

# ANALISA STABILITAS TEKUK RANGKA KAKU DENGAN KOMPUTER

## MAKALAH



Oleh :

ANDANG HANDAKA SETYADI

624.171 005  
SET  
a.



UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL  
BANDUNG, 1986

85231 RIETS  
8.10.02.



## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang sangat pesat pada abad kedua puluh mengakibatkan kebutuhan manusia menuntut adanya bangunan yang tinggi dan langsing, bangunan seperti itu sudah tidak asing lagi bagi kita dan sering kita jumpai terutama di kota-kota besar. Struktur bangunan seperti itu membutuhkan perhitungan yang lebih teliti dan akurat.

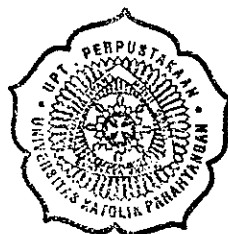
Adanya gaya-gaya aksial pada elemen-elemen struktur senantiasa tidak dapat dihindari, dan gaya-gaya aksial semakin memegang peranan penting pada struktur yang tinggi dan langsing.

Suatu kolom yang langsing dengan pembebanan aksial tekan merupakan subjek dari suatu type perilaku yang dikenal sebagai tekuk. Selama beban aksial pada kolom langsing relatif kecil, penambahan beban tersebut hanya akan menghasilkan perpendekan aksial dari kolom tersebut dan hal ini terjadi sampai suatu beban kritis dicapai, kemudian batang itu akan menekuk.

Dalam menganalisa stabilitas suatu kolom ideal, Leonhard Euler pada tahun 1744 menurunkan rumus beban aksial kritis untuk kolom dengan perletakan sendi-rol, dan kolom ini dikenal sebagai Kolom Euler. Untuk kolom dengan perletakan yang lain dengan syarat batas yang sudah diketahui, seperti jepit-bebas, jepit-jepit, Jepit-rol dan sebagainya, dapat diturunkan rumus beban aksial kritis yang identik dengan rumus yang diturunkan Euler, di mana panjang tekuknya merupakan panjang ekuivalen dari Kolom Euler.

Pada umumnya batang-batang dari suatu struktur tidak berada pada kondisi ideal yang disebutkan di atas, tetapi batang-batang itu bekerja sama membentuk rangka kaku, di mana ujung batang tertahan secara elastis oleh batang-batang lainnya pada titik kumpul batang-batang tersebut.

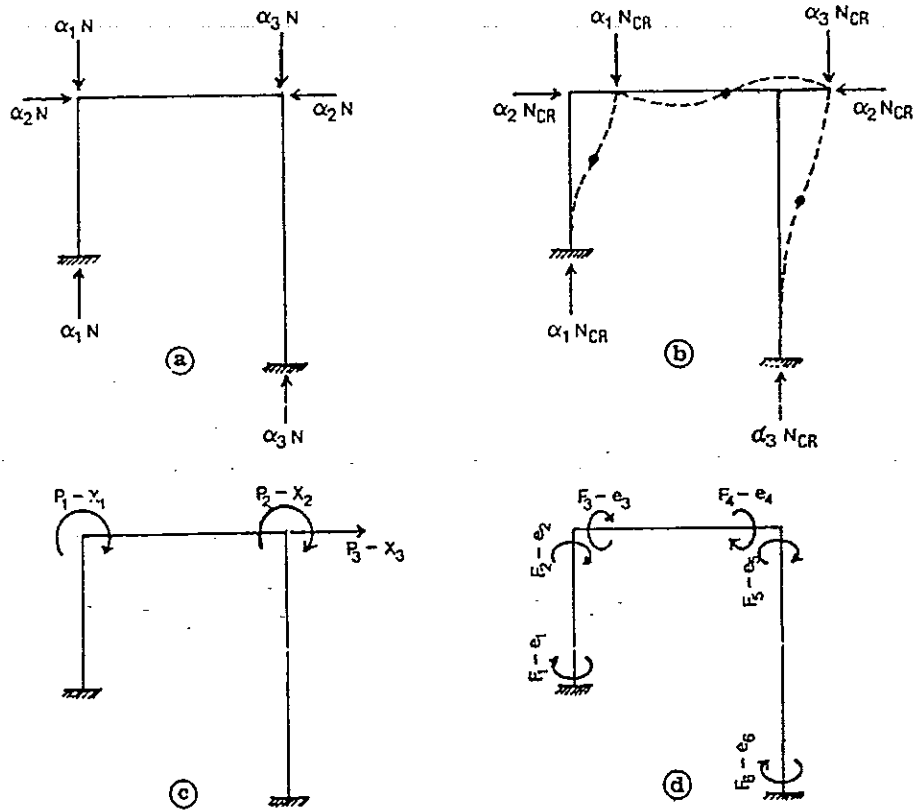
Pada struktur rangka kaku, ujung-ujung batang dihubungkan secara kaku satu dengan yang lainnya. Akibatnya, tidak ada satu pun batang tekan dapat tertekuk tanpa mengakibatkan deformasi pada batang-batang lainnya dari struktur yang bersangkutan. Artinya, tahanan elastis di ujung salah satu batang tekan tidak





hanya dipengaruhi oleh batang-batang yang bertemu di titik hubung tersebut, tetapi dipengaruhi oleh setiap batang yang membentuk sistim struktur rangka kaku itu.

## 2. MATRIKS KEKAKUAN STABILITAS [K] PADA KEADAAN BERGANDA



Gambar 1 Membentuk matriks  $[K] = [K_1] + [K_2]$

- (a) Kondisi primer      (b) Ragam tekuk  
(c) Digram P-x          (d) Diagram F-e

Tinjau rangka kaku pada Gambar 1, kondisi-kondisi keseimbangan pada ragam tekuk adalah :

$$P_1 = F_2 + F_3$$

$$P_2 = F_4 + F_5$$

$$P_3 = - \frac{F_1 + F_2}{L_1} - \frac{\alpha_1 N_{cr} X_3}{L_1} - \frac{F_5 + F_6}{L_3} - \frac{\alpha_3 N_{cr} X_3}{L_3}$$



Persamaan di atas apabila disusun dalam bentuk matriks, menjadi :

$$\{P\} = [A] \{F\} + [K_2] \{x\} \quad (2.1)$$

di mana [A] adalah matriks statis dan

$$[K_2] = N_{cr}$$

P \ X	1	2	3
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	$-\frac{\alpha_1}{L} \quad -\frac{\alpha_3}{L}$

Dengan demikian matriks ( $K_2$ ) menyatakan gaya-gaya akibat goyangan yang diimbangi oleh gaya-gaya geser yang timbul karena momen-momen kopel sekunder untuk setiap peralihan goyangan.

Dengan mensubstitusikan persamaan  $\{F\}_{NF \times 1} = [SB]_{NF \times NP} \{X\}_{NP \times 1}$  pada persamaan  $\{P\} = [A] \{F\} + [K_2] \{x\}$  didapat :

$$\begin{aligned} \{P\} &= [A] [SB] \{X\} + [K_2] \{X\} \\ \{P\} &= [ASA^T] \{X\} + [K_2] \{X\} \\ \{P\} &= [K] \{X\} \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$[K] = [K_1] + [K_2] \quad (2.3a)$$

$$[K_1] = [ASA^T] \quad (2.3b)$$

dan elemen-elemen matriks kekakuan elemen [S] untuk memformulasi matriks  $[K_1]$  didapat dari persamaan :

$$[S] =$$

	$\phi_i$	$\phi_j$
$M_i$	$+\left(\frac{\phi \sin \phi - \phi \cos \phi}{2 - 2 \cos \phi - \phi \sin \phi}\right) \frac{E I}{L}$	$+\left(\frac{\phi - \phi \sin \phi}{2 - 2 \cos \phi - \phi \sin \phi}\right) \frac{E I}{L}$
$M_j$	$+\left(\frac{\phi - \phi \sin \phi}{2 - 2 \cos \phi - \phi \sin \phi}\right) \frac{E I}{L}$	$+\left(\frac{\phi \sin \phi - \phi \cos \phi}{2 - 2 \cos \phi - \phi \sin \phi}\right) \frac{E I}{L}$



Dalam keadaan berganda, hanya dengan gaya-gaya aksial kritis saja tanpa bekerjanya gaya-gaya luar lainnya, kekakuan rangka kaku adalah sedemikian rupa sehingga masih dapat dipertahankan keseimbangan dan deformasi yang kompatibel. Keadaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut :

$$\{P\} = [K] \{X\} = 0 \quad (2.4)$$

Pada kondisi primer di mana struktur dalam keadaan tak terdeformasi, maka semua peralihan pada derajat kebebasannya adalah nol, maka persamaan (2.4) menghasilkan solusi yang trivial. Agar didapat solusi nontrivial, maka determinan dari matriks kekakuan  $[K]$  haruslah sama dengan nol. Jadi batasan umum untuk menyatakan stabilitas adalah :

$$\text{DET } [K] = 0 \quad (2.5)$$

### 3. KOMPUTERISASI PEMBENTUKAN MATRIKS KEKAKUAN $[K_2]$

Telah dibahas di atas, bahwa matriks  $[K_2]$  adalah matriks yang menyatakan gaya goyangan yang diimbangi oleh gaya-gaya geser yang timbul karena momen-momen kopel sekunder untuk setiap peralihan goyangan.

Untuk struktur yang besar dengan beberapa derajat kebebasan goyangan (*sidesway*) dan banyak batang yang menerima gaya aksial primer, khususnya pada rangka kaku yang batang-batangnya dihubungkan tidak membentuk sudut siku-siku, adalah lebih mudah membentuk matriks kekakuan  $[K_2]$  dengan bantuan komputer dengan rumus :

$$[K_2]_{NP \times NP} = - \frac{EI_C \phi_C^2}{L_C^2} [C]_{NP \times NMI} \{G\}_{NMI \times NMI} [C^T]_{NMI \times NP} \quad (3.1)$$

di mana :

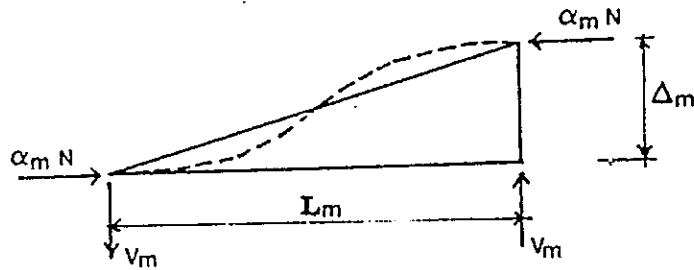
NP = derajat ketidaktentuan kinematis

NMI = jumlah kolom/batang yang menerima gaya aksial

$[C]$  = adalah matriks yang menyatakan gaya-gaya goyangan eebagal fungsi gaya-gaya geser ujung batang yang mengimbangnya



[G] = adalah matriks diagonal dimana elemen pada baris/kolom ke-m sama dengan  $\alpha_m/L_m$ .



Gambar 2 Geser ujung Vs Peralihan relatif ujung-ujung batang

Penurunan persamaan (3.1) dapat diperlihatkan dengan memperhatikan Gambar 2, di mana  $\Delta_m$  adalah peralihan relatif antara ujung-ujung batang yang disebabkan rotasi berlawanan arah jarum jam dari sumbu batang.

