BAB II
STUDI LITERATUR

2.1 Struktur Bangunan

Struktur bangunan adalah bagian dari sebuah sistem bangunan yang bekerja untuk menyalurkan beban yang diakibatkan oleh adanya bangunan di atas tanah. Fungsi struktur dapat disimpulkan untuk memberi kekuatan dan kekakuan yang diperlukan untuk mencegah sebuah bangunan mengalami keruntuhan. Struktur merupakan bagian bangunan yang menyalurkan beban-beban. Beban-beban tersebut menumpu pada elemen-elemen struktur (pelat, balok, kolom) untuk selanjutnya disalurkan ke struktur bagian bawah tanah bangunan (pondasi), sehingga beban-beban tersebut akhirnya dapat di tahan.

Definisi yang sederhana tentang struktur dalam hubungannya dengan bangunan ialah bahwa struktur merupakan sarana untuk menyalurkan beban yang diakibatkan penggunaan dan / atau kehadiran bangunan di atas tanah. (Schodek, 1999)

2.2 Beton

Dalam konstruksi, beton adalah sebuah bahan bangunan komposit yang terbuat dari kombinasi agregat dan pengikat semen. Bentuk paling umum dari beton adalah beton semen *Portland*, yang terdiri dari agregat mineral (biasanya kerikil dan pasir), semen dan air.

Biasanya dipercayai bahwa beton mengering setelah pencampuran dan peletakan. Sebenarnya, beton tidak menjadi padat karena air menguap, tetapi semen berhidrasi, mengelem komponen lainnya bersama dan akhirnya membentuk material seperti batu. Beton digunakan untuk membuat perkerasan jalan, struktur bangunan, fondasi, jalan, jembatan penyeberangan, struktur parkiran, dasar untuk pagar/gerbang, dan semen dalam bata atau tembok blok. Nama lama untuk beton adalah batu cair. (Wikipedia, 2017).

2.2.1 Keunggulan dan Kelemahan Beton

Bahan bangunan yang berupa beton ini sekarang sering dipakai untuk konstruksi bangunan, bahkan (hampir) setiap hari dijumpai bangunan yang terbuat dari beton, mulai dari yang sederhana (misalnya patung kecil) sampai pada bangunan besar (gedung bertingkat, jembatan, bendungan, dermaga dll). (Ali Asroni, 2010a, hal. 14)

Bangunan yang menggunakan konstruksi beton mempunyai beberapa keunggulan, yaitu:

1. Beton termasuk tahan aus dan tahan terhadap kebakaran.
2. Beton sangat kokoh dan kuat terhadap beban gempa, getaran maupun beban angin.
3. Berbagai bentuk konstruksi dapat dibuat dari bahan beton menurut selera perancang atau pemakai.
4. Biaya pemeliharaan atau perawatan sangat sedikit (tidak ada). Bila dibandingkan dengan material baja pada konstruksi jembatan, setiap jangka waktu tertentu jembatan harus dicat ulang agar baja tidak berkarat, dan tidak keropos/rusak. Dengan demikian biaya perawatan pada jembatan baja ini cukup mahal.

Bangunan yang menggunakan konstruksi beton juga mempunyai beberapa kelemahan, yaitu:

1. Beton mempunyai kuat tarik yang rendah, sehingga mudah retak. Oleh karena itu perlu diberi baja tulangan.
2. Konstruksi beton itu berat, sehingga jika dipakai pada bangunan harus disediakan pondasi yang cukup besar/kuat.
3. Untuk memperoleh hasil beton dengan mutu baik, perlu biaya pengawasan tersendiri.
4. Konstruksi beton tak dapat dipindah, disamping itu bekas (rongsokan) beton tidak ada harganya.

2.2.2 Kuat Tekan Beton

Karena sifat utama dari beton adalah sangat kuat jika menerima beban tekan, maka mutu beton pada umumnya hanya ditinjau terhadap kuat tekan beton tersebut. Sifat

lain (misalnya: kuat tarik, modulus elastisitas beton) dapat dikorelasikan terhadap kuat tekan beton. Menurut peraturan beton di Indonesia (SNI 03-2847, 2002), kuat tekan beton diberi notasi dengan fc', yaitu kuat tekan silinder beton yang disyaratkan pada waktu berumur 28 hari.

Mutu beton dibedakan atas 3 macam menurut kuat tekannya, yaitu:

1. Mutu beton dengan fc' kurang dari 10 MPa, digunakan untuk beton non struktur (misalnya: kolom praktis, balok praktis).
2. Mutu beton dengan fc' antara 10 – 20 MPa, digunakan untuk beton struktur (misalnya: balok, kolom, pelat atau pondasi).
3. Mutu beton dengan fc' ≥ 20 MPa digunakan untuk struktur beton yang direncanakan tahan gempa.

Untuk menguji kuat tekan beton, benda uji berupa silinder beton berdiameter 15 cm dan tingginya 30 cm ditekan dengan beban (P) sampai runtuh. Karena ada beban tekan P, maka terjadi tegangan tekan pada beton (σ_c) sebesar beban (P) dibagi dengan luas penampang beton (A), sehingga dirumuskan:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \qquad (2.1)$$

Dimana:

σ_c = tegangan tekan beto, MPa.

P = besar beban tekan, N.

A = luas penampang beton, mm^2.

2.2.3 Kuat Tarik Beton

Kuat tarik beton bervariasi antara 8% sampai 15% dari kuat tekannya. Alasan utama dari kuat tarik yang kecil ini adalah kenyataan bahwa beton dipenuhi oleh retak-retak halus. Retak-retak ini tidak berpengaruh besar bila beton menerirna beban tekan karena beban tekan menyebabkan retak menutup sehingga memungkinkan terjadinya penyaluran tekanan. Jelas ini tidak terjadi bila balok menerima beban tarik.

Meskipun biasanya diabaikan dalam perhitungan desain, kuat tarik tetap merupakan sifat penting yang mempengaruhi ukuran beton dan seberapa besar retak yang terjadi. Selain itu, kuat tarik dari batang beton diketahui selalu akan mengurangi

jumlah lendutan. (Karena kuat tarik beton tidak besar, hanya sedikit usaha yang dilakukan untuk menghitung modulus elastisitas tarik dari beton. Namun, berdasarkan informasi yang terbatas ini, diperkirakan bahwa nilai modulus elastisitas tarik beton sama dengan modulus elastisitas tekannya).

2.2.4 Modulus Elastisitas Beton

Perbandingan antara tegangan dan regangan beton. Beton tidak memiliki modulus elastisitas yang pasti. Nilainya bervariasi tergantung dari kekuatan beton, umur beton, jenis pembebanan, dan karakteristik dan perbandingan semen dan agregat. Pasal 10.5 (SNI 03-2847, 2002) menyebutkan bahwa rumus untuk menghitung modulus elastisitas beton yang memiliki berat beton (W_c) berkisar dari 1500-2500 kg/m^3. Hal ini dapat ditentukan berdasarkan berat beton normal W_c dan kuat tekan beton fc', dengan rumus:

$$E_c = (W_c)^{1,5}.0{,}043.\sqrt{fc'} \qquad (2.2a)$$

Dimana:

W_c = Berat beton normal

fc' = Kuat tekan beton

Untuk beton normal, nila E_c boleh diambil dengan rumus sebagai berikut:

$$E_c = 4700.\sqrt{fc'} \qquad (2.2b)$$

2.3 Baja Tulangan Beton

Baja tulangan yang tersedia di pasaran ada 2 jenis, yaitu baja tulangan polos (BJTP) dan baja tulangan ulir atau *deform* (BJTD), atau di Indonesia biasa disebut dengan baja tulangan beton sirip (BJTS). Menurut (SNI-2052, 2014) tentang Baja tulangan beton, pada ayat 4.1 menjelaskan mengenai jenis tulangan untuk beton bertulang.

a. **Baja Tulangan beton polos (BJTP),** adalah baja tulangan beton berpenampang bundar dengan permukaan rata tidak bersirip. biasanya digunakan untuk tulangan geser/begel/sengkang, dan mempunyai tegangan leleh (*fy*) minimal sebesar 240 MPa (disebut BJTP-24) dan dilambangkan dengan lambang ϕ.
b. **Baja Tulangan beton sirip/deform (BJTD),** digunakan untuk tulangan longitudinal atau tulangan memanjang, dan mempunyai tegangan leleh (*fy*)

minimal 300 MPa (disebut BJTD-30). Bentuknya khusus, yaitu permukaannya memiliki sirip melintang dan memanjang yang dimaksudkan untuk rneningkatkan daya lekat dan guna menahan gerakan membujur dari batang secara relatif terhadap beton.

Diameter dan berat per meter baja tulangan beton polos seperti tercantum pada Tabel (2-1), diameter dan berat per meter baja tulangan beton sirip/deform seperti tercantum pada Tabel (2-2).

Table 2-1 Ukuran Baja Tulangan Beton Polos.
(Sumber: SNI 2052:2014 Baja Tulangan Beton)

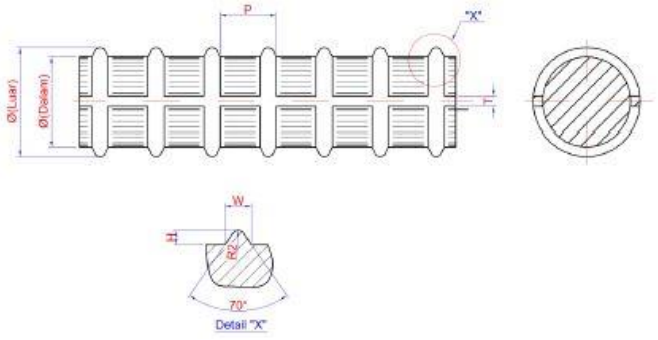
Diameter nominal (d)	**Luas Penampang nominal (A)**	**Berat nominal per meter**
mm	**cm^2**	**kg/m**
ϕ 6	0,2827	0,222
ϕ 8	0,5027	0,395
ϕ 10	0,7854	0,617
ϕ 12	1,131	0,888
ϕ 14	1,539	1,21
ϕ 16	2,011	1,58
ϕ 19	2,835	2,23
ϕ 22	3,801	2,98
ϕ 25	4,909	3,85
ϕ 28	6,158	4,83
ϕ 32	8,042	6,31
ϕ 36	10,17	7,99
ϕ 40	12,56	9,86
ϕ 50	19,64	15,4

Table 2-2 Ukuran Baja Tulangan Beton Sirip/deform.
(Sumber: SNI 2052:2014 Baja Tulangan Beton)

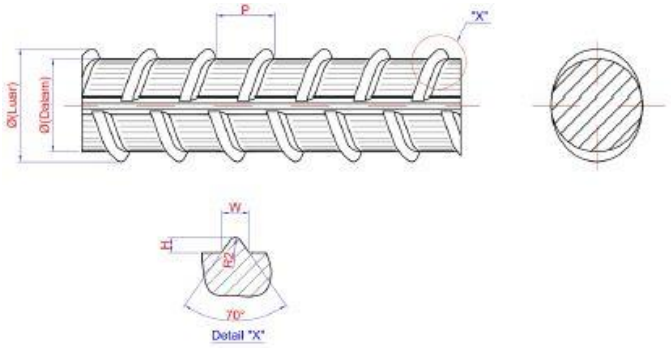
Diameter nominal (d)	**Luas penampang nominal (A)**	**Diameter dalam nominal (do)**	**Berat nominal per meter**
mm	**cm^2**	**mm**	**kg/m**
D6	0,2827	5,5	0,222
D8	0,5027	7,3	0,395
D10	0,7854	8,9	0,617
D13	1,327	12,0	1,04

Diameter nominal (d)	Luas penampang nominal (A)	Diameter dalam nominal (do)	Berat nominal per meter
mm	cm^2	mm	kg/m
D16	2,011	15,0	1,58
D19	2,835	17,8	2,23
D22	3,801	20,7	2,98
D25	4,909	23,6	3,85
D29	6,625	27,2	5,18
D32	8,042	30,2	6,31
D36	10,18	34,0	7,99
D40	12,57	38,0	9,88
D50	19,64	48,0	15,4
D54	22,902	50,8	17,9
D57	25,518	53,6	20,0

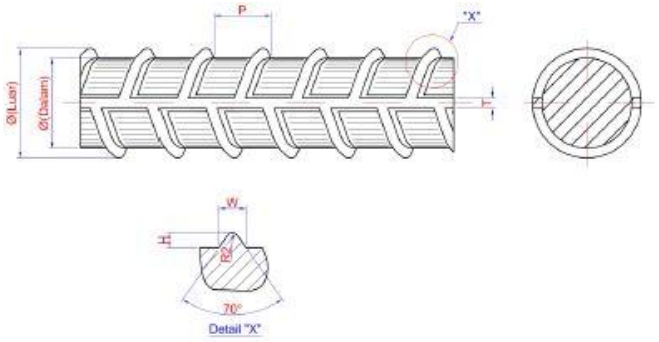
Jenis tulangan beton sirip/deform seperti pada Gambar (2-1) berikut:



(a). sirip bambu



(b). sirip curam



(c). sirip tulang ikan

Gambar 2-1 Jenis Baja Tulangan Beton Sirip/deform

(Sumber: SNI 2052:2014 Baja Tulangan Beton)

