Pertemuan 14

ANALISIS STATIK EKIVALEN (SNI – 1726 – 2002)

Analisis statik ekivalen merupakan salah satu metode menganalisis struktur gedung terhadap pembebanan gempa dengan menggunakan beban gempa nominal statik ekivalen. Menurut Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI – 1726 – 2002), analisis statik ekivalen cukup dapat dilakukan pada gedung yang memiliki struktur beraturan. Ketentuan-ketentuan mengenai struktur gedung beraturan disebutkan dalam pasal 4.2.1 dari SNI – 1726 – 2002.

Apabila gedung memiliki struktur yang tidak beraturan maka selain dilakukan analisis statik ekivalen juga diperlukan analisis lebih lanjut, yaitu analisis respon dinamik. Perhitungan respon dinamik struktur gedung tidak beraturan terhadap pembebanan gempa, dapat menggunakan metode analisis ragam spektrum respons atau metode analisis respons dinamik riwayat waktu. Pada pasal 7.1.3 dari SNI – 1726 – 2002, bila nilai akhir respon dinamik tersebut dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal, maka nilainya tidak boleh kurang dari 80% gaya geser dasar yang dihasilkan dari analisis statik ekivalen.

Karena analisis statik ekivalen dipandang merupakan langkah awal dalam perencanaan gedung tahan gempa, maka penggunaan software SAP2000 diharapkan dapat 'membantu' melakukan analisis statik ekivalen, terutama dalam mendapatkan nilai angka massa dan waktu getar alami dari model struktur gedung yang ditinjau.

14.1 Beban Gempa Nominal Statik Ekivalen yang ditetapkan SNI – 1726 – 2002

Beban geser dasar nominal statik ekivalen V (base shear) yang tejadi di tingkat dasar dapat dihitung menurut persamaan:

$$V = \frac{C_1 . I}{R} . W_t$$

C_1 = nilai faktor respons gempa

C_1 didapat dari Spektrum Respons Gempa Rencana, yang harus diketahui terlebih dahulu waktu getar alami fundamental T_1.

I = faktor keutamaan (lihat tabel peraturan) semakin penting nilai bangunan semakin tinggi nilai I-nya. Contoh:

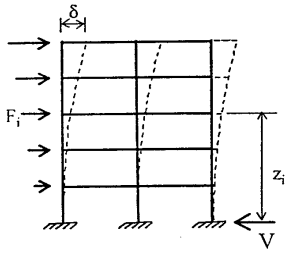
- reaktor nuklir paling tinggi nilainya karena pada saat gempa terjadi tidak boleh roboh, kalau tidak menyebabkan 1 kota hancur
- rumah sakit juga tinggi nilainya, karena saat gempa terjadi merupakan bangunan yang paling tidak boleh roboh karena merupakan tempat penampungan korban.

R = faktor reduksi gempa (lihat tabel peraturan),

W_t = berat total gedung (dihitung dengan SAP2000).

Beban geser dasar nominal V tersebut harus dibagikan sepanjang tinggi struktur gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i pada pusat massa lantai tingkat ke-i menurut persamaan:

$$F_i = \frac{W_i . z_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i . z_i} \times V$$