Berdasarkan keseimbangan di titik hubung yang berderajat kebebasan goyangan maka didapat :

$$\{PS\} = [C] \{V\} \quad (3.2)$$

Seperti halnya hubungan matriks statis [A] dengan matriks deformasi [B], di mana  $[B] = [A^T]$ , maka dengan prinsip kerja virtual didapat :

$$\{\Delta\} = [C^T] \{X_s\} \quad (3.3)$$

Berdasarkan keseimbangan momen dari batang ke-m pada Gambar 2, maka :

$$V_m = -\frac{(\alpha_m N)(\Delta_m)}{L_m}$$

Secara umum dapat dinyatakan sebagai :

$$\{V\} = -N [G] \{\Delta\} \quad (3.4)$$

di mana :



$$[G] = \begin{bmatrix} \frac{\alpha_1}{L} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \frac{\alpha_2}{L} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\alpha_3}{L} & \cdots & \cdot \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdot & \cdots & \frac{\alpha_{NMI}}{L_{NMI}} \end{bmatrix}$$

Dengan mengkombinasikan persamaan (3.2), (3.3), dan (3.4), didapat :

$$\begin{aligned} \{Ps\} &= [C] \{V\} \\ &= -N [C] [G] \{\Delta\} \\ &= -N [C] [G] [C^T] \{Xs\} \end{aligned} \quad (3.5)$$

menggunakan persamaan

$$\phi_c = L_c \sqrt{\frac{N}{E I_c}}$$

didapat :

$$N = \frac{E I_c \phi_c^2}{L_c^2}$$

Maka persamaan (3.5) menjadi :

$$\begin{aligned} \{Ps\} &= - \frac{E I_c \phi_c^2}{L_c^2} [C] [G] [C^T] \{Xs\} \\ \{Ps\} &= [K_2] \{Xs\} \end{aligned} \quad (3.6)$$

jadi :

$$[K_2] = - \frac{E I_c \phi_c^2}{L_c^2} [C]_{NP \times NMI} [G]_{NMI \times NMI} [C^T]_{NMI \times NP}$$



#### 4. LANGKAH PERHITUNGAN <sup>4,7,8,9)</sup>

1. Bentuk matriks statis [A].
2. Bentuk matriks statis geser pada goyangan [C].
3. Hitung rasio sudut stabilitas masing-masing batang sebagai berikut :

$$\beta_m = \frac{\phi_m}{\phi_c} = \frac{L_m}{L_c} \sqrt{\frac{\alpha_m}{(I_m/I_c)}}$$

4. Bentuk matriks kekakuan stabilitas [K] = [K<sub>1</sub>] + [K<sub>2</sub>] sesuai dengan rasio gaya aksial batang-batang yang bersangkutan dengan nilai 0 = 1.
5. Hitung determinan matriks kekakuan stabilitas [K] tersebut pada langkah ke-4, dengan harapan diperoleh nilai determinan yang positif, apabila negatif maka nilai  $\phi$  diperkecil.
6. Ulangi langkah 3 dan 4 dengan pertambahan nilai sebesar 0,1 sehingga diperoleh nilai determinan matriks kekakuan stabilitas [K] yang negatif.
7. Lakukan interpolasi linier antara kedua nilai  $\phi$  berturut-turut dengan selisih 0,1 tersebut yang menghasilkan masing-masing nilai determinan matriks kekakuan stabilitas [K] yang positif dan negatif, sehingga diperoleh harga  $\phi = (\phi_{CR})_C$  di mana nilai determinan matriks kekakuan stabilitas [K] = 0.
8. Hitung faktor beban tekuk  $N_{CR}$  dengan rumus :

$$N_{CR} = \frac{E I_c \phi_c^2}{L_c^2} (\phi_{CR})_C^2$$

9. Hitung rasio panjang efektif ( $K_m$ ) masing-masing batang sebagai berikut :

$$K_m = \frac{\pi}{\beta_m (\phi_{CR})_C}$$

10. Hitung kelangsingan masing-masing batang ( $\lambda$ ) sebagai berikut :

$$\lambda_m = \frac{K_m L_m}{i_m}$$

11. Hitung tegangan kritis masing-masing batang sebagai berikut :

$$(\sigma_{CR})_m = \frac{\pi^2 E}{\lambda_m^2}$$





## 5. NOTASI PROGRAM

- A (I, J) : Elemen matriks statis [A] pada baris ke I dan kolom ke J.
- ASAT (I, J) : Elemen matriks kekakuan stabilitas [K] pada baris ke I dan kolom ke J.
- C (I, j) : Elemen matrik statis geser pada goyangan [C] pada baris ke I dan kolom ke J.
- BETA (I) : Rasio sudut stabilitas batang ke I terhadap batang standar.
- DET : Nilai determinan matriks [K].
- DETA : Nilai determinan matriks [K] terakhir yang masih positif.
- DETB : Nilai determinan matriks [k] yang pertama kali berharga negatif.
- E : Modulus elastisitas.
- INDEX (I) : Indeks kolom/baris dalam proses perhitungan nilai determinan matriks [K].
- MEMNO : Nomor batang untuk balok, dalam pembentukan matriks [K] = [ASAT].
- NM : Jumlah batang.
- NMI : Jumlah kolom/batang yang menerima gaya aksial.
- NM2 : Jumlah balok/ batang tanpa gaya aksial.
- NP : Derajat ketidaktentuan kinematis.  
*(Number of Degree of Freedom).*
- NPR : Jumlah derajat kebebasan rotasi.  
*(Number of Degree of Freedom of Rotation).*
- NPS : Jumlah derajat kebebasan goyangan.  
*(Number of Degree of Freedom of Sidesway).*
- PHIC : Sudut stabilitas standar ( ).
- PHICA : Nilai PHIC yang terakhir untuk harga determinan yang positif.
- PHICB : Nilai PHIC yang pertama untuk harga determinan yang negatif.
- ROFN(I) : Rasio gaya aksial batang ke I.



- SIGMA (I) : Tegangan kritis batang ke I  
XIC : Momen inersia standar.  
XI (I) : Momen inersia batang ke I.  
XK (I) : Rasio panjang efektif batang ke I.  
XLC : Panjang batang standar.  
XL (I) : Panjang batang ke I.  
XRI (I) : Jari-jari inersia batang ke I.

## 6. ALGORITMA PROGRAM

Baris 1190 :

Pembacaan data-data struktur.

Baris 1210 - 1230 :

Pembacaan elemen matriks statis [A] yang tidak nol.

Baris 1250 - 1270 :

Pembacaan elemen matriks [C] yang tidak nol.

Baris 1280 :

Pembacaan modulus elastisitas, panjang batang standar dan momen inersia batang standar.

Baris 1290 - 1300 :

Pembacaan panjang batang-batang.

Baris 1310 - 1320 ;:

Pembacaan harga jari-jari inersia batang-batang.

Baris 1330 - 1340 :

Pembacaan harga momen inersia batang-batang.

Baris 1350 - 1360 :

Pembacaan rasio gaya aksial batang-batang terhadap batang standar.

Baris 1370 - 1830 :

Cetak data-data struktur.



Baris 1880 - 1890 :

Perhitungan harga BETA kolom-kolom (batang-batang yang menerima gaya aksial).

Baris 1900 :

Menentukan batas bawah harga PHIC untuk proses iterasi.

Baris 1910 - 2110 :

Proses iterasi; mencari harga PHIC, agar diperoleh harga determinan matriks kekakuan stabilitas  $[K]$  yang sama dengan nol, atau harga PHIC yang berada dalam toleransi tertentu dari PHIC pembentuk harga determinan  $[K] = 0$ .

Baris 2140 - 2250 :

Cetak matriks kekakuan stabilitas  $[K]$  yang merupakan fungsi harga PHIC yang telah dihitung dalam proses iterasi.

Baris 2280 - 2350 :

Menghitung dan mencetak nilai panjang efektif batang-batang.

Baris 2360 - 2370 :

Menghitung dan mencetak nilai gaya aksial standar kritis  $(N_{CR})_c$ .

Baris 2390 - 2430 :

Menghitung dan mencetak nilai tegangan kritis batang-batang.

Baris 2490 :

Menghapus semua *array* dan siap menerima kelompok data struktur lain.

Baris 4000 - 4270 :

Subroutine pembentukan matriks kekakuan stabilitas  $[K]$ .

Baris 6000 - 6290 :

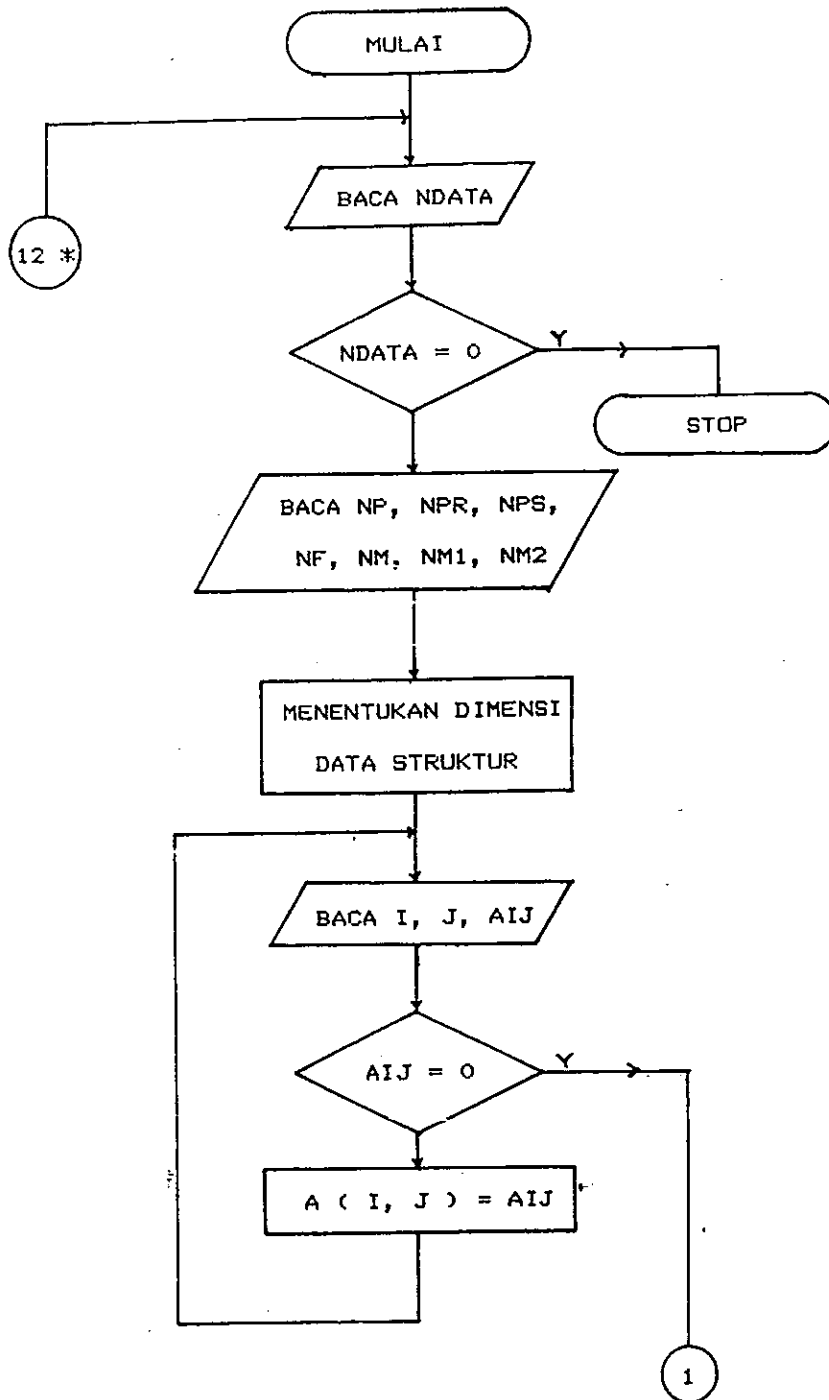
Subroutine menghitung nilai determinan matriks kekakuan stabilitas  $[K]$ .

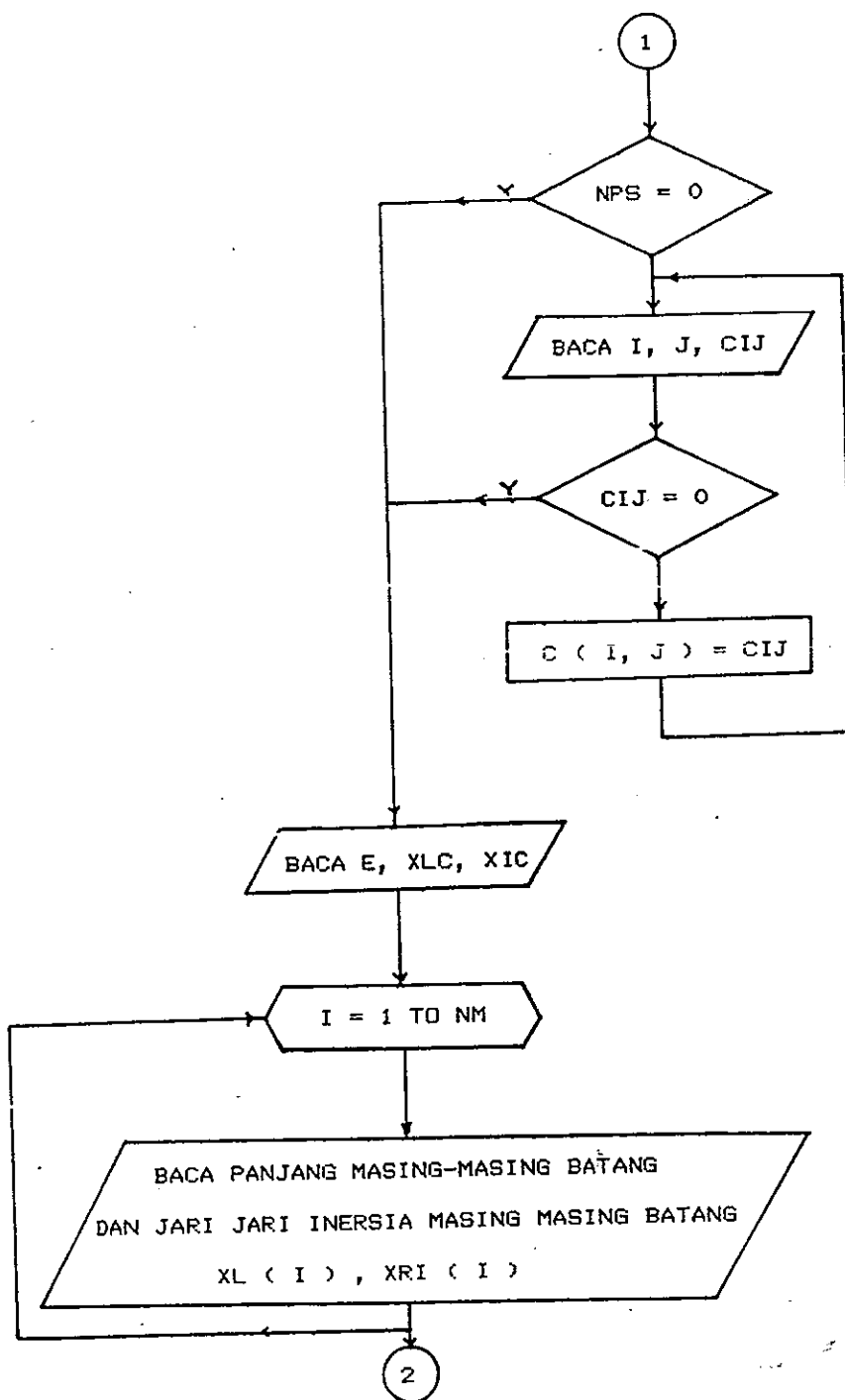
Baris 8000 - akhir :

