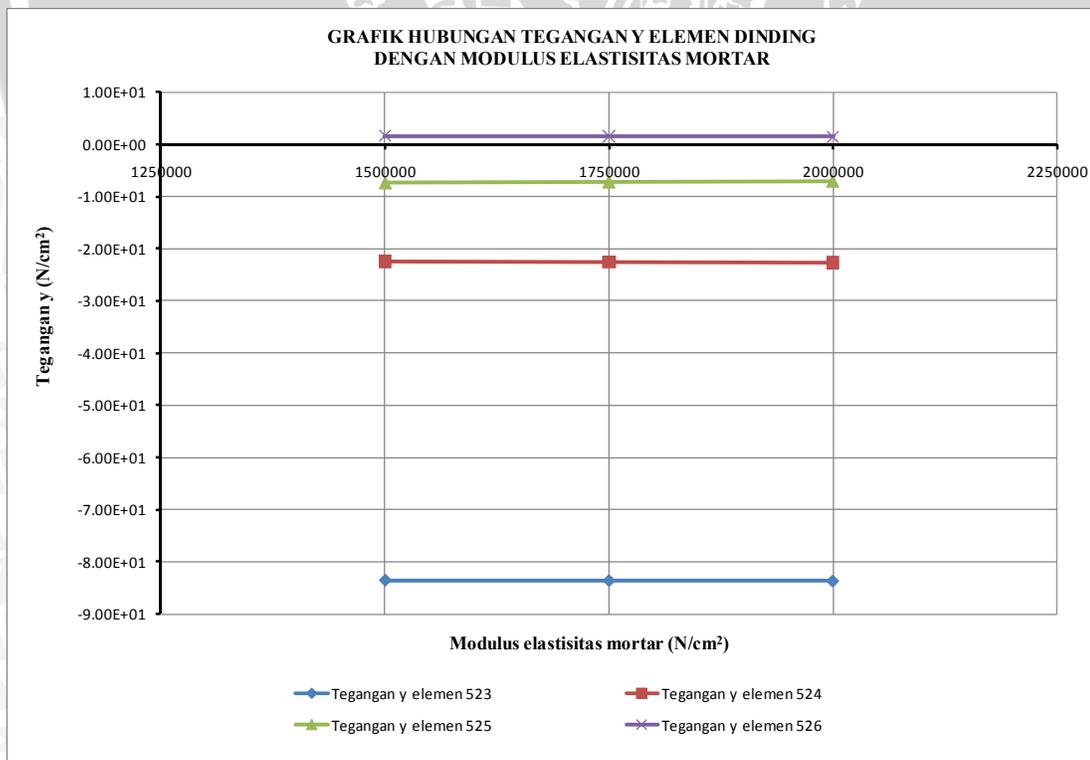
Gambar 4.10 Hubungan regangan y elemen dinding dengan modulus elastisitas mortar



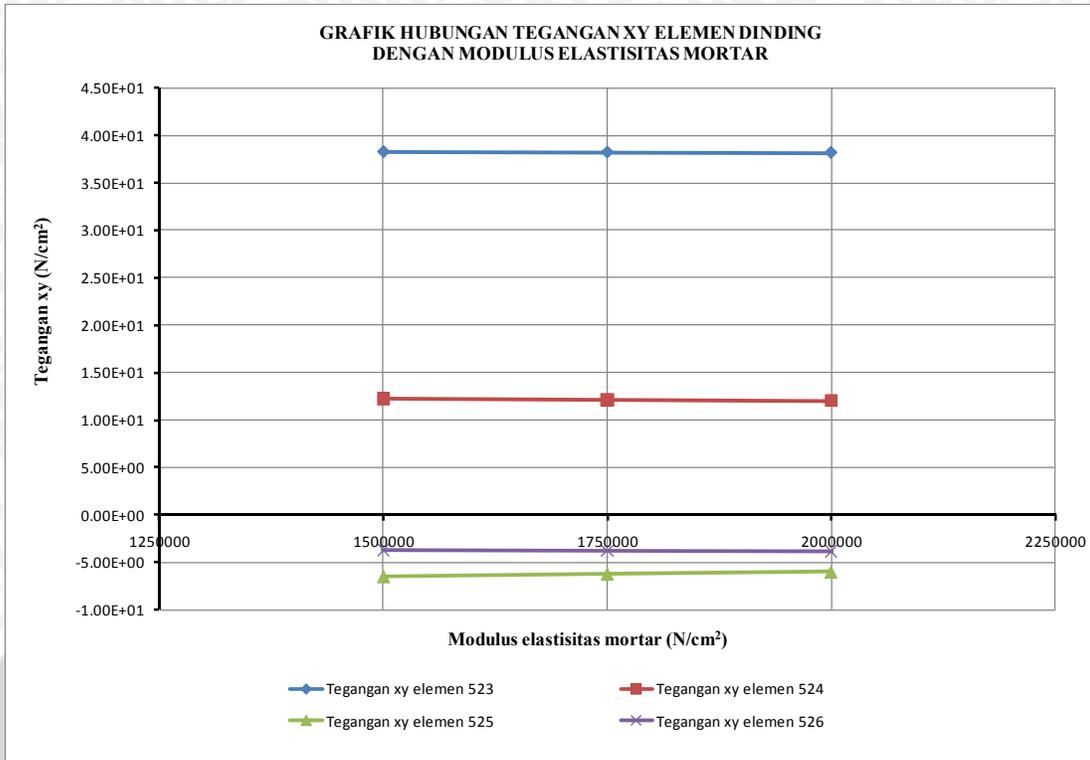
Gambar 4.11 Hubungan regangan xy elemen dinding dengan modulus elastisitas mortar