W_i = berat lantai tingkat ke-i termasuk beban hidup yang sesuai,

z_i = ketinggian lantai tingkat ke-i ,

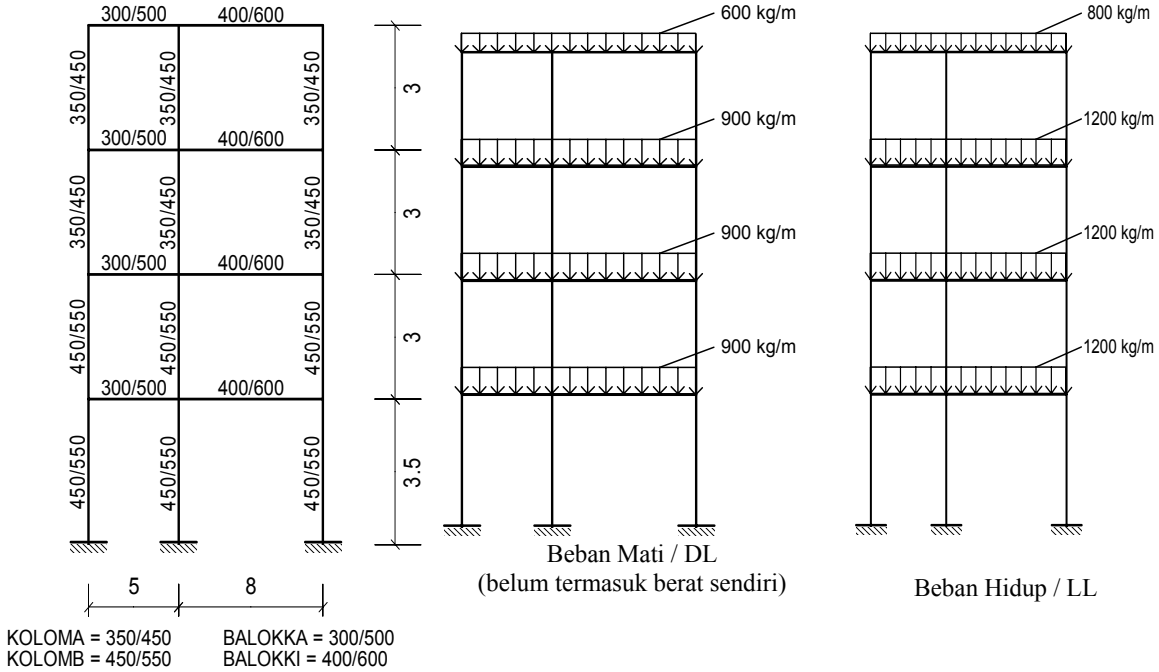
n = nomor lantai tingkat paling atas.

14.2 Garis Besar Langkah-langkah Penggunaan SAP 2000 V.8.08

Secara garis besar, langkah-langkah penggunaan SAP2000 untuk melakukan analisis statik ekivalen adalah sebagai berikut:

A. Menggambarkan geometri struktur, mendefinisikan penampang, material dan besarannya, serta melakukan "assign" penampang dan material tersebut pada program SAP2000.
B. Menentukan W_i (berat lantai tingkat ke-i) dengan kombinasi pembebanan = DL + LL_R (umumya diambil LL_R = 0,3 LL). Supaya mudah membaca output W_i pada *show group joint force sum* akibat kombinasi pembebanan DL + 0,3 LL sebaiknya dibuat *group name* untuk frame dan joint pada setiap tingkat.
C. Menginput massa tiap tingkat (m_i) dengan menggunakan *joint masses*, dan membuat rigid floor diaphrama.
D. Karena massa tiap tingkat telah diinput dengan menggunakan *joint masses*, maka definisi massa material dirubah menjadi nol, lalu dapat dilakukan analisis dinamik untuk mencari T_1.
E. Setelah T_1 didapat maka dengan SNI – 1726 – 2002 akan diperoleh besarnya V (base shear) yang selanjutnya dapat dihitung F_i. Masukkan F_i sebagai beban gempa (assign joint static load force global x).
F. Langkah terakhir dapat dilakukan analisis statik biasa dan sekaligus dapat mendesain struktur gedungnya, apakah dengan struktur beton bertulang atau dengan struktur baja.

Contoh:

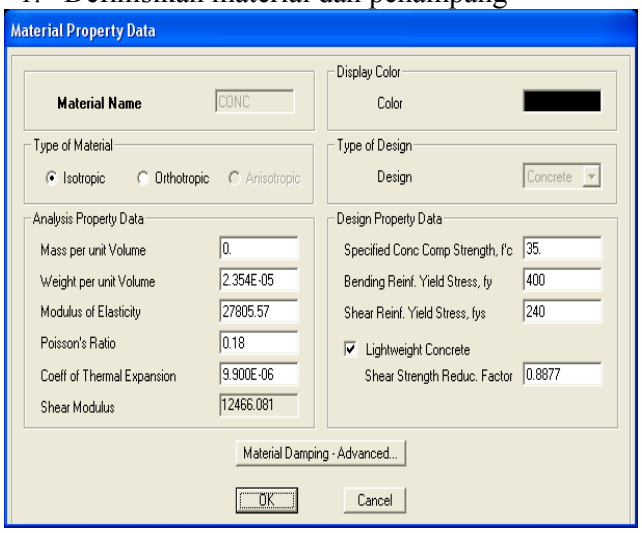


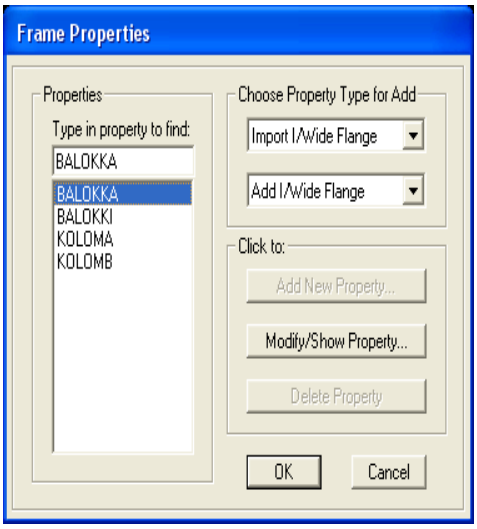
Material Beton:
f 'c = 35 Mpa
$E = 3 \times 10^9$ kg / m^2
$\upsilon = 0{,}18$
$\gamma = 2400$ kg / m^3

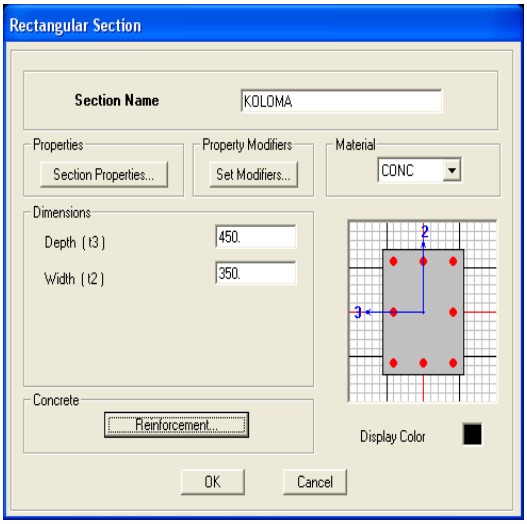
Tulangan yang dipakai :
D22 (BJTD40) → tulangan memanjang
ϕ10 (BJTP24) → sengkang
Design menurut ACI 318 - 99

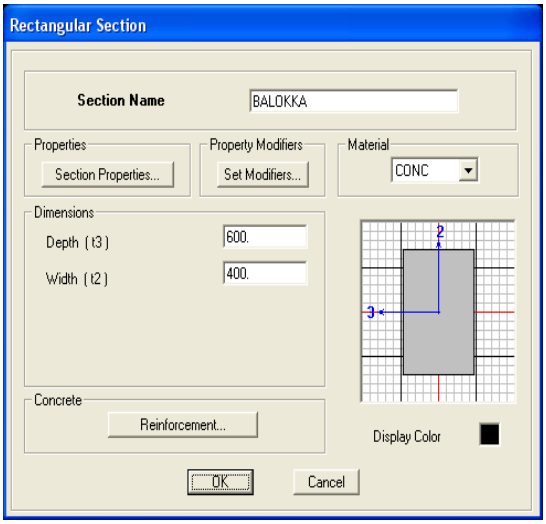
Langkah-langkah:

1. Definisikan material dan penampang

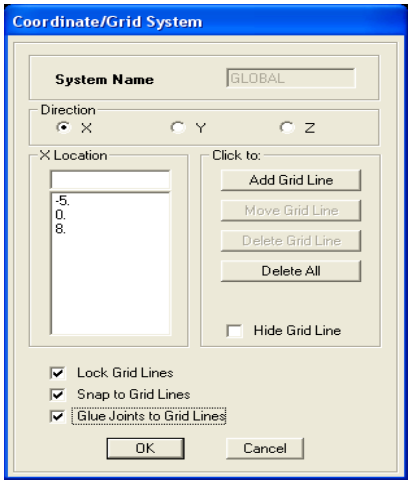


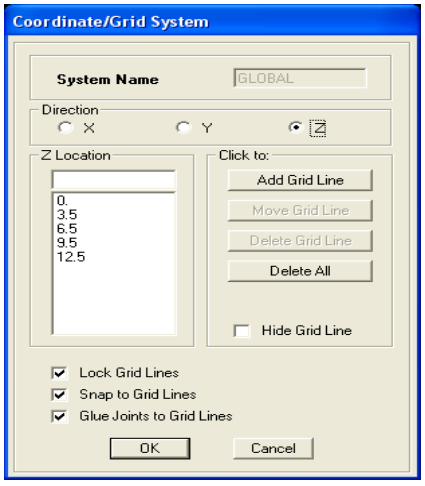




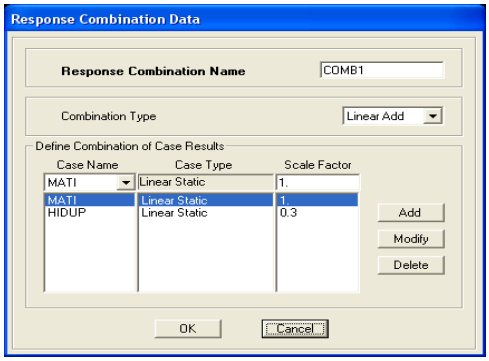


2. Gambarkan konfigurasi struktur

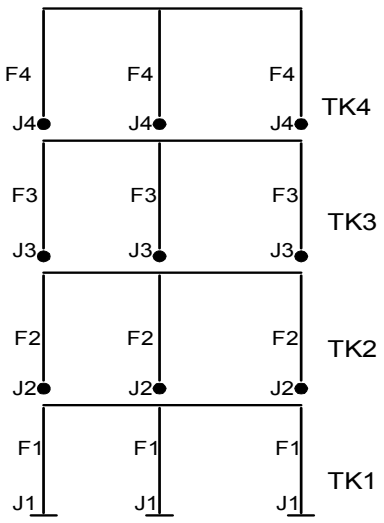


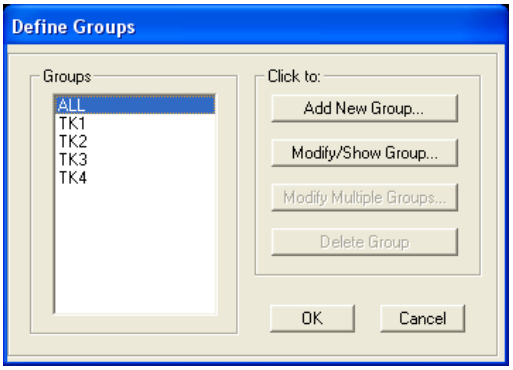


3. Menentukan berat lantai tingkat ke-i (W_i) dengan kombinasi pembebanan = DL + 0,3 LL, dengan rincian langkah:
   a. Definisikan static load cases. Berilah tiga jenis pembebanan sebagai berikut:
      - Beban Mati → MATI (Berat sendiri diperhitungkan oleh SAP 2000)
      - Beban Hidup → HIDUP
      - Beban Gempa → GEMPA
   b. Pilihlah (select) frame paling atas (lantai 4). Pada menu Assign / Frame Static Loads / Point and Uniform, inputlah beban mati merata sebesar 600 kg/m, lalu tekan OK.
   c. Pilihlah frame lantai 3, lantai 2 dan lantai 1. Pada menu Assign / Frame Static Loads / Point and Uniform, inputlah beban mati merata sebesar 900 kg/m, seperti gambar berikut ini, lalu tekan OK.
   d. Lakukan dengan cara yang sama untuk beban hidup. Untuk melihat beban-beban yang bekerja pada frame dapat dilakukan dengan cara Display/Show Loads/Frame
   e. Menentukan kombinasi pembebanan pada Define/Load Combinations, seperti berikut ini:



   f. Menentukan kelompok-kelompok berat tingkat yang akan dihitung, sebagai berikut:
      - TK4→ kelompok berat tingkat lantai 4, terdiri dari 3 frame kolom (F4) dan 3 joint (J4)
      - TK3→ kelompok berat tingkat lantai 3, terdiri dari 3 frame kolom (F3) dan 3 joint (J3)
      - TK2→ kelompok berat tingkat lantai 2, terdiri dari 3 frame kolom (F2) dan 3 joint (J2)
      - TK1→ kelompok berat tingkat lantai 1, terdiri dari 3 frame kolom (F1) dan 3 joint (J1)