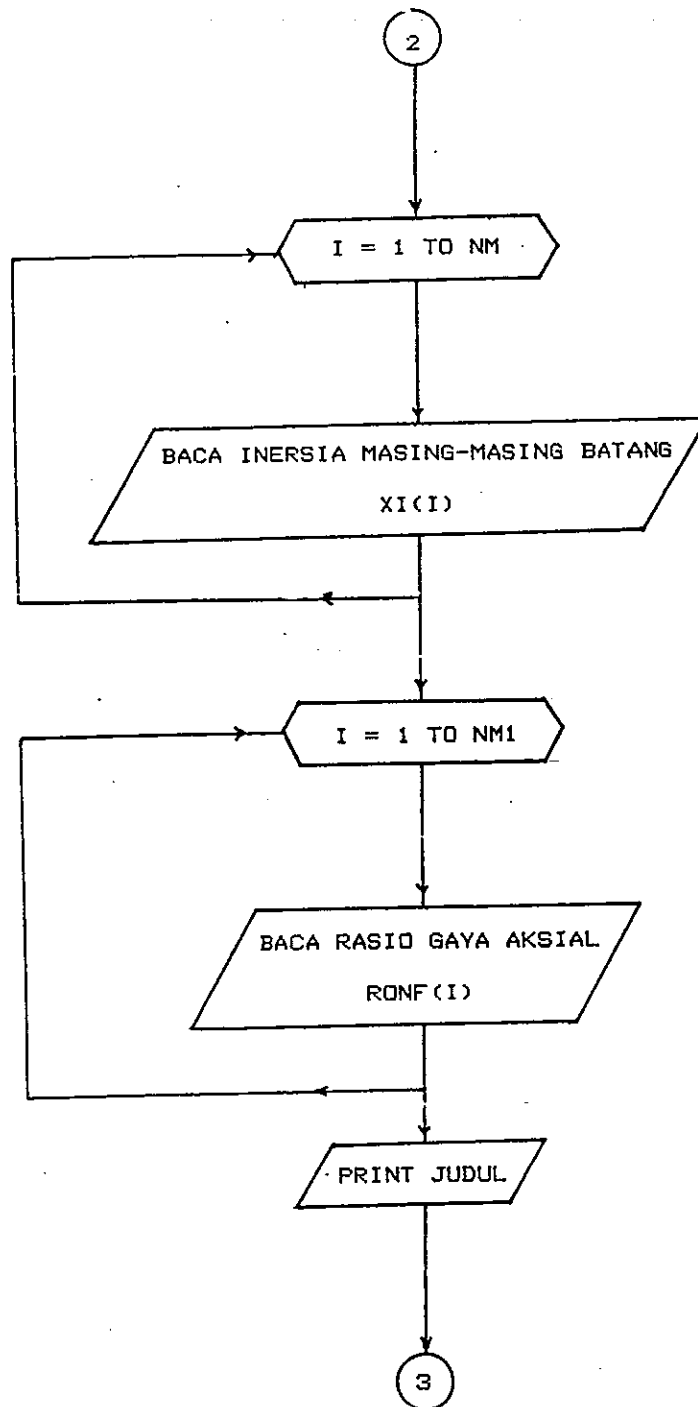
Data-data yang dimasukkan ke dalam program secara read-data.