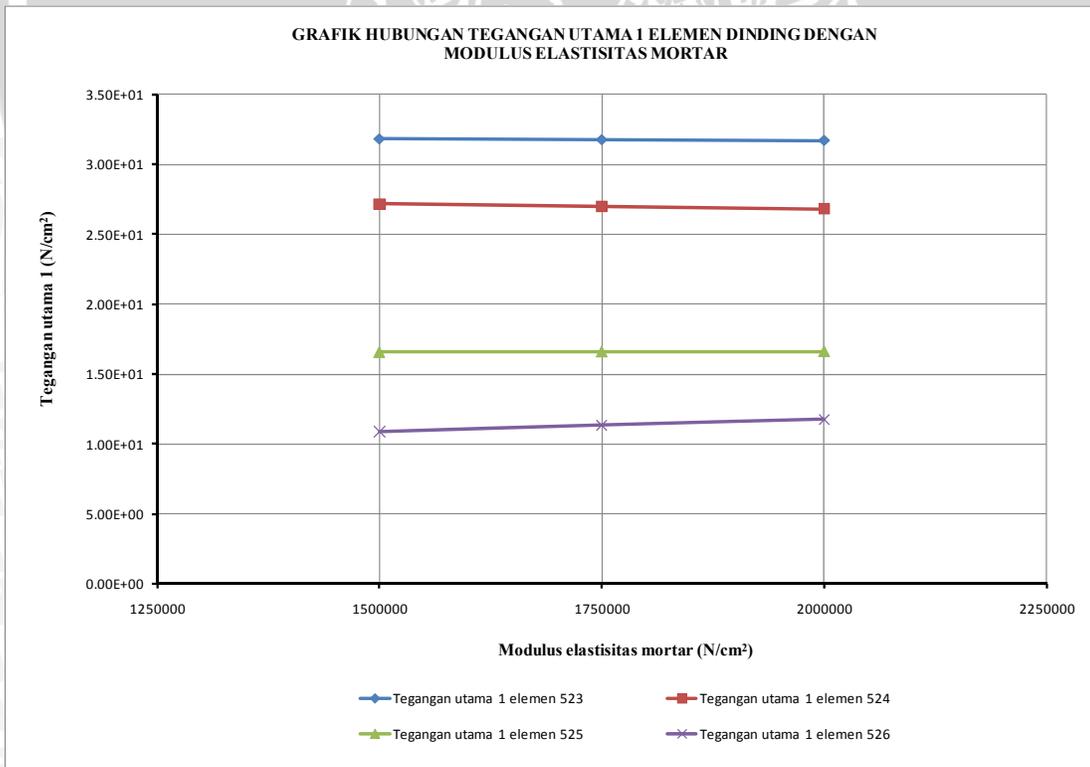
Gambar 4.12 Hubungan tegangan x elemen dinding dengan modulus elastisitas mortar