Cara menginput : Pilih frame dan joint yang akan dikelompokkan, Assign → Assign to Group Name→Beri Nama→Add New Group →OK

RUN PROGRAM

1. Set option pada analyze dirubah menjadi 2 dimensi (gambar icon portal)
2. Run Program

OUTPUT BERAT TINGKAT

```
SAP2000 v7.42 File: STATIK EKIVALEN  Kgf-m Units

G R O U P   J O I N T   F O R C E   S U M M A T I O N

 GROUP     LOAD                F-X         F-Y         F-Z         M-X         M-Y         M-Z

  TK4 (Sum at  X=1  Y=0  Z=9.5)
          MATI                0.000       0.000   17611.684       0.000  -11425.294       0.000
          HIDUP          -6.104E-05       0.000   10400.000       0.000   -5200.000       0.000
          GEMPA               0.000       0.000       0.000       0.000       0.000       0.000
          COMB1          -1.831E-05       0.000   20731.684       0.000  -12985.294       0.000



 GROUP     LOAD                F-X         F-Y         F-Z         M-X         M-Y         M-Z

  TK3 (Sum at  X=1  Y=0  Z=6.5)
          MATI            6.104E-05       0.000   39123.369       0.000  -24800.583       0.000
          HIDUP               0.000       0.000   26000.000       0.000  -13000.000       0.000
          GEMPA               0.000       0.000       0.000       0.000       0.000       0.000
          COMB1           6.104E-05       0.000   46923.369       0.000  -28700.583       0.000

GROUP     LOAD                F-X         F-Y         F-Z         M-X         M-Y         M-Z

  TK2 (Sum at  X=1  Y=0  Z=3.5)
          MATI                0.000       0.000   62579.385       0.000  -38175.869       0.000
          HIDUP           1.221E-04       0.000   41600.001       0.000  -20800.003       0.000
          GEMPA               0.000       0.000       0.000       0.000       0.000       0.000
          COMB1           3.662E-05       0.000   75059.385       0.000  -44415.870       0.000

  TK1 (Sum at  X=1  Y=0  Z=0)
          MATI           -3.052E-05       0.000   86926.555       0.000  -51551.161       0.000
          HIDUP          -3.052E-05       0.000   57200.002       0.000  -28600.002       0.000
          GEMPA               0.000       0.000       0.000       0.000       0.000       0.000
          COMB1          -3.967E-05       0.000  104086.555       0.000  -60131.162       0.000
```

MENGINPUT MASSA TINGKAT / M_I (JOINT MASSES), MEMBUAT RIGID FLOOR DIAPHRAMA, MERUBAH DEFINISI MASSA MATERIAL MENJADI NOL DAN MELAKUKAN ANALISIS DINAMIK UNTUK MENCARI T_1.

Setelah diperoleh data output berat tingkat (W_i = DL + 0.3 LL), maka data tersebut dapat diolah menjadi massa tingkat (m_i), dengan cara sebagai berikut;

Berat tingkat lantai 4 → W_4 = 20731.65

(lihat angka pada output di bagian kolom F-Z dan baris comb 1)

Berat tingkat lantai 3 → W_3 = 46923.369 - 20731.65 = 26191.72

Berat tingkat lantai 2 → W_2 = 75059.385 - 46923.369 = 28136.02

Berat tingkat lantai 1 → W_1 = 104086.555 - 75059.385 = 29027.17

Selanjutnya, masing-masing berat tingkat tersebut dirubah menjadi massa tingkat dengan cara membagi berat tingkat dengan berat gravitasi (g = 9.81 m / det^2)

Massa tingkat lantai 4 → m_4 = 20731.65 / 9.81 = 2113.3

Massa tingkat lantai 3 → m_3 = 26191.72 / 9.81 = 2669.9

Massa tingkat lantai 2 → m_2 = 28136.02 / 9.81 = 2868.1

Massa tingkat lantai 1 → m_1 = 29027.17 / 9.81 = 2958.9

Untuk memudahkan perhitungan, data-data output berat tingkat ditabelkan sebagai berikut;

