

Perancangan Balok Beton Bertulang dengan SAP2000¹

Wiryanto Dewobroto (<http://sipil-uph.tripod.com>)²

Makalah ini membahas detail langkah-langkah perancangan balok beton bertulang dengan SAP2000 , sekaligus perbandingan desain dengan secara manual pada problem yang sama. Terbukti dengan merubah parameter faktor reduksi kekuatan maka hasil program sesuai dengan Code Indonesia (SK SNI T-15-1991-03).

Perancangan struktur tahan gempa yang mensyaratkan daktilitas secara khusus telah ditetapkan sebagai nilai default pada perancangan rangka beton bertulang, sehingga untuk struktur rangka biasa (beban gravitasi) maka fasilitas default tersebut perlu dinon-aktifkan, jika tidak maka hasilnya tidak ekonomis (boros).

Pendahuluan

Program komputer rekayasa (SAP2000, GT-Strudl, ANSYS, dll) berbeda dengan program komputer umum (EXCEL, AutoCAD, Words, dll) , karena pengguna dituntut untuk memahami latar belakang metoda maupun batasan dari program tersebut. Developer program secara tegas menyatakan tidak mau bertanggung jawab untuk setiap kesalahan yang timbul dari pemakaian program. Umumnya manual yang melengkapi program cukup lengkap , bahkan terlalu lengkap (baca: sangat tebal) sedangkan semakin hari program yang dibuat menjadi semakin mudah digunakan tanpa harus membaca manual maka mempelajari secara mendalam materi manual program sering terabaikan. Oleh karena itu dengan disajikannya contoh penyelesaian program dan hitungan manual pembanding yang detail tetapi ringkas tentu sangat berguna.

Desain Penampang dengan SAP2000

Program SAP2000 menyediakan fitur dan modul terintegrasi yang lengkap untuk desain struktur baja dan beton bertulang. Pengguna diberi kemudahan untuk membuat, menganalisis, dan memodifikasi model struktur yang direncanakan dengan memakai *user interface* yang sama. Dalam lingkungan pemakaian yang interaktif maka dapat dievaluasi penampang struktur berdasarkan *design-code* internasional seperti: U.S.A (ACI 1999, AASHTO 1997), Canadian (CSA 1994), British (BSI 1989), European (CEN 1992), dan New Zealand (NZS 3101-95).

Fasilitas perancangan berdasarkan *design-code* yang baku ternyata tidak terlalu kaku karena pengguna mempunyai peluang untuk merubah parameter-parameter tertentu untuk disesuaikan dengan peraturan perencanaan lokal. Sebagai contoh, telah diketahui bahwa peraturan perencanaan beton yang digunakan di Indonesia merupakan derivasi dari ACI 1989 sehingga dengan sedikit penyesuaian ,

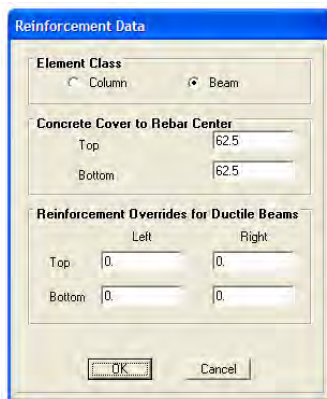
¹ Jurnal Teknik Sipil - UPH, Vol.1 No.2 Juli 2005.

² Dosen tetap pada mata kuliah Komputer Rekaya Struktur dan Struktur Beton, di Jurusan Teknik Sipil , Universitas Pelita Harapan, Lippo Karawaci, Tangerang

SAP2000 dapat digunakan untuk perancangan struktur beton bertulang berdasar peraturan Indonesia (SK SNI T-15-1991-03).

Identifikasi elemen Beam dan Kolom

Program SAP2000 adalah program analisa struktur yang didasarkan dari metode elemen hingga, dalam hal tersebut struktur balok atau kolom diidealisasikan sebagai elemen FRAME. Tetapi dalam desain, penampang balok memerlukan tahapan yang berbeda dari penampang kolom sehingga pada saat pemasukan data untuk *frame section* perlu informasi khusus apakah penampang tersebut digolongkan sebagai balok atau sebagai kolom.



Gambar 1. Identifikasi Desain

Catatan : elemen balok jika hanya menerima lentur dan geser, sedangkan kolom adalah balok yang menerima gaya aksial yang signifikan, yaitu jika gaya aksial ultimate $\gg 0.1f'_c A_g$ (ACI 10.3.3)

Menu di samping dapat diakses dari : **Define – Frame Sections – Modify/Show Sections – Reinforcement.**

Menu sama juga dipakai pada waktu mendefinisikan lokasi tulangan pada penampang. Bentuk penampang yang dapat digunakan untuk desain beton bertulang terbatas hanya pada bentuk *Rectangular Section*, *Tee Section*, atau *Circle Section* untuk kolom.

Perancangan Balok Beton Bertulang

Asumsi Desain

Program SAP2000 akan menghitung dan melaporkan luas tulangan baja perlu untuk lentur dan geser berdasarkan harga momen dan geser maksimum dari kombinasi beban dan juga kriteria-kriteria perencanaan lain yang ditetapkan untuk setiap Code yang diikuti. Tulangan yang diperlukan tadi akan dihitung berdasarkan titik-titik yang dapat dispesifikasikan dalam setiap panjang element.