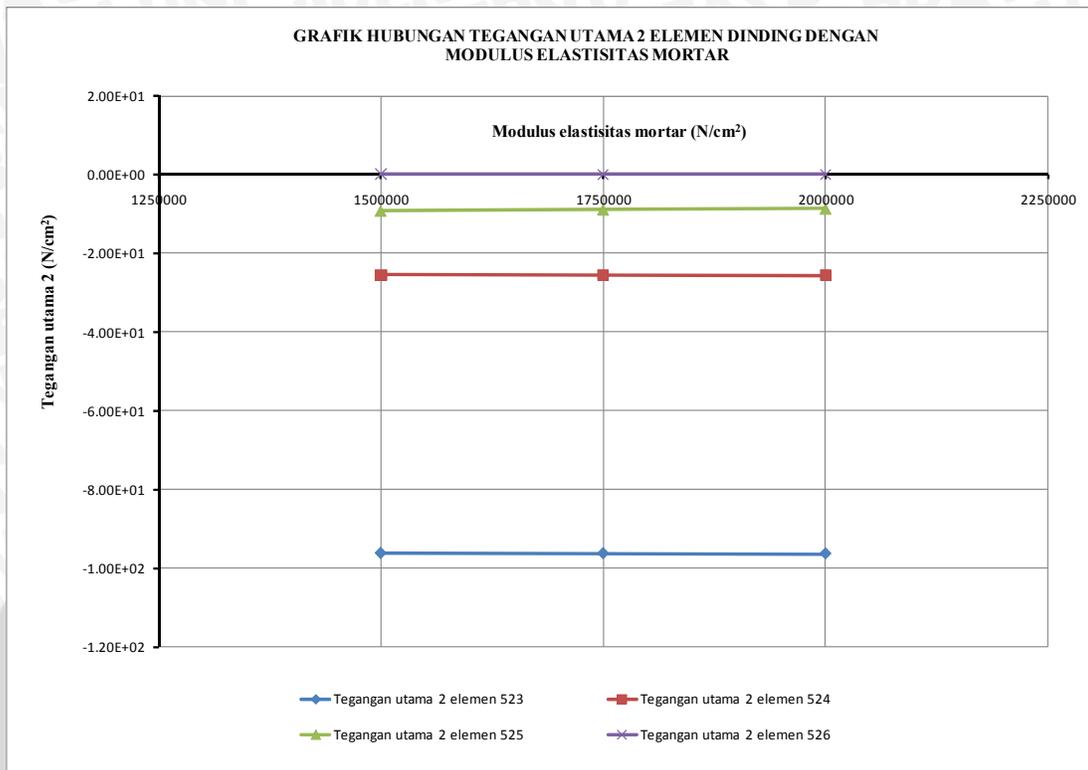
Gambar 4.13 Hubungan tegangan y elemen dinding dengan modulus elastisitas mortar



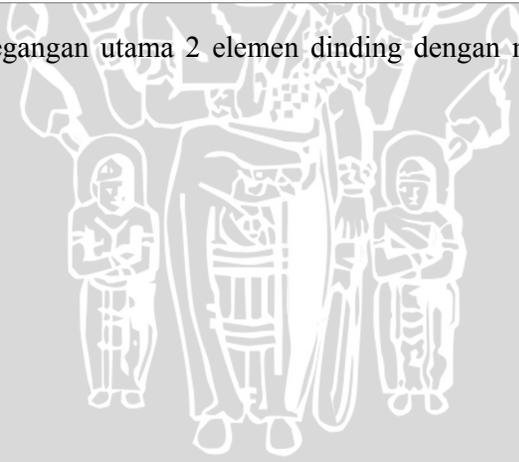
Gambar 4.14 Hubungan tegangan xy elemen dinding dengan modulus elastisitas mortar



Gambar 4.15 Hubungan tegangan utama 1 elemen dinding dengan modulus elastisitas mortar



Gambar 4.16 Hubungan tegangan utama 2 elemen dinding dengan modulus elastisitas mortar