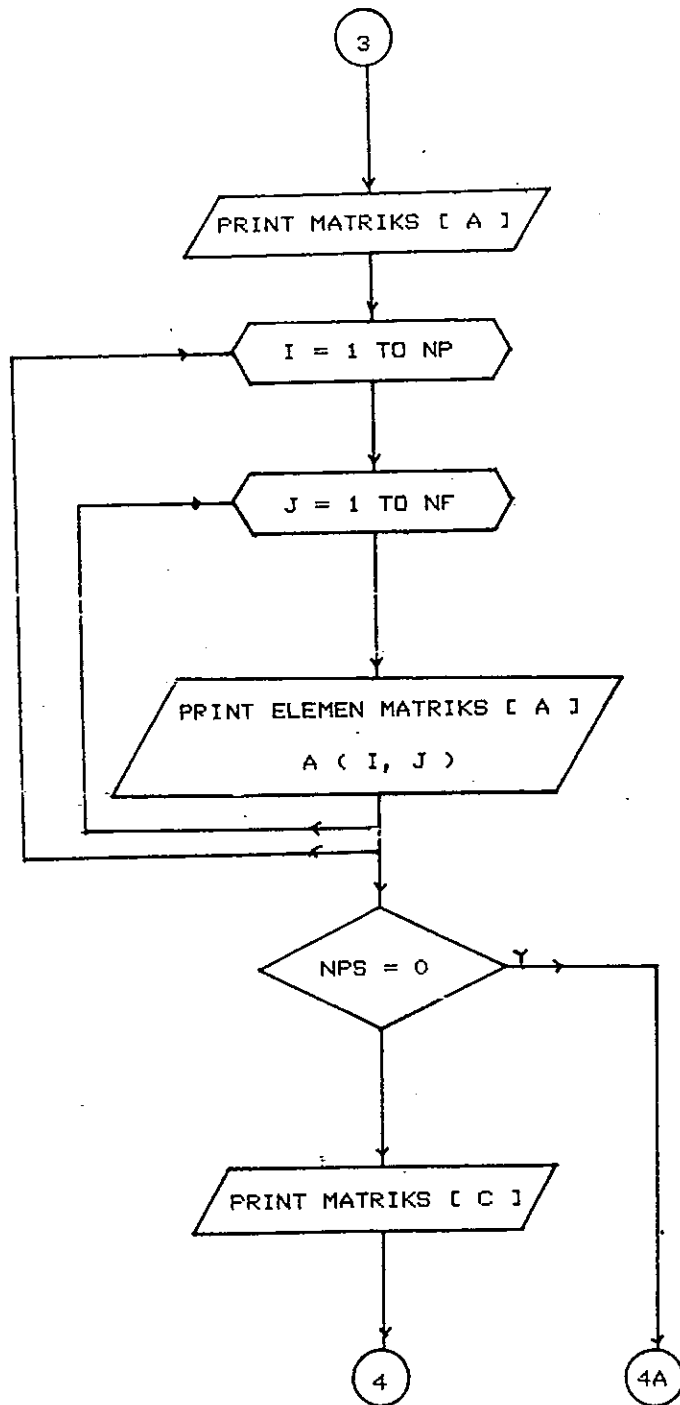


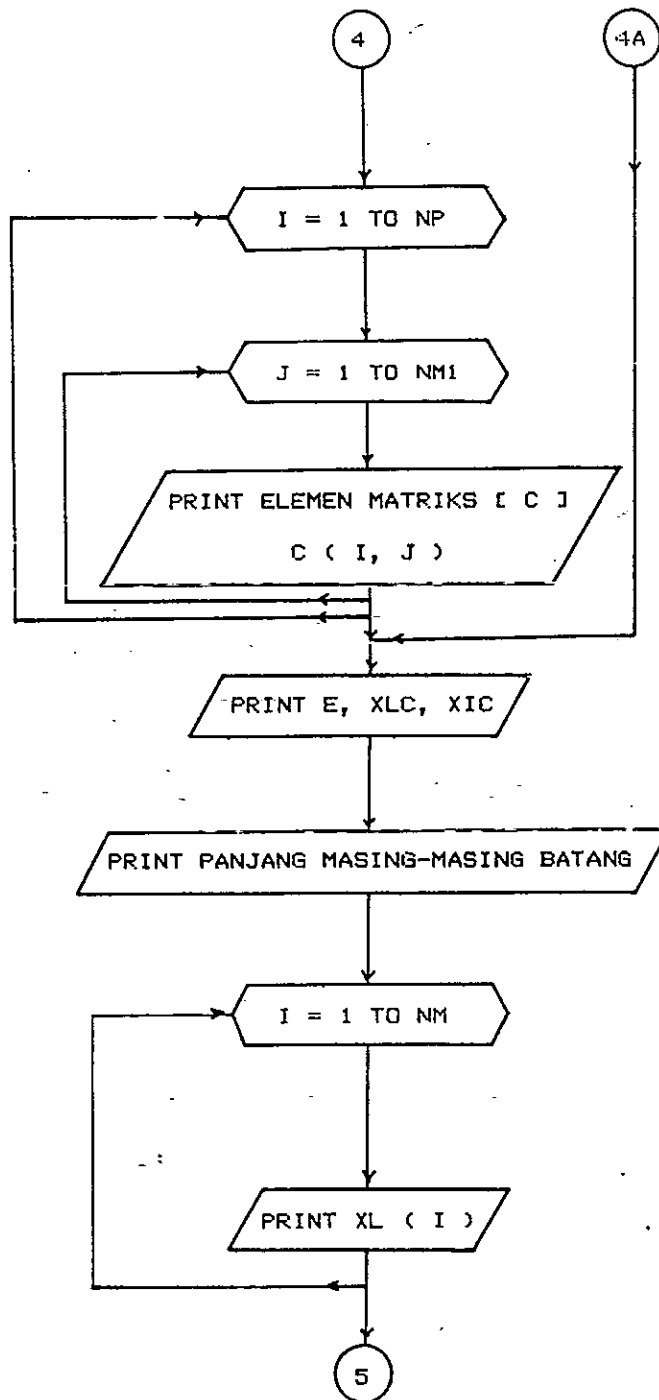
### 7. DIAGRAM ALIRAN



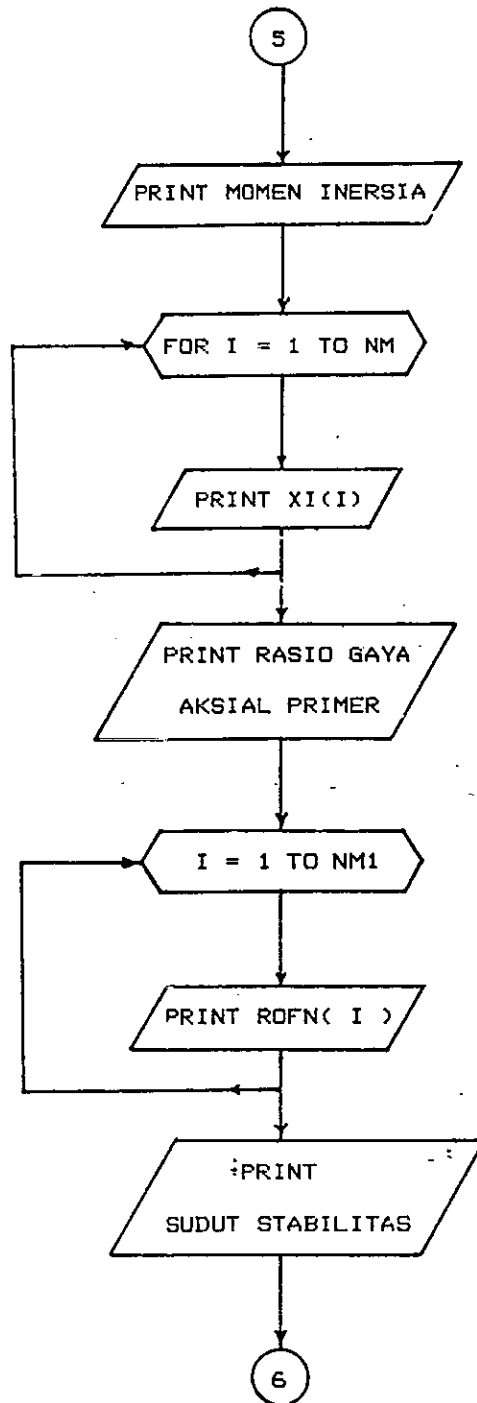


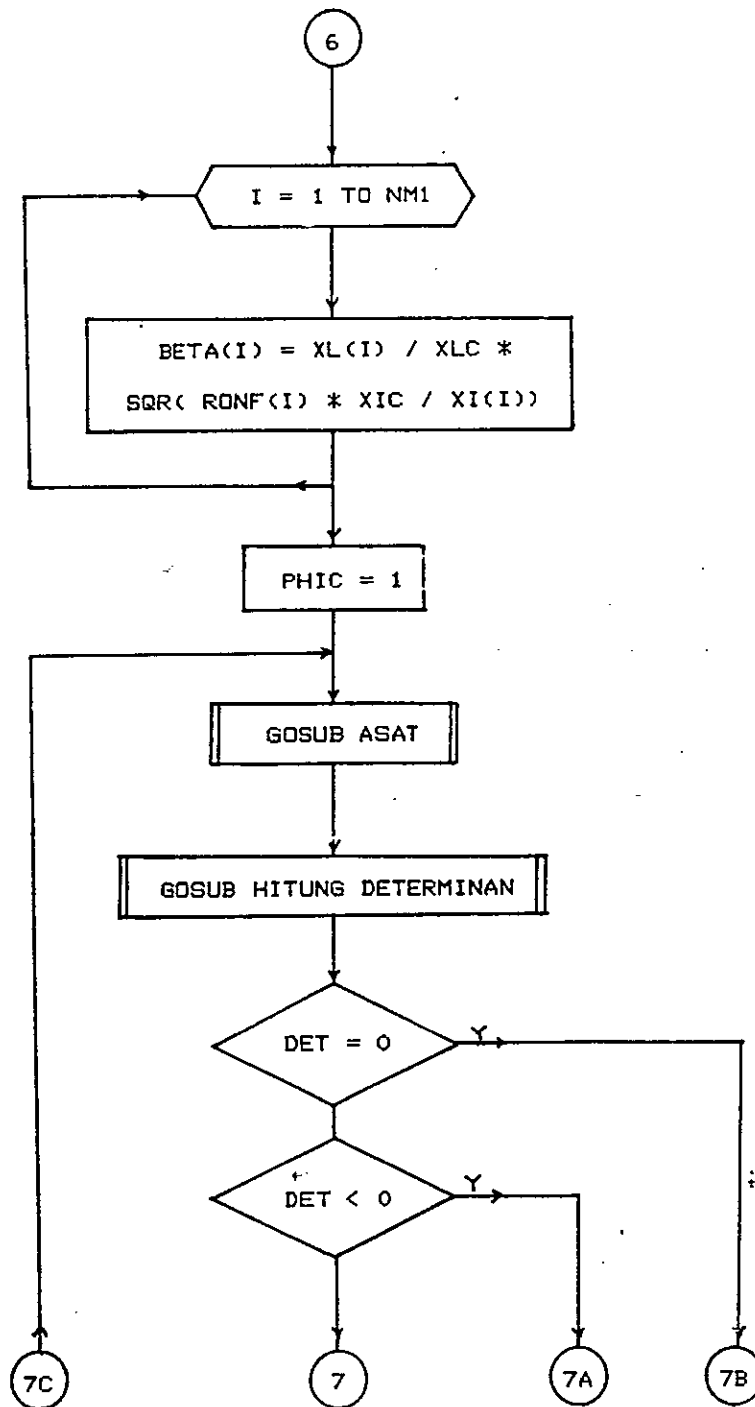


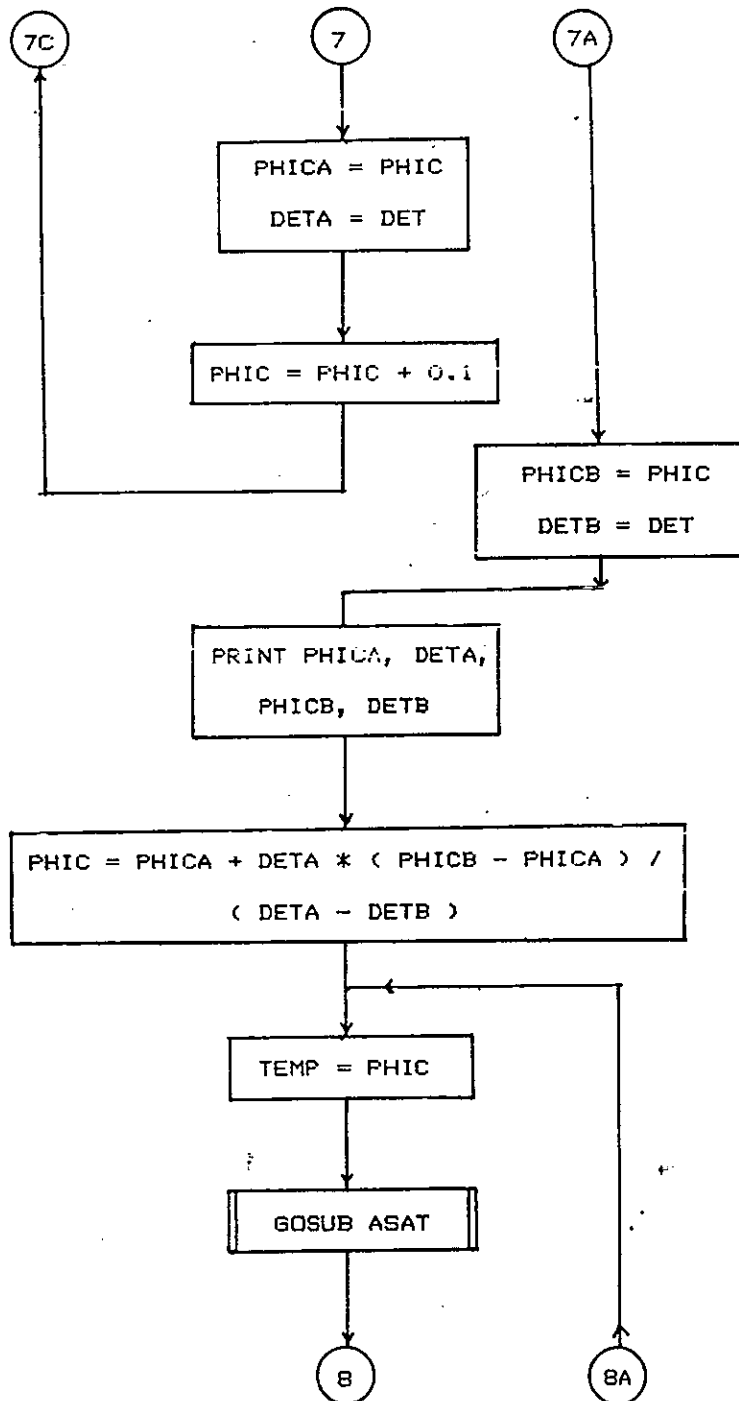


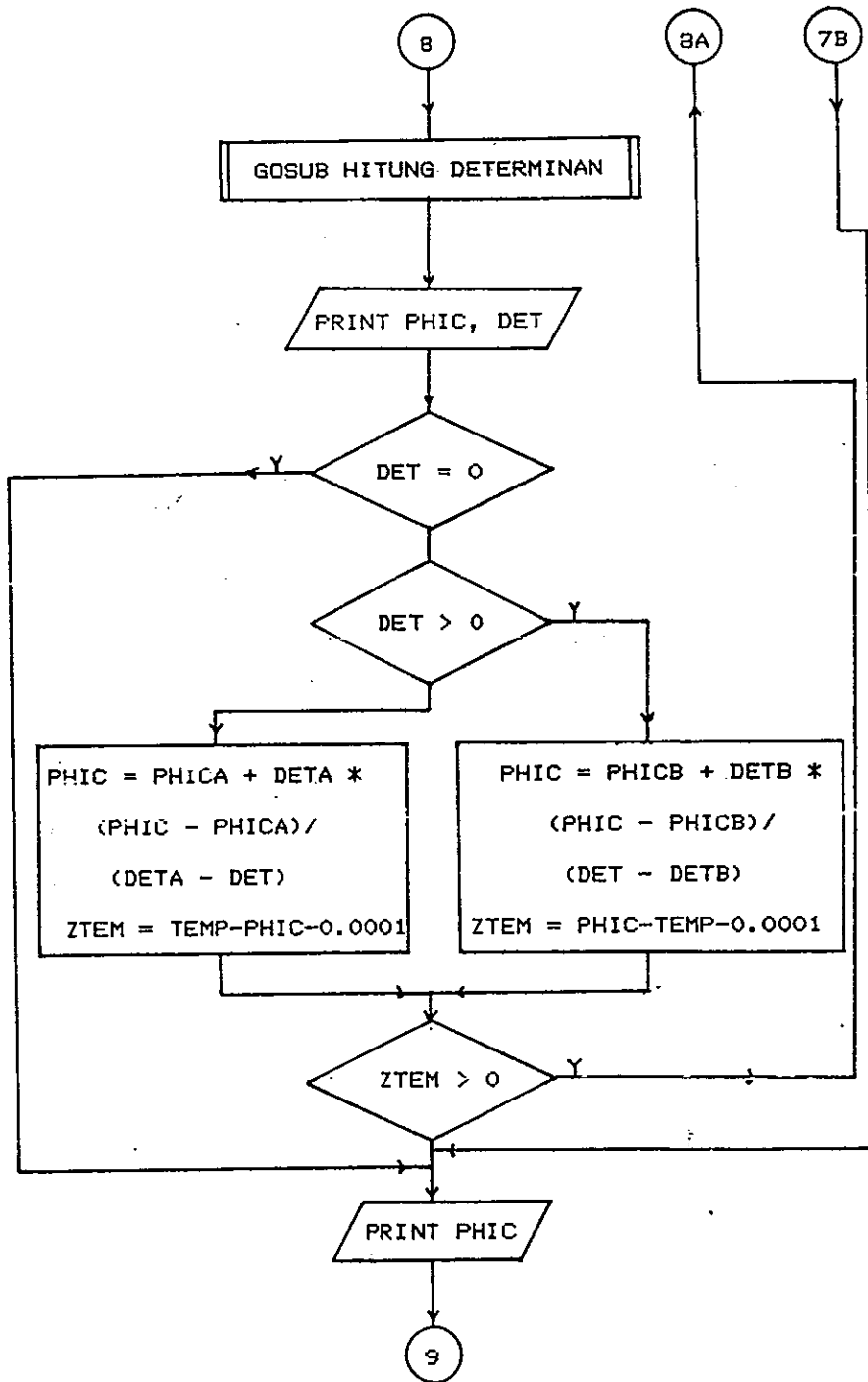


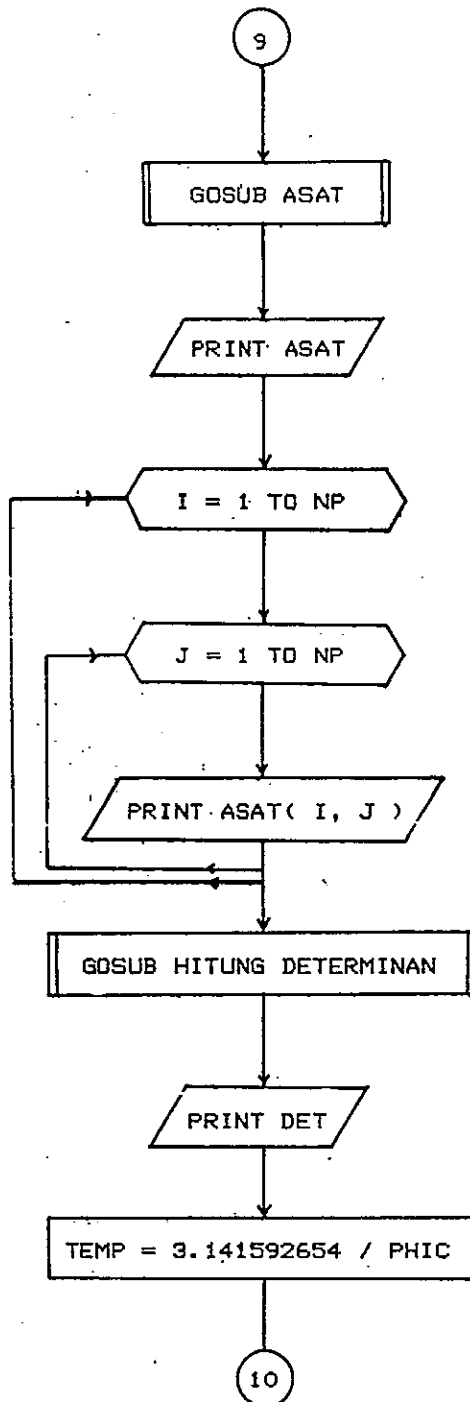


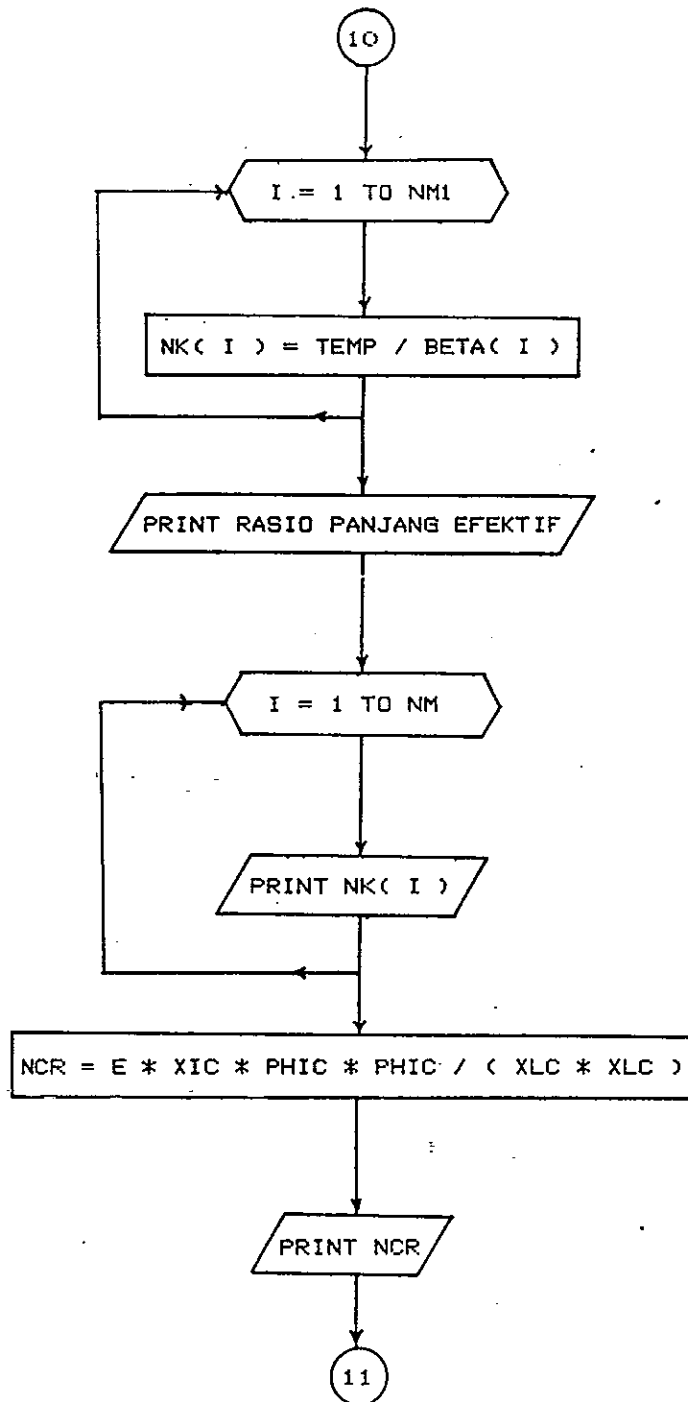


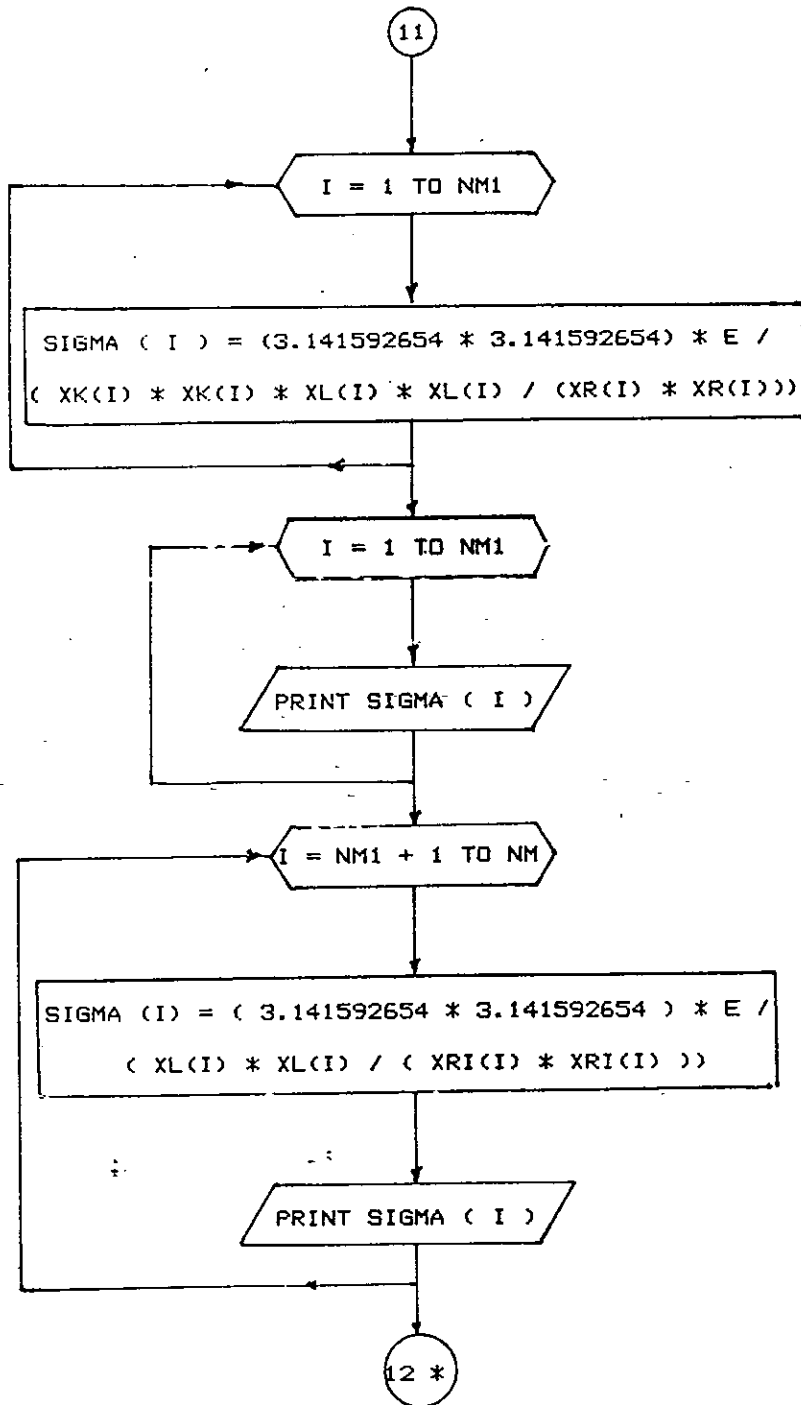


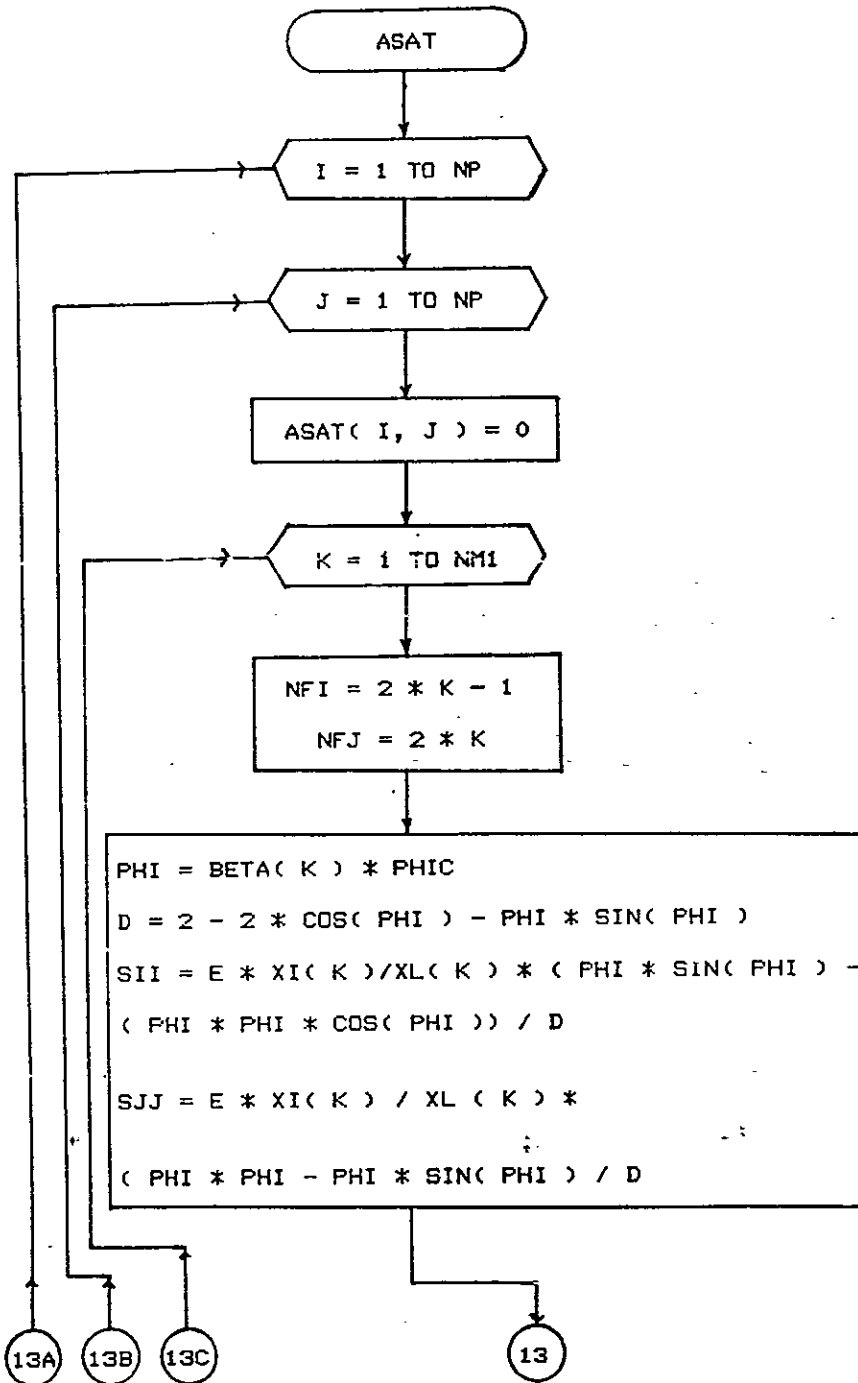






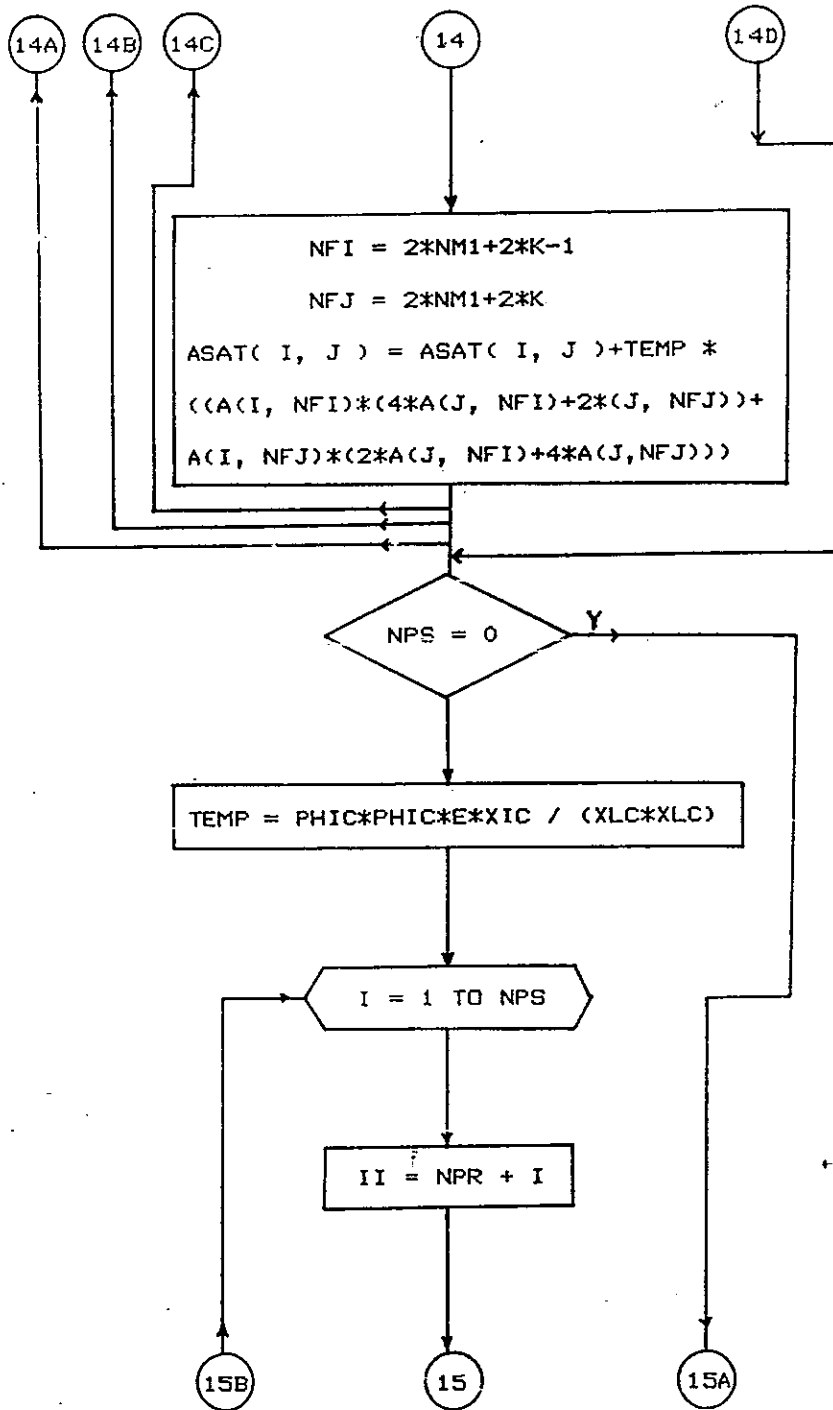


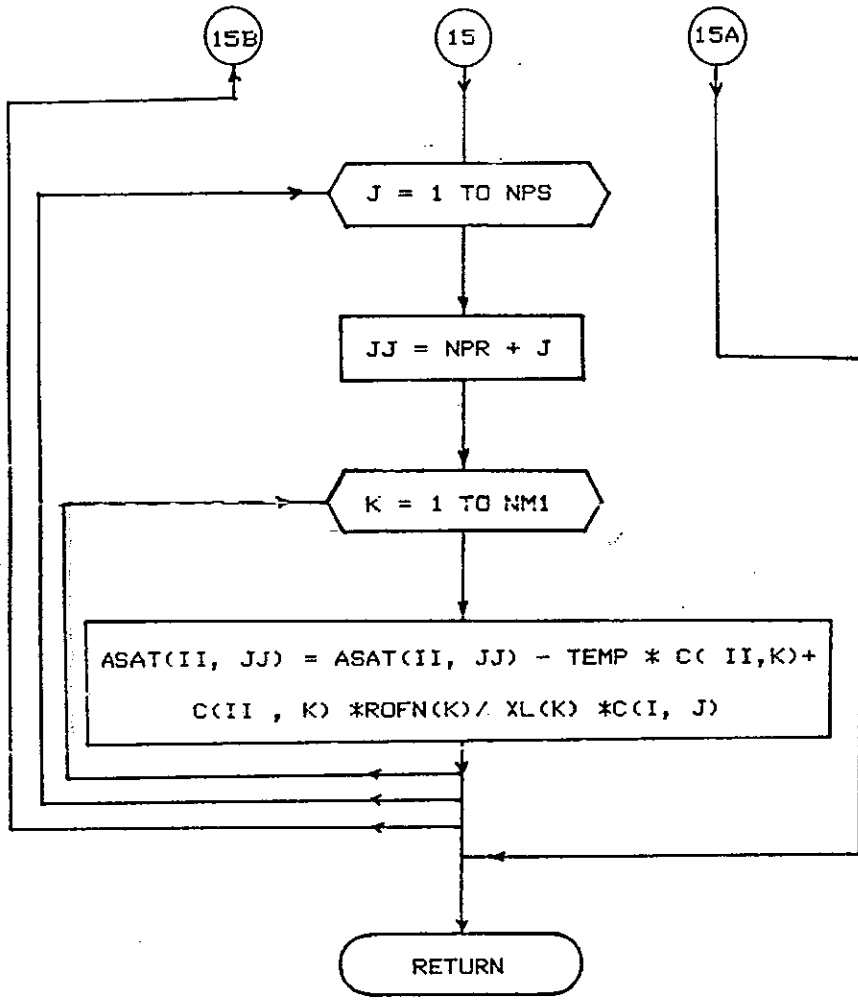


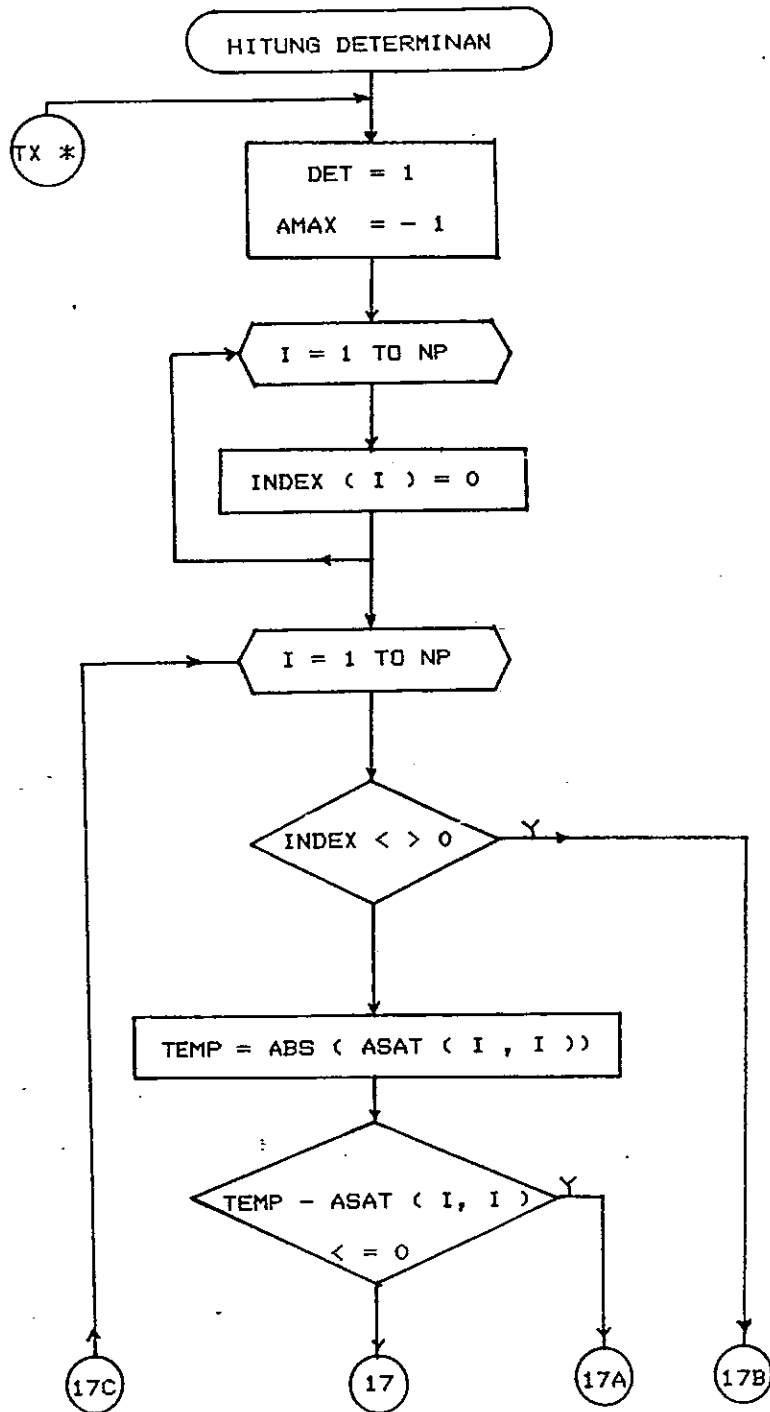




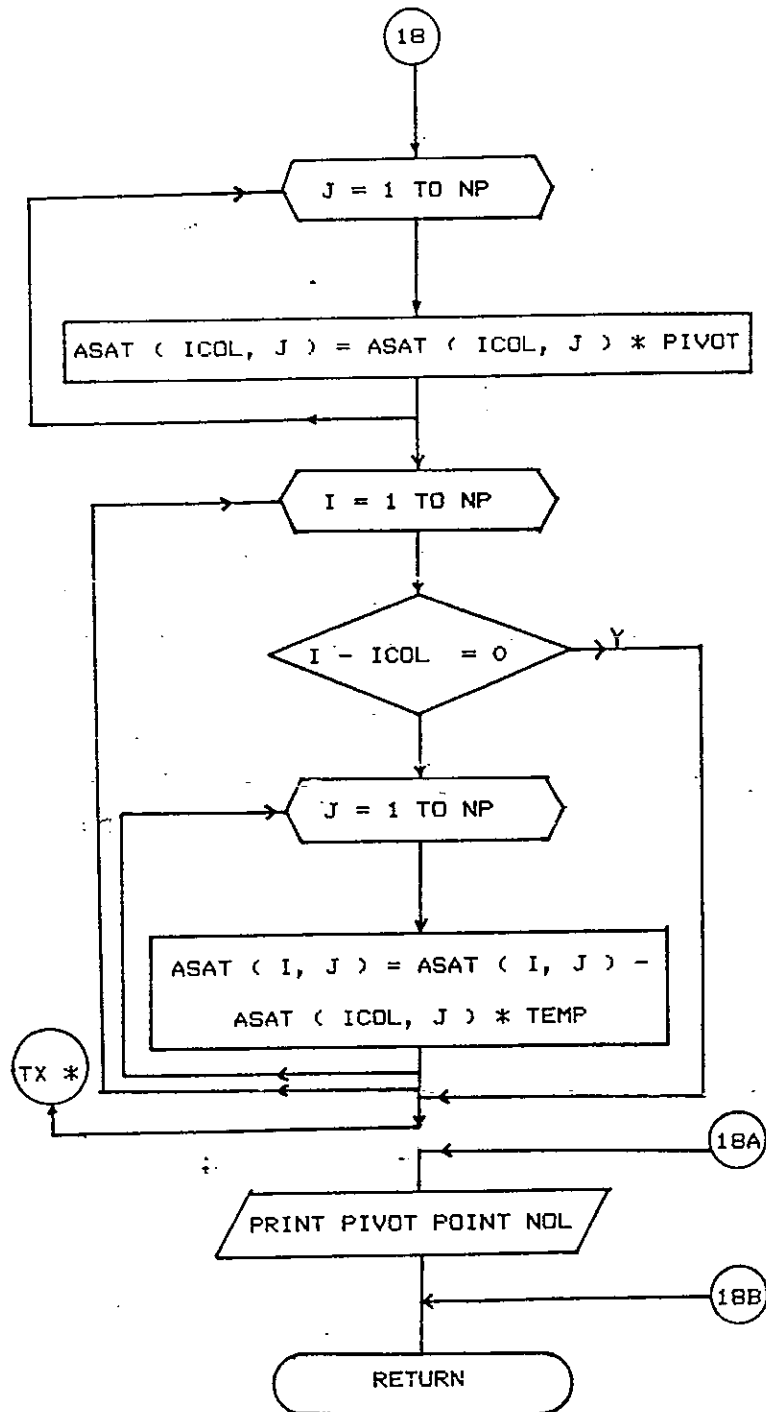














## 8. KETERANGAN TENTANG PROGRAM KOMPUTER

- Program komputer pembentukan matriks kekakuan  $[K]$  membutuhkan data masukan berupa elemen-elemen matriks  $[A]$ , dan pembentukan matriks  $[A]$  ini dilakukan secara manual.
- Data-data mengenai rasio gaya aksial primer diperoleh dengan perhitungan Mekanika Teknik. Perhitungan ini tidak dimasukkan dalam program komputer.
- Program dalam makalah ini hanya untuk menganalisa stabilitas struktur rangka kaku berdasarkan beban yang sudah ada pada struktur yang bersangkutan, sedang untuk mencari besarnya gaya-gaya aksial dari setiap batang yang membentuk rangka kaku itu dilakukan dengan cara lain.