2.3.1 Jarak Tulangan dan Tebal Selimut Beton

Pada struktur beton bertulang, tulangan disusun secara berjajar dengan jarak-jarak tertentu pada daerah yang telah ditentukan pada penampang elemen. Untuk itu, sangatlah perlu untuk menjaga jarak antar tulangan supaya pasta beton dapat masuk ke sela-sela tulangan agar beton tidak keropos dan dapat menurunkan kekuatan beton tersebut. Karena di dalam campuran beton sering kali berisi agregat kasar yang berukuran 20 mm, maka diperlukan jarak tulangan minimal dan selimut beton minimal yang berfungsi untuk melindungi tulangan dari karat dan kehilangan kekuatan bilamana terjadi kebakaran. (SK SNI T-15-1991-03, 1991)

Untuk keperluan tersebut, maka jarak minimal tulangan dan selimut beton adalah sebagai berikut:

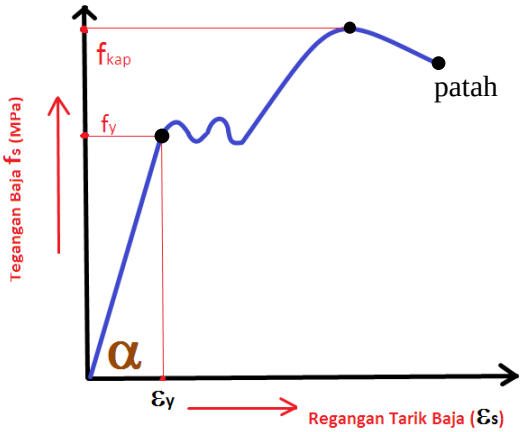
1. Jarak bersih antara tulangan pararel (untuk tulangan yang dipasang lebih dari satu lapis) boleh (< d_b) atau 25 mm.
2. Jarak bersih antara tulangan memanjang tidak boleh (< 1,5 d_b) atau 35 mm.
3. Tebal selimut beton minimum tidak boleh (< 40 mm) untuk balok dan kolom yang dicor di tempat dan tidak berhubungan langsung dengan udara luar maupun tanah.
4. Untuk pelat yang dicor di tempat yang tidak berhubungan langsung dengan udara luar, tebal minimum selimut beton diambil 20 mm.

2.3.2 Kuat Tarik Baja Tulangan

Meskipun baja tulangan juga mempunyai sifat tahan terhadap beban tekan, tetapi karena harganya cukup mahal, maka baja tulangan ini hanya diutamakan untuk

menahan beban tarik pada struktur beton bertulang, sedangkan beban tekan yang bekerja cukup ditahan oleh betonnya.

Hubungan antara tegangan dan regangan tarik baja tulangan dilukiskan pada gambar (2-5).



Gambar 2-2 Hubungan antara Tegangan dan Regangan Tarik Baja Tulangan

(Sumber: Ali Arsoni (2010))

Table 2-3 Material Property

(Sumber: Analisis dan Desain Komponen Struktur Baja AISC, (2005))

Jenis Baja	Tegangan Putus tarik Fu (Mpa)	Tegangan Leleh tarik Fy (Mpa)
BJ 34	340	210
BJ 37	370	240
BJ 41	410	250
BJ 50	500	290
BJ 52	520	360
BJ 55	550	410

2.3.3 Modulus Elastisitas Baja Tulangan

Dari hubungan tegangan regangan tarkik baja tulangan pada Gambar (2-5), terlihat sudut α yaitu sudut antara garis lurus kurva yang ditarik dari kondisi tegangan nol sampai tegangan leleh (f_y) dan garis regangan (ε_s). Modulus elastisitas baja tulangan (E_s) merupakan tangens dari sudut α tersebut. Menurut pasal 10.5.2 (SNI 03-2847, 2002), nilai modulus elastisitas baja tulangan non pratekan (E_s) adalah:

$$E_s = 200000\ MPa. \qquad (2.3)$$

2.4 Beton Bertulang`

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang di syaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja. (SNI 03-2847, 2002, hal. 6).

Jika melihat dari sifat utama kedua bahan material (beton dan baja tulangan), lalu dipadukan menjadi satu kesatuan secara komposit, maka akan diperoleh bahan baru yang disebut beton bertulang. Material ini mempunyai sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan.

2.4.1 Perbandingan Poisson

Ketika sebuah beton menerima beban tekan, silinder tersebut tidak hanya berkurang tingginya tetapi juga mengalami ekspansi (*pemuaian*) dalam arah lateral. Perbandingan ekspansi lateral dengan pendekatan longitudinal ini disebut sebagai Perbandingan Poisson (Poisson's ratio). Nilainya bervariasi mulai dari 0,11 untuk beton mutu tinggi dan 0,21 untuk beton mutu rendah, dengan nilai rata-rata 0,16. Sepertinya tidak ada hubungan langsung antara nilai perbandingan ini dengan nilai-nilai seperti perbandingan air-semen, lamanya perawatan, ukuran agregat, dan sebagainya.

Pada sebagian besar desain beton bertulang, pengaruh dari perbandingan poisson ini tidak terlalu diperhatikan. Namun pengaruh dari perbandingan harus diperhatikan ketika kita menganalisis dan mendesain bendungan busur, terowongan, dan struktur-struktur statis tak tentu lainnya. Terutama ketika kita mendesain struktur bangunan gedung dengan material beton bertulang menggunakan alat bantu komputer analisis struktur seperti SAP2000, ETABS, MIDAS dll.

2.5 Struktur Elemen Kolom

Pada suatu konstruksi bangunan gedung, kolom berfungsi sebagai pendukung beban-beban dari struktur yang berada di atasnya untuk diteruskan ke tanah dasar melalui pondasi. Beban yang umum dipikul oleh struktur kolom ini adalah beban dari balok dan plat lantai yang berupa beban aksial tekan serta momen lentur. Oleh karena itu dapat didefinisikan bahwa kolom ialah suatu struktur yang mendukung beban aksial dengan/tanpa momen lentur.

Struktur bangunan gedung terdiri atas 2 bangunan utama, yaitu struktur bangunan bawah dan struktur bangunan atas. Struktur bangunan bawah, yaitu struktur bangunan yang berada di bawah permukaan tanah yang lazim disebut *pondasi*. Pondasi adalah bagian dari struktur bangunan yang berfungsi sebagai pendukung struktur bangunan di atasnya untuk diteruskan ke tanah dasar. Sedangkan struktur bangunan atas, yaitu struktur bangunan yang berada di atas permukaan tanah, yang meliputi: struktur atap, plat lantai, balok, kolom dan dinding. Selanjutnya balok dan kolom ini menjadi satu kesatuan yang kokoh dan sering disebut sebagai kerangka (portal) dari suatu gedung.

Pada struktur bangunan atas, kolom merupakan komponen struktur yang paling penting untuk diperhatikan, karena apabila kolom ini mengalami kegagalan, maka dapat berakibat keruntuhan struktur bangunan atas dari gedung secara keseluruhan. Apabila beban pada kolom bertambah, maka retak akan banyak terjadi di seluruh tinggi kolom pada lokasi-lokasi tulangan sengkang. Dalam keadaan batas keruntuhan *(limit state of failure)* selimut beton di luar sengkang (pada kolom bersengkang) atau di luar spiral (pada kolom berspiral) akan lepas sehingga tulangan memanjangnya akan mulai terlihat. Apabila bebanya terus bertambah, maka terjadi keruntuhan dan tekuk lokal *(local buckling)* tulangan memanjang pada batang tak tertumpu sengkang atau spiral. Dapat dikatakan bahwa dalam keadaan batas keruntuhan selimut beton lepas dahulu sebelum lekatan baja-beton hilang.

2.5.1 Jenis-jenis Kolom

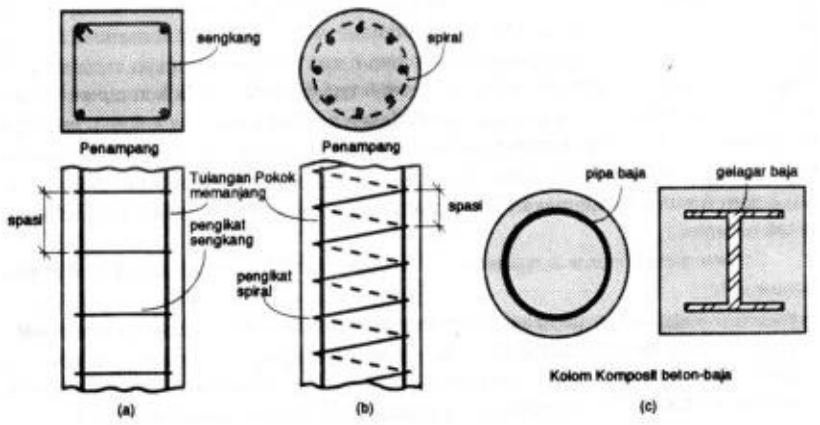
Kolom dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu menurut bentuk susunan tulangannya maupun dari panjang-pendeknya kolom dalam hubungannya dengan dimensi lateral (Ali Asroni, 2010b, hal. 2).

a. Jenis kolom berdasarkan bentuk dan susuna tulangan

Berdasarkan bentuk dan susunan tulangan, kolom dibedakan menjadi 3 macam, Seperti pada Gambar (2-3) berikut:

1. Kolom persegi atau bujursangkar dengan tulangan longitudinal dan tulangan sengkang.
2. Kolom bulat dengan tulangan longitudinal dan tulangan lateral berupa sengkang atau spiral.

3. Kolom komposit dimana profil baja diselimuti oleh beton. Bentuk struktural tersebut dapat ditempatkan di dalam rangka tulangan.



Gambar 2-3 Jenis Kolom Berdasarkan Bentuk Dan Susunan Tulangannya Tipe Tulangan: (a) Kolom Persegi; (b) Kolom Spiral; (c) Kolom Komposit.

(Sumber: Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang, Ali Asroni (2010))

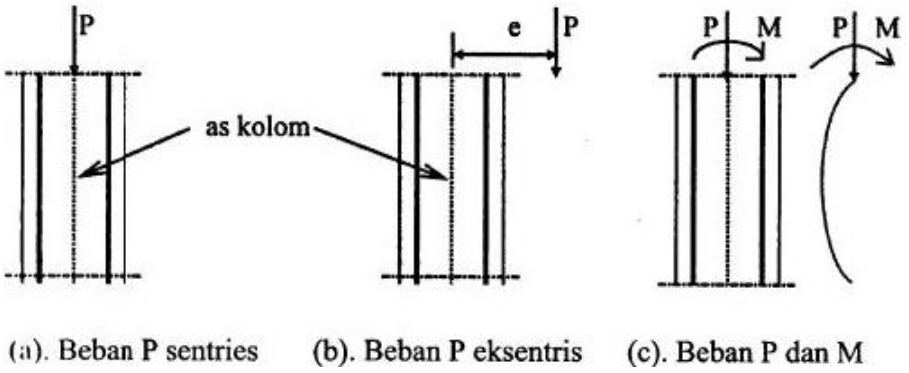
Kolom beton bertulang akan meningkat kekuatannya apabila dilakukan pengekangan. Pada umumnya pengekangan dilakukan menggunakan sengkang (tulangan transversal), baik itu yang berbentuk segi empat maupun yang berbentuk spiral.

b. Jenis kolom berdasarkan letak/posisi beban aksial

Berdasarkan letak beban aksial yang bekerja pada penampang kolom, kolom dibedakan menjadi 2 macam, yaitu kolom dengan posisi beban sentris dan kolom dengan posisi beban eksentris, dapat dilihat pada Gambar 2-4.

Untuk kolom dengan posisi beban sentris, berarti kolom ini menahan beban aksial tepat pada sumbu kolom. (lihat Gambar 2-4(a)). Pada keadaan ini seluruh permukaan penampang beton beserta tulangan kolom menahan beban tekan.

Untuk kolom dengan posisi beban eksentris, berarti beban aksial bekerja di luar sumbu kolom dengan eksentrisitas sebesar e (lihat Gambar 2-4(b)). Beban aksial P dan eksentrisitas e ini akan menimbulkan momen (M) sebesar M = P.e. dengan demikian, kolom yang menahan beban aksial eksentris ini pengaruhnya sama dengan kolom yang menahan beban aksial sentris P serta momen M seperti tampak pada Gambar 2-4(c).



