BAB IV
ANALISIS DAN DESAIN

4.1 Studi Kasus

Dalam menganalisis kapasitas penampang kolom beton bertulang, pada studi ini dilakukan pemodelan struktur menggunakan program bantu SAP2000 yang dimaksudkan untuk mendapatkan besaran gaya dalam yang dihasilkan oleh beban yang bekerja berupa beban aksial perlu/terfaktor (P_u) dan momen lentur terfaktor (M_u), dan untuk mendapatkan hasil perhitungan kapasitas kolom yang berupa diagram interaksi P-M, dilakukan analisis menggunakan program *SP Column*. Dalam pengaplikasiannya direncanakan pembangunan rumah di daerah Baladewa, Bandung dengan luas bangunan 133,31 m^2 (11,85 × 11,25 m). Kolom yang akan ditinjau berupa kolom yang dibebani balok cantilever di as D-4 dan kolom yang dibebani balok tumpuan jepit di as D-5. Berikut spesifikasi bangunannya:

a. Spesifikasi Bangunan:

- Fungsi bangunan → Rumah tinggal.
- Jumlah lantai → 2 lantai.
- Tinggi bangunan Lantai 1 → 3,8 m.
- Tinggi bangunan Lantai 2 → 3,8 m.
- Material Struktur Elemen → Beton Bertulang.

b. Spesifikasi Penampang

- Dimensi Penampang Kolom → b = 200 mm.
  h = 200 mm.
  - Tebal selimut beton pada kolom → 40 mm.
  - Tulangan Longitudinal → 4 D12
  - Tulangan Sengkang → D8 / 150 mm
- Dimensi Penampang Balok → b = 150 mm.
  h = 200 mm.
  - Tebal selimut beton pada balok → 40 mm.
- Tebal plat lantai → 120 mm.

- Jenis Atap → Atap dak beton bertulang.
- Tebal atap → 120 mm.

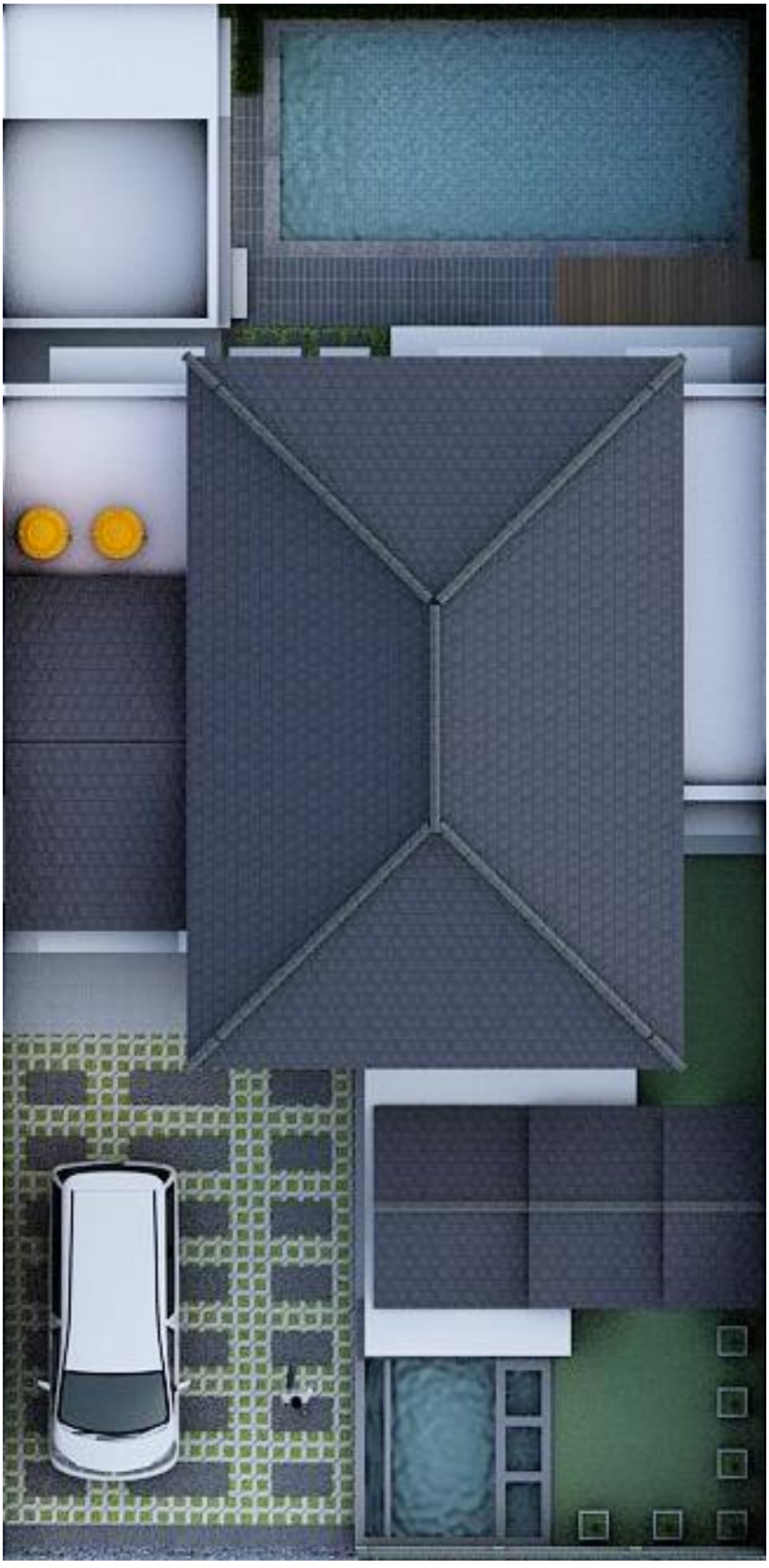
c. Spesifikasi Bahan

- Mutu beton (fc') : Kolom : 17
  Balok : 17
  Pelat : 17
- Mutu Besi Tulangan : BJTD 37 (f_y = 240 MPa)
  (f_u = 370 MPa)



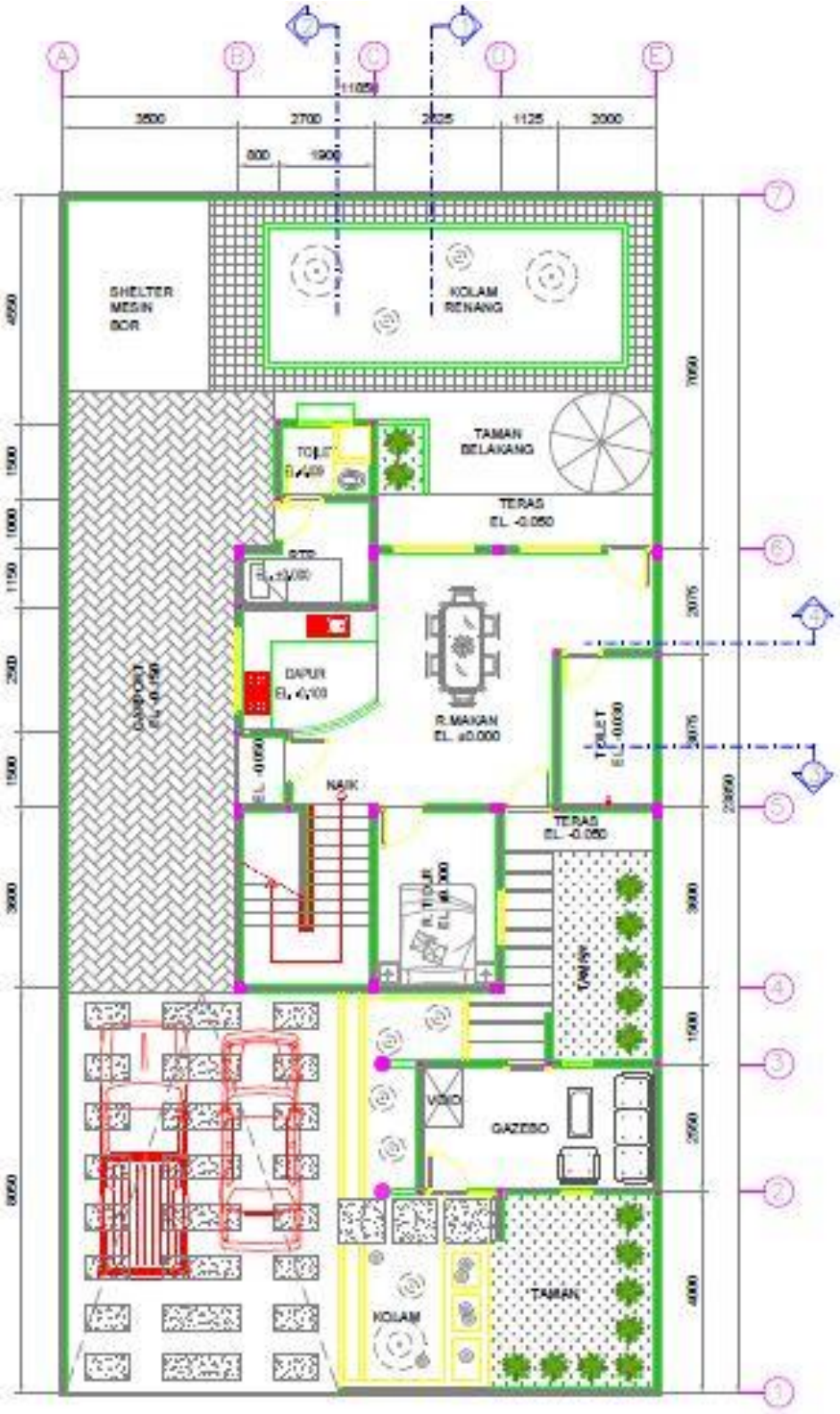
Gambar 4-1 Tampak depan rencana

Sumber: Dokumentasi pribadi



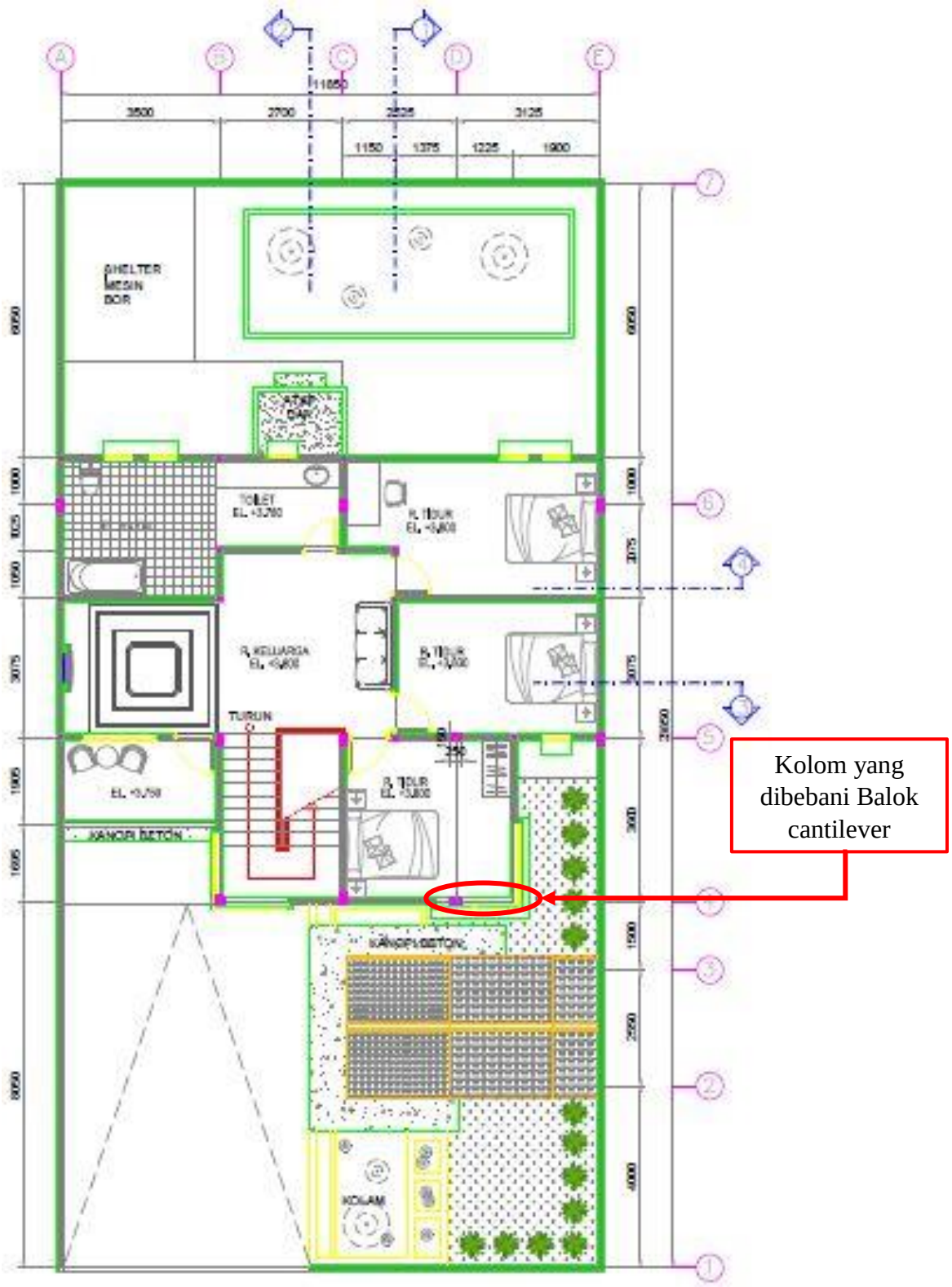
Gambar 4-2 Tampak atas rencana

Sumber: Dokumentasi pribadi



Gambar 4-3 Denah Rumah Lantai 1

Sumber: Dokumentasi pribadi



Gambar 4-4 Denah Rumah Lantai 2

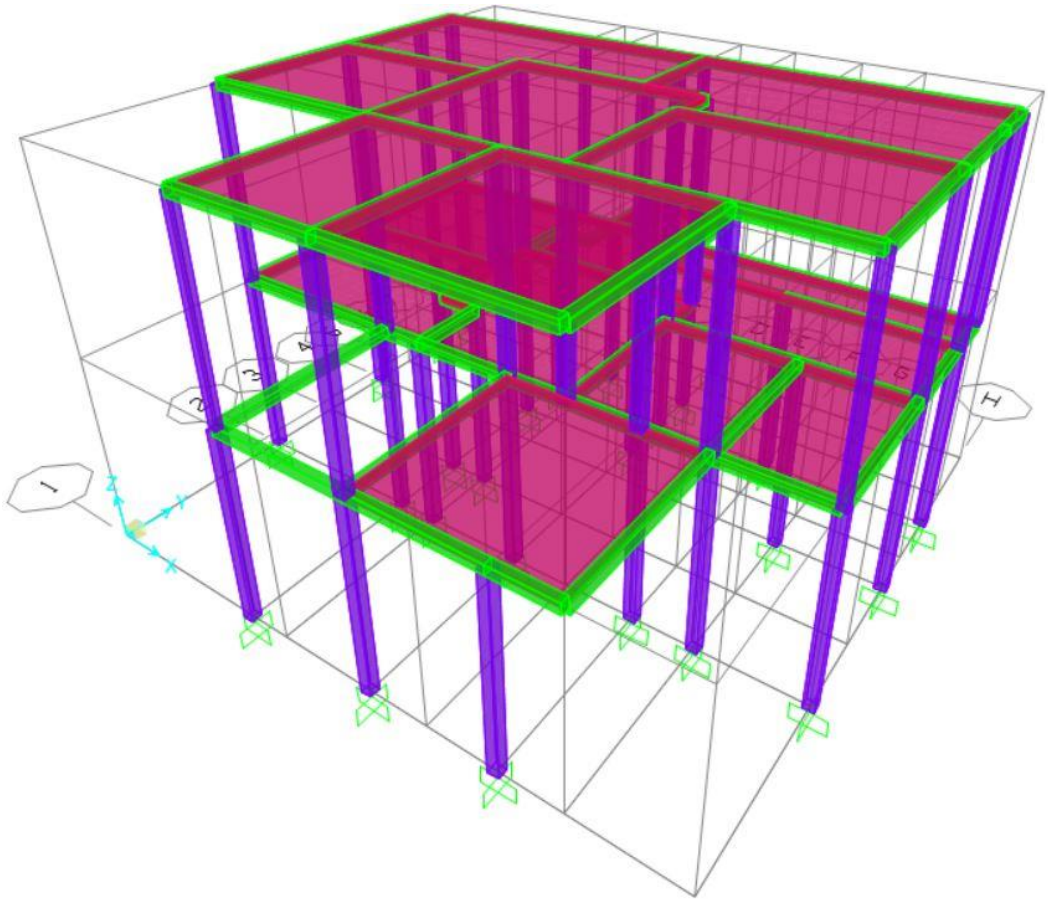
Sumber: Dokumentasi pribadi

4.2 Analisis Struktur Menggunakan Program SAP2000 v18.2.0

Berdasarkan data yang telah dibahas diatas maka pada tahapan ini dilakukan perhitungan secara cepat dan sebagai referensi perhitungan dengan mempergunakan program bantu *software* SAP2000 versi 18.2.0. Adapun tahapan-tahapannyanya akan di jelaskan di bawah ini.