Semua balok hanya dirancang terhadap momen lentur dan geser pada sumbu mayor saja, sedangkan dalam arah minor balok dianggap menyatu dengan lantai sehingga tidak dihitung. Jika dalam kenyataannya perlu perancangan lentur dalam arah minor (penampang bi-aksial) maka perencana harus menghitung tersendiri, termasuk jika timbul torsi.

Dalam mendesain tulangan lentur sumbu mayor, tahapan yang dilakukan adalah mencari momen terfaktor maksimum (untuk kombinasi beban lebih dari satu) dan menghitung kebutuhan tulangan lenturnya. Penampang balok didesain terhadap momen positif M_{u+} dan momen negatif M_{u-} maksimum dari hasil momen terfaktor *envelopes* yang diperoleh dari semua kombinasi pembebanan yang ada. Momen negatif pada balok menghasilkan tulangan atas, dalam kasus tersebut maka balok selalu dianggap sebagai penampang persegi. Momen positif balok menghasilkan tulangan bawah, dalam hal tersebut balok dapat direncanakan sebagai penampang persegi atau penampang balok-T.

Untuk perencanaan tulangan lentur, pertama-tama balok dianggap sebagai penampang tulangan tunggal, jika penampang tidak mencukupi maka tulangan desak ditambahkan sampai pada batas tertentu.

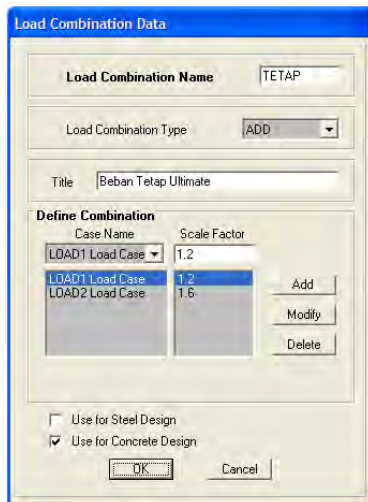
Dalam perancangan tulangan geser, tahapannya meliputi perhitungan gaya geser yang dapat ditahan beton V_c , kemudian menghitung nilai V_s yaitu gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan baja dan selanjutnya jumlah tulangan geser (sengkang) dapat ditampilkan.

Perencanaan struktur tahan gempa memerlukan persyaratan tertentu dan hal tersebut tetap dapat dilakukan SAP2000 jika memakai Code ACI, Canadian, atau New Zealand.

Tahapan Desain

Perancangan balok lentur dibagi dalam tahapan-tahapan sebagai berikut :

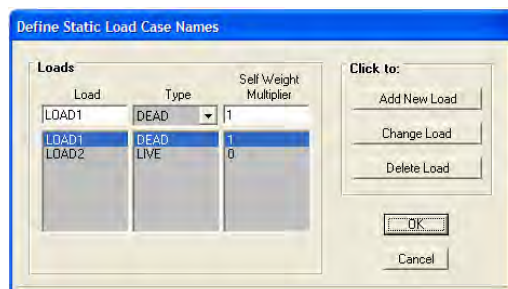
- Menentukan Momen Terfaktor Maksimum



Gambar 2. Menu Kombinasi Beban

Momen terfaktor maksimum untuk tulangan lentur maupun gaya geser terfaktor untuk sengkang / tulangan geser diperoleh dari berbagai kombinasi pembebanan (*Load Combination*) dari hasil kombinasi *Load Case* yang dikalikan dengan faktor beban sesuai dengan peraturan perencanaan yang digunakan.

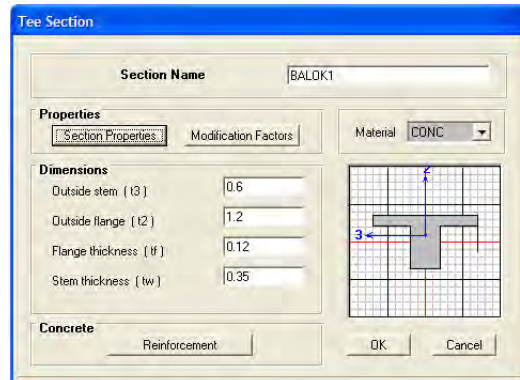
Menu di samping dapat diakses dari : **Define – Load Combination – Add New Combo**. Agar dapat dikombinasi, jangan lupa mendefinisikan terlebih dahulu *Load Case* dengan cara : **Define – Static Load Case – Add New Load**.



Gambar 3. Mendefinisikan LOAD CASE

- Menentukan Jumlah Tulangan Lentur Perlu.

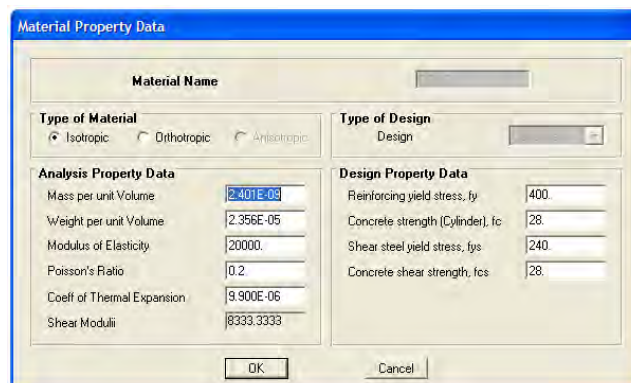
Bentuk penampang yang dapat digunakan dalam proses desain ini adalah penampang kotak (*Rectangular Section*) untuk momen negatif dan momen positif serta penampang T (*Tee Section*) untuk momen positif saja. Pada penampang T yang menerima momen negatif maka bagian sayapnya diabaikan dan dianggap sebagai penampang kotak.