Gambar 2-4 Jenis Kolom Berdasarkan Letak Beban Aksial

(Sumber: Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang, Ali Asroni (2010))

c. Jenis kolom berdasarkan panjang kolom

Berdasarkan ukuran panjang dan pendeknya, kolom dibedakan atas 2 macam, yaitu: kolom panjang (sering pula disebut kolom langsing atau kolom kurus), dan kolom pendek (sering pula disebut kolom tidak langsing atau kolom gemuk). Beban yang bekerja pada kolom panjang dapat menyebabkan terjadi kegagalan/keruntuhan kolom akibat kehilangan stabilitas lateral karena bahaya tekuk. Tetapi pada kolom pendek, kehilangan stabilitas lateral karena tekuk ini tidak pernah dijumpai. Jadi kegagalan/keruntuhan pada kolom pendek sering disebabkan oleh kegagalan materialnya (lelehnya baja tulangan dana tau hancurnya beton). (Ali Asroni, 2010b, hal. 5)

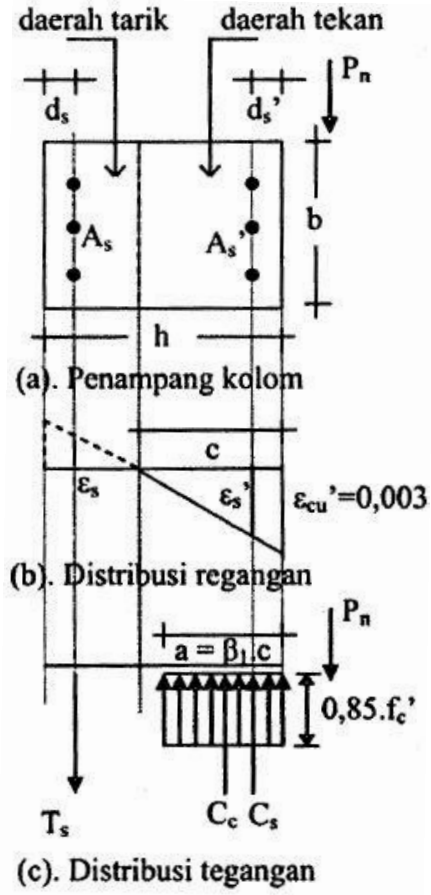
2.5.2 Asumsi Dasar Perencanaan Kolom

Sama halnya dengan balok, pada perencanaan kolom juga digunakan asumsi dasar sebagai berikut (lihat Gambar 2-5).

1. Pasal 12.2.2 SNI 03-2847-2002: Distribusi regangan di sepanjang tebal kolom dianggap berupa garis lurus (linear), seperti terlukis pada Gambar 2-5(b).
2. Pasal 12.2.2 SNI 03-2847-2002: Tidak terjadi slip antara beton dan tulangan.
3. Pasal 12.2.3 SNI 03-2847-2002: Regangan tekan masksimal beton dibatasi pada kondisi ultimit ε_{cu}' = 0,003 (lihat Gambar 2-5(b)).
4. Pasal 12.2.5 SNI 03-2847-2002: Kekuatan Tarik beton diabaikan.
5. Pasal 12.2.4 SNI 03-2847-2002: Tegangan baja tulangan tarik maupun tekan (fs maupun fs') yang belum mencapai leleh ($<f_y$) dihitung sebesar

modulus elastisitas baja tulangan (E_s) dikalikan dengan regangannya (ε_s maupun ε_s').

6. Pasal 12.2.6 SNI 03-2847-2002: Hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dan regangan beton dapat diasumsikan persegi, trapezium, parabola atau bentuk lainnya.
7. Pasal 12.2.7 SNI 03-2847-2002: Bila hubungan antara distribusi tegangan dan regangan beton diasumsikan berbentuk tegangan beton persegi ekuivalen, maka dipakai nilai tegangan beton sebesar $0{,}85.f_c$' yang terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekuivalin (seperti Gambar 2-5(c)) yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar garis lurus yang sejajar garis netral sejarak $a = \beta_1.c$ dari serat tekan meksimal.



Gambar 2-5 Penampang Kolom, Diagram Regangan dan Diagram Tegangan

(Sumber: Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang, Ali Asroni (2010))

8. Pasal 12.2.7.3 SNI 03-2847-2002: Faktor β_1 diambil sebagai berikut:

a) Untuk $f_c' \leq 30$ MPa, $\beta_1 = 0{,}85$ (2.4a)

b) Untuk $f_c' > 30$ MPa, $\beta_1 = 0{,}85 - 0{,}05.\left(\frac{fc'-30}{7}\right)$ (2.4b)

Tetapi $\beta_1 \geq 0{,}65$ (2.4c)

2.5.3 Ketentuan Perencanaan

Beberapa ketentuan yang penting untuk diperhatikan dalam perencanaan kolom meliputi hal-hal berikut:

1. **Luas tulangan total (A_{st})**

   Menurut Pasal 12.9.1 SNI 03-2847-2002: luas total (A_{st}) tulangan longitudinal (tulangan memanjang) kolom harus memenuhi syarat berikut:

   $$0{,}01.A_g \leq A_{st} \leq 0{,}08.A_g \quad (2.5a)$$

   Dengan: A_{st} = luas total tulangan memanjang, mm^2.

   A_g = Luas bruto penampang kolom, mm^2.

2. **Diameter tulangan geser (begel atau sengkang)**

   Diameter begel kolom (ϕ_{begel}) disyaratkan:

   $$10 \text{ mm} \leq \phi_{begel} \leq 16 \text{ mm} \quad (2.5b)$$

3. **Gaya Tarik dan gaya tekan pada penampang kolom**

   Kolom yang sering dipakai pada bangunan gedung adalah kolom dengan penampang segi empat seperti pada Gambar 2-5. Jika kolom menahan beban eksentris P_n, maka pada penampang kolom sebelah kiri menahan beban tarik yang akan ditahan oleh baja tulangan, sedangkan sebelah kanan menahan beban tekan yang akan ditahan oleh beton dan baja tulangan.

   - Gaya tarik bagian kiri ditahan oleh tulangan, sebesar:

     $$T_s = A_s \,.\, f_s \quad (2.5c)$$

   - Gaya tekan yang ditahan beton bagian kanan, sebesar:

     $$C_c = 0{,}85.fc'.a.b \quad (2.5d)$$

   - Gaya tekan yang ditahan oleh tulangan kanan, sebesar:

     (a) Jika luas beton tekan diperhitungkan, maka:

     $$C_s = A_s'.\,(f_s' - 0{,}85.f_c') \quad (2.5e)$$

     (b) Jika luas tekan beton diabaikan, maka:

     $$C_s = A_s'.\,f_s' \quad (2.5f)$$

Persamaan (2.5f) merupakan persamaan yang paling mudah dan paling banyak dipakai pada perencanaan.

Selanjutnya dengan memperhatikan keseimbangan gaya vertikal pada Gambar 2-5(c), diperoleh gaya aksial:

$$P_n = C_c + C_s - T_s \qquad (2.5g)$$

4. Nilai regangan dan tegangan baja tulangan

Besar regangan baja tulangan dapat ditentukan berdasarkan perbandingan 2 segitiga yang sebangun pada Gambar 2-5(b).

Untuk regangan Tarik baja tulangan sebelah kiri, dihitung sebagai berikut:

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

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} . \varepsilon_c' \qquad (2.6a)$$

Untuk regangan tekan baja tulangan sebelah kanan, dihitung sebagai berikut:

$\frac{\varepsilon_s'}{c-d_s'} = \frac{\varepsilon_c'}{c}$ sehingga diperoleh

$$\varepsilon_s' = \frac{c-d_s'}{c} . \varepsilon_c' \qquad (2.6b)$$

Untuk baja tulangan (tarik maupun tekan) yang sudah leleh, maka nilai regangannya diberi notasi dengan: ε_y, dan dihitung dengan persamaan:

$\varepsilon_y = f_y / E_s$ dengan

$E_s = 2000000$ MPa (2.6c)

Selanjutnya tegangan baja tulangan Tarik dan tekan dihitung sebagai berikut:

$$f_s = \varepsilon_s . E_s \text{ dan } f_s' = \varepsilon_s' . E_s \qquad (2.6d)$$

Jika ε_s (atau ε_s') $\geq \varepsilon_y$, maka tulangan sudah leleh, dipakai

$$f_s \text{ (atau } f_s') = f_y \qquad (2.6e)$$

5. Kolom dengan beban aksial kecil

Pasal 11.3.2.2 SNI 03-2847-2002 mensinyalir, bahwa untuk komponen struktur yang memakai $f_y \leq 400$ MPa dengan tulangan simetris dan dengan $(h-d-d_s')/h \geq 0{,}7$ boleh dianggap hanya menahan momen lentur saja apabila nilai $\phi.P_n$ kurang dari $0{,}10.fc'. A_g$, sedangkan untuk kolom yang lain ($f_y >$

400 MPa, (h-d-d_s')/h < 0,7), boleh dianggap hanya menahan momen lentur saja apabila nilai $\phi.P_n$ < dari nilai terkecil dari nilai 0,10.fc'. A_g dan $\phi.P_{n,b}$ dengan:

ϕ = 0,65 (untuk kolom dengan tulangan sengkang),

ϕ = 0,70 (untuk kolom dengan tulangan spiral).

Jadi menurut pasal tersebut, bahwa untuk semua kolom dengan beban < "$\phi.P_n$ kecil" (kurang dari nilai terkecil antara nilai 0,10.fc'.A_g atau $\phi.P_{n,b}$), nilai ϕ dapat ditingkatkan menjadi ϕ = 0,80 (hanya menahan momen lentur saja).

$P_{u\varphi}$ diambil nilai terkecil dari nilai 0,10.fc'. A_g atau $\phi.P_{n,b}$ (2.7a)

Untuk kolom dengan tulangan sengkang berlaku ketentuan berikut:

a) Jika beban P_u ($P_u = \phi.P_n$) ≥ $P_{u\varphi}$, maka, nilai ϕ = 0,65 (2.7b)

b) Jika beban P_u ($P_u = \phi.P_n$) < $P_{u\varphi}$,

Maka nilai $\phi = 0{,}80 - \frac{0{,}15.P_u}{P_{u\varphi}}$ (2.7c)

Dengan:

P_u = Gaya aksial tekan perlu atau gaya aksial tekan terfaktor, kN.

$P_{u\varphi}$ = Gaya aksial tekan terfaktor pada batas nilai ϕ yang sesuai, kN.

$P_{n,b}$ = Gaya aksial nominal pada kondisi regangan penampang seimbang *(balance)*, kN.

ϕ = Faktor reduksi kekuatan.

A_g = Luas bruto penampang kolom, mm^2.

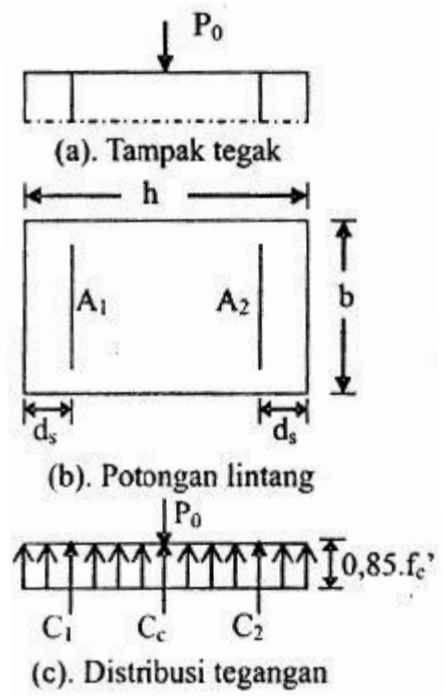
2.6 Pengaruh Beban Aksial Pada Penampang Kolom

Keadaan beban aksial yang bekerja pada penampang kolom dibedakan menjadi 2 macam, yaitu beban sentris dan beban eksentris. Untuk penampang kolom dengan beban eksentris masih dibedakan lagi menjadi 4 macam, yaitu:

1. Penampang kolom pada kondisi tekan menentukan
2. Penampang kolom pada kondisi seimbang *(balance)*
3. Penampang kolom pada kondisi tulangan Tarik menentukan
4. Penampang kolom dengan eksentrisitas sangat besar, sehingga beban P_n dianggap nol (P = 0) atau diabaikan.

2.6.1 Penampang Kolom pada Kondisi Beban Sentris

Pada penampang kolom dengan kondisi beban sentris, berarti beban tersebut bekerja pada sumbu (as) longitudinal kolom, sehingga beton maupun baja tulangan (semuanya) menahan beban tekan.



Gambar 2-6 Kolom dengan Beban Sentris

(Sumber: Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang, Ali Asroni (2010))

Kekuatan penampang kolom dengan beban sentris ditentukan dengan menganggap bahwa semua baja tulangan (A1 dan A2) sudah mencapai leleh, jadi tegangan baja tulangan $f_s = f_s' = f_y$. Disamping itu, regangan tekan beton sudah mencapai batas maksimal, yaitu $\varepsilon_c' = \varepsilon_{cu}' = 0{,}003$.

Pada kondisi beban sentris (P_0) ini dapat dianalisis seperti berikut:

A_g = b.h = luas bruto penampang kolom, mm^2.

$A_{st} = A_1 + A_2$ = Luas total baja tulangan, mm^2.

A_n = Luas bersih (netto) beton = $A_g - A_{st}$, mm^2.