4.2.1 Konfigurasi Geometri

Dalam proses awal, struktur dimodelkan ke dalam bentuk pemodelan yang paling mendekati.



Gambar 4-5 Tahap awal pemodelan struktur dalam bentuk portal ruang 3D

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

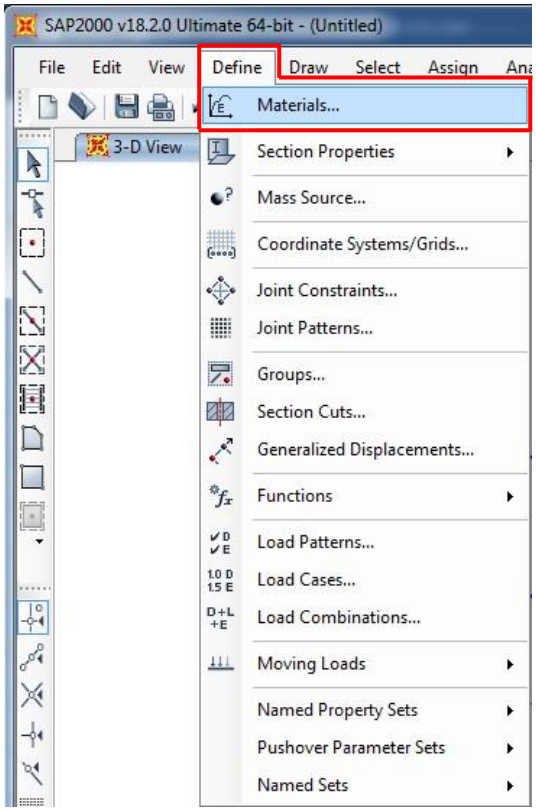
4.2.2 Input Material Property

Pada penelitian ini, struktur yang dianalisis menggunakan material beton bertulang. Dalam tahapan ini, untuk menginputkan mutu material yang akan direncanakan bisa dilakukan pada menu ***Define – Materials***. Dalam tahapan ini, mutu material yang

ditambahkan adalah beton *(concrete)* dan baja tulangan *(rebar).* Berikut urutan pengerjaannya:

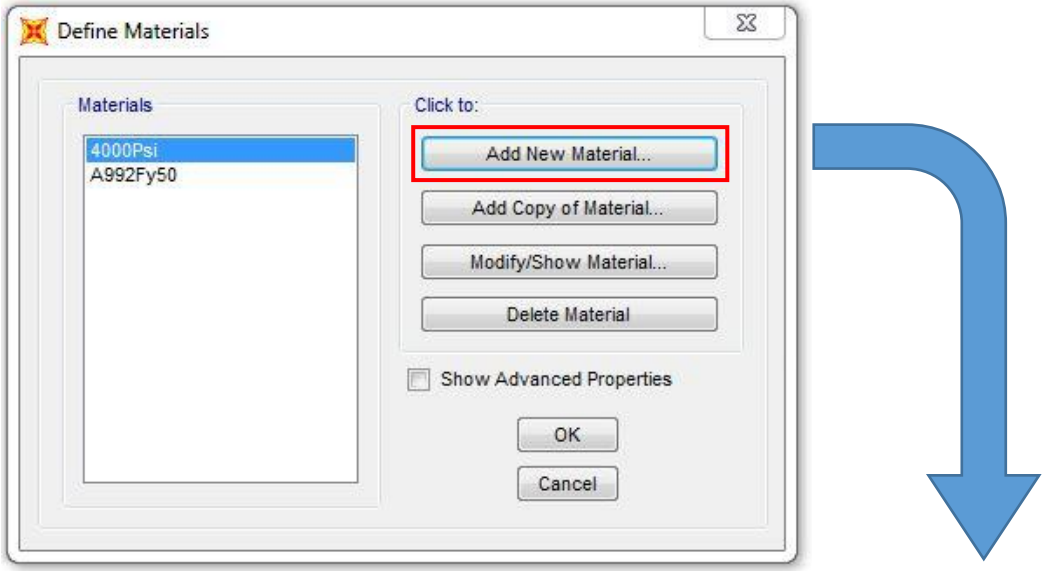
4.2.2.1 Input Material Beton (*concrete*)

Berikut adalah tahapan-tahapan dalam proses input material beton *(concrete)* pada program SAP2000 versi 18.2.0.

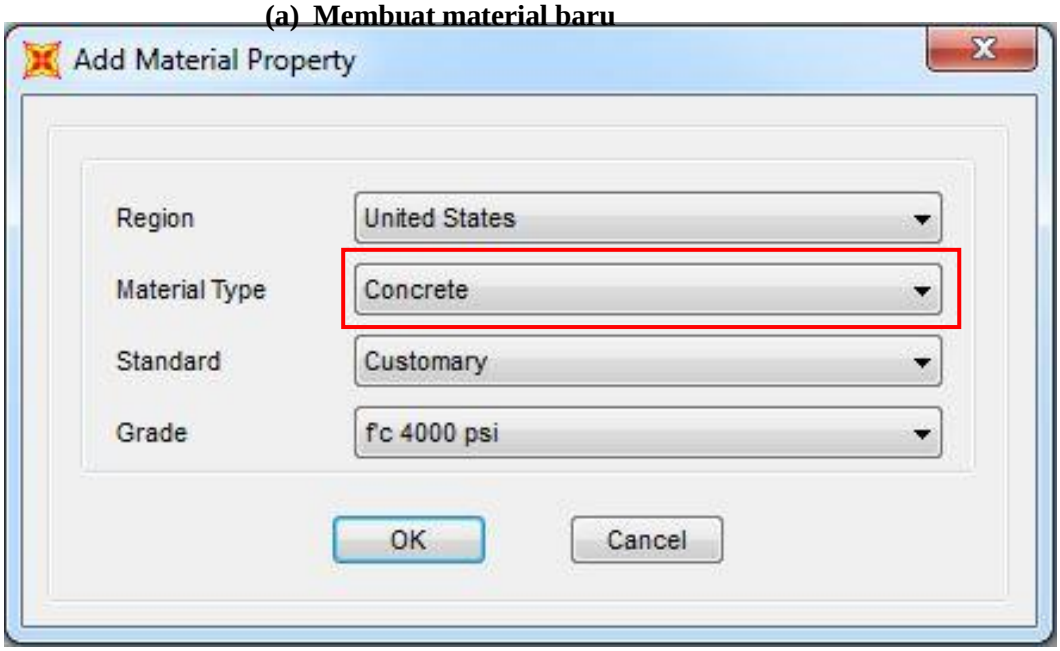


Gambar 4-6 Input material beton tahap 1

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0



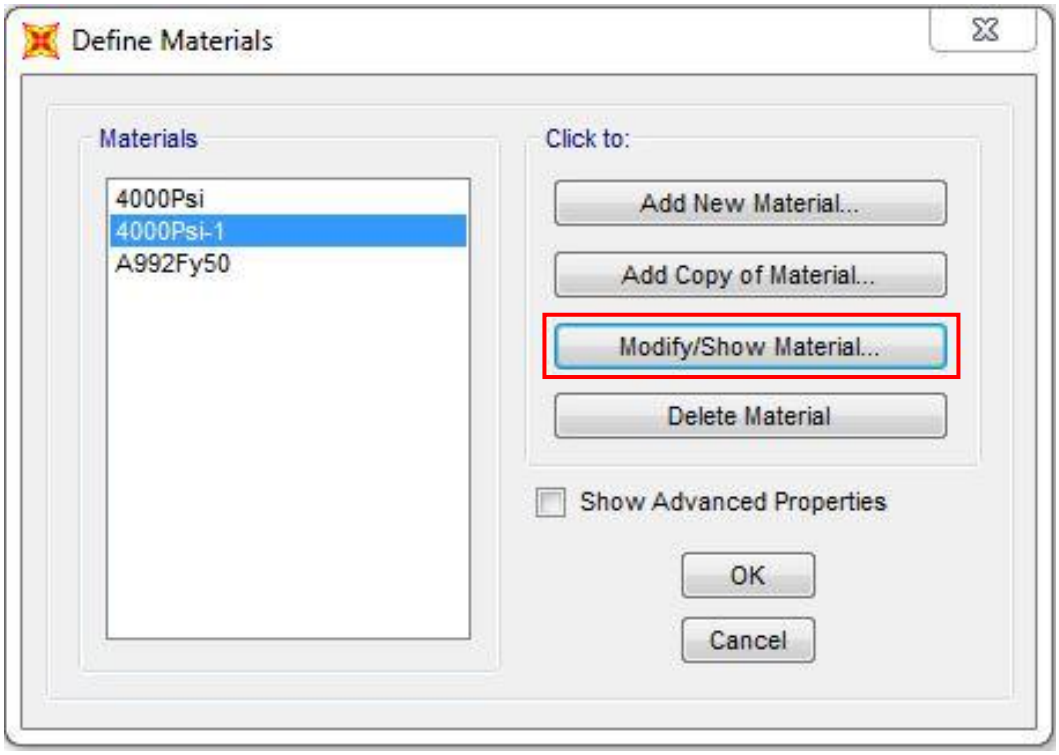
(a) Membuat material baru



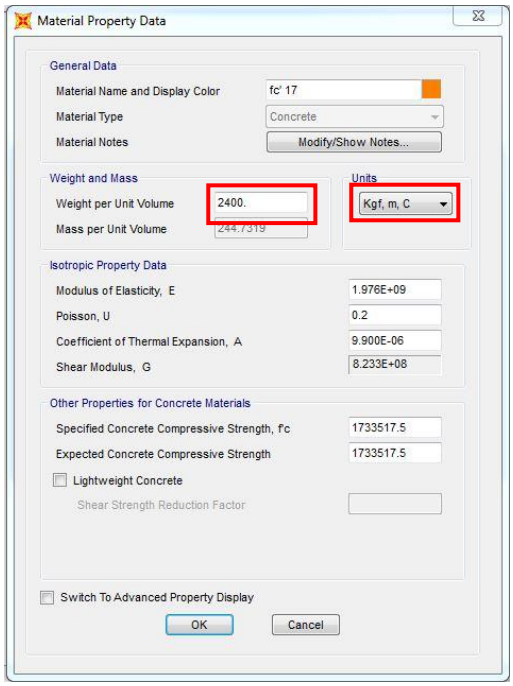
(b) Membuat material beton (concrete)

Gambar 4-7 Input material beton tahap 2

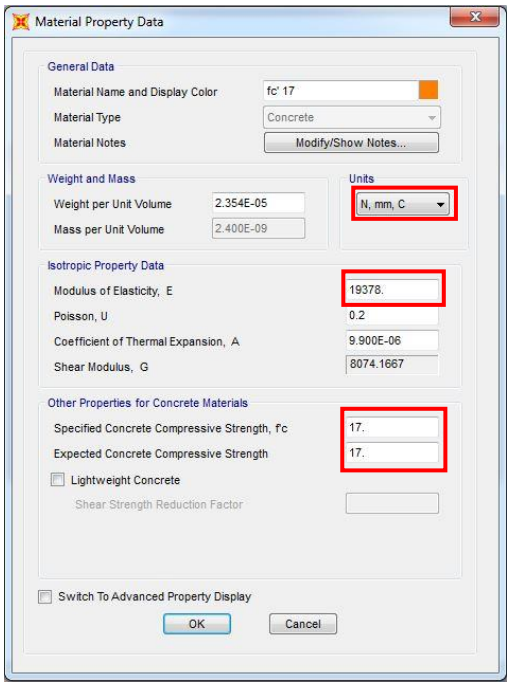
Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0



(a) Modify material yang telah dipilih



(c) Material dalam satuan kg/m



(b) Material dalam satuan N/mm

Gambar 4-8 Input material beton tahap 3

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

Dalam tahapan ini, parameter mutu beton yang diinputkan antara lain:

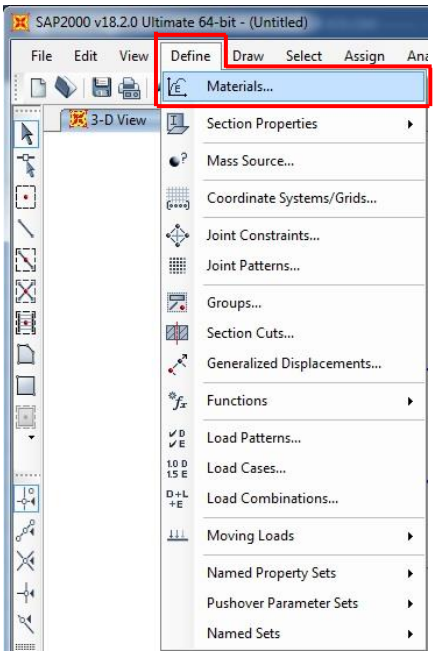
- ***Material Name and Display Color,*** → fc' 17
- ***Weight per Unit Volume,*** → 2400 Kg/m. (berat jenis beton).
- ***Modulus of Elasticity (E),*** → $= 4700 \times \sqrt{f c'}$

  $= 4700 \times \sqrt{17}$

  $= \underline{19378 \text{ N/mm}}$
- ***Poisson, U,*** (rasio pemuaian beton) → 0,2
- ***Specified Concrete Compressive Strength, f'c,*** → 17.

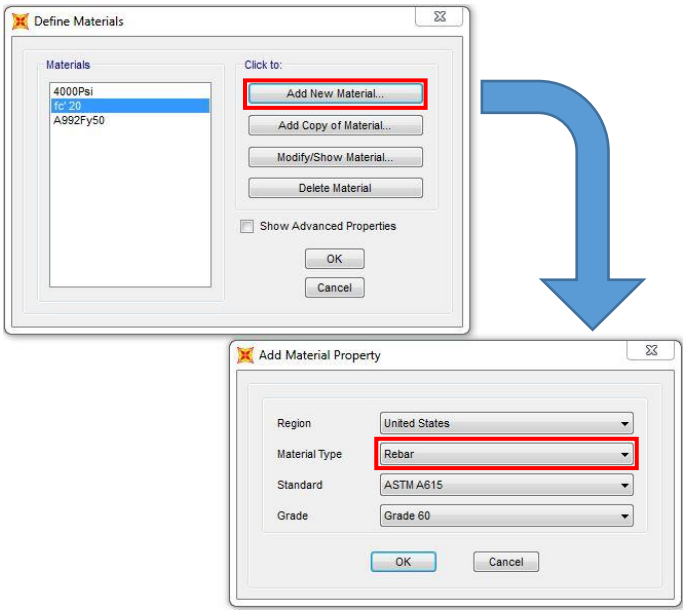
4.2.2.2 Input Material Baja Tulangan (rebar)

Berikut adalah tahapan-tahapan dalam proses input material baja tulangan *(rebar)* pada program SAP2000 versi 18.2.0.