- Penomoran batang dimulai dari kolom-kolom dan kemudian balok-balok.
- Program komputer pada makalah ini menggunakan bahasa BASIC versi CPIM (MBASIC).
- Komputer yang kami gunakan adalah Apple Compatible. Sebagai keterangan tambahan nama file program ini adalah "KAPITA77.BAS".
- Cara untuk menjalankan program ini sebagai berikut :
  1. Load CPIM.
  2. Panggil MBASIC.
  3. Load 'KAPITA77.BAS'.
- Program ini memerlukan printer sebagai media keluaran.







```

KRITIS": LPRINT
1450
TAB(30)"*****" : LPRINT
LPRINT : LPRINT : LPRINT
1460 LPRINT TAB(30)"-----"
1470 LPRINT TAB(30)"Matriks [ A ]"
1480 LPRINT TAB(30)"-----": LPRINT : LPRINT
1490 BUL = INT( NP/3 ) : REST = NP MOD 3
1500 IF BUL = 0 THEN 1560
1510 TEMP = 0
1520 IF INT( TEMP/3 ) = BUL THEN 1560
1530 FOR J = 1 TO NF: FOR I = 1 TO 3
1540 LPRINT TAB((I-1)*33+17)"A(";TEMP+I;",";J;")= ";USING
"+#.####";A(TEMP+I,J);
1550 NEXT I: NEXT J : LPRINT : LPRINT : LPRINT :TEMP =
TEMP + 3 : GOTO 1520
1560 IF REST = 0 THEN 1600
1570 FOR J = 1 TO NF : FOR I = 1 TO REST
1580 LPRINT TAB((I-1)*33+17)"A(";BUL*3+I;",";J;")= ";USING