Gaya tekan beton:

$$C_c = 0{,}85.f_c'.\ A_n \qquad (2.8a)$$

Gaya tekan tulangan:

$$C_1 = A_1.f_y \qquad (2.8b)$$

$$C_2 = A_2.f_y \qquad (2.8c)$$

Dengan mempertimbangkan kesetimbangan gaya vertikal harus nol, maka diperoleh:

$$P_0 = C_c + C_1 + C_2$$
$$= 0{,}85.f_c'.\ A_n + A_1.f_y + A_2.f_y$$
$$= 0{,}85.f_c'\ .\ (A_g - A_{st}) + (A_1 + A_2).\ f_y$$

Sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$P_0 = 0{,}85.f_c'\ .\ (A_g - A_{st}) + A_{st}.\ f_y \qquad (2.9a)$$

Pada kenyataannya, beban yang betul-betul sentris itu jarang sekali dijumpai, dan dianggap tidak ada. Oleh karena itu Pasal 12.3.5 SNI 03-2847-2002 memberi Batasan kuat tekan nominal maksimal sebesar 80% dari beban sentris untuk kolom dengan tulangan sengkang, atau 85% dari brban sentris untuk kolom dengan tulangan spiral. Dengan demikian diperoleh rumus sebagai berikut:

$$P_{n\ maks} = 0{,}80.P_0 \text{ (kolom dengan tulangan sengkang)} \qquad (2.9b)$$

$$P_{n\ maks} = 0{,}85.P_0 \text{ (kolom dengan tulangan spiral)} \qquad (2.9c)$$

Kuat rencana dihitung dengan memasukan faktor reduksi kekuatan ϕ pada kuat nominalnya. Jadi kuat rencana pada penampang kolom dengan beban sentris dihitung dengan persamaan berikut:

$$\phi.P_{n\ maks} = 0{,}80.\ \phi.P_0 \text{ (kolom dengan tulangan sengkang)} \qquad (2.9d)$$

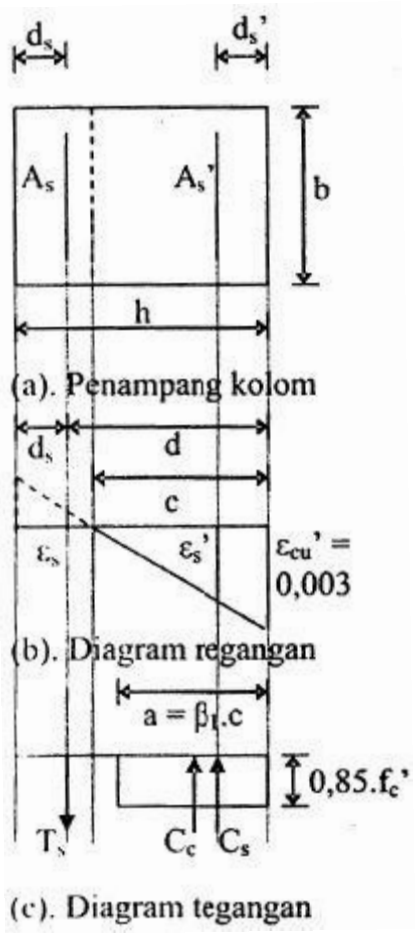
$$\phi.P_{n\ maks} = 0{,}80.\ \phi.P_0 \text{ (kolom dengan tulangan spiral)} \qquad (2.9e)$$

2.6.2 Penampang Kolom pada Kondisi Beton Tekan Menentukan

Jika beban P_n pada kondisi beban sentris digeser ke kanan, maka pada penampang kolom sebelah kiri mulai menahan beban Tarik relatif kecil (sehingga baja tulangan Tarik belum leleh), sedangkan penampang kolom sebelah kanan tetap menahan beban tekan yang cukup besar (sehingga dapat menimbulkan retak beton tekan). Kekuatan penampang kolom pada kondisi ini bergantung pada kekuatan tekan dari beton, sehingga disebut:

Kolom pada kondisi beton tekan mmenentukan atau kondisi patah tekan, dan dilukiskan pada Gambar 2-7.

Batas pada penampang kolom yang menahan tegangan Tarik (di sebelah kiri) dan menahan tegangan tekan (di sebelah kanan) berupa garis lurus yang tegangannya nol, disebut: “garis netral”. Garis ini berada pada jarak c dari batas tepi beton tekan.



Gambar 2-7 Kolom dengan Beban Eksentris

(Sumber: Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang, Ali Asroni (2010))

Pada penampang kolom dengan kondisi beton tekan menentukan, regangan tekan beton telah mencapai batas ultimit ($\varepsilon_{cu} = 0{,}003$), tulangan tekan A_s' telah mencapai leleh ($f_s' = f_y$), tetapi tulangan Tarik A_s belum leleh ($\varepsilon_s < \varepsilon_y$ atau $f_s < f_{y)}$.

Tinggi blok tegangan beton tekan persegi ekuivalen a dihitung sebesar:

$$a = \beta_1.c \qquad (2.10)$$

Dengan:

β_1 dapat dilihat pada persamaan (2.4a) sampai persamaan (2.4c).

Nilai regangan dan tegangan pada tulangan Tarik maupun tulangan tekan yang terjadi pada kolom, dapat dihitung dengan persamaan (2.6a) sampai persamaan (2.6e).

Karena kolom menahan beban eksentris, maka kolom akan menahan beban aksial dan momen lentur. Beban aksial yang ditaha oleh kolom dapat dihitung berdasarkan Gambar 2-7(c), yaitu dengan cara menjumlahkan beban vertikal = 0, sedangkan

untuk momen lentur dihitung dari beban-beban T_s, C_c, C_s pda Gambar 2-7(c) dikalikan dengan jarak masing-masing beban ke sumbu kolom.

Untuk memudahkan hitungan, maka proses hitungan dilaksanakan dengan menggunakan table seperti contoh pada Tabel …… Gaya/beban pada Tabel ini diberi tanda plus (+) jika arah gaya mengarah ke atas, dan tanda minus (-) jika arah gaya ke bawah. Lengan momen juga diberi tanda (+) jika letak gaya kanan di sumbu kolom, dan tanda minus (-) jika letak gaya di kiri sumbu kolom.

Table 2-4 Contoh Tabel untuk Hitungan Gaya Aksial dan Momen Lentur Kolom

(Sumber: Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang, Ali Asroni (2010))

Gaya (kN)	Lengan ke sumbu (m)	Momen (kNm)
$-T_s = -A_s.f_s$ = ….	$-Z_s = -(h/2-d_s)$ = …..	$T_s.Z_s$ = …..
$C_c = 0{,}85.f_c'.a.b$ = …..	$Z_c = (h/2-a/2)$ = …..	$C_c.Z_c$ = …..
$C_s = A_s'.f_s'$ = …..	$Z_s' = (h/2-d_s')$ = …..	$C_s.Z_s'$ = …..
Jumlah: P_n = …..		M_n = …….

Selanjutnya dihitung:

$$\phi.P_n \text{ dan } \phi.M_n \qquad (2.11)$$

Dengan nilai ϕ dapat dilihat pada Persamaan (2.7a) sampai Persamaan (2.7c).

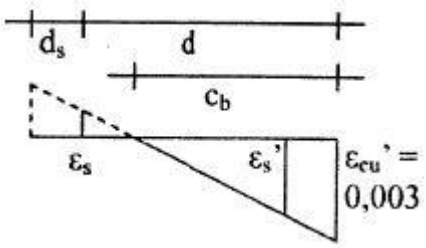
Perlu dicatat, bahwa jarak c (yaitu jarak antara garis netral dan batas tepi beton tekan) pada penampang kolom dengan kondisi beton tekan menentukan adalah relatif besar.

Jika beban P_n digeser ke kanan sedikit demi sedikit, maka jarak c akan berkurang secara perlahan, dan suatu saat pada penampang kolom ini akan terjadi kondisi seimbang *(balance)* dengan jarak c dinotasikan dengan c_b. Maka, penampang kolom dengan kondisi beton tekan menentukan berlaku syarat berikut:

$$c > c_b \qquad (2.12)$$

2.6.3 Penampang Kolom pada Kondisi Seimbang *(balance)*

Pada penampang kolom dengan kondisi seimbang, maka tulangan Tarik mencapai leleh ($\varepsilon_s = \varepsilon_y$) bersamaan dengan regangan beton tekan mencapai batas retak atau batas ultimit ($\varepsilon_c' = \varepsilon_{cu}' = 0{,}003$). Pada kondisi ini diperoleh jarak antara garis netral dan tepi beton tekan = c_b, dan distribusi regangan pada penampang kolom dilukiskan pada Gambar 2-8. Nilai c_b dapat ditentukan dengan cara berikut: (lihat Gambar 2-8):



Gambar 2-8 Distribusi Regangan Pada Kondisi Penampang Seimbang.

(Sumber: Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang, Ali Asroni (2010))

$$\frac{c_b}{\varepsilon_{cu}{}'} = \frac{d}{\varepsilon'_{cu} + \varepsilon_s}$$

$$c_b = \frac{\varepsilon_{cu}{}'.d}{\varepsilon'_{cu} + \varepsilon_s}$$

Dengan memasukan nilai:

$\varepsilon_s = \varepsilon_y = f_y/E_s$ atau $\varepsilon_s = f_y/200000$, dan $\varepsilon_{cu}' = 0{,}003$ akan diperoleh:

$$c_b = \frac{600.d}{600+f_y} \qquad (2.13)$$

Selanjutnya dengan menggunakan Tabel 2-4 dapat dihitung gaya aksial $P_{n,b}$ dan momen lentur $M_{n,b}$, serta gaya aksial rencana $\phi.P_{n,b}$ dan momen rencana $\phi.M_{n,b}$ dengan persamaan (2.11).

2.6.4 Penampang Kolom pada Kondisi Tulangan Tarik Menentukan

Jika beben aksial P_n telah berada pada kondisi penampang seimbang, kemudian beban tersebut digeser lagi ke kanan, maka luas penampang beton tekan akan semakin kecil, sehingga regangan tekan beton juga berkurang ($\varepsilon_c' < 0{,}003$) dan nilai c ikut berkurang pula, yaitu:

$$c < c_b \qquad (2.14)$$

Sebaliknya, luas penampang beton tarik akan berubah menjadi besar, sehingga regangan tulangan Tarik melebihi batas leleh. Dengan demikian, kekuatan penampang kolom pada kondisi ini ditentukan oleh kuat leleh tulangan Tarik, dan disebut: Penampang kolom pada kondisi tulangan tarik menentukan atau kondisi patah tarik.

Sesuai dengan persamaan (2.6e), Karena $\varepsilon_s > \varepsilon_y$ maka dalam perhitungan digunakan $f_s = f_y$. disamping itu, besar beban aksial dan momen lentur yang terjadi pada kolom dapat dihitung dengan menggunakan Tabel 2-4, kemudian dihitung pula kuat rencana yang berupa $\phi.P_n$ dan $\phi.M_n$ dengan Persamaan (2.11).

2.6.5 Penampang Kolom pada Kondisi Beban $P_n = 0$

Untuk penampang kolom dengan beban aksial $P_n = 0$, berarti kolom hanya menahan momen lentur saja. Karena hanya menahan momen lentur saja, maka kolom tersebut dianalisis/dihitung seperti balok biasa.

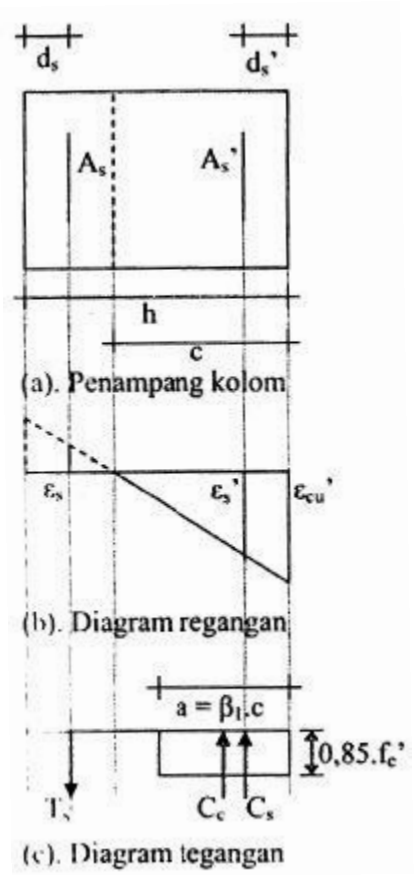
Momen nominal dihitung dengan menggunakan rumus-rumus seperti pada hitungan momen nominal balok, dan dengan faktor reduksi kekuatan ϕ = 0,80.
Proses hitungan dilakukan dengan rumus-rumus berikut:

$$a = \frac{A_s.f_y}{0{,}85.f_c.b} \tag{2.15a}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} \tag{2.15b}$$

Dihitung momen nominal M_n dan $\phi.M_n$:

$$M_{n0} = A_s \,.\, f_y\,(d - a/2) \tag{2.16}$$



Gambar 2-9 Kolom dengan beban $P_n = 0$

(Sumber: Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang, Ali Asroni (2010))

2.6.6 Diagram Interaksi Kolom

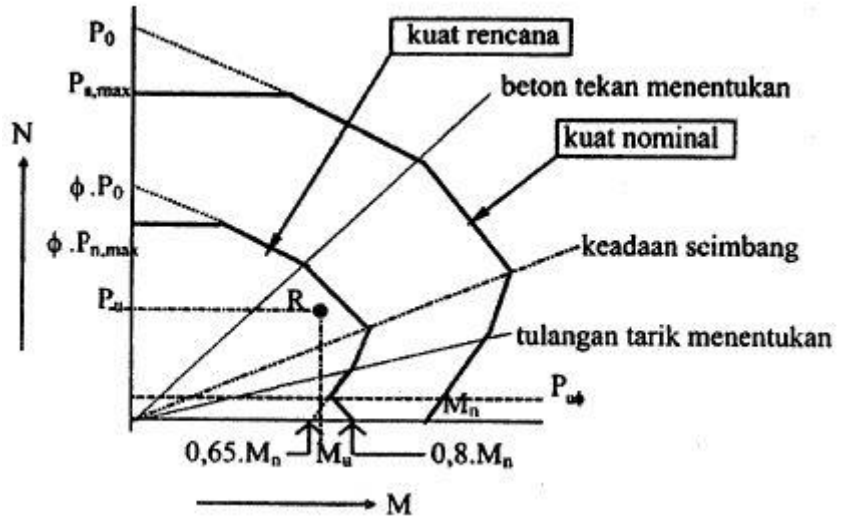
Beban yang bekerja pada kolom, biasanya berupa kombinasi antara beban aksial dan momen lentur. Besar beban aksial dan momen lentur yang mampu ditahan oleh kolom bergantung pada ukuran/dimensi kolom, dan jumlah serta letak baja tulangan yang ada/terpasang pada kolom tersebut. Hubungan antara beban aksial dan momen lentur digambarkan dalam suatu diagram yang disebut Diagram Interaksi Kolom M – N. Manfaat dari diagram interaksi kolom M – N, yaitu dapat memberikan gambaran tentang kekuatan dari kolom yang bersangkutan.