Gambar 4-9 Input material baja tulangan tahap 1

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

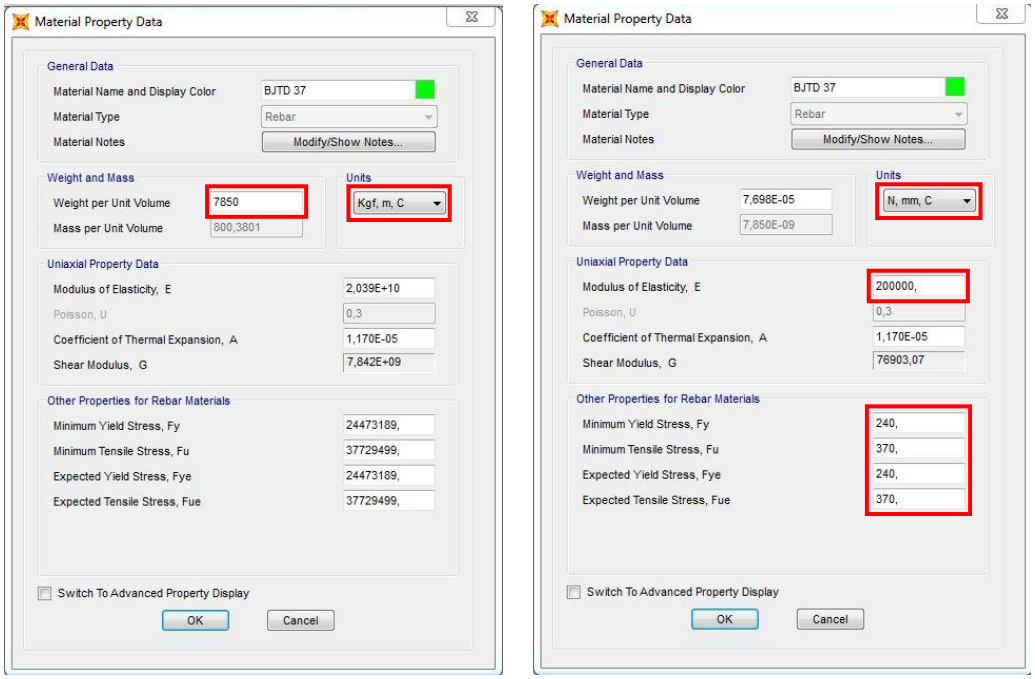


Gambar 4-10 Input material baja tulangan tahap 2

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

Dalam tahapan ini, parameter mutu baja tulangan yang diinputkan antara lain:

- ***Material Name and Display Color,*** → BJTD 37
- ***Weight per Unit Volume,*** → 7850 Kg/m. (berat jenis beton).
- ***Modulus of Elasticity (E),*** → 200000 N/mm.
- ***Poisson, U,*** → 0,3 (rasio pemuaian baja).
- ***Fy (Tegangan Leleh)*** → 240 MPa.
- ***Fu (Tegangan Putus)*** → 370 MPa.



Gambar 4-11 Input material baja tulangan tahap 3

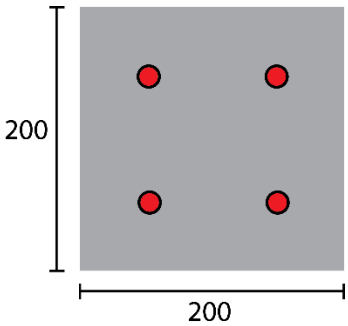
Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

4.2.3 Input Dimensi Penampang

Berdasarkan data dari spesifikasi penampang struktur elemen kolom, balok dan plat yang telah direncanakan, berikutnya akan diinputkan ke dalam program SAP2000 untuk dimodelkan. Berikut tahapan-tahapannya:

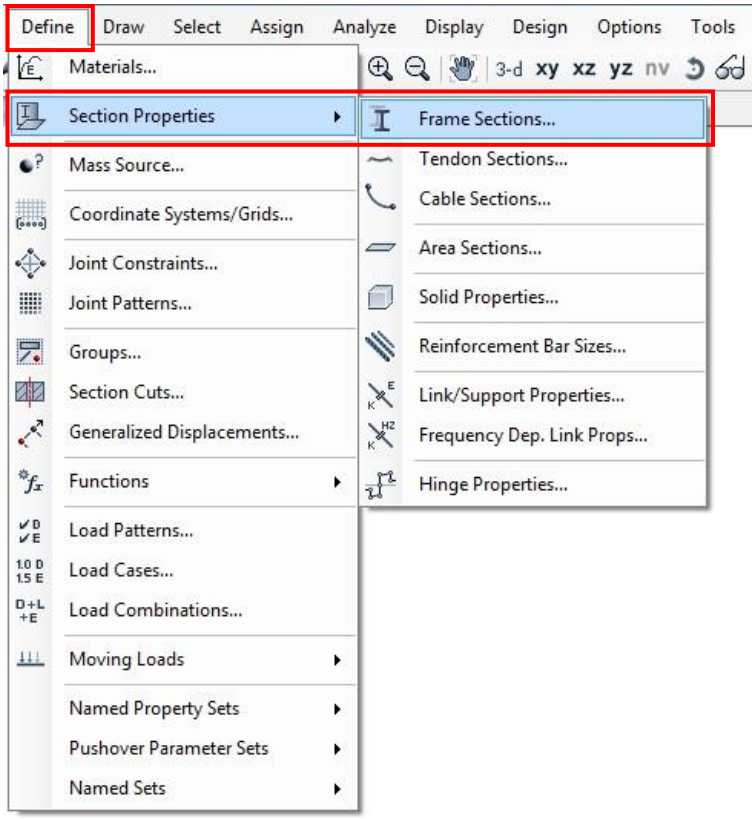
4.2.3.1 Input Penampang Kolom

Berikut adalah tahapan untuk memodelkan penampang kolom pada program SAP2000:



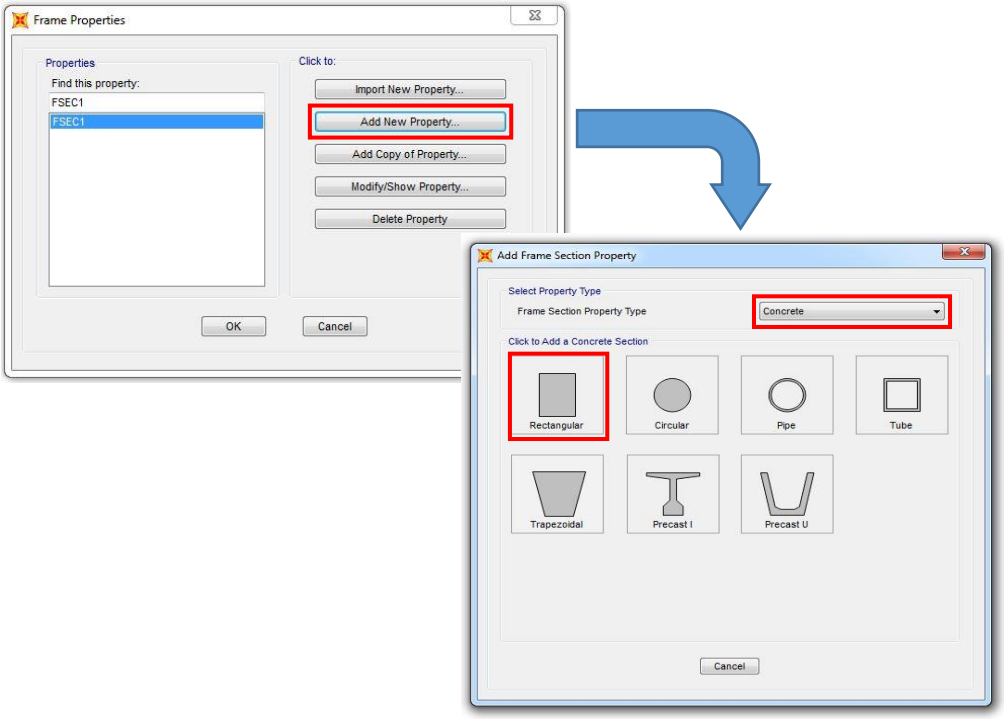
Gambar 4-12 Penampang kolom rencana

Sumber: Dokumentasi Pribadi



Gambar 4-13 Pemodelan penampang kolom tahap 1

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

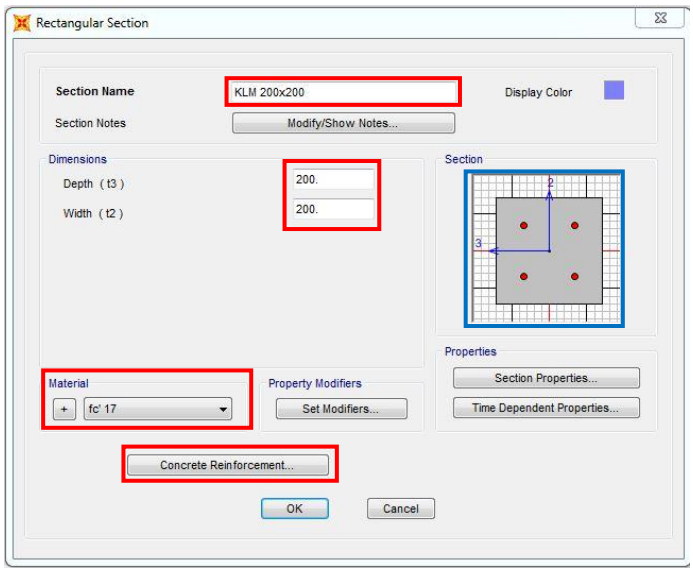


Gambar 4-14 Pemodelan penampang kolom tahap 2

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

Pada tahapan ke 2, membuat penampang baru dengan cara klik:

- ***Add New Property.***
- ***Frame Section Property Type – Concrete***
- ***Rectangular***



Gambar 4-15 Pemodelan penampang kolom tahap 3

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

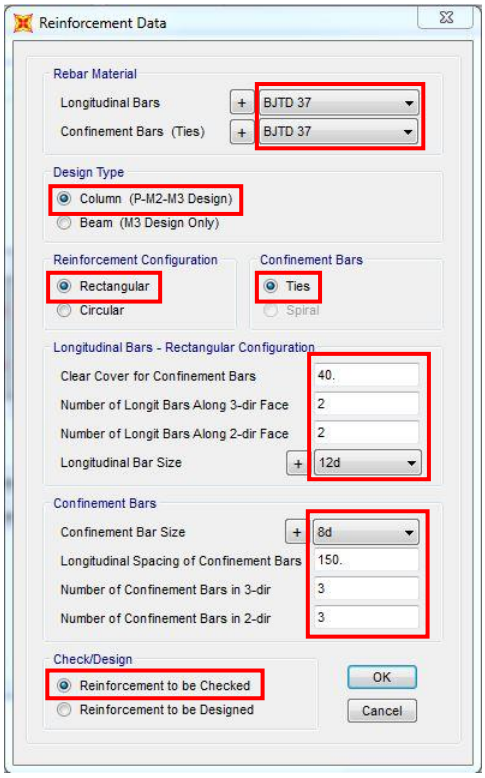
Tahapan ke 3 merupakan tahapan input penampang kolom persegi. Tahapan yang dilakukan adalah:

- ***Section Name*** (Nama untuk penampang kolom) → Kolom 200×200
- ***Deptth (t3)*** (Lebar penampang arah X) → 200 mm.
- ***Deptth (t2)*** (Lebar penampang arah Y) → 200 mm.
- ***Material*** (Mutu beton yang akan didesain) → fc'17

Tahapan ke 4 merupakan tahapan input tulangan dan tebal selimut beton. Tahapan yang dilakukan adalah:

- ***Rectangular Section – Concrete Reinforcement***
- ***Longitudinal Bars*** (Mutu tulangan longitudinal yang dipakai) → BJTD 37
- ***Confinement Bars*** (Mutu tulangan sengkang yang dipakai) → BJTD 37
- ***Design Type → Column (P-M2-M3 Design)***
- ***Reinforcement Configuration*** (Penampang kolom persegi) → ***Rectangular***
- ***Clear Cover for Confinement Bars*** (Tebal selimut beton) → 40 mm.

- ***Number of Longit Bars Along 3-dir Face*** (jumlah tulangan longitudinal arah X) → 2
- ***Number of Longit Bars Along 2-dir Face*** (jumlah tulangan longitudinal arah Y) → 2
- ***Longitudinal Bar Size*** (Diameter tulangan longitudinal yang dipakai) → 12d
- ***Confinement Bar Size*** (Diameter tulangan sengkang yang dipakai) → 8d
- ***Longitudinal Spacing of Confinement Bars*** (Jarak antar tulangan sengkang) → 150 mm.
- ***Check/Design → Reinforcement to be Designed → OK.***



Gambar 4-16 Pemodelan penampang kolom tahap 4

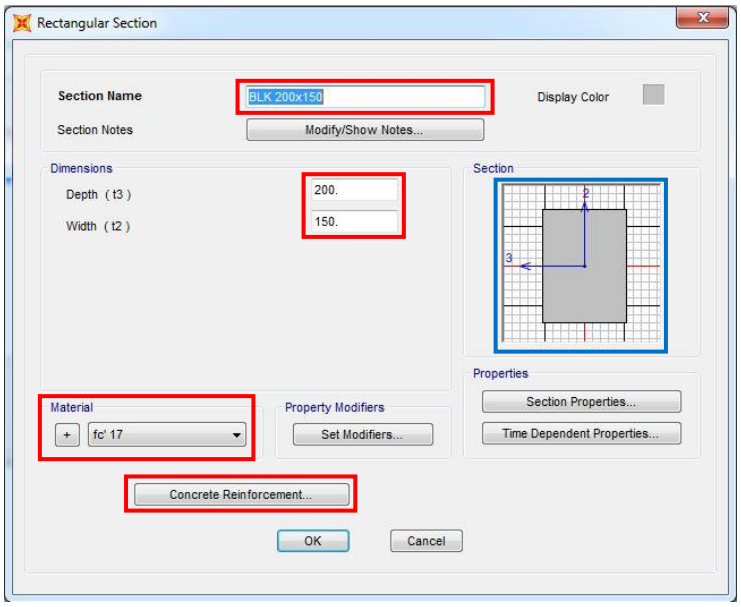
Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

4.2.3.2 Input Penampang Balok

Untuk input penampang untuk balok, tahapan awalnya masih sama seperti pada input penampang kolom menggunakan menu:

- ***Define – Section Properties – Frame Sections.***
- ***Frame Properties – Add New Property.***

- ***Add Frame Section Property – Frame Section Property Type – Concrete – Rectangular.***



Gambar 4-17 Pemodelan penampang balok tahap 3

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

Tahapan ke 3 merupakan tahapan input penampang balok. Tahapan yang dilakukan adalah:

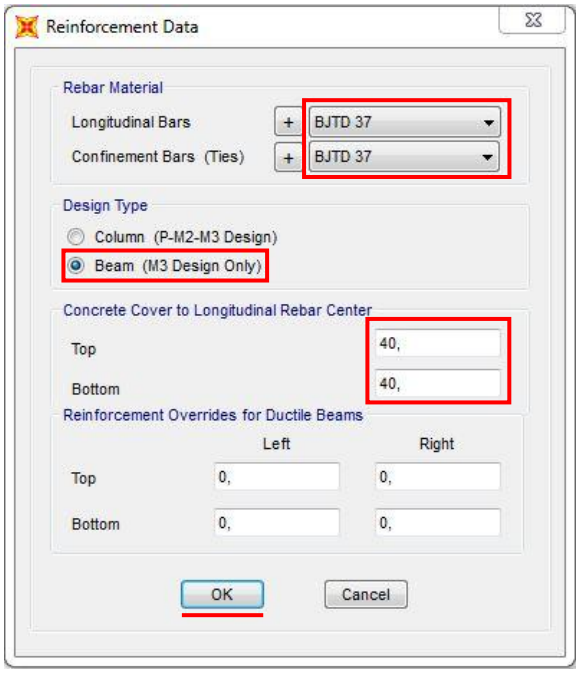
- ***Section Name*** (Nama untuk penampang kolom) → Balok 200×150
- ***Deptth (t3)*** (Lebar penampang arah X) → 200 mm.
- ***Deptth (t2)*** (Lebar penampang arah Y) → 150 mm.
- ***Material*** (Mutu beton yang akan didesain) → fc'17

Pada tahapan ke 4 penampang balok ini berbeda dengan tahapan ke 4 pada penampang kolom. Pada tahapan ini, program SAP2000 tidak menyediakan menu interface untuk jumlah dan diameter tulangan seperti pada kolom. Dan hanya menyediakan menu untuk menentukan mutu tulangan dan tebal selimut beton untuk baloknya saja. Berikut tahapannya:

- ***Rectangular Section – Concrete Reinforcement***
- ***Longitudinal Bars*** (Mutu tulangan longitudinal yang dipakai) → BJTD 37
- ***Confinement Bars*** (Mutu tulangan sengkang yang dipakai) → BJTD 37
- ***Design Type → Beam (M3 Design Only)***
- ***Concrete Cover to Longitudinal Rebar Center*** (Tebal selimut beton) →

Top : 40 mm.

Bottom : 40 mm.