Gambar 4. Mendefinisikan Penampang Balok T

Menu diatas dapat diakses dari : **Define – Frame Sections – Add Tee**. Untuk penampang kotak maupun lingkaran cara mendefinisikan sama hanya pilihan terakhirnya adalah **Add Rectangular** dan **Add Circle**.

Informasi data untuk penulangan pada kotak dialog di atas akan ditampilkan dipojok kiri bawah jika material yang dipilih adalah CONC (*concrete*) . Data material untuk *concrete* secara default sudah disediakan oleh program, tetapi tentu saja perlu disesuaikan dengan mutu beton / baja tulangan yang digunakan, untuk itu digunakan menu : **Define – Material – CONC – Modify / Show Material**.



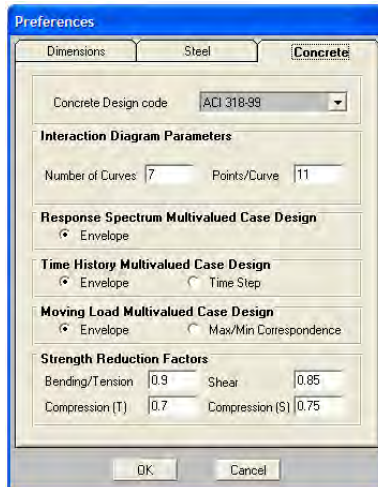
Gambar 5. Menetapkan Data Material Untuk Desain

Catatan : jangan lupa Satuan Unit yang digunakan, yang terlihat pada bagian pojok kanan bawah dari tampilan program SAP2000.

Selanjutnya penampang dihitung sebagai penampang tulangan tunggal, tetapi jika ternyata tidak mencukupi (*over-reinforced section*) maka program akan mencoba menambahkan tulangan tekan dan mendesain ulang sebagai penampang tulangan rangkap.

Karena peraturan di Indonesia (SK SNI T-15-1991-03) mengacu peraturan Amerika (ACI 318-89) maka detail perhitungan yang dilakukan program mirip dengan perencanaan umum yang berlaku di Indonesia. Meskipun demikian tentu saja ada perbedaan yaitu pada **faktor beban** (dapat dirubah pada saat memasukkan beban kombinasi) dan **faktor reduksi kekuatan** harus disesuaikan .

Faktor reduksi kekuatan dapat diubah melalui menu : **Option – Preferences – Concrete – Strength Reduction Factor** seperti berikut:



Gambar 6. Parameter ACI 318-99

Selanjutnya untuk memahami perencanaan balok lentur dengan SAP2000 terlebih dahulu akan disajikan contoh perhitungan cara manual dari balok kantilever secara lengkap sampai dengan gambar penulangan, pada cara manual tersebut disajikan juga rumusan yang digunakan yang prinsip kerjanya sama dengan yang ada pada program. Kemudian pada tahap berikutnya disajikan tahapan perancangan dengan program SAP2000 secara detail dan hasilnya juga disajikan sehingga dapat diperoleh gambaran dan pemahaman yang jelas.

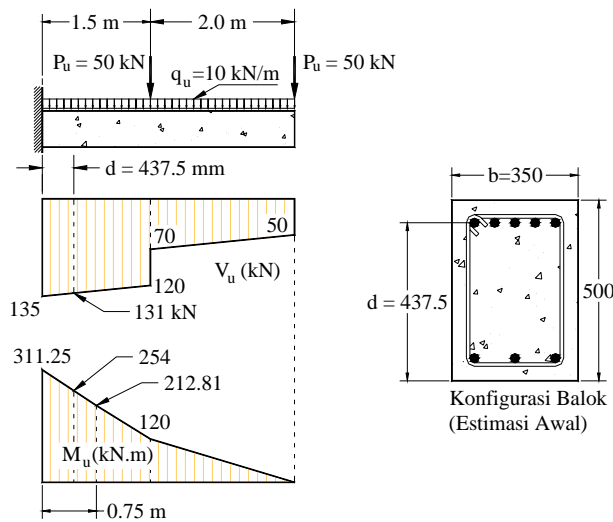
Contoh Hitungan Manual Balok

Balok kantilever bentang 3.5 m mempunyai penampang berbentuk persegi, yang memikul beban merata dan beban terpusat terfaktor (dianggap berat sendiri sudah termasuk dalam spesifikasi beban yang diberikan).

Jika digunakan mutu beton f'_c 28 MPa dan mutu baja tulangan f_y 400 MPa (lentur) dan f_y 240 MPa (sengkang), desain penulangan menurut SK SNI T-15 1991-03.