Tingkat	Output SAP (kg / m^3)	W_i (kg / m^3)	M_i (kg det^2 / m^2) (input ke joint masses)
4	20731.648	20731.65	2113.317839
3	46923.369	26191.72	2669.900204
2	75059.385	28136.02	2868.095413
1	104086.555	29027.17	2958.936799
	ΣWt =	104086.6	

3. Setelah diketahui massa tiap-tiap tingkat, maka massa tersebut diinput pada SAP 2000 dengan cara : Select Joint (pilih joint dari tingkat 4 di ujung paling kiri)→ Assign→Joint→Masses, lalu isilah nilai massa tingkat pada direction 1 (searah sumbu global x). Lakukan dengan cara yang sama untuk tingkat 3 hingga tingkat 1.

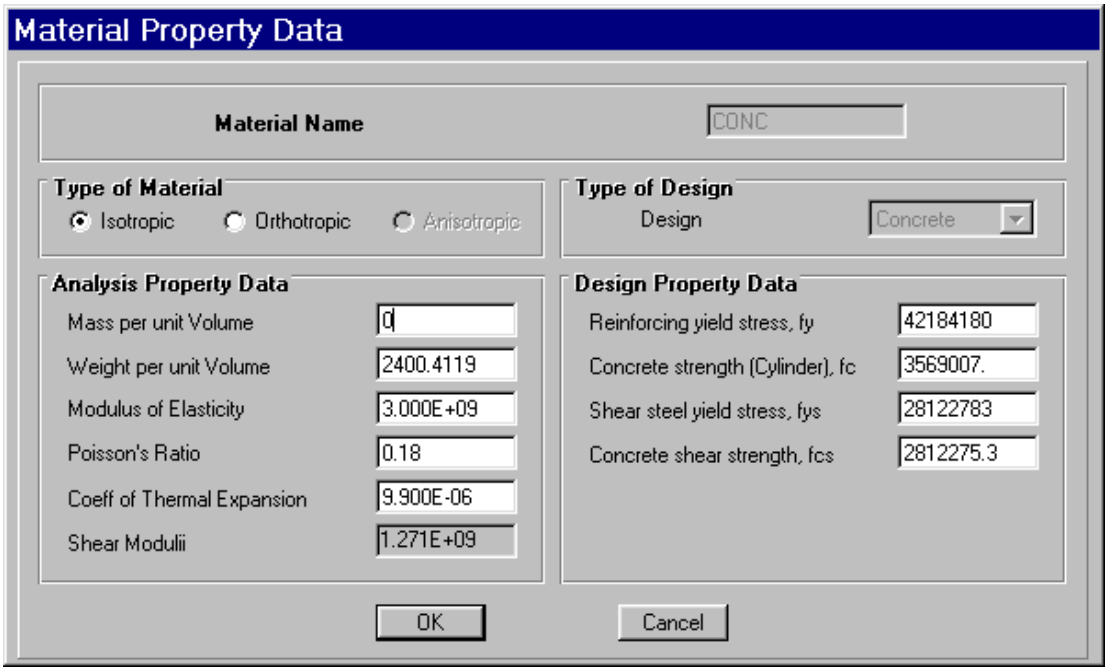


4. Pada saat gempa terjadi pelat lantai diasumsikan tidak berdeformasi secara terpisah dan merupakan satu-kesatuan(bergerak ke kiri dan ke kanan secara bersama-sama), sehingga pada frame balok perlu dirubah menjadi rigid floor diaphrama (gaya aksial balok = 0 → tidak mengalami tarik maupun tekan), dengan cara:

   Select joint (pilih seluruh joint yang ada di tingkat 4)→Assign→Joint→Constraint→ Add Diaphrama→Beri nama TK4→OK. Lakukan dengan cara yang sama untuk tingkat 3, 2 dan 1.