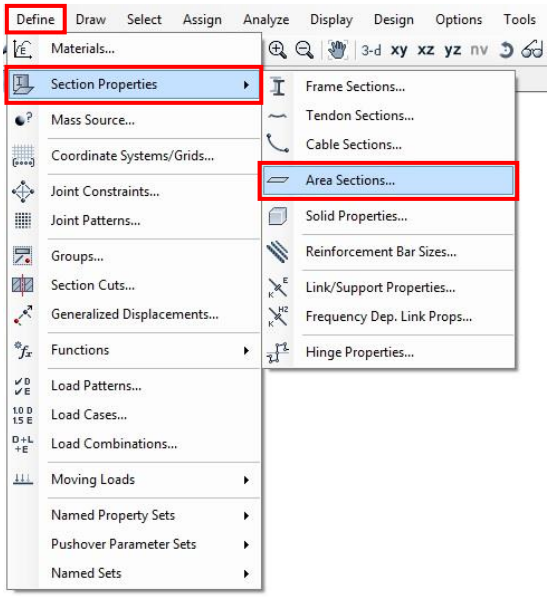


Gambar 4-18 Pemodelan penampang balok tahap 4

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

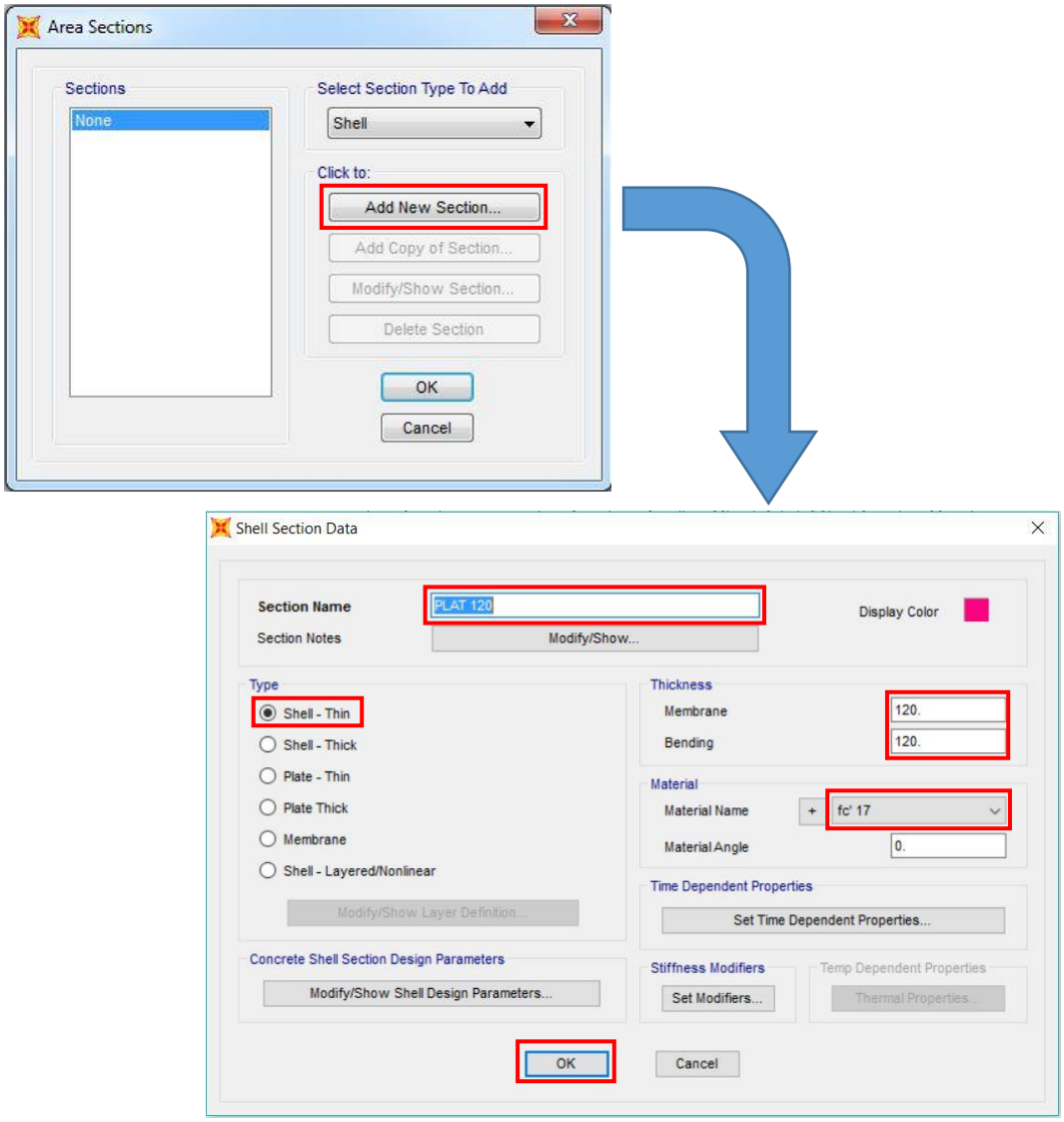
4.2.3.3 Input Plat Lantai

Berikut adalah tahapan untuk membuat penampang plat lantai pada program SAP2000:



Gambar 4-19 Pemodelan plat lantai tahap 1

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

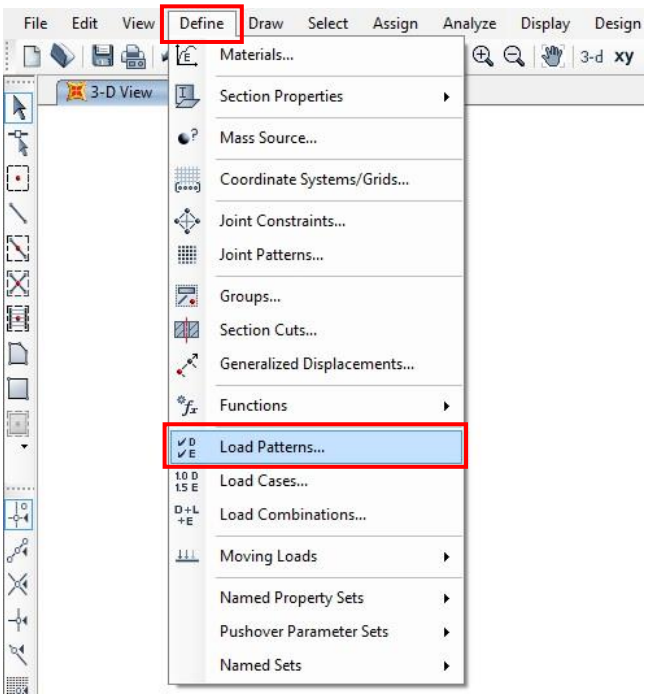


Gambar 4-20 Pemodelan plat lantai tahap 2

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

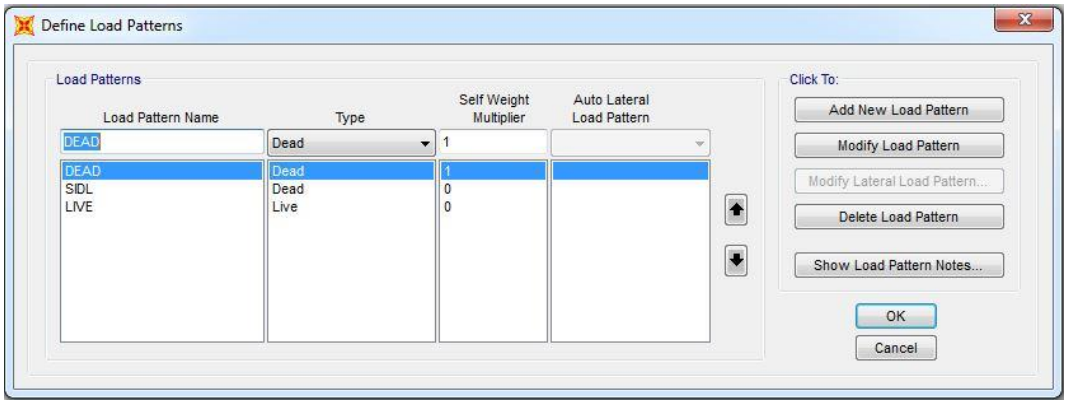
4.2.4 Input Kombinasi Beban

Sebelum mendistribusikan beban-beban yang bekerja pada elemen struktur, dilakukan terlebih dahulu input distribusi pembebenan pada program SAP2000 guna membedakan beban mati dan beban hidup yang akan dihitung dengan cara masuk pada menu ***Define – Load Patterns*** seperti pada gambar berikut:



Gambar 4-21 Input distribusi pembebanan tahap 1

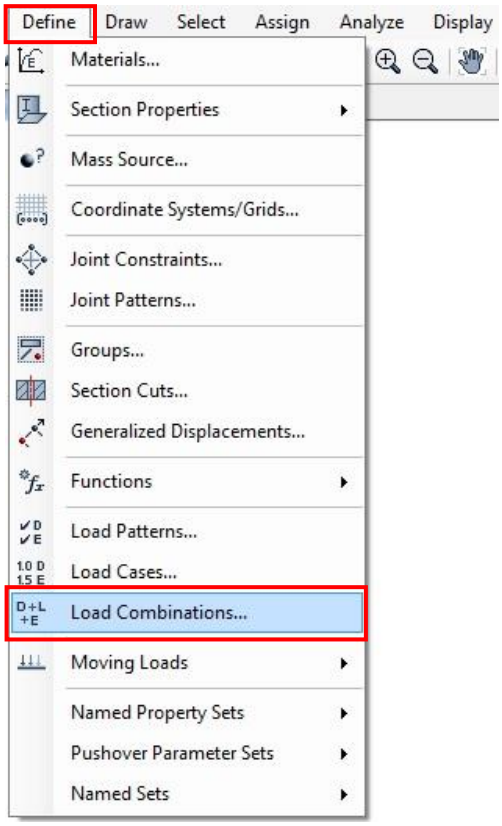
Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0



Gambar 4-22 Input distribusi pembebanan tahap 2

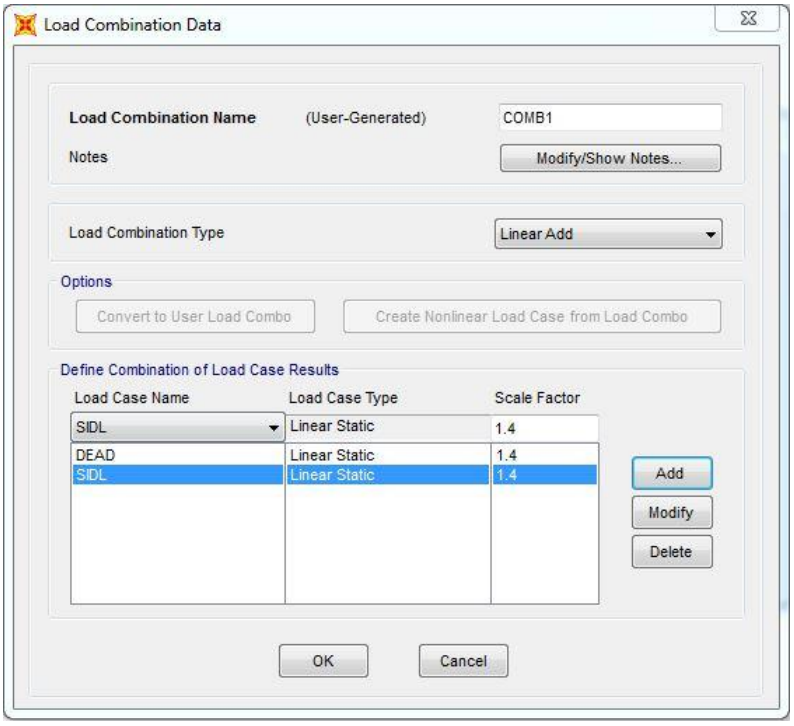
Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

Setelah itu, proses selanjutnya adalah mengkombinasikan nilai beban yang bekerja pada elemen struktur dengan angka kombinasi pembebenan sesuai dengan SNI 03-2847-2002. Untuk menginput kombinasi pembebanan pada program SAP2000 dilakukan pada menu ***Define – Load Combinations.*** Berikut adalah tahapan-tahapannya:



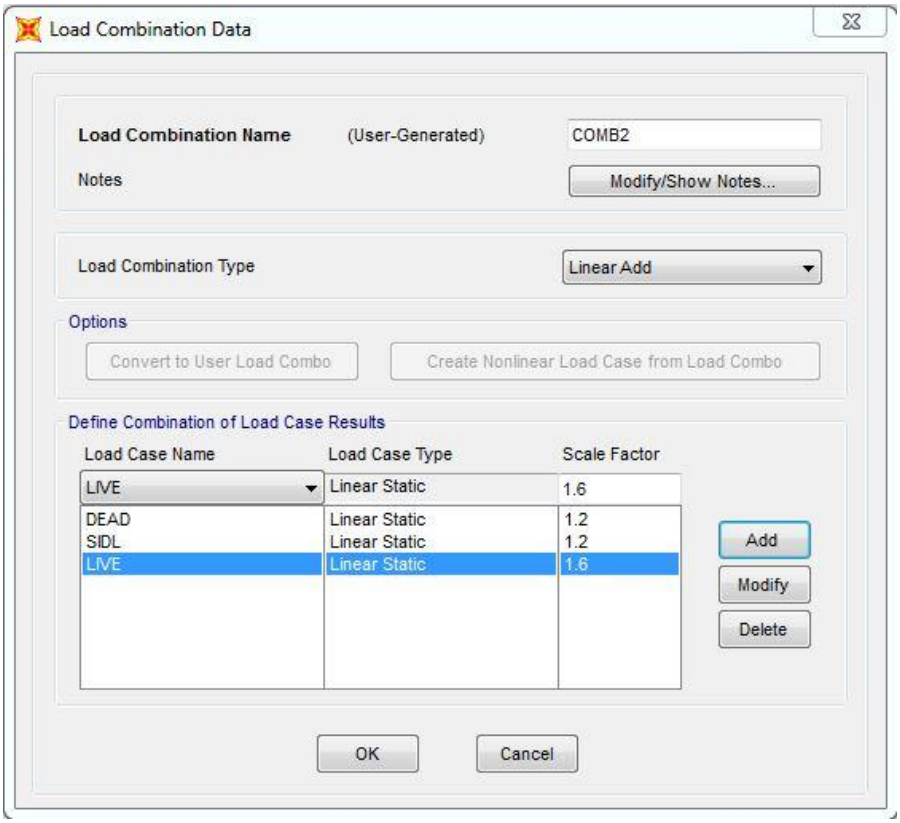
Gambar 4-23 Input Kombinasi Pembebanan tahap 1