Jawab :

1. Dari analisa struktur dapat diperoleh momen dan gaya geser rencana seperti pada gambar berikut:



Gambar 7. Pembebanan Kantilever dan Gaya Rencana

2. Hitung tulangan lentur yang diperlukan : ($x = 0.0$ adalah tumpuan kiri)

x (m)	b (mm)	d (mm)	Mu (kN.m)	Q	ρ	ρ_{min}	ρ_{maks}	A_s (mm ²)	dipasang
0.000	350	437.5	311.25	0.35260	0.01693	0.0035	0.02276	2592	7D22
0.750			212.81	0.24108	0.01093			1674	5D22
1.500			120.00	0.13594	0.00589			902	3D22

Catatan:

$$Q = \left(\frac{1.7}{f'_c} \right) \frac{M_u}{\phi b d^2} \quad \phi = 0.8 \text{ (lentur menurut SK SNI T-15 1991)}$$

$$\rho = \frac{f'_c}{f_y} \left[0.85 - \sqrt{0.85^2 - Q} \right] \quad \rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} \quad \rho_{maks} = \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{382.5}{600 + f_y} \right) \quad A_s = \rho b d$$

3. Hitung ϕV_c dengan memasukkan pengaruh momen :

$$\rho_w = \frac{A_s}{b_w d} = \frac{7 * 380}{350 * 437.5} = 0.01737$$

$$\frac{V_u d}{M_u} = \frac{131 * 437.5 * 10^{-3}}{254} = 0.226 \leq 1.0$$

$$V_c = \left[\sqrt{f'_c} + 120 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right] \frac{b_w d}{7} \leq 0.3 \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$V_c = \frac{1}{7} \left[\sqrt{28} + 120 * 0.01737 * 0.226 \right] b_w d \leq 0.3 \sqrt{28} b_w d$$

$$V_c = 0.823 b_w d \leq 1.587 b_w d$$

$$\therefore V_c = 0.823 b_w d = 126 * 10^3 \text{ N} = 126 \text{ kN}$$

Jika pengaruh momen tidak dimasukkan, maka :

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d = 0.882 b_w d$$

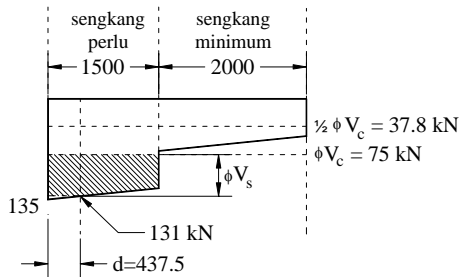
ternyata momen mengurangi kemampuan beton untuk menahan geser (dalam desain tetap dipakai yang terkecil \rightarrow konservatif).

4. Hitung gaya geser maksimum penampang tanpa sengkang.

$$\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} * 0.6 * 126 = 37.8 \text{ kN}$$

Catatan : $\phi = 0.6$ (geser menurut SK SNI T-15 1991)

5. Gambarkan lokasi sengkang berdasarkan bidang geser yang terjadi



6. Hitung sengkang minimum :

pakai $s = 200 \text{ mm} \ll 0.5 d = 218.75 \text{ mm} \ll 600 \text{ mm}$

$$\frac{A_v \text{ min}}{s} = \frac{b_w}{3 f_y} = \frac{350}{3 * 240} = 0.49 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

pakai $\varnothing 8 \rightarrow A_v = 100 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{maka } s \leq \frac{100}{0.49} = 204 \text{ mm}$

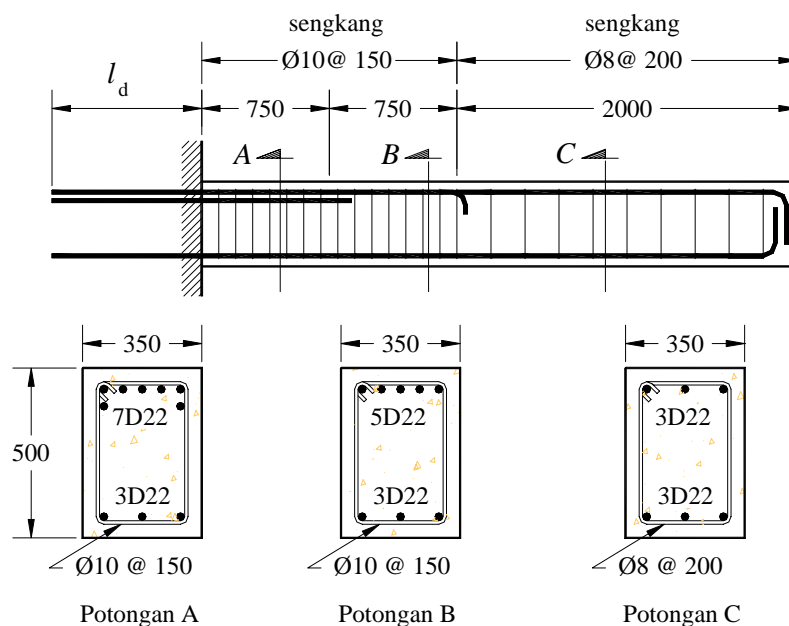
pakai sengkang minimum $\varnothing 8 @ 200$

7. Hitung kebutuhan sengkang:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = 93 \text{ kN} \lll V_c = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b_w d = 270 \text{ kN} \rightarrow s_{\text{maks}} = 0.5d$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y d} = \frac{93 * 10^3}{240 * 437.5} = 0.886 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Jika dipakai sengkang tulangan $\varnothing 10 \rightarrow A_v = 157 \text{ mm}^2$, maka
maka $s \leq \frac{157}{0.886} = 177 \text{ mm}$ pakai $\varnothing 10 @ 150$

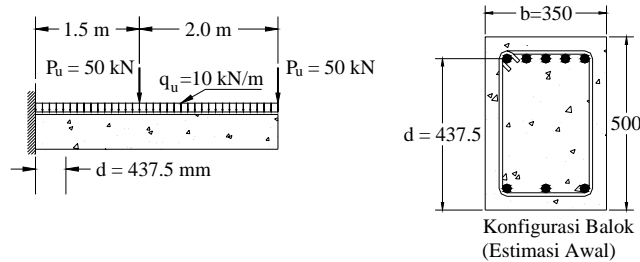


Gambar 8. Tampak Samping dan Potongan Balok Hasil Perancangan

Contoh Hitungan Komputer Balok

Balok kantilever bentang 3.5 m mempunyai penampang berbentuk persegi, yang memikul beban merata dan beban terpusat terfaktor (dianggap berat sendiri sudah termasuk dalam spesifikasi beban yang diberikan).