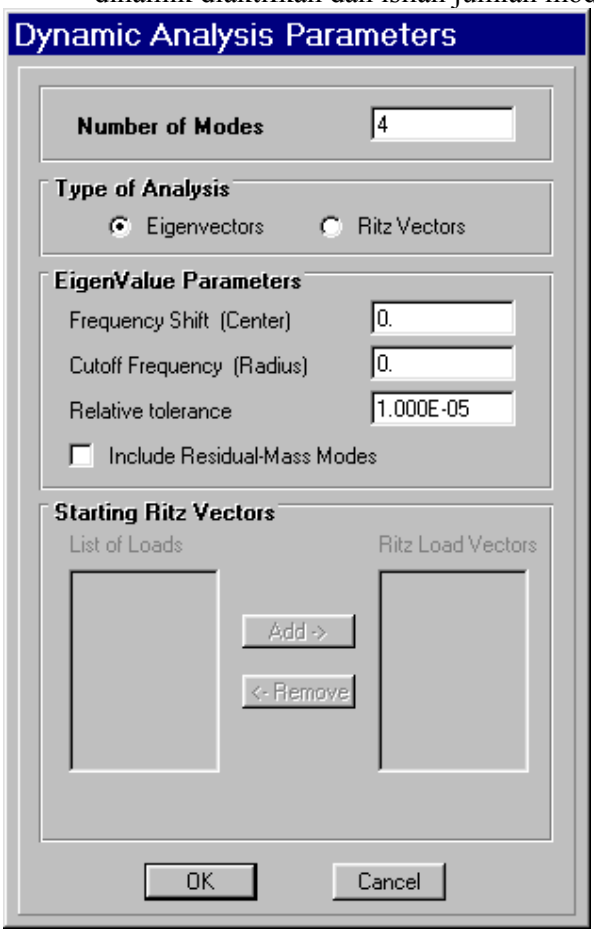
5. Karena massa telah diinput di setiap joint paling kiri pada setiap tingkat, maka massa material perlu dirubah menjadi nol, dengan cara:

   Define→material→berilah nilai nol pada kotak isian massa→OK



RUN PROGRAM

6. Set option pada analyze dirubah menjadi 2 dimensi (gambar icon portal), analisis dinamik diaktifkan dan isilah jumlah mode yang dianalisis = 4



7. Run Program
8. Setelah di Run akan diketahui besarnya perioda mode 1 (T_1) = 0,3940

Setelah T_1 diperoleh maka dengan PPTGIUG akan diperoleh besarnya V yang selanjutnya dapat dihitung F_i. Berikut perhitungannya:

T1 = 0.3940 → C = 0.05 (dari kurva di PPTGIUG)

Misal: I = 1, K = 1

V = CIK.Wt = $0.05\times1\times1\times104086.6 = 5204.33$

$$F_4 = \frac{W_4.h_4}{\sum W_i.h_i}\times V = \frac{259145.6}{792446.2}\times 5204.33 = 1701{,}918$$

$$F_3 = \frac{248821.4}{792446.2}\times 5204.33 = 1634.115$$

$$F_2 = \frac{182884.1}{792446.2}\times 5204.33 = 1201.077$$

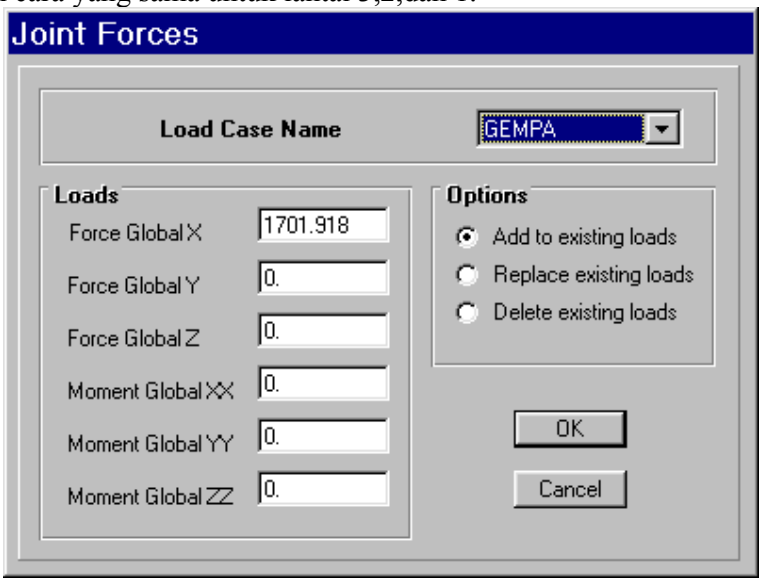
$$F_1 = \frac{101595.1}{792446.2}\times 5204.33 = 667.218$$