"+#.####";A(BUL*3+I,J);
1590 NEXT I,J
1600 LPRINT : LPRINT : LPRINT:LPRINT
1610 IF NPS = 0 THEN 1770
1620 LPRINT TAB(30)"-----"
1630 LPRINT TAB(30)"Matriks [ C ]"
1640 LPRINT TAB(30)"-----": LPRINT : LPRINT
1650 BUL = INT( NP/3 ) : REST = NP MOD 3
1660 IF BUL = 0 THEN 1720
1670 TEMP = 0
1680 IF INT( TEMP/3 ) = BUL THEN 1720
1690 FOR J = 1 TO NM1 : FOR I = 1 TO 3
1700 LPRINT TAB((I-1)*33+17)"C(";TEMP+I;",";J;")= ";USING
"+#.####";C(TEMP+I,J);
1710 NEXT I: NEXT J : LPRINT : LPRINT : LPRINT : TEMP =
TEMP + 3 : GOTO 1680
1720 IF REST = 0 THEN 1760
1730 FOR J = 1 TO NM1 : FOR I = 1 TO REST
1740 LPRINT TAB((I-1)*33+17)"C(";BUL*3+I;",";J;")= ";USING
"+#.####";C(BUL*3+I,J);
1750 NEXT I,J
1760 LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT
1770 LPRINT TAB(30)"MODULUS ELASTISITAS : ";E;" [ kt/m2
J":LPRINT
1780 LPRINT TAB(30)"PANJANG STANDAR : ";XLC;" [ m ]
":LPRINT
1790 LPRINT TAB(30)"INERSIA STANDAR : ";XIC;" [ m4
J":LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT
1800 LPRINT TAB(30)"-----"
1810 LPRINT TAB(30)"PANJANG BATANG-BATANG"
1820 LPRINT TAB(30)"-----": LPRINT :
LPRINT
1830 FOR I = 1 TO NM
1840 LPRINT TAB(40)"BATANG NO. ";I;" = ";XL(I);" m"