Untuk suatu penampang kolom, dapat digambarkan diagram interaksi kolom yang meliputi 3 macam, yaitu:

1. Diagram interaksi kolom untuk kuat rencana.
2. Diagram interaksi kolom untuk kuat nominal, dan
3. Diagram interaksi kolomm untuk kuat batas (kapasitas).

Diagram interaksi kolom dibuat dengan pertolongan 2 buah sumbu (yaitu sumbu vertikal dan sumbu horizontal) yang saling berpotongan tegak lurus sesamanya. sumbu vertikal menggambarkan besar beban aksial (P) atau gaya normal (N), sedangkan sumbu horizontal menggambarkan besar momen lentur (M) yang dapat ditahan oleh kolom. (Ali Asroni, 2010b).

Seperti dilukiskan pada gambar (2-5) ini dapat diketahui, apakah kolom mampu menahan beban aksial perlu sebesar (P_u) dan momen perlu sebesar (M_u). untuk keperluan tersebut, nilai dari (P_u) dan (M_u) diplotkan pada sumbu diagram. Kemudian dengan membuat garis vertical dari momen (M_u), maka akan diperoleh titik potong (R). Pada contoh Gambar (2-5) ini diperoleh titik (R) berada di dalam diagram interkasi kuat rencana, maka kolom mampu menahan beban yang bekerja. Tetapi sebaliknya, jika titik (R) berada di luar diagram interkasi kuat rencana, maka kolom tersebut dinyatakan tidak mampu menahn beban yang bekerja.



Gambar 2-10 Contoh Diagram Interaksi Kolom M – N
(Sumber: Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang, Ali Asroni (2010))

2.7 Komputer Rekayasa Struktur

Komputer yang artinya penghitung merupakan alat bantu yang pertama-tama dikembangkan untuk bidang sain dan rekayasa. Dikaitkan dengan rekayasa konstruksi struktur, atau tepatnya *structural engineering* maka tugas utama komputer adalah sebagai penghitung seperti maksud awal alat tersebut diciptakan, yaitu dari asal kata *to compute.*

Program komputer rekayasa diantaranya yaitu ada (SAP2000, ETABS, SAFE, STAD-III, GT-STRUDL, ANSYS, ABAQUS, ADINA, MIDAS, SANSPRO dll) ini berbeda dengan program komputer yang umum dipakai seperti (Word, Excel, Photoshop, AutoCAD dll) karena pengguna program komputer rekayasa dituntut untuk memahami latar belakang metode penyelesaian dan batasan-batasan yang dihasilkan oleh program tersebut. (Wiryanto Dewobroto, 2007).

Salah satu program rekayasa komputer yang digunakan dalam mendesain maupun menganalisis perhitungan hasil analisa struktur kolom pada penulisan tugas akhir ini adalah Program SAP2000 versi 18.2.0 dan program SP Column v4.81 untuk mencari diagram interaksi dari struktur elemen kolom yang diuji.

2.7.1 Program SAP2000

Program SAP2000 merupakan pengembangan SAP[1] (*Structure Analysis Program*) yang dibuat oleh Prof. Edward L. Wilson dari University of California at Berkeley, US sekitar tahun 1970. pada tahun 1975 dibentuklah perusahaan Computer &

Structure, Inc. yang dipimpin oleh Ashraf Habibullah yang bertujuan untuk melayani keperluan komersial. (Wiryanto Dewobroto, 2007).

Program SAP2000 dapat melakukan perhitungan analisis struktur statik/dinamik, saat melakukan desain penampang beton bertulang maupun struktur baja, SAP2000 juga menyediakan metode interface (antarmuka) yang secara grafis mudah digunakan dalam proses penyelesaian analisis struktur.

Urutan proses analisis dan desain struktur dalam SAP2000 adalah sebagai berikut:

1. Penentuan Model Strutur
2. Penetapan Penampang Struktur
3. Penetapan Penampang Elemen Struktur
4. Penetapan Kondisi Pembebanan
5. Penentuan Beban pada Struktur
6. Analisis Model
7. Penampilan Deformasi Struktur
8. Penampilan gaya-gaya dalam
9. Pemeriksaan Tegangan Elemen

Pada umumnya SAP2000 digunakan untuk menganalisis struktur bangunan atas, sehingga jarang orang menggunakan untuk analisis pondasi bangunan. Orang lebih suka menggunakan program SAFE untuk desain pondasi.



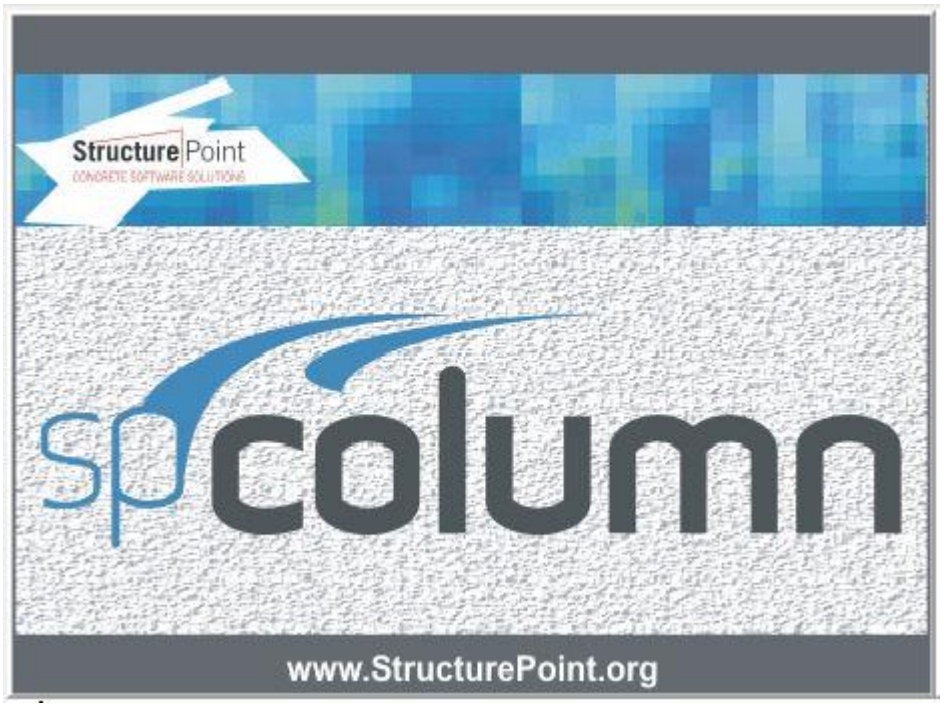
Gambar 2-11 SAP2000 Version 18

(Sumber: Software SAP2000 Versi 18)

2.7.2 Program SP Column

Penggunaan program komputer khusunya di bidang rekayasa struktur saat ini telah dikembangkan, salah satunya melalui aplikasi rekayasa konstruksi seperti PCA Column yang berasal dari Amerika Serikat dann dibuat berdasarkan *code* ACI 1995. Program yang digunakan pada perhitungan kapasitas kolom ini merupakan pengembangan dari PCA Column versi terbaru yaitu SP Column v4.81 tahun 2012.

Data yang diperlukan untuk dapat melakukan proses running meliputi jumlah serta diameter tulangan yang digunakan, mutu beton, dan mutu baja. Proses penggunaannya tergolong sederhana, cukup memasukan data-data tersebut dalam waktu singkat dapat dihasilkan sebuah diagram interaksi yang menunjukan aman tidaknya kolom yang telah direncanakan. Penggunaan program analisa kapasitas kolom ini dapat menggantikan pekerjaan perhitungan coba – coba garis netral penampang manual yang rumit dan memakan waktu lama.



Gambar 2-12 SP Column v4.81
(Sumber: Software SP Column Versi 4.81)

2.8 Jenis Pembebanan

Dalam merencanakan suatu struktur bangunan bertingkat, diperlukan elemen struktur yang mampu mendukung beban berat sendiri dari komponen struktur yang ada seperti beban mati berat sendiri balok, berat sendiri plat lantai, beban dinding

terdistribusi merata, beban balok anak jika ada dan komponen struktur yang bersifat tetap. Selain itu faktor beban hidup yang ada, tergantung kegunaan gedung itu sendiri.

2.8.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian–penyelesaian, mesin – mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung tersebut. (PPIUG 1983, n.d.).

2.8.1.1 Reduksi Beban Mati

Apabila beban mati memberikan pengaruh yang menguntungkan terhadap pengerahan kekuatan struktur atau unsur struktur suatu gedung, maka beban mati tersebut harus diambil menurut Tabel (2-5) dengan mengalikan dengan koefisien reduksi 0,9.

Table 2-5 Berat Sendiri Bahan Bangunan (Beban Mati)

(Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk gedung (1983))

No.	Bahan Bangunan	Berat Jenis (kg/m^3)
1	Baja	7850
2	Batu alam	2600
3	Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1500
4	Batu karang (berat tumpuk)	700
5	Batu pecah	1450
6	Besi tuang	7250
7	Beton ([1])	2200
8	Beton bertulang ([2])	2400
9	Kayu (Kelas 1) ([3])	1000
10	Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650
11	Pasangan bata merah	1700
12	Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200
13	Pasangan batu cetak	2200
14	Pasangan batu karang	1450
15	Pasir (kering udara sampai lembab)	1600
16	Pasir (jenuh air)	1800
17	Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850
18	Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700

No.	Bahan Bangunan	Berat Jenis (kg/m^3)
19	Tanah, lempung dan lanau (basah)	2000
20	Timah hitam (timbel)	11400

Table 2-6 Berat Sendiri Komponen Gedung (Beban Mati)

(Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk gedung (1983))

No.	KOMPONEN GEDUNG	Berat Jenis (kg/m^2)
1.	Adukan Per cm tebal: a. Dari semen	21
	b. Dari kapur, semen merah atau tras	17
2.	Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14
3.	Dinding pasangan bata merah: a. Satu batu	450
	b. Setengah batu	250
4.	Dinding pasangan batako: Berlubang: a. Tebal dinding 20 cm (HB 20)	200
	b. Tebal dinding 10 cm (HB 10)	120
	Tanpa lubang: a. Tebal dinding 15 cm	300
	b. Tebal dinding 10 cm	200
5.	Dinding bata ringan (hebel)	150
6.	Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari: a. Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm.	11
	b. Kaca, dengan tebal 3 - 4 mm.	10
7.	Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m2	40
8.	Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s. Minimum 0,80 m	7
9.	Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m2 bidang atap	50
10.	Penutup atap sirap dengan reng dan usuk/kaso per m2 bidang atap	40
11.	Penutup atap seng gelombang (BWG 24) tanpa gordeng	10

No.	KOMPONEN GEDUNG	Berat Jenis (kg/m^2)
12.	Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24
13.	Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11

2.8.2 Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghuni atau pengguna suatu gedung, termasuk beban – beban pada lantai yang berasal dari barang – barang yang dapat berpindah, mesin – mesin serta peralatan yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan pembebanan lantai dan atap tersebut. Khususnya pada atap, beban hidup dapat termasuk beban yang berasal dari air hujan. (PPIUG 1983, n.d.).

Table 2-7 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

(Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk gedung (1983))

No.	KOMPONEN GEDUNG	Berat Jenis (kg/m2)
a.	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disbut dalam (b)	200
b.	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125
c.	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250
d.	Lantai ruang olah raga	400
e.	Lantai ruang dansa	500
f.	Lantai dan balkon-dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain dari pada yang disebut dalam a s/d e, seperti mesjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400
g.	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri	500
h.	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam (c)	300
i.	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam (d), (e, f dan g)	500
j.	Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam (c, d, e, f dan g)	250
k.	Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip,	400

No.	KOMPONEN GEDUNG	Berat Jenis (kg/m2)
	toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri dengan minimum	
l.	Lantai gedung parkir bertingkat: 1. Untuk lantai bawah	800
	2. Untuk lantai tingkat lainnya	400
m.	Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	300

2.8.2.1 Reduksi Beban Hidup

Peluang untuk tercapainya suatu prosentase tertentu dari beban hidup yang membebani struktur pemikul suatu gedung selama umur gedung tersebut, bergantung pada bagian atau unsur struktur yang ditinjau dan bergantung pula pada penggunaan gedung itu dan untuk apa beban hidup tersebut ditinjau. Berhubung peluang untuk terjadinya beban hidup penuh yang membebani semua bagian dan semua unsur struktur pemikul secara serempak selama umur gedung tersebut adalah sangat kecil, maka beban hidup tersebut dapat dianggap tidak efektif sepenuhnya, sehingga beban hidup terbagi rata dapat dikalikan dengan suatu koefisien reduksi. Seperti dirumuskan pada tabel (2-8) dan (2-9).