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0



Gambar 4-24 Input Kombinasi Pembebanan tahap 2

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

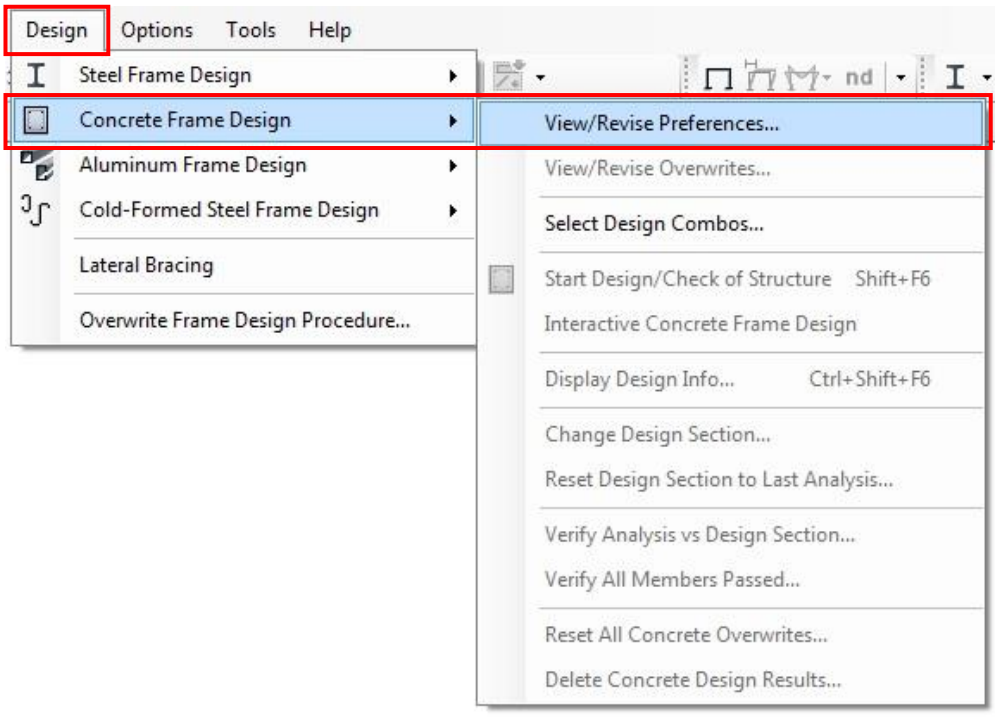


Gambar 4-25 Input Kombinasi Pembebanan tahap 3

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

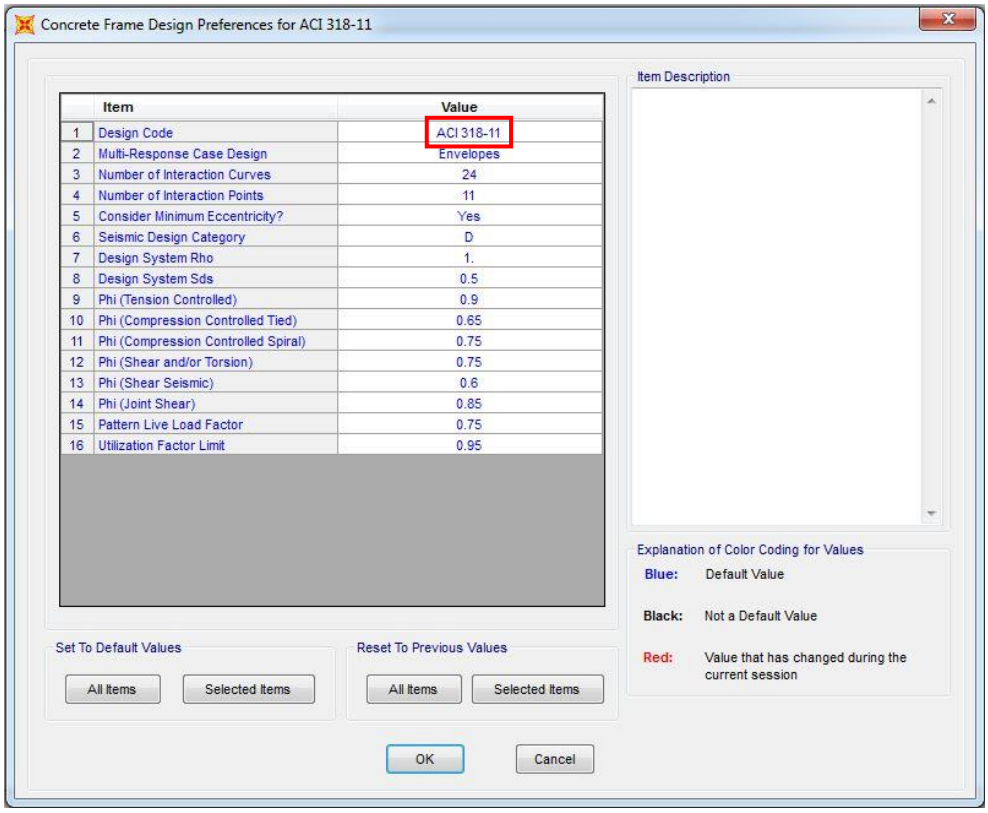
4.2.5 Pemilihan Standar Perhitungan

Pada tahapan ini, perhitungan struktur beton bertulang menggunakan program SAP2000 mengacu pada standar *Building Code Requirements for Structural Concrete* atau (ACI 318-11). Untuk mengatur standar *code* tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan menu ***Design – Concrete Frame Design – View/Revise Preferences.***



Gambar 4-26 Standar Perhitungan tahap 1

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0



Gambar 4-27 Standar Perhitungan tahap 2

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

4.2.6 Input Beban

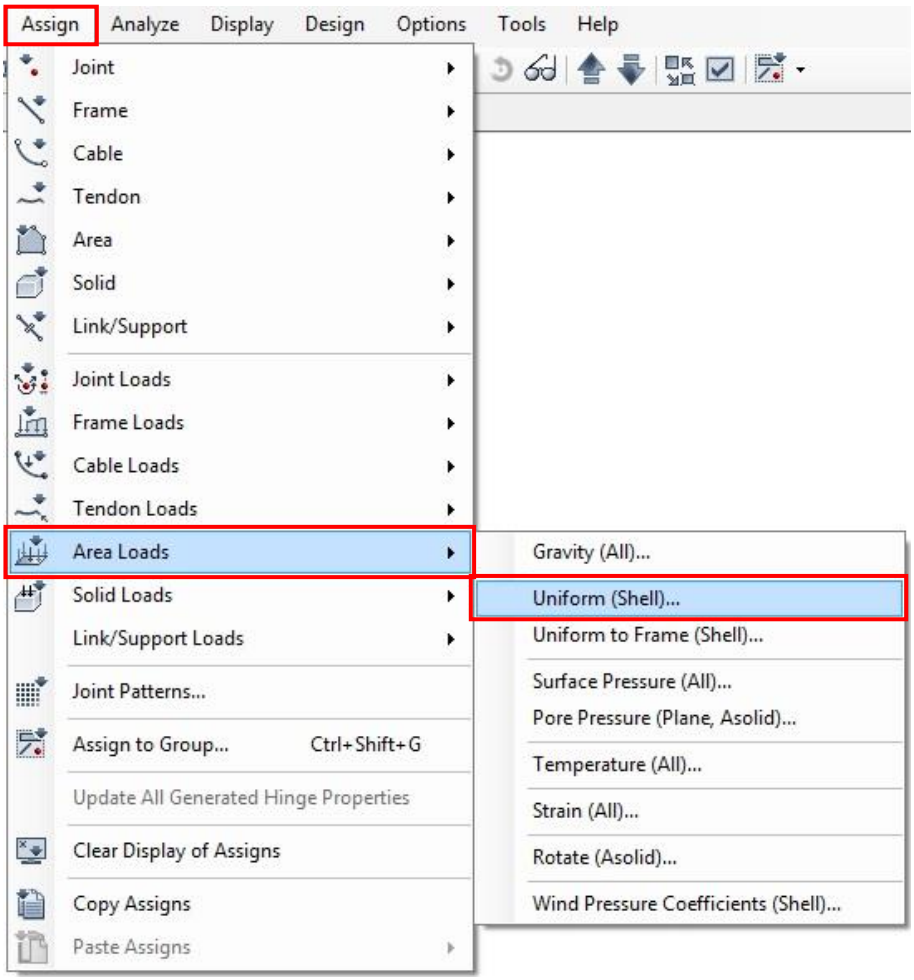
Dalam proses ini, berat sendiri kolom dan balok *(selfweight multiplier)* dihitung secara otomatis oleh program SAP2000. Sementara itu, jenis beban yang akan dihitung secara manual adalah Beban Mati (DL), Beban Mati Tambahan (SIDL), Beban Hidup (LL). Berikut adalah perhitungan beban secara manual:

- **Plat Lantai**
  - Beban Mati:

    Berat Sendiri Plat = Tebal plat × Bj Beton Bertulang
    = (0,12 × 2400)
    = 288 kg/m^2

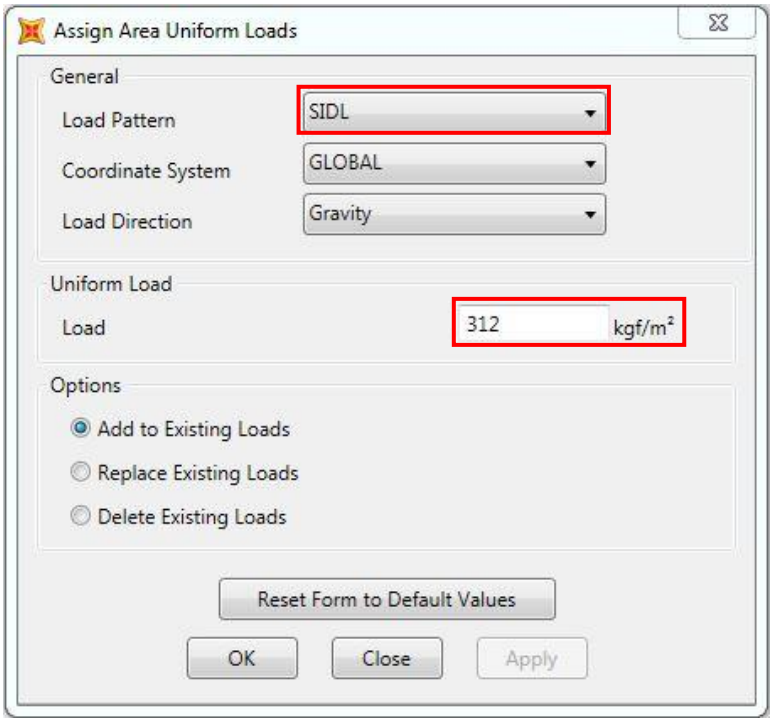
    Penutup lantai = 24 kg/m^2

    TOTAL = 312 Kg/m^2



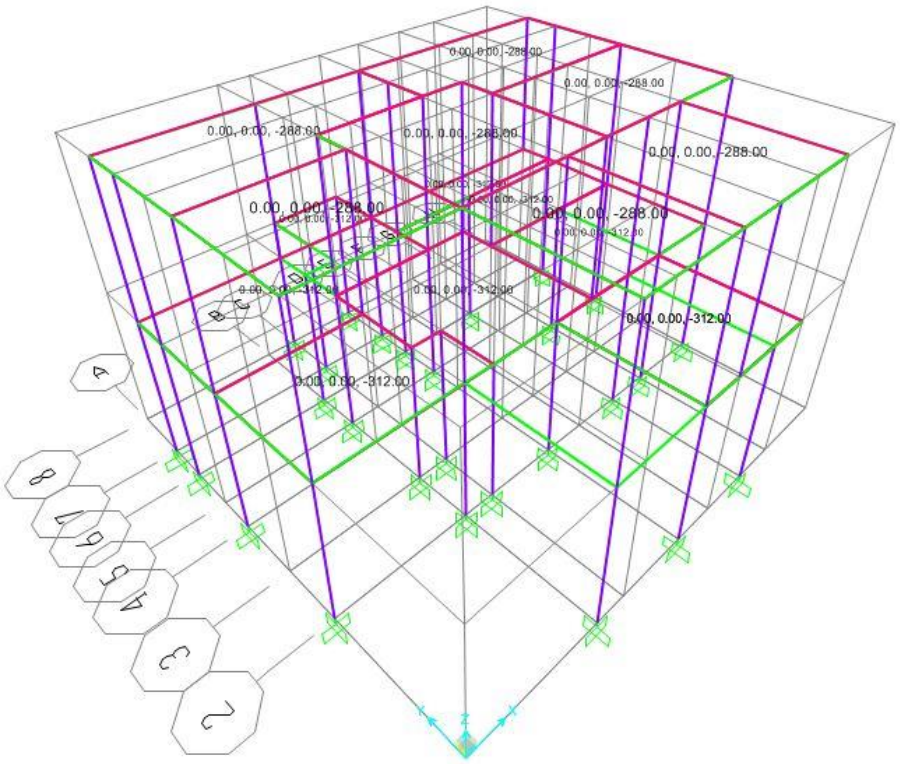
Gambar 4-28 Distribusi Beban Mati plat lantai tahap 1

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0



Gambar 4-29 Distribusi Beban Mati plat lantai tahap 2

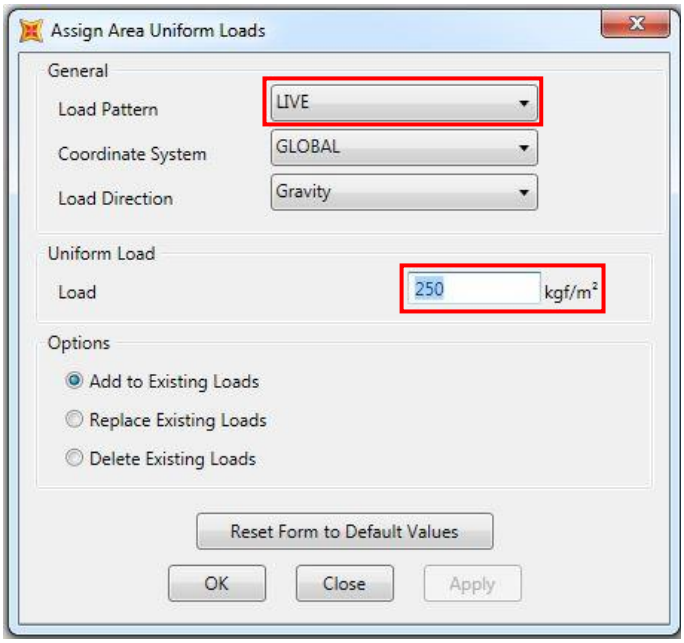
Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0



Gambar 4-30 Distribusi Beban Mati plat lantai

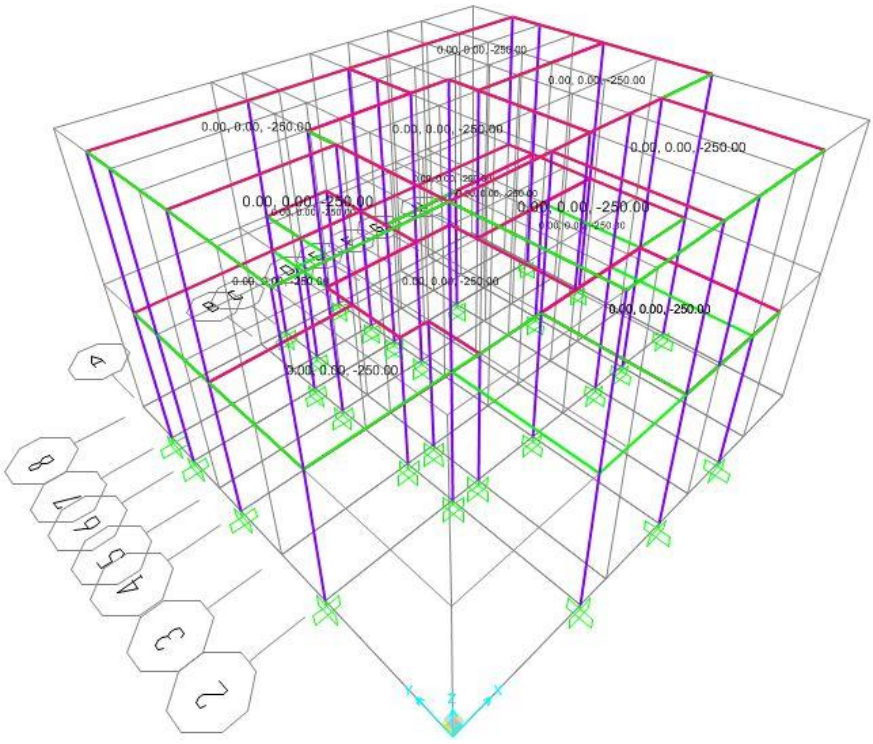
Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

- Beban Hidup (Lt 1): = 250 kg/m^2
- Beban Hidup (Atap) = 250 kg/m^2



Gambar 4-31 Distribusi Beban Hidup Pada Lantai

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0



Gambar 4-32 Distribusi beban hidup Plat lantai dan Atap

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

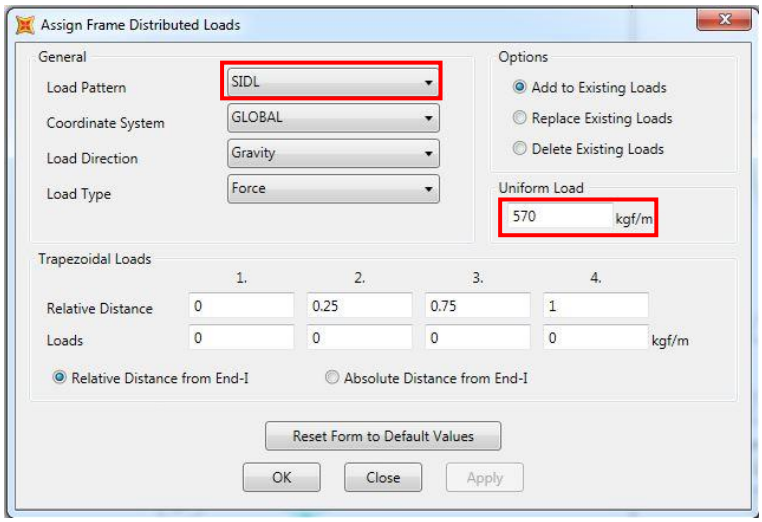
- **Dinding Hebel**

  Dalam proses ini akan menghitung berat beban mati tambahan dinding. Beban dinding bersifat merata pada *frame* balok. Untuk melakukan pendistribusian beban secara pada program SAP2000 dilakukan pada menu ***Assign – Frame Loads – Distributed.***