Jika digunakan mutu beton f'_c 28 MPa dan mutu baja tulangan f_y 400 MPa (lentur) dan f_y 240 MPa (sengkang), desain penulangan menurut SK SNI T-15 1991-03 dengan bantuan program SAP2000.



Gambar 9. Balok Kantilever yang di Desain

Jawab :

1. Aktifkan program SAP2000, tetapkan **Unit Satuan**, yaitu **kN-m**.
2. Susun geometri, misalnya dengan template yang telah disediakan dan dimodifikasi sesuai dengan model yang diinginkan, caranya :
 - a) Dari menu : **File – New Model from Template** dan klik gambar balok menerus (Beam).
 - b) Kemudian dari template yang ada dipilih yang paling mendekati misalnya adalah template Beam untuk balok menerus.



Data di atas diberikan karena secara default program akan menempatkan sumbu (0,0) tengah-tengah balok yang dihasilkan dan sebenarnya yang diperlukan adalah agar diberikan garis

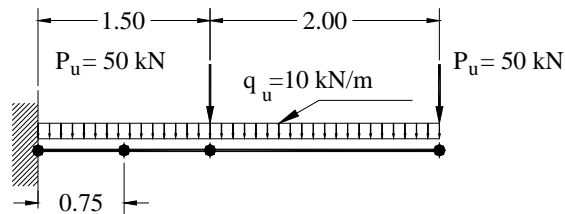
bantu pada layar (*grid-lines*) yang sesuai dengan dimensi model.

- c) Balok pada hasil template dihapus saja, kemudian *grid-lines* dimodifikasi sesuai ukuran yang diharapkan , caranya: **Draw – Edit Grid** atau klik double *grid-lines*, sehingga keluar menu :



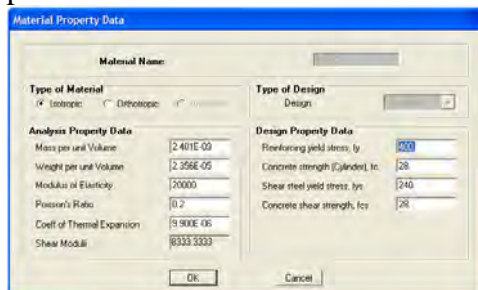
Dari menu yang ditampilkan maka *grid-lines* $x = - 3.5$ dihapus dan ditambahkan *grid-lines* baru yaitu $x = 0.75$ serta $x = 1.5$.

- d) Dengan grid-lines yang baru tersebut maka akan lebih mudah untuk menggambar model struktur sebagai berikut :

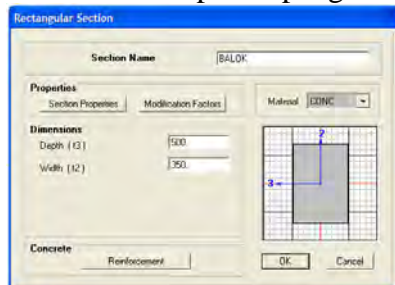


3. Melengkapi data geometri dengan data material dan penampang, karena unit satuan yang digunakan kN-m sedangkan parameter material dalam MPa maka dalam memasukkan parameter tersebut unit satuannya diubah terlebih dahulu dengan N-mm.

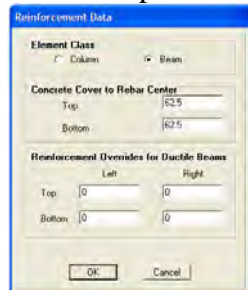
- a) Dari menu: **Define – Materials – CONC – Modify / Show Material** , parameter untuk mutu beton dan tulangan dimasukkan.



- b) Dari menu: **Define – Frame Sections – Add Rectangular** , parameter dimensi untuk penampang kotak dimasukkan.



- c) Selanjutnya type desain (balok atau kolom) serta penempatan tulangan pada penampang beton tersebut dimasukkan dengan meng-klik tombol Reinforcement pada menu diatas sehingga kotak dialog **Reinforcement Data** ditampilkan :

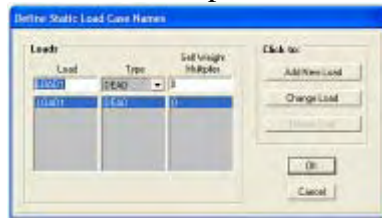


Data mengenai *Reinforcement Overrides for Ductile Beams* adalah yang berkaitan dengan perencanaan struktur tahan gempa, oleh karena balok yang direncanakan adalah balok biasa maka data diatas dapat diabaikan (dibiarkan bernilai nol).

4. Susun data pembebanan.

Beban yang diberikan dalam problem perencanaan di atas sudah dalam bentuk beban terfaktor, selain itu berat sendiri sudah dimasukkan dalam parameter beban yang diberikan, maka :

- a) Load Case ditetapkan melalui menu : **Define – Static Load Case** .



Parameter *Self Weight Multiplier* yang sebelumnya bernilai 1 (default) diubah menjadi 0. Hal tersebut menunjukkan bahwa berat sendiri tidak dimasukkan pada Load Case bernama LOAD1.