Table 2-8 Koefisien Reduksi Beban Hidup

(Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (1983))

Penggunaan gedung	Untuk perencanaan balok induk dan portal	Untuk peninjauan gempa
PERUMAHAN/PENGHUNIAN: □ Rumah tinggal, asrama, hotel, rumah sakit	0,75	0,3
PENDIDIKAN: □ Sekolah, ruang kuliah	0,90	0,50
PERTEMUAN UMUM: □ Mesjid, gereja, bioskop, restoran, ruang dansa, ruang pagelaran	0,90	0,50
KANTOR: □ Kantor, bank	0,60	0,30

Penggunaan gedung	Untuk perencanaan balok induk dan portal	Untuk peninjauan gempa
PERDAGANGAN: □ Toko, toserba, pasar	 0,80	 0,80
PENYIMPANAN: □ Gudang, perpustakaan, ruang arsip	 0,80	 0,80
INDUSTRI: □ Pabrik, bengkel	 1,00	 0,90
TEMPAT KENDARAAN: □ Garasi, gedung parkir	 0,90	 0,50
GANG DAN TANGGA: □ Perumahan/penghunian □ Pendidikan, kantor □ Pertemuan umum, perdagangan, penyimpanan, industri, tempat kendaraan	 0,75 0,75 0,90	 0,30 0,50 0,50

Pada perencanaan unsur-unsur struktur vertikal seperti kolom-kolom yang memikul beberapa lantai tingkat, beban hidup yang bekerja pada masing-masing lantai tingkat tersebut mempunyai peranan penting dalam menentukan kekuatan. Dalam hal ini, untuk memperhitungkan peluang terjadinya beban hidup yang berubah-ubah, maka perhitungan gaya normal (gaya aksial) yang bekerja pada kolom, jumlah kumulatif beban hidup yang bekerja pada lantai-lantai tingkat yang dipikulnya, dapat dikalikan dengan suatu koefisien reduksi yang nilainya bergantung pada jumlah lantai yang dipikul seperti yang tercantum pada Tabel (2-9).

Table 2-9 Koefisien Reduksi Beban Hidup Kumulatif

(Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (1983))

Jumlah lantai yang dipikul	Koefisien reduksi yang dikalikan kepada beban hidup kumulatif
1	1,0
2	1,0
3	0,9
4	0,8
5	0,7
6	0,6
7	0,5

Jumlah lantai yang dipikul	Koefisien reduksi yang dikalikan kepada beban hidup kumulatif
8 dan lebih	0,4

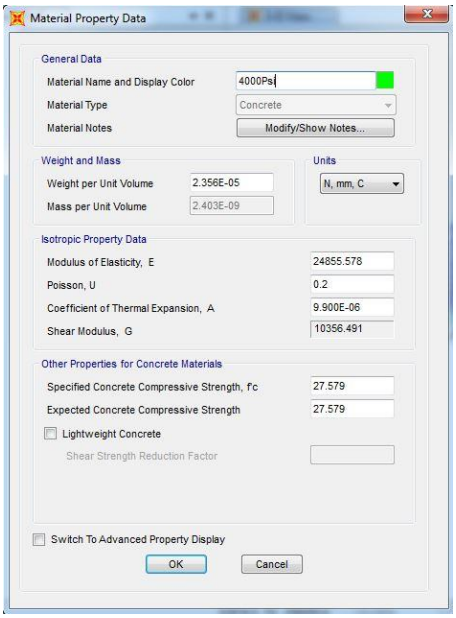
2.9 Prosedur Pengoprasian Program Program SAP2000

Perencanaan struktur bangunan yang baik tentunya tidak terlepas dari pemahaman *engineer* terhadap kegunaan setiap perintah yang ada pada program rekayasa struktur. Dalam merencanakan elemen struktur bangunan, sebelum memodelkan elemen, alangkah baiknya dilakukan definisi data-data berupa spesifikasi bangunan terlebih dahulu pada *tools* input data. Berikut langkah-langkah dalam pengoprasian program komputer SAP2000:

2.9.1 Mutu Material

Setiap elemen struktur yang dimodelkan pada program SAP2000 terdiri dari komponen material yang berbeda. Mutu beton dan mutu baja tulangan eksisting maupun mutu material rencana harus diinputkan pada menu ***Define – Materials***. Berikut urutan pengerjaan yang harus ditempuh dalam menentukan mutu beton:

- ***Add New Material – Material Type*** (pilih ***concrete***) lalu tekan **OK.**
- Setelah prosedur tadi dipilih, maka klik material tersebut – klik ***Modify/Show Material*** sehingga muncul tampilan seperti berikut:



Gambar 2-13 Definisi Material Beton

(Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0)

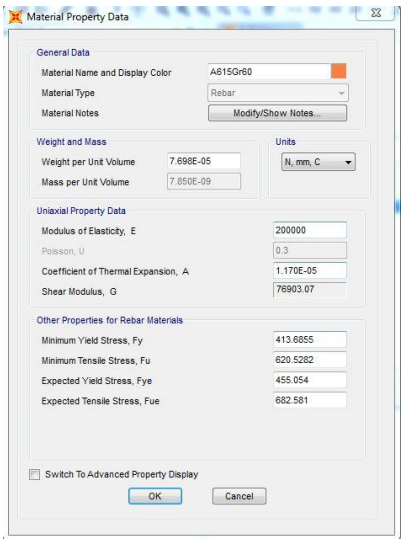
Definisikan semua data umum yang diperlukan untuk material beton yang diinginkan:

a. ***Material Name and Display Color,*** untuk penamaan mutu beton dan warna untuk model mutu beton.
b. ***Weight per Unit Volume,*** berat jenis beton sebesar 2400 Kgf, m, C.
c. ***Modulus of Elasticity, E,*** dihitung dengan rumus $4700\sqrt{fc'}$ (lihat pasal 2.3.4)
d. ***Poisson, U,*** untuk beton diisi 0,2 (lihat pasal 2.5.1)
e. ***Specified Concrete Compressive Strength, f'c,*** diisi sesuai mutu beton.

Bila ada kolom pengisian yang tidak disebutkan, berarti angka tersebut tidak perlu dirubah. Dan biarkan angka tersebut *default* saja.

Untuk mendifiniskan material baja tulanganpun masih sama awal urutan langkah pengerjaannya, hanya saja pada pemilihan tipe material dipilih ***Rebar*** untuk material baja tulangan. Berikut perbedaan pendefinisian untuk mutu baja tulangan adalah:

a. ***Weight per Unit Volume***, berat jenis baja tulangan 7850 Kgf, m, C.
b. ***Modulus of Elasticity, E,*** diisi 200000 N, mm, C. (lihat pasal 2.3.3)
c. ***Minimum Yield Stress, F_y, Minimum Tensile Stress, F_u*** diisi sesuai karakteristik mutu baja tulangan yang akan didesain.

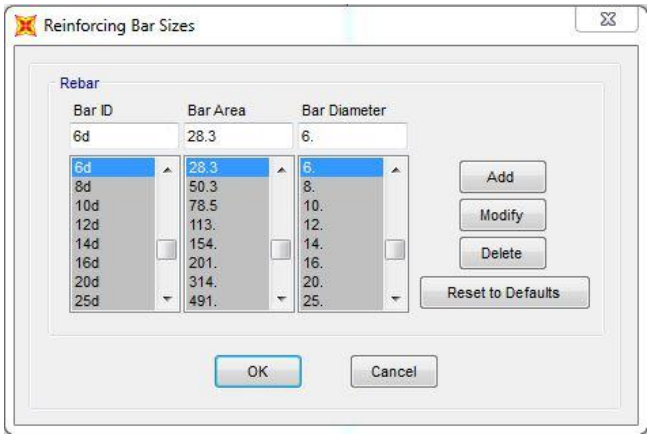


Gambar 2-14 Definisi Material Baja Tulangan

(Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0)

2.9.2 Ukuran Diameter Tulangan

Ukuran tulangan dapat diberikan berdasarkan *default* atau bila tidak sesuai dengan data tulangan yang diinginkan maka dapat dibuat secara manual melalui menu ***Define – Section Properties – Reinforcement Bar Sizes.***



Gambar 2-15 Definisi Ukuran Baja Tulangan

(Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0)

Jika diameter tulangan yang akan digunakan tidak ada dalam pilihan menu *Reinfocing Bar Sizes*, maka kita dapat menambahkan jenis diameter tulangan yang akan kita gunakan dengan cara:

1. ***Bar ID,*** adalah kolom pengisian diameter tulangan yang akan kita tambahkan.
2. ***Bar Area,*** adalah luas penampang tulangan. Rumus mencari ***bar area*** adalah:

$$\frac{1}{4} \times \pi d^2$$

Dimana:

π = Perbandingan keliling lingkaran dengan diameternya (3,14).

d = Diameter tulangan.

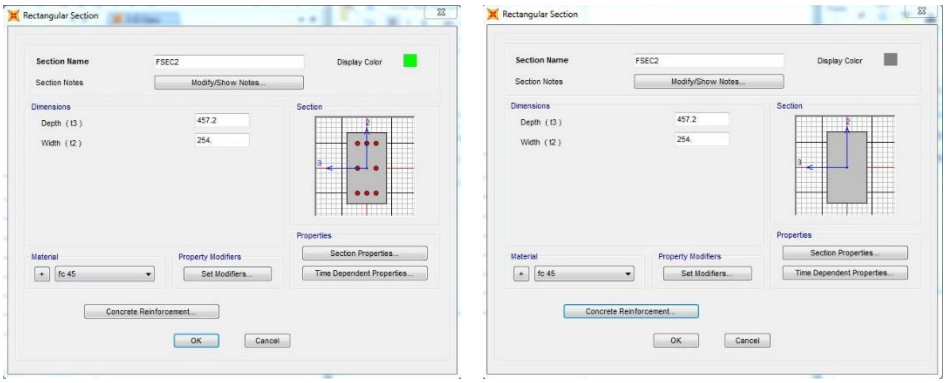
1. ***Bar Diameter,*** perlakuannya sama seperti ***Bar ID.***

2.9.3 Definisi Penampang Elemen Struktur

Elemen struktur (kolom, balok dan pelat lantai) yang akan dimodelkan pada program SAP200 harus didefinisikan terlebih dahulu melalui pembuatan

penampang struktur kolom, balok dan pelat. Berikur urutan pendefinisian yang harus ditempuh dalam mendesain penampang kolom dan balok antara lain:

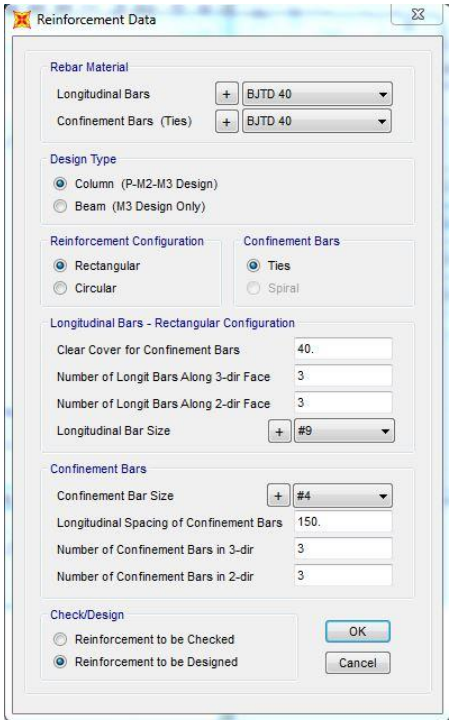
- Klik menu ***Define – Section Properties – Frame Sections.***
- Klik ***Add New Property.***
- Pada ***Frame Section Property Type***, pilih ***Concrete*** dan bentuk penampang (kolom dan balok) dapat dipilih sesuai data penampang yang akan dimodelkan.
- Pada dialog box pertama, akan muncul perintah untuk menentukan Label nama penampang, Dimensi penampang dan mutu material beton penampang tersebut.
- Dan pada menu ***Concrete Reinforcement,*** akan muncul tampilan untuk pendifinisian mutu tulangan yang dipakai, diameter dan jumlah tulangan longitudinal, diameter dan jumlah tulangan sengkang serta menentukan apakah SAP2000 akan menganalisa elemen penampang yang kita desain atau menentukan penampang yang tepat untuk struktur tersebut secara otomatis.