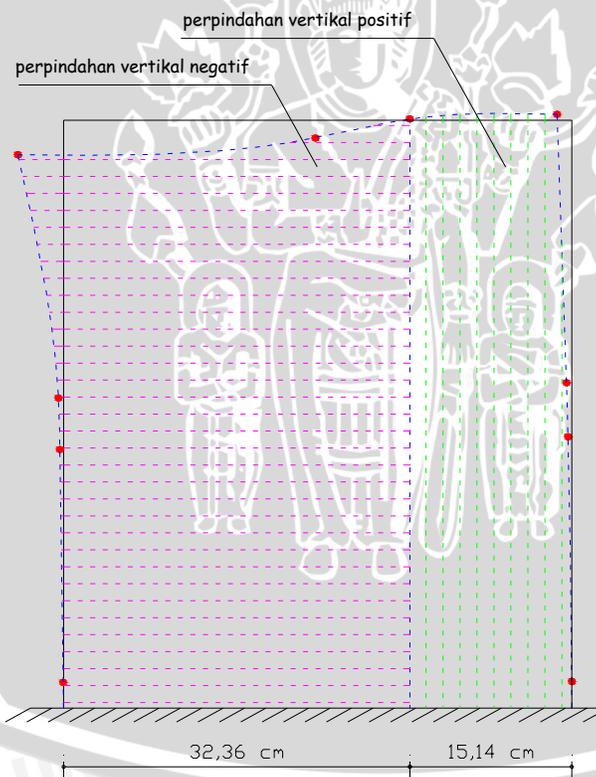


### 4.3 Pembahasan

Analisis pertama membahas tentang pengaruh diskretisasi terhadap nilai perpindahan. Diskretisasi elemen yang lebih halus dilakukan dengan mempertahankan setiap titik nodal dan garis pembagi yang terdahulu, sehingga nilai perpindahan titik nodal dapat dibandingkan. Pembagian elemen yang lebih halus mengakibatkan jumlah titik nodal bertambah, sehingga struktur dinding dapat mencapai bentuk ideal lentur yang lebih baik.

Dari grafik hubungan jumlah diskretisasi dengan perpindahan dapat dilihat bahwa selisih nilai perpindahan pada titik nodal yang sama, antara diskretisasi III dengan diskretisasi II, lebih kecil dibandingkan dengan selisih nilai perpindahan antara diskretisasi II dengan diskretisasi I. Hal tersebut menunjukkan bahwa, pembagian elemen yang lebih banyak didapatkan nilai yang mendekati akurat.

Dengan perpindahan titik nodal yang telah diperoleh, dapat digambarkan pola deformasi yang terjadi pada dinding sebagai berikut.



Gambar 4.17 Deformasi dinding

Dari gambar di atas dapat diketahui daerah batas elemen yang mengalami perpindahan vertikal arah positif dengan arah negatif. Perpindahan horizontal menunjukkan nilai negatif

di setiap titik nodal. Perpindahan tersebut berangsur-angsur kecil seiring dengan semakin jauhnya titik nodal dari pusat beban.

Pada analisis kedua membahas tentang pengaruh perbedaan modulus elastisitas mortar terhadap tegangan dan regangan yang terjadi pada struktur dinding. Pada perhitungan tegangan dan regangan, nilai modulus elastisitas mortar diperkecil sedangkan jumlah diskretisasi elemen tetap, sehingga nilai tegangan dan regangan dapat dibandingkan.

Regangan didapat dari perhitungan  $\{\varepsilon(x,y)\}=[B].\{\delta^e\}$ . Dimana  $\varepsilon$  menyatakan regangan dan  $\delta^e$  menyatakan perpindahan. Pada grafik hubungan regangan elemen dengan modulus elastisitas mortar menunjukkan perubahan regangan yang terjadi semakin besar jika modulus elastisitas mortar semakin kecil. Hal ini sesuai dengan perhitungan regangan sederhana yaitu  $\Delta l = \frac{PL}{AE}$  dimana, regangan berbanding terbalik dengan nilai modulus elastisitas suatu bahan. Perubahan regangan x, regangan y, dan regangan xy menunjukkan pola yang sama, yaitu perubahan lebih besar terletak pada bagian elemen yang berada lebih dekat dengan pusat beban.

Tegangan dapat diperoleh dari perhitungan  $\{\sigma(x,y)\}=[D].\{\varepsilon(x,y)\}$ . Dimana  $\sigma$  menyatakan tegangan dan  $\varepsilon$  menyatakan regangan. Dari hasil grafik hubungan tegangan elemen dengan modulus elastisitas mortar menunjukkan perubahan tegangan yang terjadi tidak terlalu besar jika modulus elastisitas mortar semakin kecil. Hal ini sesuai dengan perhitungan tegangan sederhana yaitu  $\sigma = \frac{P}{A}$  dimana, besarnya nilai tegangan tidak tergantung pada nilai modulus elastisitas suatu bahan.