Type beban (misal DEAD pada gambar di atas) tidak berpengaruh sehingga tidak perlu diubah.

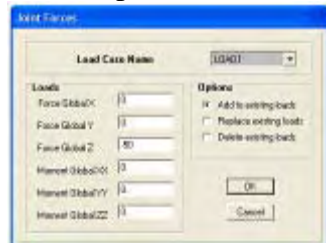
- b) Beban merata dimasukkan dalam elemen balok melalui : **Assign – Frame Static Load – Point and Uniform** , jangan lupa sebelum mengakses menu



maka unit satuan harus diubah dulu agar sesuai dengan spesifikasi perencanaan, selain itu elemen balok yang akan diberi beban harus dipilih / ditandai terlebih dulu dengan mouse.

Catatan : alternatif lain , gunakan

- c) Beban terpusat dimasukkan dalam nodal, setelah ditandai (*select*) dengan mouse maka beban dapat dimasukkan melalui : **Assign – Joint Static Load – Forces** ,



Catatan : alternatif lain , gunakan

- d) Tahap akhir dari pembebanan adalah mendefinisikan kombinasi pembebanan yang akan dipakai dalam perencanaan penampang.



Karena Load Case hanya satu (LOAD1) dan sudah terfaktor maka sebenarnya tidak ada yang bisa dikombinasikan, meskipun demikian tetap perlu didefinisikan terlebih dahulu, caranya : **Define– Load Combination – Add New Combo** , hingga tampil kotak dialog seperti pada gambar berikut.

- e) Selanjutnya beban-beban untuk setiap Load Case yang diberikan pada elemen batang maupun pada titik nodal dapat ditampilkan pada layar komputer untuk keperluan check ulang melalui : **Display – Show Loads – Frames** .



Hal tersebut penting karena kadang-kadang tidak secara sengaja beban dapat terdefiniskan ulang dan keadaan tersebut hanya dapat diketahui jika dibandingkan antara nilai yang tercantum pada layar dengan catatan manual yang ada.

Tabulasi pembebanan pada joint

Joint	GLOBAL-X	GLOBAL-Y	GLOBAL-Z	GLOBAL-XX	GLOBAL-YY	GLOBAL-XY	GLOBAL-XX
4	0.000	0.000	-58900.890	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	-58900.890	0.000	0.000	0.000	0.000

Cara lain checking beban-beban dapat juga dilakukan melalui : **Display – Show Input Tables – Loading Data** sehingga akan ditampilkan kotak dialog **Display Loading Options** yang akan menampilkan option pembebanan apa yang dapat ditampilkan dalam bentuk tabulasi.

Tabulasi pembebanan pada elemen batang

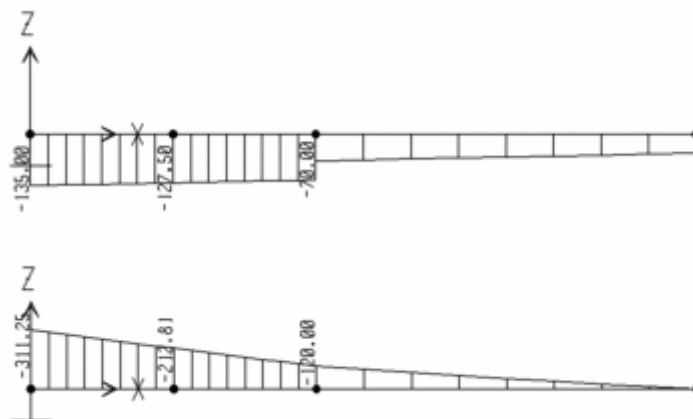
Frame	Type	Direction	Distance-A	Value-A	Distance-B	Value-B
3	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-10.0000	1.0000	-10.0000
4	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-10.0000	1.0000	-10.0000
5	FORCE	GLOBAL-Z	0.0000	-10.0000	1.0000	-10.0000

Khusus untuk kasus perencanaan ini maka data beban yang dapat ditampilkan adalah **Joint Forces** dan **Frame Span Distributed Loads** seperti gambar diatas.

5. Analisa Struktur Balok Kantilever.

Jika geometri , material , penampang dan pembebanan sudah diberikan maka selanjutnya dapat dilakukan analisa struktur untuk mengetahui deformasi, gaya-momen pada batang serta reaksi tumpuan yang terjadi. Analisa struktur dilakukan melalui menu: **Analyze – Run** .

Catatan : alternatif lain , gunakan tombol

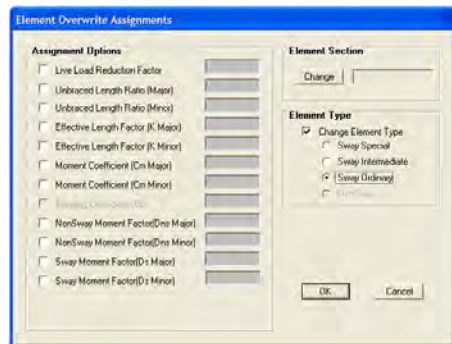


Gambar 10. Diagram Gaya Geser dan Bending Moment

6. Desain Penampang Balok Kantilever.
 Jika proses berjalan baik (dapat ditampilkan Diagram Gaya Geser dan Bending Moment) maka proses desain penampang dapat dimulai.
- a) Mengacu pada peraturan perencanaan Indonesia (SK SNI T-15 1991-03) maka *Strength Reduction Factor* harus disesuaikan melalui: **Option – Preferences – Concrete .**