Tingkat	W_i	H_i	W_iH_i	F_i
4	20731.65	12.5	259145.6	1701.918
3	26191.72	9.5	248821.4	1634.115
2	28136.02	6.5	182884.1	1201.077
1	29027.17	3.5	101595.1	667.2178
Wt =	104086.6	ΣW_iH_i =	792446.2	
V =	5204.33			

BEBAN GEMPA

Input F_i sebagai beban gempa dengan cara:

9. Select joint (pilih joint yang paling kiri di tingkat 4)→joint static load→ force→cari load case name 'GEMPA→berilah nilai F_4 pada isian force global x. Lakukan dengan cara yang sama untuk lantai 3,2,dan 1.



DESAIN BETON DENGAN ACI 318-99 YANG ADA, DENGAN CARA MENGHAPUS TERLEBIH DAHULU COMB1 (DL + 0,3 LL).

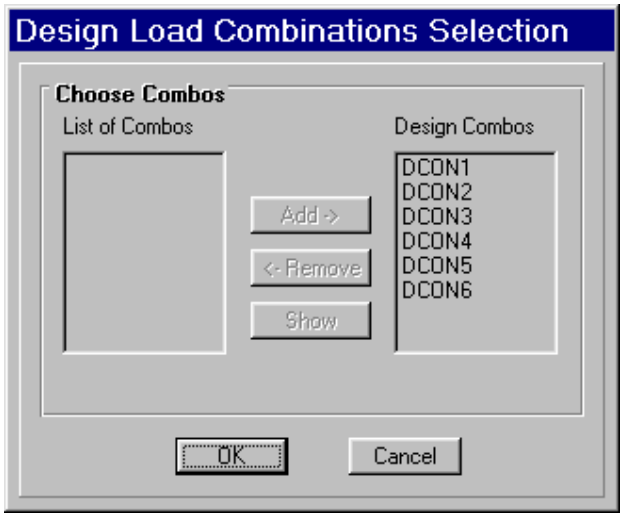
10. Pastikan metode ACI yang digunakan SAP 2000 adalah ACI 318-99 dengan cara :

    Option→Preferences→Concrete

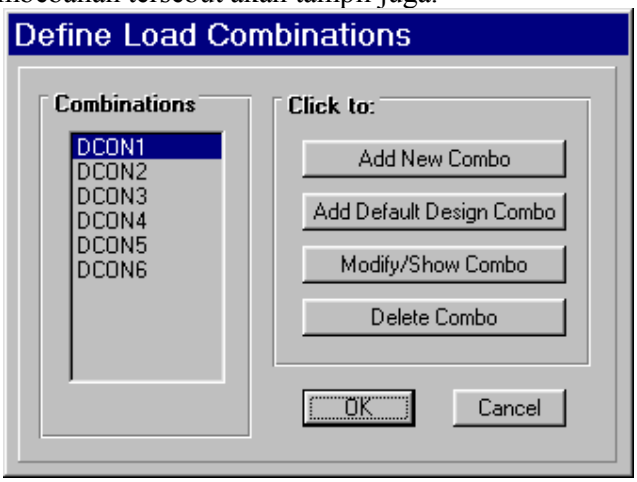
11. Kemudian hapuslah kombinasi pembebanan yang semula comb1 (DL + 0,3 LL) diganti dengan kombinasi pembebanan yang disediakan SAP 2000, dengan cara:

    Define→Load Combinations→Delete Combo

12. Design→Select Design Combo (ada 6 kombinasi pembebanan sesuai ACI 318-99)→ OK



13. Cek/pastikan lagi di Define → Load Combinations → Delete Combo, keenam kombinasi pembebanan tersebut akan tampil juga.



RUN PROGRAM

14. Set option pada analyze dirubah menjadi 2 dimensi (gambar icon portal), analisis dinamik dinonaktifkan.
15. Run program

DESIGN TULANGAN

Setelah di Run maka dapat dilakukan desain tulangan. SAP 2000 dapat menampilkan luas tulangan memanjang dan tulangan geser yang dibutuhkan dengan cara:

Design→Start Design/Check of Structure