  Beban Dinding = Berat jenis dinding hebel × tinggi

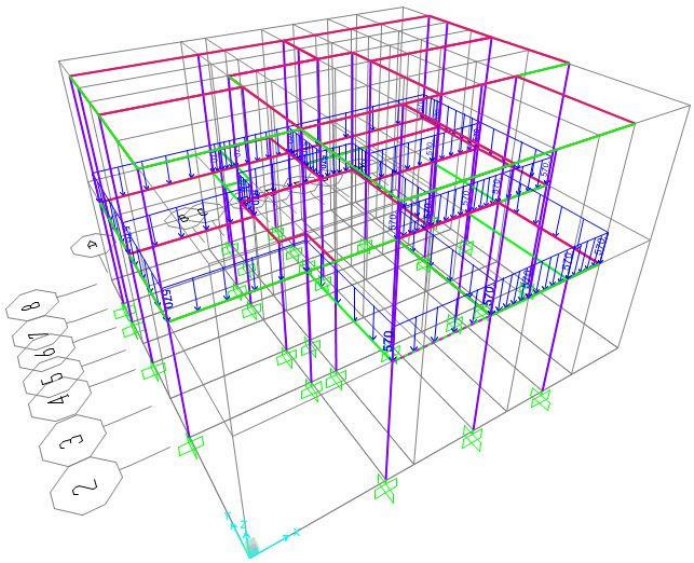
  = 150 × 3,8

  = **570 kg/m²**



Gambar 4-33 Distribusi beban dinding tahap 1

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

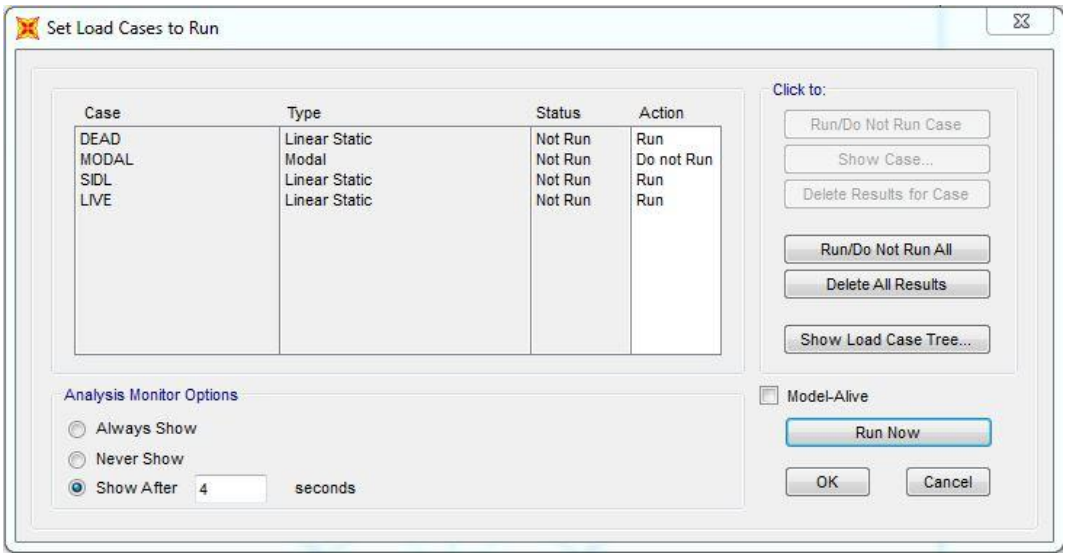


Gambar 4-34 Distribusi beban mati dinding hebel

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

4.2.7 Run Analysis

Run analysis merupakan proses perhitungan yang dilakukan oleh program SAP2000 terhadap tahapan-tahapan input yang dilakukan sebelumnya seperti input data material, input data penampang, input kombinasi beban dan distribusi pembebanan.



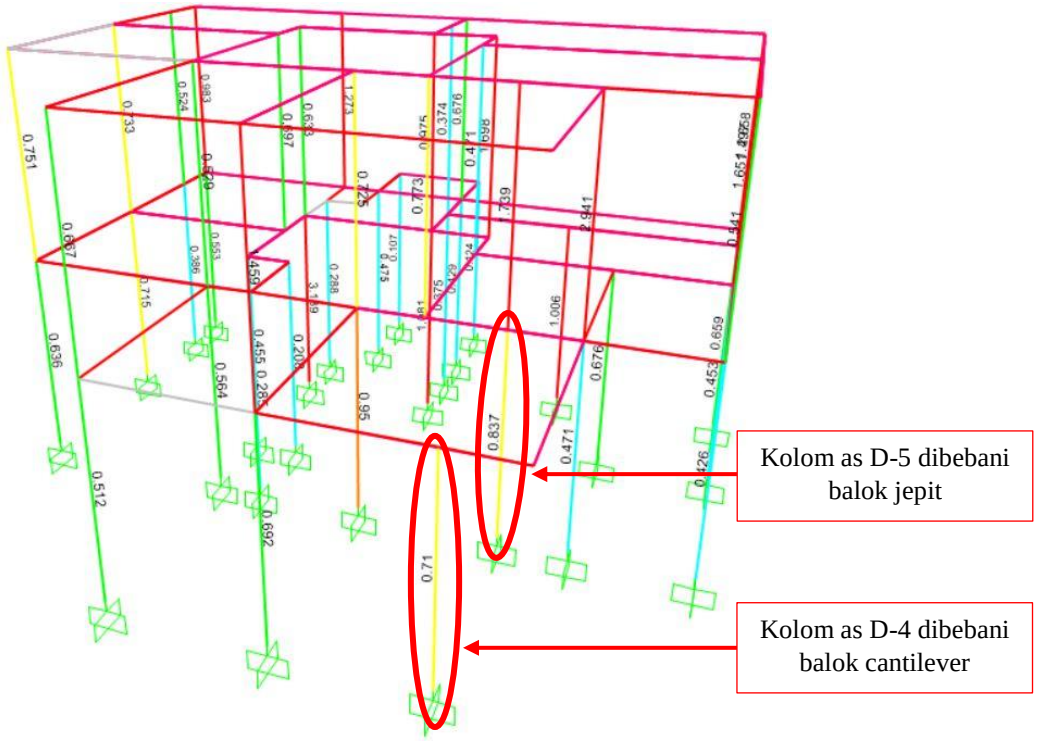
Gambar 4-35 Run Analysis SAP2000

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

4.2.8 Output Perhitungan

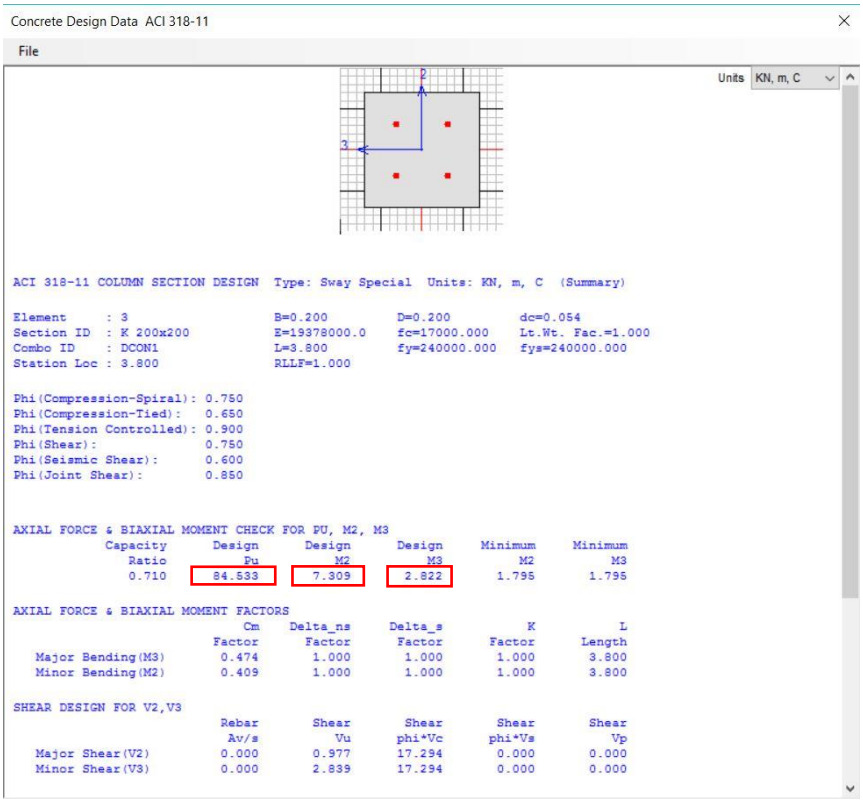
Output dari program SAP2000 yang ditinjau adalah gaya dalam yang bekerja pada penampang kolom berupa gaya aksial terfaktor (P_u), momen lentur terfaktor akibat arah X (Mu_x) dan momen lentur terfaktor akibat arah Y (Mu_y).

Untuk mengetahui angka-angka tersebut, penulis mengambil contoh salah satu elemen kolom yang akan ditinjau tegangannya dari struktur elemen keseluruhan yang telah dianalisis. Kolom tersebut berada pada AS D-4 berupa kolom yang dibebani balok cantilever dan pada AS D-5 berupa kolom yang dibebani balok dengan tumpuan jepit biasa.



Gambar 4-36 Elemen kolom yang ditinjau

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0



Concrete Design Data ACI 318-11

File

Units KN, m, C

ACI 318-11 COLUMN SECTION DESIGN Type: Sway Special Units: KN, m, C (Summary)

Element : 3	B=0.200	D=0.200	dc=0.054
Section ID : K 200x200	E=19378000.0	fc=17000.000	Lt.Wt. Fac.=1.000
Combo ID : DCON1	L=3.800	fy=240000.000	fys=240000.000
Station Loc : 3.800	RLLF=1.000		

Phi(Compression-Spiral):	0.750
Phi(Compression-Tied):	0.650
Phi(Tension Controlled):	0.900
Phi(Shear):	0.750
Phi(Seismic Shear):	0.600
Phi(Joint Shear):	0.850

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT CHECK FOR PU, M2, M3

Capacity Ratio	Design Pu	Design M2	Design M3	Minimum M2	Minimum M3
0.710	84.533	7.309	2.822	1.795	1.795

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT FACTORS

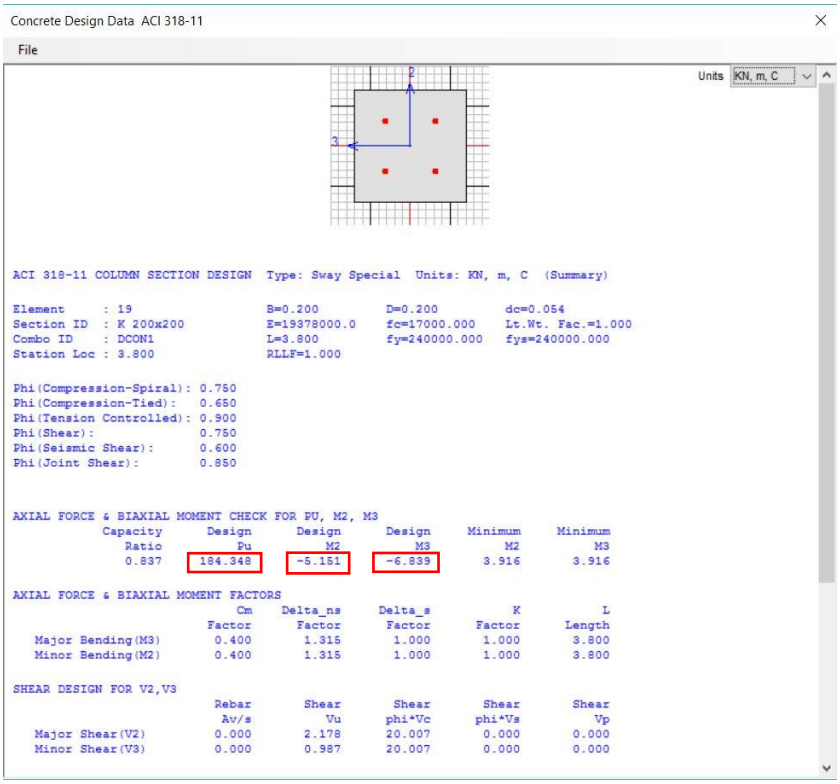
	Cm Factor	Delta_ns Factor	Delta_s Factor	K Factor	L Length
Major Bending(M3)	0.474	1.000	1.000	1.000	3.800
Minor Bending(M2)	0.409	1.000	1.000	1.000	3.800

SHEAR DESIGN FOR V2,V3

	Rebar Av/s	Shear Vu	Shear phi*Vc	Shear phi*Vs	Shear Vp
Major Shear(V2)	0.000	0.977	17.294	0.000	0.000
Minor Shear(V3)	0.000	2.839	17.294	0.000	0.000

Gambar 4-37 Nilai gaya dalam (P_u dan M_u) kolom di as D-4

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0



Gambar 4-38 Nilai gaya dalam (Pu dan Mu) kolom di as D-5

Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0

Table 4-1 Output gaya dalam kolom as D-4

Kolom as D-4		
P_u (kN/m)	**M_{ux} (kN/m)**	**M_{uy} (kN/m)**
84,533	7,309	2,822

Table 4-2 Output gaya dalam kolom as D-5

Kolom as D-5		
P_u (kN/m)	**M_{ux} (kN/m)**	**M_{uy} (kN/m)**
184,348	-5,151	-6,839

Selanjutnya nilai-nilai tersebut yang akan menjadi inputan pada program *SP Column* agar diketahui Diagram Interaksinya untuk dianalisis guna membuktikan bahwa kapasitas penampang kolom yang berupa kuat aksial perlu (P_u) dan momen lentur perlu (M_u) ada di dalam diagram kuat rencana kolom atau di luar diagram interaksi kolom.

4.3 Cek Kapasitas Penampang Kolom Dengan Program SP Column v4.81

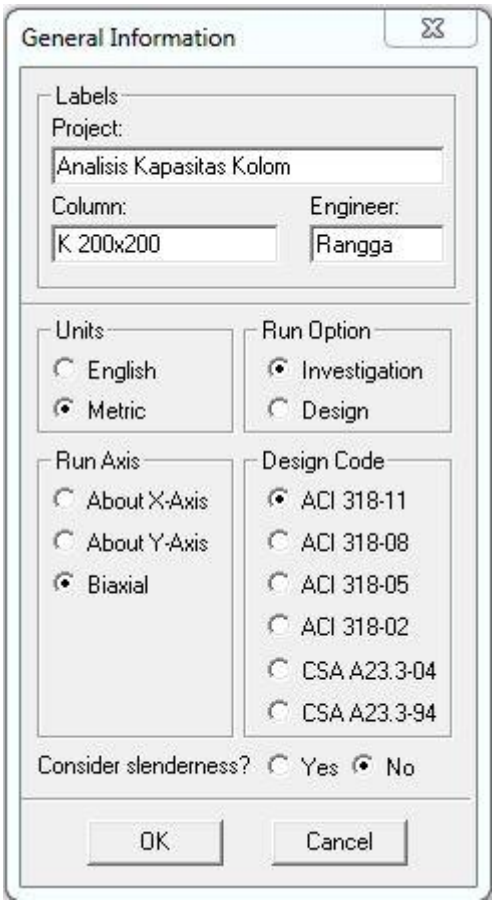
Pada proses ini, dilakukan evaluasi terhadap penampang kolom yang sudah dianalisis sebelumnya oleh program SAP2000. Hasil perhitungan dari program SAP2000 yang berupa gaya akibat beban aksial terfaktor (P_u), momen lentur akibat arah X (M_{ux}) dan momen lentur akibat arah Y (M_{uy}) akan menjadi nilai yang dibutuhkan dalam proses input program *SP Column*. Kombinasi nilai gaya dalam tadi akan dibuat Diagram Interaksi kapasitas kolom yang dianalisis.

Berikut adalah tahapan-tahapan yang akan ditempuh selama melakukan evaluasi kapasitas penampang kolom bujur sangkar berdimensi 200×200 mm pada program *SP Column v4.81*.