- b) Secara default program akan mendesain struktur beton bertulang sebagai struktur tahan gempa ,



yaitu dengan mengklasifikasikan struktur sebagai portal dengan kategori **Intermediate** atau **Special**, untuk portal biasa maka kategorinya **Ordinary**. Oleh karena itu sebelum proses desain maka kategori struktur harus dirubah terlebih dahulu, caranya pilih dahulu elemen struktur yang ada dengan mouse kemudian dari menu

Design – Redefine Element Design Data sehingga muncul kotak dialog disamping. Pada bagian **Element Type** di aktifkan dengan memberi tanda \checkmark , selanjutnya pilih option **Sway Ordinary**, dan klik OK untuk keluar dari kotak dialog tersebut.

- c) Selanjutnya proses desain dimulai melalui menu : **Design – Start Design / Check of Structure**. Sebagai hasilnya pada layar akan ditampilkan luas tulangan lentur (default) , tetapi melalui menu **Design – Display Design Info** maka informasi jumlah luas tulangan geser juga dapat dipilih .



Kadang-kadang apabila unit satuan yang digunakan tidak cocok , nilai yang ditampilkan bisa terlalu kecil sehingga bila dibulatkan yang terlihat hanya nilai nol, misal luas tulangan 3000 mm² bila dalam satuan meter menjadi 0.003 m², sehingga bila dibulatkan dalam dua desimal akan menjadi 0.00 m² .

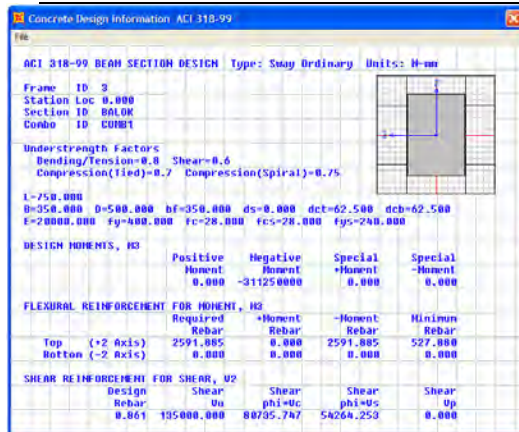
Oleh karena itu perhatikan UNIT SATUAN yang digunakan karena nilai yang ditampilkan adalah sesuai dengan unit satuan tersebut.

- d) Hasil desain yang ditampilkan dengan cara yang sudah diuraikan adalah secara keseluruhan dari struktur tersebut, jadi jika strukturnya besar jelas informasi yang disajikan tidak berguna karena angka-angka yang ditampilkan saling bertumpuk. Pada umumnya informasi untuk setiap element batang yang cukup mendetail lebih berguna, untuk itu yang dapat dilakukan adalah:
- i. Pilih element batang dengan mouse
 - ii. Klik tombol kanan mouse

maka kotak dialog **Concrete Design Information** akan tampil



Jika tombol **ReDesign** di-klik maka kotak dialog **Element Overwrite Assignments** akan ditampilkan sehingga element yang dipilih dapat didesain ulang berdasarkan element type rangka yang berbeda (Special, Intermediate, Ordinary dan Non-Sway) tanpa harus menganalisis ulang struktur secara keseluruhan. Jika tombol **Details** digunakan maka akan ditampilkan hitungan perancangan penampang pada element yang sedang dipilih secara lebih detail (lihat gambar disamping).



- e) Hasil dapat dicetak ke file dan selanjutnya dapat didokumentasikan dengan lebih mudah, yaitu dengan mengakses menu : **File – Print Design Tables**.



Tombol File Name untuk mendefinisikan nama file penampang dan direktori dimana file tersebut akan ditempatkan di hardisk.

Catatan : perlu menjadi perhatian bahwa UNIT SATUAN output yang dicetak tergantung konfigurasi yang digunakan sesaat sebelum permintaan cetak diberikan dan hal itu dapat dilihat pada informasi yang ditampilkan pada pojok kanan bawah dari program SAP2000. Untuk contoh output cetak yang ditampilkan di-set dalam satuan N-mm. (output di bawah telah di edit seperlunya)

M A T E R I A L P R O P E R T Y D A T A

MAT LABEL	MODULUS OF ELASTICITY	POISSON'S RATIO	THERMAL COEFF	WEIGHT PER UNIT VOL	MASS PER UNIT VOL
CONC	20000.000	0.200	9.900E-06	2.356E-05	2.401E-09

M A T E R I A L D E S I G N D A T A

MAT LABEL	DESIGN CODE	STEEL FY	CONCRETE FC	REBAR FY	CONCRETE FCS	REBAR FYS
CONC	C		28.000	400.000	28.000	240.000

C O N C R E T E B E A M P R O P E R T Y D A T A

SECTION LABEL	MAT LABEL	BEAM DEPTH	BEAM WIDTH	TOP COVER	BOTTOM COVER	REBAR AT-1	REBAR AT-2	REBAR AB-1	REBAR AB-2
BALOK	CONC	500.000	350.000	62.500	62.500	0.000	0.000	0.000	0.000

LOAD COMBO	C O M B I N A T I O N TYPE	M U L T I P L I E R S CASE	FACTOR	T Y P E	T I T L E
COMB1	ADD	LOAD1	1.0000	STATIC(DEAD)	COMB1