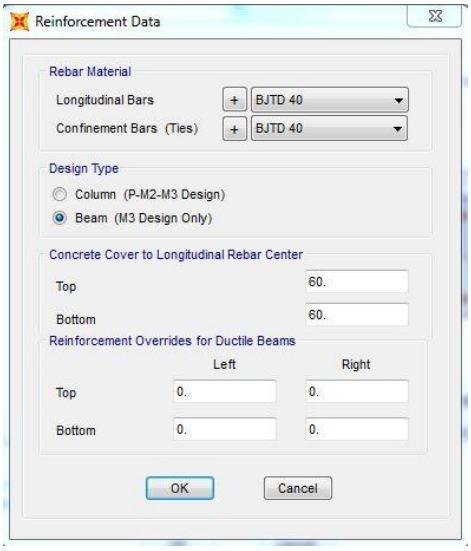
(a) kolom **(b) balok**

Gambar 2-16 Definisi Dimensi Penampang Elemen Kolom dan Balok

(Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0)



(a) kolom

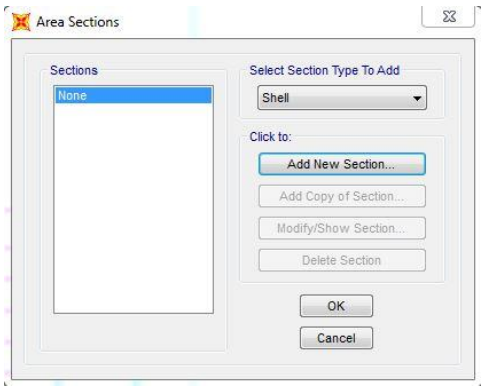


(b) balok

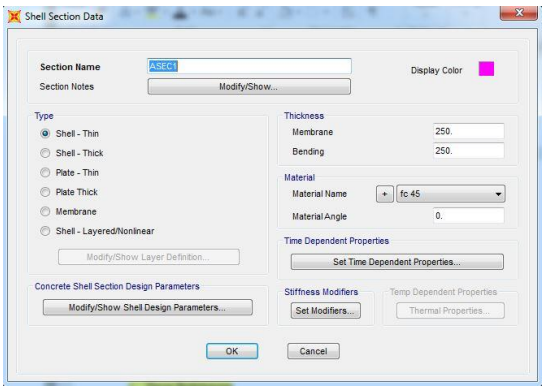
Gambar 2-17 Definisi Data Tulangan

(Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0)

Berbeda dengan elemen kolom dan balok, dalam mendesain elemen pelat lantai menggunakan menu ***Define – Section Properties – Area Sections.***



(a)



(b)

Gambar 2-18 Definisi Elemen Pelat Lantai

(Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0)

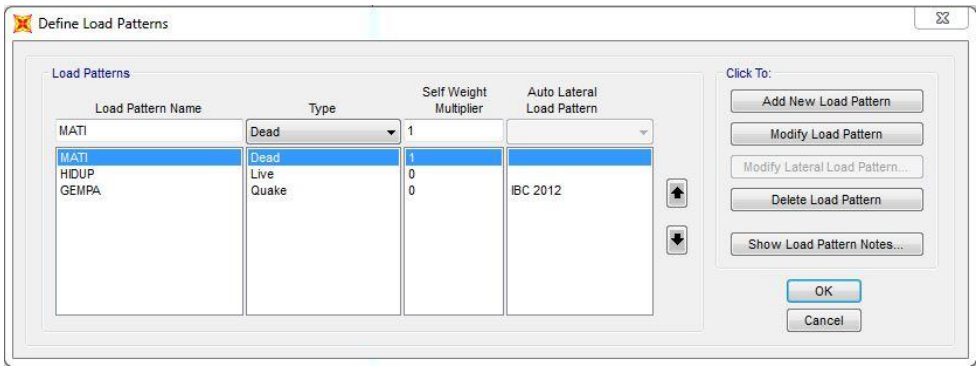
2.9.4 Data Pembebanan

a. Static Load Patern

Tanpa ada pembebanan, maka tidak ada gaya-gaya internal yang dihasilkan. Dengan kata lain, tidak perlu dilakukan Analisa struktur. Adapun yang dimaksud dengan pembebanan adalah:

- **Gaya,** yaitu beban yang umum dijumpai, berupa gaya terpusat atau momen pada nodal atau element, dan beban merata pada batang.
- **Deformasi,** yaitu deformasi yang ditentukan yang dapat diberikan pada titik nodal tumpuan. Misalnya lendutan balok yang diakibatkan oleh beban yang bekerja pada balok.

Suatu struktur kadang memerlukan tinjauan berbagai kondisi pembebanan. Hal ini umu pada proses desain penampang untuk mencari kondisi kritis. Dalam hal demikian, perlu pengelompokan beban yang mempunyai tipe yang sama. Misalnya kelompok beban mati (berat sendiri, tembok, …) atau beban hidup (beban orang, mobil, …), atau beban lateral (angina, gempa). Kelompok dalam pengertian tersebut adalah ***Static Load Patern*** yang akan dianalisis secara terpisah satu sama lainnya.



Gambar 2-19 Mengubah dan Membuat Static Load Patern

(Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0)

b. Static Load Combinations

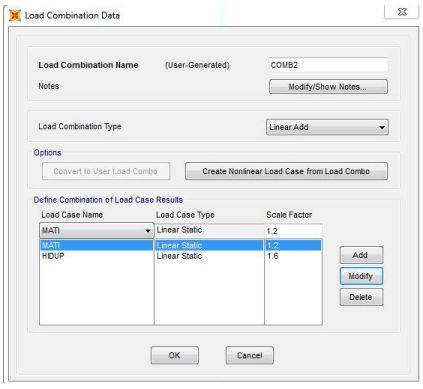
Struktur, komponen, dan pondasi harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi beban berikut:

- $1{,}4D$
- $1{,}2D + 1{,}6L + 0{,}5(Lr\ atau\ S\ atau\ R)$
- $1{,}2D + 1{,}6(Lr\ atau\ S\ atau\ R) + (L\ atau\ 0{,}5W)$
- $1{,}2D + 1{,}0W + L + 0{,}5(Lr\ atau\ S\ atau\ R)$
- $1{,}2D + 1{,}0E + L + 0{,}2S$
- $0{,}9D + 1{,}0W$
- $0{,}9D + 1{,}0E$

Dimana:

D = Beban mati
L = Beban hidup
Lr = Beban hidup atap
S = Beban salju
R = Beban hujan
W = Beban angina
E = Beban gempa

Pada SAP2000, kombinasi pembebanan dapat dilakukan pada menu ***Define – Load Combinations.*** Untuk membuat dan menetapkan kombinasi, digunakan perintah ***Define – Load Combinations – Add New Combo*** (jika belum ada kombinasi) atau ***Define – Load Combinations – Modify/Show Combo*** (Jika sudah ada dan akan melihat atau memodifikasi nilai kombinasi yang ada). Selanjutnya akan ditampilkan kotak dialog Load Combination Data seperti Gambar (2-20). (Wiryanto Dewobroto, 2007).



Gambar 2-20 Mengubah dan Membuat Data Kombinasi Beban

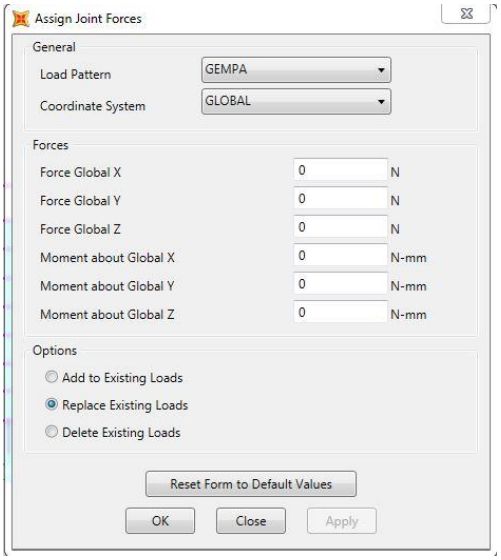
(Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0)

2.9.5 Pembebanan Elemen Struktur

Pada program SAP2000, pembeban dapat dilakukan dengan beberapa cara sebagai berikut:

- **Beban Nodal**

  Gaya atau momen yang arahnya mengikuti koordinat sumbu global dapat diberikan pada nodal melalui menu ***Assign – Joint Load – Forces*** sehingga ditampilkan kotak dialog ***Assign Joint Forces.***

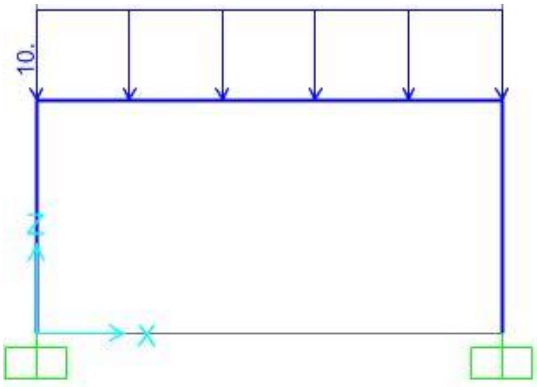


Gambar 2-21 Pemberian Beban Pada Nodal

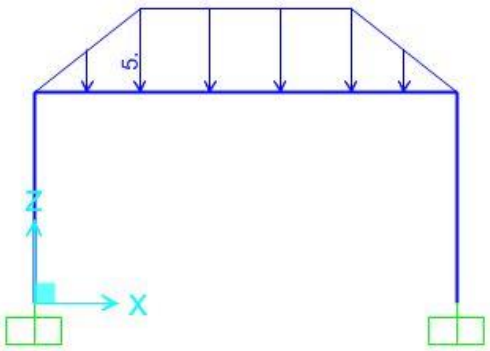
(Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0)

- **Beban Pada Elemen Batang**

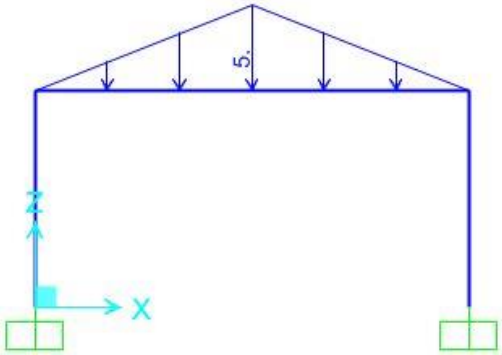
  Klik batang (*frame*) yang akan diberi beban, lalu menu yang digunakan adalah ***Assign – Frame Loads – Distributed***. Pada menu pembebanan ini ada 3 macam variasi pembebanan, yaitu:



(a) Beban Merata



(b) Beban Trapesium



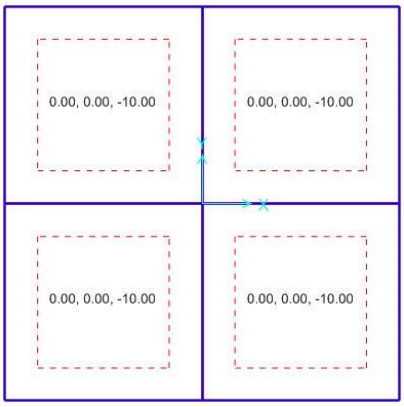
(c) Beban Segitiga

Gambar 2-22 Variasi Pembebanan Pada Program SAP2000

(Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0)

- **Beban Pada Pelat Lantai**

  Klik area pelat yang akan diberi beban, lalu menu yang digunakan adalah ***Assign – Area Loads – Uniform (shell).***

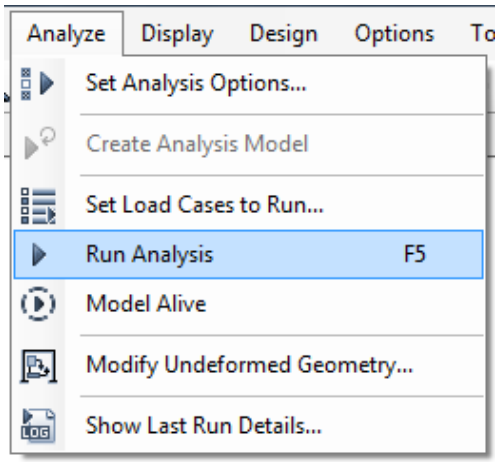


Gambar 2-23 Beban Pada Area Pelat Lantai.

(Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0)

2.9.6 Run Analysis

Setelah semua data penampang serta data pembebanan sudah diinputkan pada program SAP2000, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis data dengan menu *Run Analysis.*



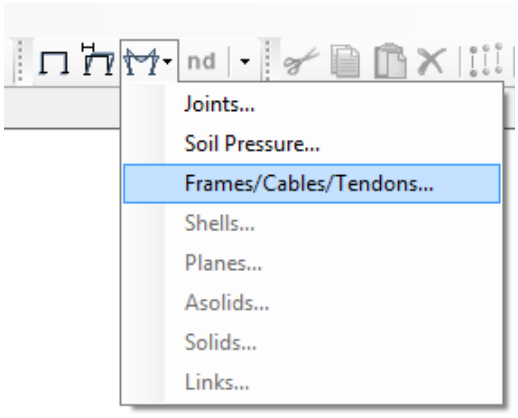
Gambar 2-24 Run Analysis Program

(Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0)

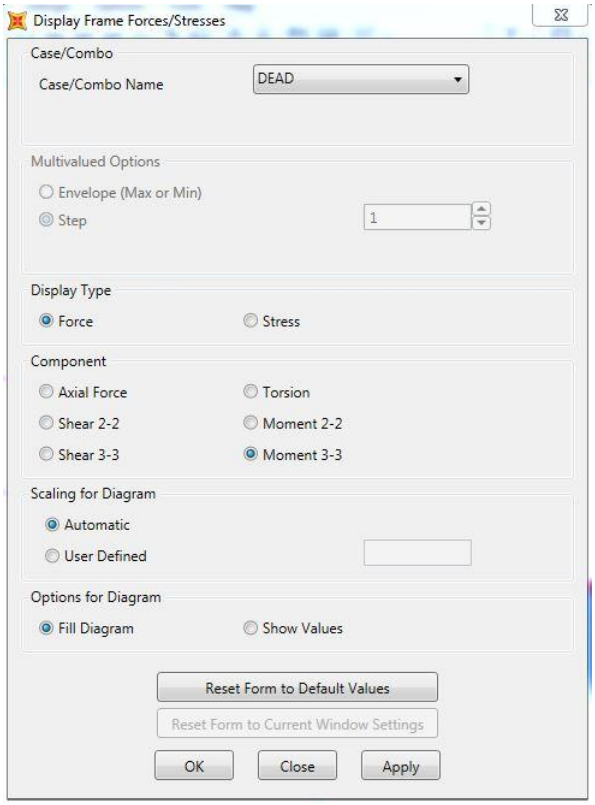
2.9.7 Memunculkan Gaya Dalam Pada Elemen Struktur

Ketika elemen struktur diberi beban, maka elemen struktur tersebut akan mengalami defleksi. Daformasi yang terjadi akibat pengaruh beban yang bekerja pada penampang elemen dapat dianalisa dengan cara melihat gaya dalam yang terjadi. Gaya dalam tersebut meliputi, Gaya geser, Gaya aksial dan momen.