```



```

1850 NEXT I : LPRINT:LPRINT: LPRINT:LPRINT
1860 LPRINT TAB(30)"-----"
1870 LPRINT TAB(30)"MOMEN INERSIA BATANG-BATANG"
1880 LPRINT TAB(30)"-----" : LPRINT
: LPRINT
1890 FOR I = 1 TO NM
1900 LPRINT TAB(40)"BATANG NO. ";I;" = ";XI(I);" m4"
1910 NEXT I :LPRINT:LPRINT : LPRINT : LPRINT
1920 LPRINT TAB(30)"-----"
1930 LPRINT TAB(30)"RASIO GAYA AKSIAL PRIMER"
1940 LPRINT TAB(30)"-----": LPRINT :
LPRINT
1950 FOR I = 1 TO NM1
1960 LPRINT TAB(40)"BATANG NO. ";I;" = ";ROFN(I)
1970 NEXT I : LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT
1980 REM
1990 REM          CETAK HASIL PERHITUNGAN
2000 REM
2010 LPRINT TAB(30)"-----"
2020 LPRINT TAB(30)"SUDUT STABILITAS STANDAR"
2030 LPRINT TAB(30)"-----": LPRINT :
LPRINT
2040 FOR I = 1 TO NM1
2050 BETA(I) = XL(I)/XLC*SQR(ROFN(I)*XIC/XI(I)) : NEXT I
2060 PHIC = .8
2070 GOSUB 4000
2080 GOSUB 6000
2090 PRINT "PHIC =";PHIC,"----->","DET=";DET
2100 IF DET = 0 THEN 2310 ELSE IF DET < 0 THEN 2140
2110 PHICA = PHIC : DETA = DET
2120 PHIC = PHIC + .1
2130 GOTO 2070
2140 IF DETA = 0 AND DET < 0 THEN PHIC = (INT(PHIC*5))/10
: GOTO 2070
2150 PHICB = PHIC : DETB = DET
2160 LPRINT TAB(30)"PHICA=";PHICA;"====>";"DETA=";DETA:LPR
RINT TAB(30)"PHICB=";PHICB;"====>";"DETB=";DETB:LPRINT:
LPRINT
2170 PHIC = PHICA + DETA*(PHICB-PHICA)/(DETA-DETB)
2180 TEMP = PHIC
2190 GOSUB 4000
2200 GOSUB 6000
2210 PRINT "PHIC =";PHIC,"====>","DET=";DET
2220 LPRINT TAB(30)"PHIC = ";PHIC;" -----> "; "DET =
";DET
2230 IF DET = 0 THEN 2280 ELSE IF DET > 0 THEN 2260
2240 PHIC = PHICA + DETA * (PHIC - PHICA)/(DETA - DET)
2250 IF ((TEMP - PHIC) - .00001) > 0 THEN 2180 ELSE 2280
2260 PHIC = PHICB + DETB * (PHICB - PHIC)/(DET - DETB)
2270 IF ((PHIC - TEMP) - .00001) > 0 THEN 2180
2280 LPRINT: LPRINT : LPRINT
2290 LPRINT TAB(30)"*** SUDUT STABILITAS STANDAR KRITIS
***"

```



```

2300 LPRINT TAB(30)"-----"
-":LPRINT
2310 LPRINT TAB(30)"PHIC = ";PHIC:LPRINT:LPRINT:LPRINT
:LPRINT
2320 GOSUB 4000
2330 LPRINT TAB(30)"-----"
2340 LPRINT TAB(30)"Matriks Kekakuan Akhir"
2350 LPRINT TAB(30)"-----": LPRINT :
LPRINT
2360 BUL = INT( NP/3 ) : REST = NP MOD 3
2370 IF BUL = 0 THEN 2430
2380 TEMP = 0
2390 IF INT( TEMP/3 ) = BUL THEN 2430
2400 FOR J = 1 TO NP : FOR I = 1 TO 3
2410 LPRINT TAB((I-1)*33+17)"K(";TEMP+I;",";J;")= ";USING
"+#.###^";ASAT(TEMP+I,J);
2420 NEXT I : NEXT J : LPRINT : LPRINT : LPRINT: TEMP =
TEMP + 3 : GOTO 2390
2430 IF REST = 0 THEN 2470
2440 FOR J = 1 TO NP : FOR I = 1 TO REST
2450 LPRINT TAB((I-1)*33+17)"K(";BUL*3+I;",";J;")= ";USING
"+#.###^";ASAT(BUL*3+I,J);
2460 NEXT I : NEXT J
2470 LPRINT : LPRINT
2480 LPRINT : LPRINT
2490 TEMP = 3.141592653000011#/PHIC
2500 FOR I = 1 TO NM1
2510 XK(I) = TEMP/BETA(I)
2520 NEXT I
2530 LPRINT TAB(30)"-----"
2540 LPRINT TAB(30)"Rasio Panjang Efektif"
2550 LPRINT TAB(30)"-----" : LPRINT :
LPRINT
2560 FOR I = 1 TO NM1
2570 LPRINT TAB(40)"Batang NO. : ";I;" ----> ";
Km(";I;") = ";XK(I)
2580 NEXT I : LPRINT : LPRINT : LPRINT
2590 NCR = E*IC*PHIC*PHIC/(XLC*XLC)
2600 LPRINT TAB(30)"-----"
2610 LPRINT TAB(30)"Faktor Beban Tekuk"
2620 LPRINT TAB(30)"-----": LPRINT: LPRINT
2630 LPRINT TAB(30)"Ncr = ";NCR;" k.ton ":LPRINT:LPRINT
:LPRINT:LPRINT
2640 TEMP = 3.141592654000005#*3.141592654000005#*E
2650 LPRINT TAB(30)"-----"
2660 LPRINT TAB(30)"Tegangan Kritis Batang-Batang"
2670 LPRINT TAB(30)"-----":
LPRINT: LPRINT
2680 FOR I = 1 TO NM1
2690 TEMP2 = XK(I)*XL(I)/XRI(I)
2700 SIGMA(I) = TEMP / ( TEMP2 * TEMP2 )
2710 LPRINT TAB(40)"Batang NO. ";I;" = ";SIGMA(I);" k.t/m2
"

```



```

2720 NEXT I
2730 FOR I = NM1+1 TO NM
2740 SIGMA(I) = TEMP / (XL(I)*XL(I) / (XRI(I)*XRI(I)))
2750 LPRINT TAB(40)"BATANG NO. "; I; " = "; SIGMA(I); " k.t/m2
"
2760 NEXT I
2770 LPRINT :LPRINT:PRINT" PRESS ANY KEY TO CONTINUE
";:GET A$
2780 ERASE A,ASAT,INDEX,C,ROFN,XL,XI,BETA,XK,XRI,SIGMA:
DETA = 0 : PHICA = 0 : DETB = 0 : PHICB = 0
2790 GOTU 1160
4000 REM
4010 REM
4020 REM
4030 FOR I = 1 TO NP : FOR J = 1 TO NP : ASAT(I,J) = 0
4040 FOR K = 1 TO NM1
4050 NFI = 2*K-1 : NFJ = 2*K
4060 PHI = BETA(K) * PHIC
4070 D = 2-2*COS(PHI)-PHI*SIN(PHI)
4080 SII = E*XI(K)/XL(K)*(PHI*SIN(PHI)-PHI*PHI*COS(PHI))/D
4090 SIJ = E*XI(K)/XL(K)*(PHI*PHI-PHI*SIN(PHI))/D
4100 ASAT(I,J)=ASAT(I,J)+A(I,NFI)*(SII*A(J,NFI)+SIJ*A(J,NF
J))+A(I,NFJ)*(SIJ*A(J,NFI)+SII*A(J,NFJ))
4110 NEXT K : NEXT J : NEXT I : IF NM2 = 0 THEN 4180
4120 FOR I = 1 TO NP : FOR J = 1 TO NP : FOR K = 1 TO NM2
4130 MEMNO = (NM1 +K)
4140 TEMP = E * XI(MEMNO)/XL(MEMNO)
4150 NFI = 2 * NM1 + 2 * K - 1
4160 NFJ = 2 * NM1 + 2 * K
4170 ASAT(I,J)=ASAT(I,J)+TEMP*(A(I,NFI)*(4*A(J,NFI)+2*A(J,
NFJ))+A(I,NFJ)*(2*A(J,NFI)+4*A(J,NFJ))) : NEXT K : NEXT J
: NEXT I
4180 IF NPS = 0 THEN 4270
4190 TEMP = PHIC * PHIC * E * XIC / (XLC*XLC)
4200 FOR I = 1 TO NPS
4210 II = NPR + I
4220 FOR J = 1 TO NPS
4230 JJ = NPR + J
4240 FOR K = 1 TO NM1
4250 ASAT(II,JJ) = ASAT(II,JJ) - TEMP * C(II,K) * ROFN(K)
/ XL(K) * C(JJ,K)
4260 NEXT K : NEXT J : NEXT I
4270 RETURN
6000 REM
6010 REM
6020 REM
6030 DET = 1
6040 FOR I = 1 TO NP : INDEX(I) = 0 : NEXT I
6050 AMAX = -1
6060 FOR I = 1 TO NP
6070 IF INDEX(I) <> 0 THEN 6110
6080 TEMP = ABS(ASAT(I,I))
6090 IF (TEMP - AMAX) <= 0 THEN 6110

```



```

6100 ICOL = I : AMAX = TEMP
6110 NEXT I
6120 IF AMAX < 0 THEN 6290 ELSE IF AMAX = 0 THEN 6280
6130 INDEX(ICOL)=1
6140 PIVOT = ASAT(ICOL,ICOL)
6150 ASAT(ICOL,ICOL) = 1 : DET = DET * PIVOT
6160 PIVOT = 1/PIVOT
6170 FOR J = 1 TO NP
6180 ASAT(ICOL,J) = ASAT(ICOL,J) * PIVOT : NEXT J
6190 FOR I = 1 TO NP
6200 IF (I - ICOL) = 0 THEN 6260
6210 TEMP = ASAT(I,ICOL)
6220 ASAT(I,ICOL) = 0
6230 FOR J = 1 TO NP
6240 ASAT(I,J) = ASAT(I,J) - ASAT(ICOL,J) * TEMP
6250 NEXT J
6260 NEXT I
6270 GOTO 6050
6280 LPRINT "INVERS PIVOT NOL "
6290 RETURN
8000 REM *****
8010 REM DATA-DATA STRUKTUR
8020 REM *****
8030 REM
8040 REM
8050 REM
8060 REM =====
8070 REM S O A L N O . 1
8080 REM =====
8090 DATA 1
8100 REM -----
8110 REM DATA NP, NPR, NPS, NF, NM, NM1, NM2
8120 REM -----
8130 DATA 12,8,4,24,12,8,4
8140 REM -----
8150 REM DATA ELEMEN MATRIKS [ A ] NON - NOL
8160 REM -----
8170 DATA 1,1,1,1,3,1
8180 DATA 2,2,1,2,5,1
8190 DATA 3,3,-.25,3,4,-.25,3,5,-.25,3,6,-.25
8200 DATA 4,4,1,4,7,1,4,9,1
8210 DATA 5,6,1,5,8,1,5,11,1
8220 DATA 6,3,.25,6,4,.25,6,5,.25,6,6,.25,6,9,-.25,6,10,-
      .25,6,11,-.25,6,12,-.25
8230 DATA 7,10,1,7,13,1,7,15,1
8240 DATA 8,12,1,8,14,1,8,17,1
8250 DATA 9,9,.25,9,10,.25,9,11,.25,9,12,.25,9,15,-
      .25,9,16,-.25,9,17,-.25,9,18,-.25
8260 DATA 10,16,1,10,19,1,10,21,1
8270 DATA 11,18,1,11,20,1,11,23,1
8280 DATA 12,15,.25,12,16,.25,12,17,.25,12,18,.25,12,21,-
      .18182,12,22,-.18182,12,23,-.18182,12,24,-.18182
8290 DATA 0,0,0