C O D E P R E F E R E N C E S

Code: ACI 318-99

Phi_bending : 0.8
Phi_tension : 0.8
Phi_compression(Tied) : 0.7
Phi_compression(Spiral): 0.75
Phi_shear : 0.6

C O N C R E T E D E S I G N E L E M E N T I N F O R M A T I O N (ACI 318-99)

FRAME ID	SECTION ID	ELEMENT TYPE	FRAMING TYPE	LLRF FACTOR	L_ratio MAJOR	L_ratio MINOR	K MAJOR	K MINOR
3	BALOK	BEAM	SWYORDN	1.000	1.000	1.000		
4	BALOK	BEAM	SWYORDN	1.000	1.000	1.000		
5	BALOK	BEAM	SWYORDN	1.000	1.000	1.000		

C O N C R E T E D E S I G N O U T P U T (ACI 318-99)

FLEXURAL AND SHEAR DESIGN OF BEAM-TYPE ELEMENTS

ELEM ID	SECTION ID	STATION ID	<-----REQUIRED REINFORCING----->					
			TOP	COMBO	BOTTOM	COMBO	SHEAR	COMBO
3	BALOK	0.000	2591.885	COMB1	0.000	COMB1	0.861	COMB1
3	BALOK	187.500	2345.603	COMB1	0.000	COMB1	0.832	COMB1
3	BALOK	375.000	2111.245	COMB1	0.000	COMB1	0.802	COMB1
3	BALOK	562.500	1887.650	COMB1	0.000	COMB1	0.772	COMB1
3	BALOK	750.000	1673.848	COMB1	0.000	COMB1	0.742	COMB1
4	BALOK	0.000	1673.848	COMB1	0.000	COMB1	0.742	COMB1
4	BALOK	187.500	1469.015	COMB1	0.000	COMB1	0.713	COMB1
4	BALOK	375.000	1272.450	COMB1	0.000	COMB1	0.683	COMB1
4	BALOK	562.500	1083.545	COMB1	0.000	COMB1	0.653	COMB1
4	BALOK	750.000	901.770	COMB1	0.000	COMB1	0.623	COMB1
5	BALOK	0.000	901.770	COMB1	0.000	COMB1	0.000	COMB1
5	BALOK	500.000	638.440	COMB1	0.000	COMB1	0.000	COMB1
5	BALOK	1000.000	527.880	COMB1	0.000	COMB1	0.000	COMB1
5	BALOK	1500.000	252.627	COMB1	0.000	COMB1	0.000	COMB1
5	BALOK	2000.000	0.000	COMB1	0.000	COMB1	0.000	COMB1

Evaluasi Hitungan dan Kesimpulan

Dengan membandingkan hasil hitungan manual dan komputer yang telah dikerjakan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Element FRAME pada SAP2000 mampu menghitung deformasi gaya geser untuk menganalisis struktur balok tinggi, tetapi *post-processing* program untuk perancangan beton bertulang bertumpu pada formulasi balok biasa sehingga perancangan balok tinggi harus dikerjakan terpisah diluar program SAP2000.
2. Perhitungan penulangan memanjang balok terhadap lentur sama persis dengan perhitungan manual, jadi apabila sudah dilakukan penyesuaian pada **Strength Reduction Factor** maka program SAP2000 dapat digunakan untuk perancangan struktur beton bertulang yang mengacu pada peraturan Indonesia yaitu SK SNI T-15-1991-03.
3. Pada prinsipnya perhitungan sengkang (tulangan geser) juga mengikuti kesimpulan no.2. Adapun perbedaan yang timbul adalah :
 - a. Gaya geser terfaktor desain tidak dihitung pada penampang kritis
 - b. Gaya geser yang dapat ditahan oleh beton V_c memakai formulasi yang tidak melibatkan pengaruh momen lentur yang mungkin terjadi bersamaan dengan gaya geser.
4. Dalam perancangan struktur rangka beton bertulang maka program SAP2000 akan mengkategorikan sebagai struktur tahan gempa dimana dalam hal tersebut diberikan persyaratan-persyaratan yang lebih ketat dibanding struktur rangka biasa. Jadi apabila digunakan untuk perancangan struktur biasa dan tidak dilakukan penyesuaian maka hasil rancangan akan berlebihan (boros).
5. Unit satuan yang digunakan tidak menjadi kendala bagi proses perancangan yang umumnya tergantung dari unit satuan yang digunakan. Unit satuan akan menyesuaikan diri dan selalu konsisten , tetapi agar ditampilkan secara baik maka unit satuan perlu diperhatikan, sebagai contoh : unit kN-m cocok untuk hasil analisa struktur, tetapi untuk menampilkan hasil perancangan penampang maka unit satuan yang cocok adalah N-mm.
6. Output luas tulangan geser /sengkang adalah A_v / s dengan unit mm^2 / mm atau unit panjang lain yang dipilih, dengan demikian jarak dan diameter sengkang harus dihitung tersendiri. Sengkang minimum harus ditetapkan tersendiri.

Referensi

1. Wiryanto Dewobroto, *Diktat Perkuliahan : Struktur Beton I* , Jurusan Teknik Sipil , Universitas Pelita Harapan , 2003
2. E.L.Wilson, *SAP2000® Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures : CONCRETE DESIGN MANUAL*, Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA, Version 7.40 May 2000.
3. Standar SK SNI T-15-1991-03 : *Tata Cara Penghitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Yayasan LPMB, Bandung, 1991.