4.3.1 Input General Information

Tahapan ini merupakan proses skema awal untuk mengevaluasi kapasitas penampang kolom. Pada menu ***General information*** menampilkan:

- Nama Proyek = Analisis Kapasitas Kolom
- Nama kolom = Kolom bujur sangkar (200×200)
- Nama Engineer = Rangga
- Satuan yang digunakan = Metric (mm, MPa, kN, kNm)
- Arah pembebanan yang ditinjau = Biaksial
- Peraturan yang digunakan *(code)* = ACI 318-11



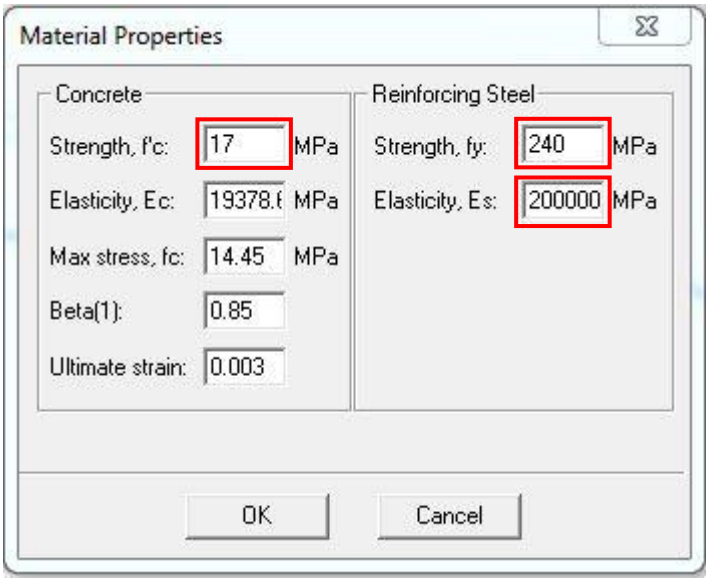
Gambar 4-39 Input General Information

Sumber: Program SP Column v4.81

4.3.2 Input Material Property

Data yang diperlukan pada proses input material diperoleh dari data yang disajikan sebelumnya pada program SAP2000. Berupa:

- Mutu beton (fc) = fc’ 17
- Kuat leleh baja tulangan (fy) = 240 MPa
- Modulus elastisitas baja (Es) = 200000 MPa

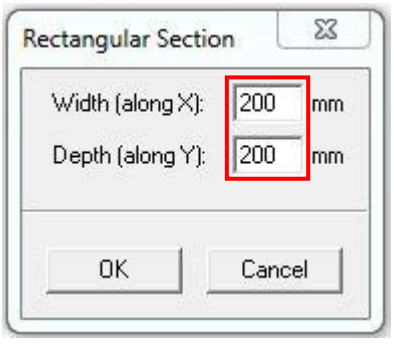


Gambar 4-40 Input Material Property

Sumber: Program SP Column v4.81

4.3.3 Input Section

Dalam proses ini adalah input dimensi penampang kolom yang akan dievaluasi. Yaitu kolom bujur sangkar 200×200 mm. Untuk melakukan input penampang persegi dilakukan pada menu ***Input – Section – Rectangular.***

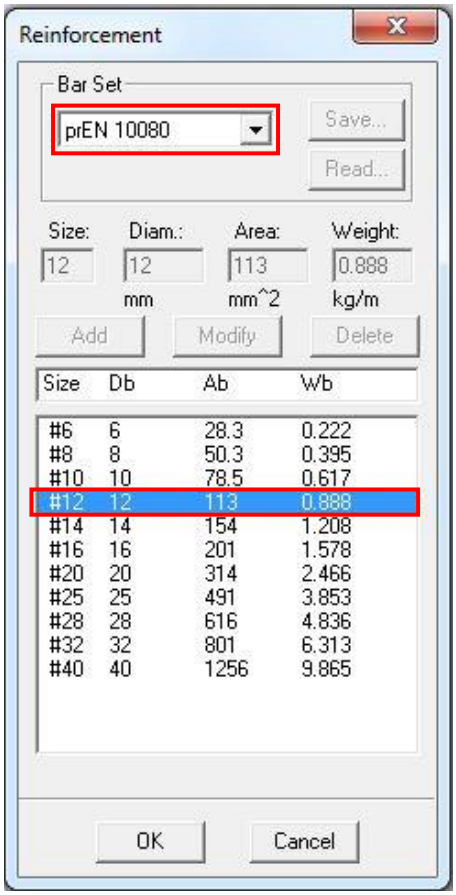


Gambar 4-41 Input Dimensi Penampang Kolom 200x200 mm

Sumber: Program SP Column v4.81

4.3.4 Input Data Tulangan (Reinforcement)

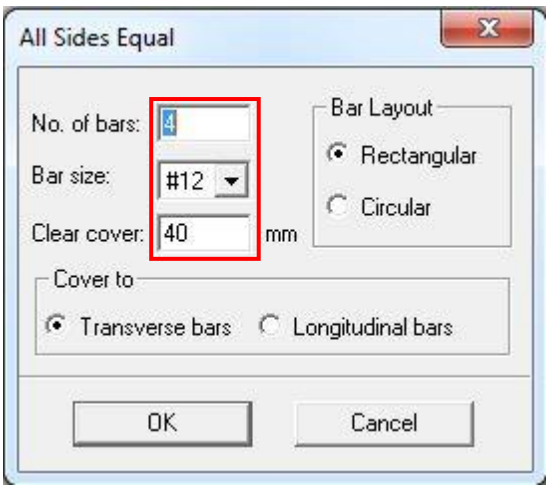
Dalam proses ini dilakukan input data tulangan yang akan digunakan pada penampang kolom yang akan dianalisis. Sebelumnya, pilih *Bar Set* yang akan digunakan untuk memilih jenis tulangan yang sesuai dengan diameter tulangannya pada menu ***Options – Reinforcement***.



Gambar 4-42 Bar Set (prEN 10080)

Sumber: Program SP Column v4.81

Setelah itu, input data tulangan pada menu ***Input – Reinforcement – All Sides Equal.*** Karena bentuk kolom yang persegi dan tulangannya terdistribusi merata di setiap sisi.



Gambar 4-43 Input data tulangan dan tebal selimut beton

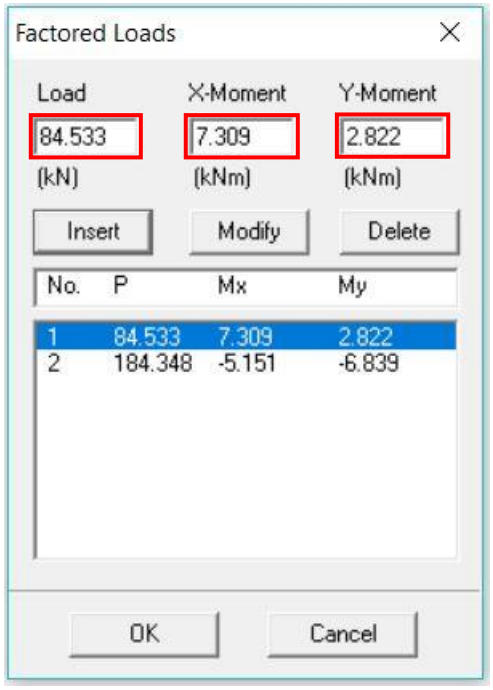
Sumber: Program SP Column v4.81

4.3.5 Input Pembebanan (Load)

Pada tahapan ini, input beban dilakukan pada menu ***Input – Loads – Factored.*** data yang dimasukan berasal dari data analisis yang dihasilkan oleh program SAP2000 berupa nilai P_u, M_{ux} dan M_{uy} dari masing-masing kolom yang ditinjau seperti terlihat pada tabel berikut:

Kolom as D-4		
P_u (kN/m)	**M_{ux} (kN/m)**	**M_{uy} (kN/m)**
84,533	7,309	2,822

Input beban (*load*) kolom di as D-4:

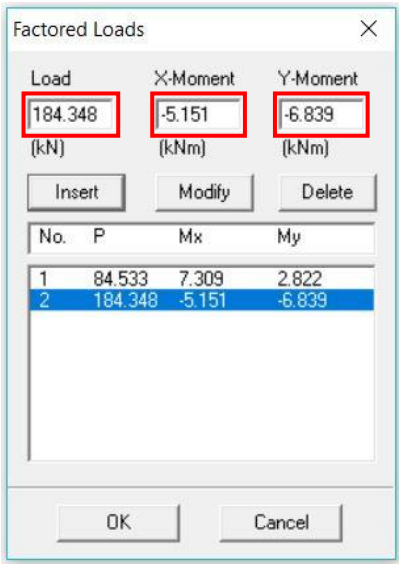


Gambar 4-44 Input Beban pada kolom as D-4

Sumber: Program SP Column v4.81

Kolom as D-5		
P_u (kN/m)	**M_{ux} (kN/m)**	**M_{uy} (kN/m)**
184,348	-5,151	-6,839

Input beban (*load*) kolom di as D-5:

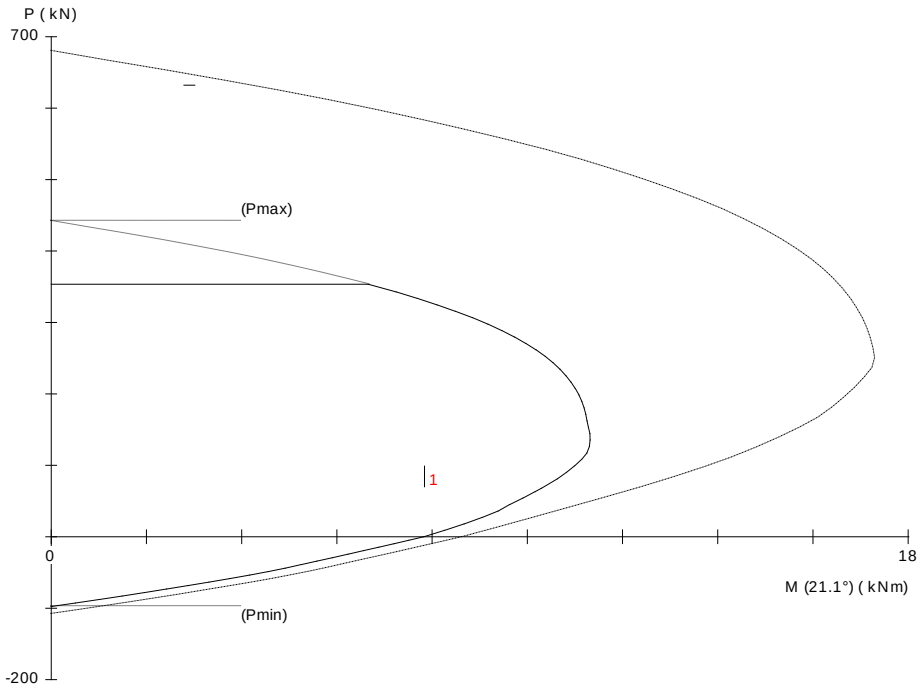


Gambar 4-45 Input Beban pada kolom as D-5

Sumber: Program SP Column v4.81

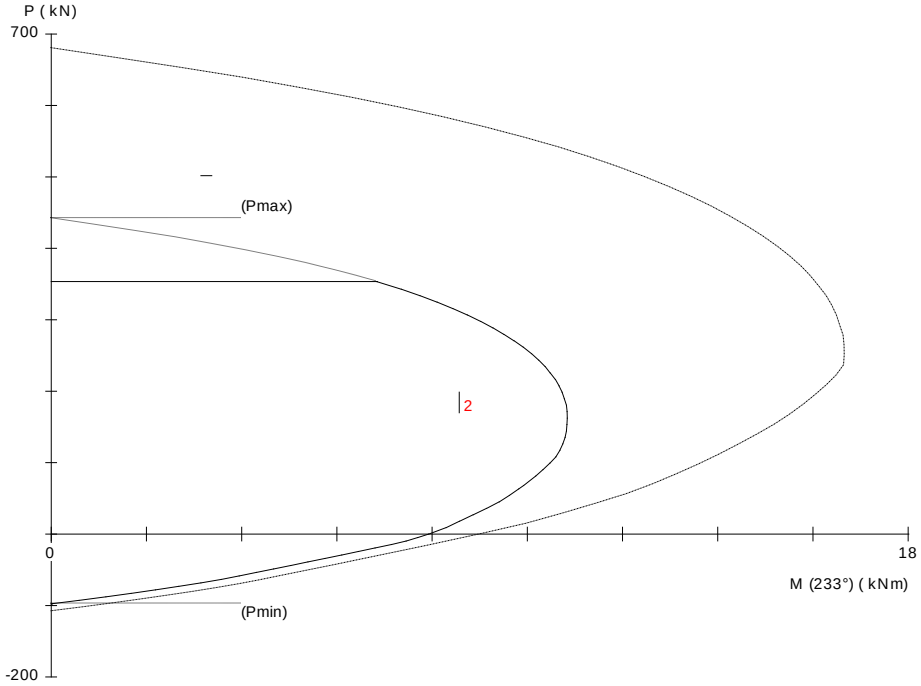
4.3.6 Run Program

Proses ini merupakan eksekusi dari hasil inputan yang dilakukan sebelumnya. Hasilnya berupa diagram interaksi dari penampang kolom bujur sangkar 200×200 mm. Proses *Runing* dilakukan pada menu ***Solve – Execute (F5).***



Gambar 4-46 Diagram Interaksi kolom 200x200 mm di as D-4

Sumber: Program SP Column v4.81



Gambar 4-47 Diagram Interaksi kolom 200x200 mm di as D-5

Sumber: Program SP Column v4.81

Dimana:

– – – – –	= Kekuatan Nominal
———	= Kekuatan Rencana
$+_1$	= Beban Terfaktor (P_u, M_u) kolom as D-4
$+_2$	= Beban Terfaktor (P_u, M_u) kolom as D-5

Dari hasil analisis menggunakan Program *SP Column* seperti yang tergambar pada Gambar 4-45 dan Gambar 4-46 di atas menunjukan bahwa titik potong kombinasi beban aksial terfaktor (P_u) dan momen lentur terfaktor (M_u) dari kolom yang ditinjau yaitu kolom di as D-4 dan kolom di as D-5 berada di dalam Diagram Interaksi kuat rencana. Dan berikut adalah output dari hasil analisis yang dilakukan program *Sp Column.* Nilai yang digunakan untuk membandingkan hasil analisis program SP Column dan perhitungan manual dipilih momen nominal (M_n) yang paling besar pada masing-masing kolom yang ditinjau. Berikut data-datanya:

```
General Information:
====================
  File Name: D:\Kuliah\SKRIPSI RANGGA WIRACHMA. ST\#1 T-A\SP COLUMN\Kolom 200x200 final.col
  Project:  Analisis Kapasitas Kolom
  Column:   K 200x200                    Engineer: Rangga
  Code:     ACI 318-11                   Units: Metric

  Run Option: Investigation              Slenderness: Not considered
  Run Axis:   Biaxial                    Column Type: Structural

Material Properties:
====================
  f'c   = 17 MPa                         fy   = 240 MPa
  Ec    = 19378.6 MPa                    Es   = 200000 MPa
  Ultimate strain = 0.003 mm/mm
  Beta1 = 0.85

Section:
========
  Rectangular: Width = 200 mm            Depth = 200 mm

  Gross section area, Ag =  40000 mm^2
  Ix =  1.33333e+008 mm^4                Iy =  1.33333e+008 mm^4
  rx =  57.735 mm                        ry =  57.735 mm
  Xo =  0 mm                             Yo =  0 mm

Reinforcement:
==============
  Bar Set: prEN 10080
  Size Diam (mm) Area (mm^2)   Size Diam (mm) Area (mm^2)   Size Diam (mm) Area (mm^2)
  ---- --------- -----------   ---- --------- -----------   ---- --------- -----------
  #  6         6          28   #  8         8          50   # 10        10          79
  # 12        12         113   # 14        14         154   # 16        16         201
  # 20        20         314   # 25        25         491   # 28        28         616
  # 32        32         801   # 40        40        1256

  Confinement: Tied; #8 ties with #8 bars,  #8 with larger bars.
  phi(a) = 0.8,  phi(b) = 0.9,  phi(c) = 0.65

  Layout: Rectangular
  Pattern: All Sides Equal  (Cover to transverse reinforcement)
  Total steel area: As = 452 mm^2 at rho = 1.13%
  Minimum clear spacing = 80 mm

  4 #12   Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:
=========================================================
              Pu         Mux         Muy      PhiMnx      PhiMny PhiMn/Mu NA depth Dt depth     eps_t     Phi
  No.         kN         kNm         kNm         kNm         kNm                 mm       mm
  --- ---------- ----------- ----------- ----------- ----------- -------- -------- -------- --------- ------
    1      84.53        7.31        2.82        9.98        3.85    1.365      102      191   0.00261  0.743
    2     184.35       -5.15       -6.84       -6.50       -8.63    1.261      158      206   0.00091  0.650

  *** End of output ***
```

Gambar 4-48 Tabel data output program SP Column.