```



```

8300 REM
8310 REM      DATA ELEMEN MATRIKS [ C ] NON - NOL
8320 REM
8330 DATA 3,1,-1,3,2,-1
8340 DATA 6,1,1,6,2,1,6,3,-1,6,4,-1
8350 DATA 9,3,1,9,4,1,9,5,-1,9,6,-1
8360 DATA 12,5,1,12,6,1,12,7,-1,12,8,-1
8370 DATA 0,0,0
8380 REM
8390 REM      DATA E, Lc, Ic
8400 REM
8410 DATA 2.1E4,4,1.13E-4
8420 REM
8430 REM      DATA PANJANG BATANG-BATANG ( XL )
8440 REM
8450 DATA 4,4,4,4,4,4,5.5,5.5,5,5,5,5
8460 REM
8470 REM      DATA JARI-JARI INERSIA BATANG ( XRI )
8480 REM
8490 DATA .125,.125,.125,.125,.125,.125,.125,.125,.124,
      .124,.124,.124
8500 REM
8510 REM      DATA MOMEN INERSIA BATANG-BATANG
8520 REM
8530 DATA 1.13E-4,1.13E-4,1.13E-4,1.13E-4,1.13E-4,1.13E-
      4,1.13E-4,1.13E-4,6.32E-5,6.32E-5,6.32E-5,6.32E-5
8540 REM
8550 REM      DATA RASIO GAYA AKSIAL
8560 REM
8570 DATA 1,1.21852,1.95064,2.57885,2.81069,4.02977,
      3.61842, 5.33300
8580 REM
8590 REM
8600 REM
8610 REM
8620 REM      S O A L   N O .   2
8630 REM
8640 DATA 2
8650 REM
8660 REM      DATA NP, NPR, NPS, NF, NM, NM1, NM2
8670 REM
8680 DATA 10,7,3,22,11,7,4
8690 REM
8700 REM      DATA ELEMEN MATRIKS [ A ] NON - NOL
8710 REM
8720 DATA 1,1,1,1,3,1
8730 DATA 2,2,1,2,5,1
8740 DATA 3,3,-.25,3,4,-.25,3,5,-.25,3,6,-.25
8750 DATA 4,4,1,4,7,1,4,9,1
8760 DATA 5,6,1,5,8,1,5,11,1
8770 DATA 6,3,.25,6,4,.25,6,5,.25,6,6,.25,6,9,-.25,6,10,-
      .25,6,11,-.25,6,12,-.25
8780 DATA 7,10,1,7,13,1,7,17,1

```

ANALISA STABILITAS TEKUK RANGKA KAKU  
DENGAN KOMPUTER



8790 DATA 8,12,1,8,14,1,8,15,1,8,19,1  
8800 DATA 9,16,1,9,21,1  
8810 DATA 10,9,.25,10,10,.25,10,11,.25,10,12,.25,10,17,-  
.2,10,18,-.2,10,19,-.2,10,20,-.2,10,21,-.2,10,22,-.2  
8820 DATA 0,0,0  
8830 REM -----  
8840 REM DATA ELEMEN MATRIKS [ C ] NON - NOL  
8850 REM -----  
8860 DATA 3,1,-1,3,2,-1  
8870 DATA 6,1,1,6,2,1,6,3,-1,6,4,-1  
8880 DATA 10,3,1,10,4,1,10,5,-1,10,6,-1,10,7,-1  
8890 DATA 0,0,0  
8900 REM -----  
8910 REM DATA E, Lc, Ic  
8920 REM -----  
8930 DATA 2.1E4,4,1.13E-4  
8940 REM -----  
8950 REM DATA PANJANG BATANG-BATANG ( XL )  
8960 REM -----  
8970 DATA 4,4,4,4,5,5,5,6,6,6,4  
8980 REM -----  
8990 REM DATA JARI-JARI INERSIA BATANG ( XRI )  
9000 REM -----  
9010 DATA .125,.125,.125,.125,.125,.125,.125,.124,  
.124,.124,.124  
9020 REM -----  
9030 REM DATA MOMEN INERSIA BATANG-BATANG  
9040 REM -----  
9050 DATA 1.13E-4,1.13E-4,1.13E-4,1.13E-4,1.13E-4,1.13E-  
4,1.13E-4,6.32E-5,6.32E-5,6.32E-5,6.32E-5  
9060 REM -----  
9070 REM DATA RASIO GAYA AKSIAL  
9080 REM -----  
9090 DATA 1,1.14652,2.02677,2.41958,3.04805,4.22143,.85661  
9100 REM  
9110 REM  
9120 REM  
9130 REM =====  
9140 REM S O A L N O. 3  
9150 REM =====  
9160 DATA 3  
9170 REM -----  
9180 REM DATA NP, NPR, NPS, NF, NM, NM1, NM2  
9190 REM -----  
9200 DATA 11,8,3,26,13,8,5  
9210 REM -----  
9220 REM DATA ELEMEN MATRIKS [ A ] NON - NOL  
9230 REM -----  
9240 DATA 1,1,1,1,3,1  
9250 DATA 2,2,1,2,5,1  
9260 DATA 3,3,-.25,3,4,-.25,3,5,-.25,3,6,-.25  
9270 DATA 4,4,1,4,7,1,4,9,1  
9280 DATA 5,6,1,5,8,1,5,11,1



```
9290 DATA 6,3,.25,6,4,.25,6,5,.25,6,6,.25,6,9,-.25,6,10,-
.25,6,11,-.25,6,12,-.25
9300 DATA 7,13,1,7,19,1
9310 DATA 8,10,1,8,14,1,8,15,1,8,21,1
9320 DATA 9,12,1,9,16,1,9,17,1,9,23,1
9330 DATA 10,18,1,10,25,1
9340 DATA 11,9,.25,11,10,.25,11,11,.25,11,12,.25,11,19,-
.2,11,20,-.2,11,21,-.2,11,22,-.2,11,23,-.2,11,24,-
.2,11,25,-.2,11,26,-.2
9350 DATA 0,0,0
9360 REM -----
9370 REM DATA ELEMEN MATRIKS [ C ] NON - NOL
9380 REM -----
9390 DATA 3,1,-1,3,2,-1
9400 DATA 6,1,1,6,2,1,6,3,-1,6,4,-1
9410 DATA 11,3,1,11,4,1,11,5,-1,11,6,-1,11,7,-1,11,8,-1
9420 DATA 0,0,0
9430 REM -----
9440 REM DATA E, Lc, Ic
9450 REM -----
9460 DATA 2.1E4,4,6.32E-5
9470 REM -----
9480 REM DATA PANJANG BATANG-BATANG ( XL )
9490 REM -----
9500 DATA 4,4,4,4,5,5,5,5,6,6,4,6,4
9510 REM -----
9520 REM DATA JARI-JARI INERSIA BATANG ( XRI )
9530 REM -----
9540 DATA .124,.124,.124,.124,.124,.124,.124,.124,.124,
.124,.124,.124,.124
9550 REM -----
9560 REM DATA MOMEN INERSIA BATANG-BATANG
9570 REM -----
9580 DATA 6.32E-5,6.32E-5,6.32E-5,6.32E-5,6.32E-5,6.32E-
5,6.32E-5,6.32E-5,6.32E-5,6.32E-5,6.32E-5,6.32E-5
9590 REM -----
9600 REM DATA RASID GAYA AKSIAL "
9610 REM -----
9620 DATA 1,1.12335,2.13397,2.43940,.93121,4.17483,4.37900,1.13178
9630 REM
9640 REM
9650 REM END OF DATA
9660 REM
9670 REM
9680 DATA -1000000
```



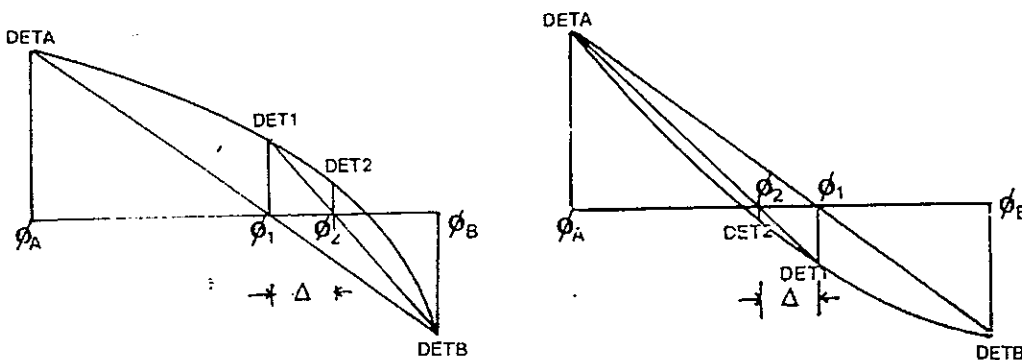


## 10. KESIMPULAN

Nilai faktor beban tekuk yang dihasilkan dari analisa stabilitas tekuk terhadap suatu struktur yang dapat bergoyang akan lebih kecil daripada nilai faktor beban tekuk struktur tersebut bila kemungkinan terjadi goyangan dihilangkan, dengan demikian nilai tegangan kritis yang diperoleh pun akan menjadi lebih kecil.

Pada program komputer makalah ini, proses mencari sudut stabilitas dilakukan dengan cara iterasi dan interpolasi linier sehingga diperoleh dua harga  $\phi$  berurutan yang selisihnya lebih kecil dari toleransi yang diijinkan (di sini toleransi ditentukan sebesar 0,00001); proses ini ternyata membutuhkan waktu-olah komputer (*running time*) yang cukup lama, sedangkan harga rasio panjang efektif dan tegangan kritis yang diperoleh ternyata tidak berbeda jauh dengan hasil yang diberikan dengan toleransi  $\Delta$  0,0001; yaitu berselisih pada desimal ke-4.

Secara grafis, proses iterasi dan interpolasi itu dapat digambarkan seperti pada gambar berikut ini :



Dalam menganalisa stabilitas tekuk suatu rangka kaku, sebaiknya struktur tersebut dianggap dapat bergoyang, kecuali bila benar-benar terjamin bahwa struktur itu tertahan terhadap peralihan datar.

Untuk keperluan praktis, harga toleransi selisih dua harga yang berurutan  $\Delta$  yang diberikan dapat diperbesar (misalnya 0,001), sebab nilai faktor beban tekuk



dan rasio panjang efektif batang-batang yang diperoleh tidak akan berselisih jauh, sehingga ketelitian yang tinggi proses interpolasi harga "menjadi tidak cukup berarti".

Faktor beban tekuk  $N_{CR}$  dari suatu rangka kaku merupakan fungsi dari ragam tekuknya. Untuk keperluan praktis, faktor beban tekuk terendah yang menentukan, yakni yang terjadi pada ragam dasar. Ragam tekuk yang lebih tinggi dan faktor beban tekuk yang bersangkutan tidak dibahas di sini, tetapi dapat dihitung dengan cara yang sama dengan memasukkan nilai sudut stabilitas standar yang lebih besar dari sudut stabilitas standar kritis yang menghasilkan ragam dasar.

Karena intensitas gaya aksial tekan memegang peranan penting pada stabilitas tekuk rangka kaku, maka pola pembebanan dan intensitas beban menentukan stabilitas dari struktur rangka kaku yang bersangkutan. Dengan demikian untuk analisa stabilitas tekuk rangka kaku, beban tetap/mati dipilih sesuai dengan beban rencana, sedangkan untuk beban bergerak/hidup harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga menghasilkan gaya aksial tekan maksimum terutama pada kolom-kolom yang memungkinkan timbulnya goyangan (*sidesway*) di mana goyangan menyebabkan timbulnya momen orde kedua.

## 11. DAFTAR PUSTAKA

1. Chajes, A., *Principles of Structural Stability Theory*. Prentice-Hall, Inc. 1974.
2. Chen, W.F. and Atsuta, T., *Theory of Beam-Columns McGraw-Hill Company*, New York, 1976.
3. Gerard, G., *Introduction to Structural Stability Theory*, McGraw-Hill Company, New York, 1962.
4. Hadipratomo, W., *Analisa Struktur dengan Matriks*, Catatan kuliah Unpar, Bandung, 1985.



5. Timoshenko, S.P. and Gere, J.M., *The ory of Elastic Stability*; McGraw-Hill Company Kogakusha, Ltd., Tokyo, 1961.
6. Timoshenko, S.P., *Strength of Material*, Part II-Advanced, Third Edition, Van Nostrand Reinhold, New York, 1965., pp 145 - 167.
7. Wang, C.K., *Computer Methods in Advanced Structural Analysis*, Intext Educational Publisher, New York, 1973.
8. Wang, C.K., *Intermediate Structural Analysis*, McGraw-Hill Company, New York, 1983.
9. Wang, C.K., *Matrix Methods of Structural Analysis*, Second Edition, International Textbook Company, Scranton-Pensylvania, March 1970.