Sumber: Program SP Column v4.81

4.4 Cek Validasi Secara Manual

Untuk mengetahui validasi dari hasil analisis program *SP Column v4.81* secara teoritis, penulis melakukan verifikasi perhitungan perencanaan struktur elemen kolom secara manual yang mengacu pada SNI 03-2847-2002.

Data penampang:

- Kuat tekan beton f_c' = 17 MPa
- Tegangan leleh baja f_y = 240 MPa
- Lebar kolom b = 200 mm
- Tinggi kolom h = 200 mm
- Tebal brutto selimut beton d_s = 40 mm

- Jarak antar tulangan d = 160 mm
- Diameter tulangan D = 12 mm
- Jumlah tulangan n = 4 buah
- Modulus elastisitas baja E_s = 200000 MPa

Hitung luas brutto penampang kolom (A_g):

$\mathbf{A_g}$ = b.h

= 200.200

= **40000 mm²**

Hitung regangan baja tulangan:

$\boldsymbol{\varepsilon_y}$ = f_y/E_s

= 240/200000

= **$1{,}2 \times 10^{-3}$**

Hitung luas masing-masing tulangan (A_s):

$\mathbf{A_{s1}} = \mathbf{A_{s2}}$ = $2.(1/4).\pi.D^2$

= $2.(1/4).3{,}14.12^2$ = **226,08 mm²**

Hitung luas tulangan total (A_{st}):

$\mathbf{A_{st}}$ = $A_{s1} + A_{s2}$

= 226,08 + 226,08 = **452,16 mm²**

Rasio tulangan (**rho**) = A_{st} / A_g

= 452,16 / 40000

= 0,011304 → **1,13 %**

A. Tinjauan Beban Sentris

$\mathbf{P_0}$ = $0{,}85.f_c'.(A_g - A_{st}) + A_{st}.f_y$

= 0,85.17.(40000 – 452,16) + 452,16.240

= 679984,688 N → **679,98 kN**

$\boldsymbol{\phi}\mathbf{.P_0}$ = 0,65 . 679,98

= **441,99 kN**

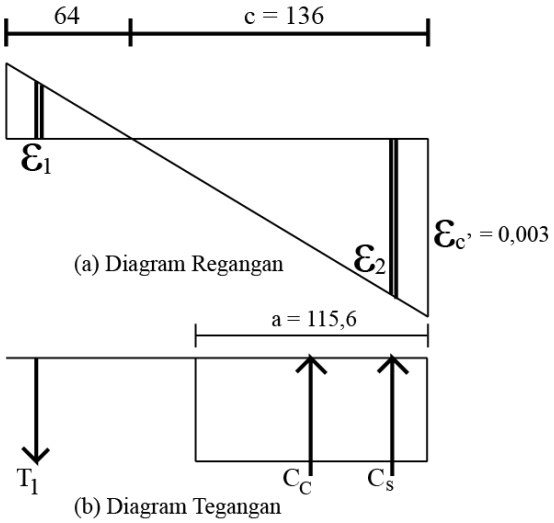
- **Kuat nominal maksimum penampang kolom ($P_{n\,max}$)**

$$P_{n\,max} = 0{,}80 \,.\, P_0$$
$$= 0{,}80 \,.\, 679{,}98$$
$$= \underline{\mathbf{543{,}98\ kN}}$$

$$\phi.P_{n\,max} = \phi.0{,}80.P_0$$
$$= 0{,}65.543{,}98$$
$$= \underline{\mathbf{353{,}58\ kN}}$$

B. Tinjauan beton tekan menentukan (terjadi jika c > c_b)

- $C_b = \frac{600.d}{600+f_y} = \frac{600.160}{600+240} = \mathbf{114,28\ mm}$
- **c** $= \beta_1.d = 0{,}85.160 = \mathbf{136\ mm}$ > c_b
- **a** $= \beta_1.c = 0{,}85.136 = \mathbf{115{,}6\ mm}$



- $\varepsilon_1 = \frac{64-40}{136}.0{,}003 = 5{,}294117647 \times 10^{-4}$ < ε_y

Sehingga diperoleh: $f_{s1} = \varepsilon_1.Es$

$= 5{,}294117647 \times 10^{-4} \,.\, 200$

$= \underline{0{,}11\ kN/mm^2}$

- $\varepsilon_2 = \frac{136-40}{136}.0{,}003 = 2{,}117647059 \times 10^{-3}$ > ε_y

Sehingga diperoleh: $f_{s2} = f_y = \underline{0{,}24\ kN/mm^2}$

Menghitung gaya aksial dan momen lentur dalam keadaan beton tekan menentukan:

Gaya (kN)		Lengan ke pusat (m)		Momen (kN - m)	
- T1 = -226,08 . 01	= -22,6	-Z1 = (0,2/2 - 0,4)	= -0,3	(-22,6).(-0,3)	= 6,78
Cc = 0,85.0,017.115,6.200	= 334,08	Zc = (0,2 - 0,1156)/2	= 0,0422	(334,08 . 0,0422	= 14,09
Cs = 226,08 . 0,24	= 54,25	Zs = (0,2/2 - 0,4)	= -0,3	54,25 . (-0,3)	= -16,27
Jumlah:	**Pn = 365,73**				**Mn = 4,6**

$\phi.\mathbf{P_n}$ = 0,65 . 365,73

= **<u>237,72 kN</u>**

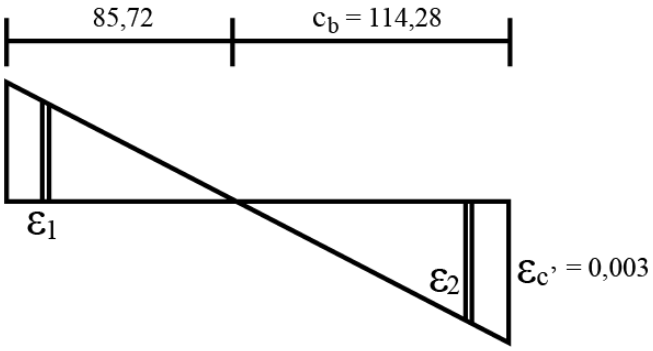
$\phi.\mathbf{M_n}$ = 0,65 . 4,6

= **<u>2,99 kN-m</u>**

C. Tinjauan pada Keadaan Seimbang *(balance)*

$\mathbf{c_b}$ = 114,28 mm

a = β_1.c = 0,85.114,28 = **<u>97,138 mm</u>**



$\boldsymbol{\varepsilon_1}$ = $\frac{85{,}72.40}{114{,}28}$. 0,003 = 1,2 × 10^{-3} = $\boldsymbol{\varepsilon_y}$

Sehingga diperoleh: $\mathbf{f_{s1}}$ = f_y = 0,24 kN/mm^2

$\boldsymbol{\varepsilon_2}$ = $\frac{114{,}28 - 40}{114{,}28}$. 0,003 = 1,949947497 × 10^{-3} > $\boldsymbol{\varepsilon_y}$

Sehingga diperoleh: $\mathbf{f_{s2}}$ = f_y = 0,24 kN/mm^2

Menghitung gaya aksial dan momen lentur dalam keadaan seimbang *(balance)*:

Gaya (kN)		Lengan ke pusat (m)		Momen (kN - m)	
-T1 = -226,08.0,24	= -54,25	-Z1 = (0,2/2 - 0,4)	= -0,3	(-54,25).(-0,3)	= 16,275
Cc = 0,85.0,017.97,138.200	= 280,72	Zc = (0,2 - 0,097138)/	= 0,051	(280,72 . 0,051)	= 14,31
Cs = 226,08 . 0,24	= 54,25	Zs = (0,2/2 - 0,4)	= -0,3	54,25 . (-0,3)	= -16,275
Jumlah:	**Pn = 280,72**				**Mn = 14,31**

$\phi.\mathbf{P_{n,b}}$ = 0,65 . 280,72

= **<u>182,468 kN</u>**

ϕ.$M_{n,b}$ = 0,65 . 14,31

= **9,3 kN-m**

D. Keadaan Tulangan Tarik Menentukan (c < c_b)

Untuk mencari nilai c, menggunakan rumus dua segitiga sebangun:

$$\frac{\varepsilon_s}{d-c} = \frac{\varepsilon_c'}{c}$$

$$\frac{0{,}002}{160-c} = \frac{0{,}003}{c}$$

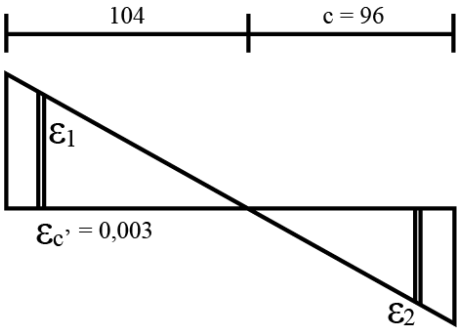
0,002 c = 0,48 – 0,003 c

0,003 + 0,002 c = 0,48

0,005 c = 0,48

c = **96 mm** < **114,28 mm**

c < **c_b**



- a = β_1.c = 0,85.96 = **81,6 mm**
- **ε_1** = $\frac{104-40}{96}.0{,}003 = 2 \times 10^{-3}$ > **ε_y**

Sehingga diperoleh: **f_{s1}** = f_y = 0,24 kN/mm^2

- **ε_2** = $\frac{96-40}{96}.0{,}003 = 1{,}75 \times 10^{-3}$ > **ε_y**

Sehingga diperoleh: **f_{s2}** = f_y = 0,24 kN/mm^2

Menghitung gaya aksial dan momen lentur dalam keadaan tulangan tarik menentukan:

Gaya (kN)		Lengan ke pusat (m)		Momen (kN - m)	
-T1 = -226,08.0,24	= -54,25	-Z1 = (0,2/2 - 0,4)	= -0,3	(-54,25).(-0,3)	= 16,275
Cc = 0,85.0,017.81,6.200	= 235,82	Zc = (0,2 - 0,0816)/2	= 0,0592	(235,82 . 0,0592	= 13,96
Cs = 226,08 . 0,24	= 54,25	Zs = (0,2/2 - 0,4)	= -0,3	54,25 . (-0,3)	= -16,275
Jumlah:	**Pn = 235,82**				**Mn = 13,96**

ϕ.**P_n** = 0,65 . 235,82

= **<u>153,28 kN</u>**

ϕ.**M_n** = 0,65 . 13,96

= **<u>9,074 kN-m</u>**

- **Batas struktur boleh dianggap hanya menahan momen lentur, pada:**
  - $P_{u\phi}$ = 0,10.f_c'.b.h
    = 0,10.17.200.200
    = 68000 N → **68 kN**
  - $P_{u\phi} = \phi.P_{n,b}$ = **182,468 kN**

Dipilih yang terkecil yaitu: **$P_{u\phi}$ = <u>68 kN</u>**

E. Keadaan Penampang pada Kondisi Momen Lentur Murni (P=0)

Kapasitas penampang dengan kondisi momen lentur murni (P=0) ditentukan dengan menganggap penampang balok dengan tulangan tunggal. Karena luas tulangan tekan dan tulangan Tarik sama ($A_2 = A_1$) maka tulangan tekan pasti belum leleh.

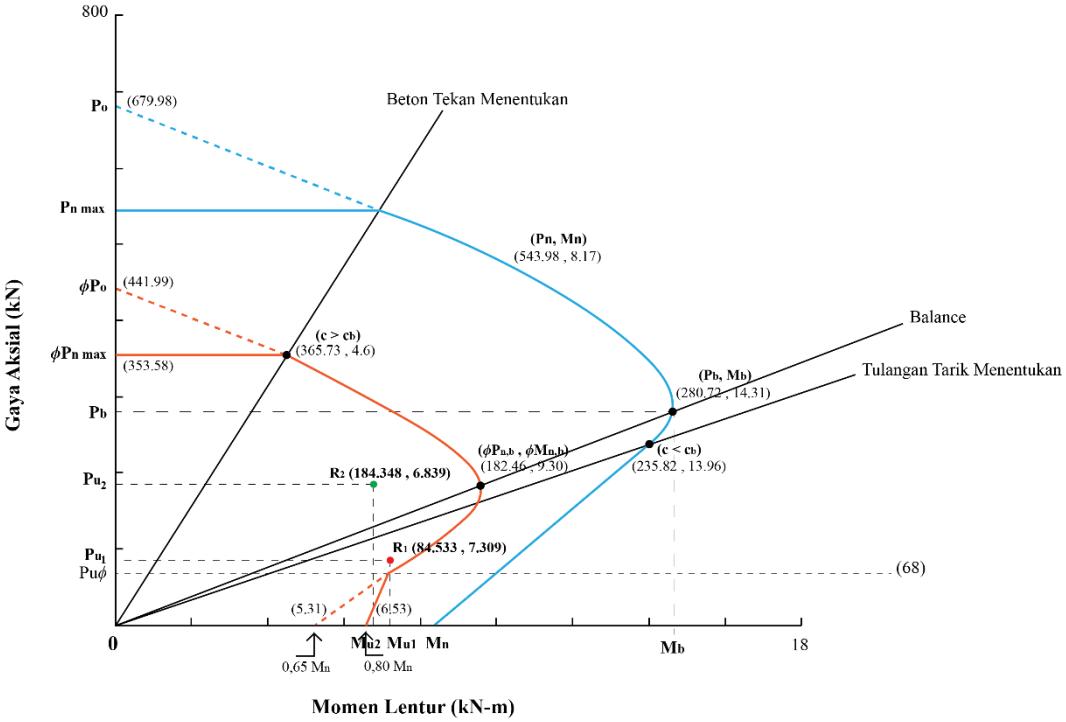
- $M_n = A_s.f_y\left(d - 0{,}59\frac{A_s.f_y}{f_c'.b}\right)$
  $= 226{,}08.240.\left(160 - 0{,}59\frac{226{,}08.240}{17.200}\right)$
  $= {}^{8170590{,}864}/_{1000000}$
  = **<u>8,17 kNm</u>**

Nilai kuat rencana:

ϕ = 0,80 → $\phi.M_n$ = 0,80.8,17 = **<u>6,53 kNm</u>**

ϕ = 0,65 → $\phi.M_n$ = 0,65.8,17 = **<u>5,31 kNm</u>**

Gambar Diagram Interaksi kolom P-M:



Gambar 4-49 Diagram Interaksi Kolom hasil validasi perhitungan secara manual

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Dimana:

= Kekuatan Nominal

= Kekuatan Rencana

= Beban Terfaktor kolom D-4 (P_u, M_u)

= Beban Terfaktor kolom D-5 (P_u, M_u)

4.5 Perbandingan Hasil Perhitungan Terhadap Kapasitas Penampang Kolom

Setelah melakukan perhitungan secara manual untuk memverifikasi hasil perhitungan secara te oritis dari program *SP Column*, penulis menemukan beberapa kesamaan nilai hasil perhitungan dari kedua analisis yang telah dilakukan. Persamaan tersebut ditemukan pada parameter-parameter yang dihitung dengan analisis yang hampir sama seperti dalam menentukan faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekuivalen (β_1), luas bruto penampang kolom (A_g), luas tulangan tarik (A_s) dan rasio tulangan (rho).

Selain itu juga, diagram interaksi yang dihasilkan dari kedua metode yang digunakanpun tidak jauh berbeda. Kombinasi dari Beban aksial terfaktor (P_u) dan

momen lentur terfaktor (M_u) yaitu titik R berada di dalam diagram interaksi pada kuat rencana kolom. Hal tersebut menandakan program *SP Column* v4.81 dapat dipertanggung jawabkan kebenarannya.

Namun, berdasarkan hasil dari masing-masing perhitungan yaitu dengan menggunakan program bantu *SP Column v4.81* dan perhitungan metode secara manual yang mengacu pada SNI 03-2847-2002 terdapat selisih perhitungan dari masing-masing kolom yang ditinjau diantaranya dapat dilihat pada tabel berikut:

Table 4-3 Selisih hasil perhitungan menggunakan *SP Column* dan metoda perhitungan manual pada Kolom di as D-4

Kolom as D-4			
Metode Perhitungan	**SP Column v4.81**	**Perhitungan Manual**	**Selisih**
ϕ Mn	9.98	7.35	2.63
ϕ Mn/Mu	1.36	1.01	0.35

Table 4-4 Selisih hasil perhitungan menggunakan SP Column dan metoda perhitungan manual pada Kolom di as D-5

Kolom as D-5			
Metode Perhitungan	**SP Column v4.81**	**Perhitungan Manual**	**Selisih**
ϕ Mn	8.63	7.35	1.28
ϕ Mn/Mu	1.26	1.08	0.18

Dimana:

ϕ = Phi (Tension Controlled) → 0,9