Berikut cara untuk memunculkan diagram gaya dalam pada SAP2000 setelah dirun:



(a) Pilih Frame/Cable/Tendons



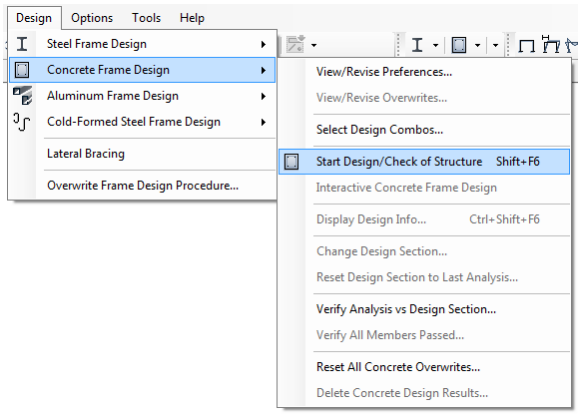
b) Menu yang digunakan dalam analisa adalah Axial Force, Shear 2-2 dan Momen 3-3

Gambar 2-25 Menu Diagram Gaya Dalam

(Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0)

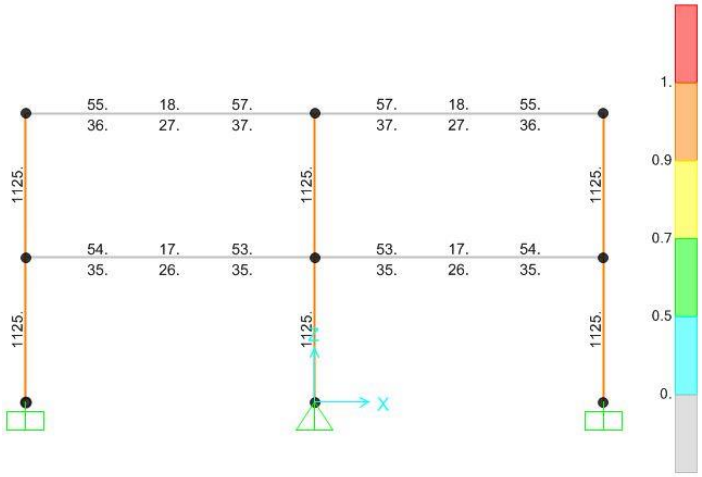
2.9.8 Cek Kekuatan Struktur Elemen

Untuk mengetahui apakah struktur elemen yang telah direncanakan sudah kuat menahan beban yang bekerja atau tidak. Dapat dilakukan dengan cara mengecek struktur dengan menu sebagai berikut:



Gambar 2-26 Langkah Cek Struktur

(Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0)



Gambar 2-27 Stress Rasio Dari Hasil Analisis SAP2000

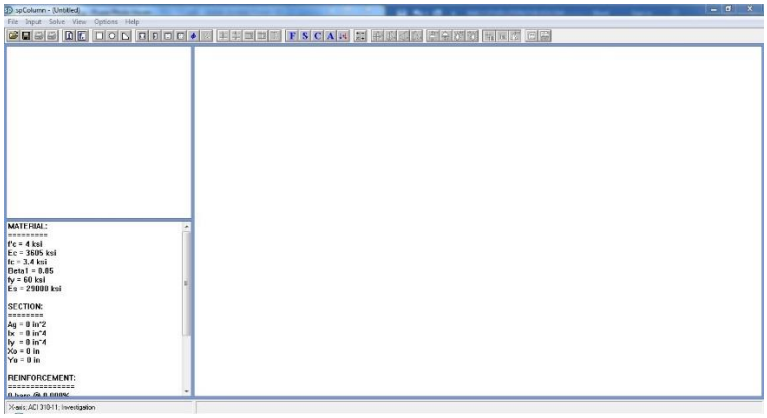
(Sumber: Software SAP2000 Versi 18.2.0)

Terlihat ada beberapa warna yang terdapat pada tampilan output dari perhitungan, warna-warna tersebut melambangkan kuat atau tidaknya struktur dalam menahan beban yang bekerja. Warna abu-abu sampai orange menandakan bahwa struktur tersebut berada dalam taraf aman. Tetapi jika berwarna merah, maka struktur tersebut tidak aman. Harus dievaluasi kembali pada sfesifikasi material atau pada dimensi penampang.

2.10 Prosedur Pengoprasian Program Program SP Column

Untuk mengetahui kebenaran dan ketelitian hasil perhitungan SAP2000 dalam menganalisa elemen struktur kolom, maka diperlukan verifikasi hasil output program tersebut dengan program lain yaitu program SP Column v4.81 guna menghasilkan diagram interaksi. berikut langkah-langkah yang harus ditempuh dalam menggunakan SP Column:

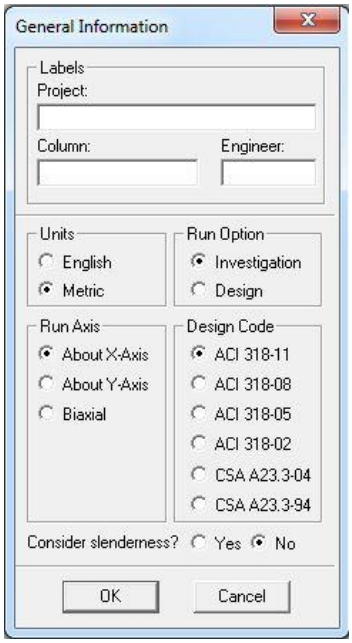
1. Pastikan computer telah terinstall program SP Column.
2. Klik icon SP Column, maka akan muncul tampilan seperti berikut:



Gambar 2-28 Tampilan Awal Program SP Column

(Sumber: Software SP Column Versi 4.81)

3. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah mendefinisikan data atau spesifikasi struktur elemen yang akan dimodelkan. Dengan cara ***Input → General Information.***



Gambar 2-29 General Information

(Sumber: Software SP Column Versi 4.81)

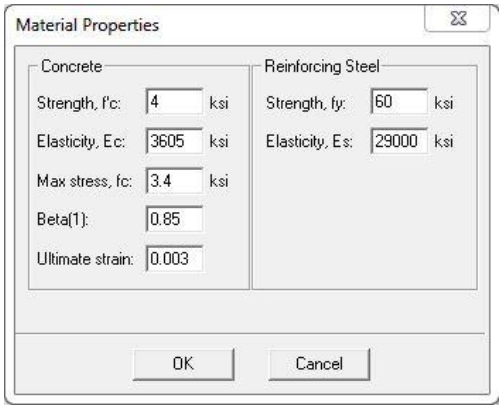
Input semua data umum yang diperlukan, antara lain:

a. Label.
b. Unit atau satuan yang akan dipakai.
c. *Design code* yang digunakan (gunakan ACI karena SNI mengacu pada ACI).

d. *Run axis* (tergantung kolom yang akan dianalisa atau investigasi apakah satu *axis* atau *biaxial*).

e. *Run Design*

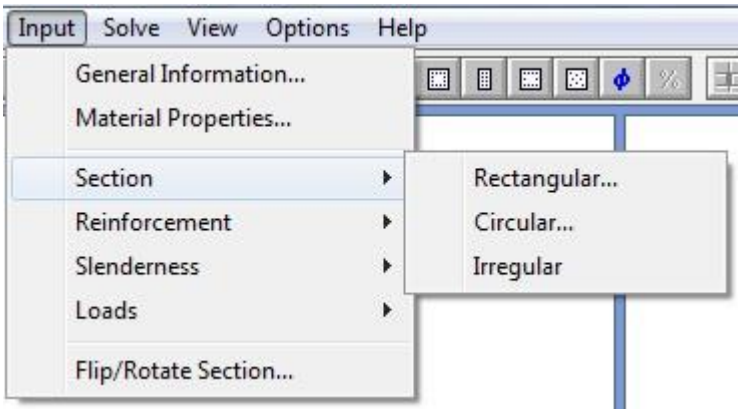
4. Definisikan material yang akan digunakan. Dengan cara ***Input → Material Properties.***



Gambar 2-30 Material Properties

(Sumber: Software SP Column Versi 4.81)

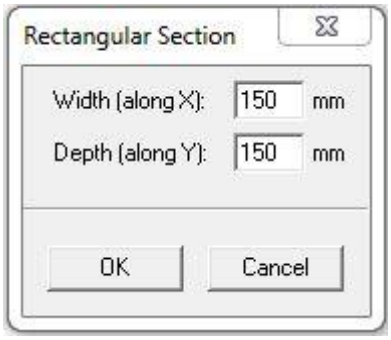
5. Gambarkan penampang yang digunakan. Dengan cara ***Input → Section → Rectangular/Circle.***



Gambar 2-31 Menentukan Jenis Penampang Kolom

(Sumber: Software SP Column Versi 4.81)

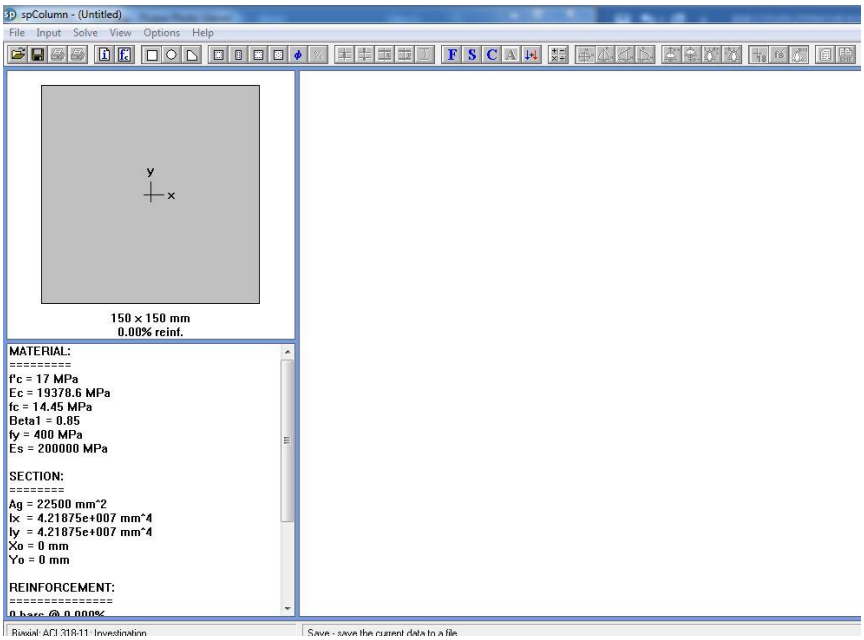
Pemilihan section tergantun dari keadaan penampang kolom yang akan dianalisis, apakah berbentuk persegi atau lingkaran.



Gambar 2-32 Rectangular Section.

(Sumber: Software SP Column Versi 4.81)

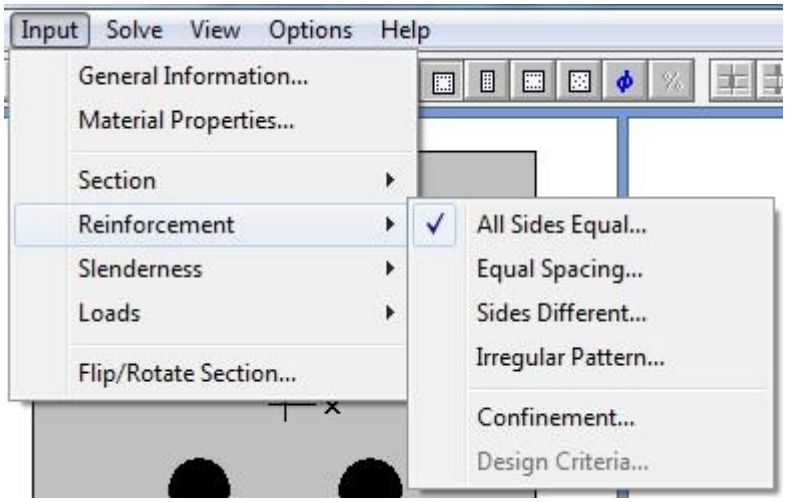
Setelah itu klik **OK,** maka pada sisi kiri program kana muncul gambar penampang kolom yang telah direncanakan sebelumnya.



Gambar 2-33 Dimensi Penampang yang Digunakan.

(Sumber: Software SP Column Versi 4.81)

6. Tentukan jumlah dan diameter tulangan yang akan digunakan pada kolom tearsebut. Dengan cara ***Input → Reinforcement → All Side Equal, Equal Spacing, Sides Different, Irregular Pattern.***

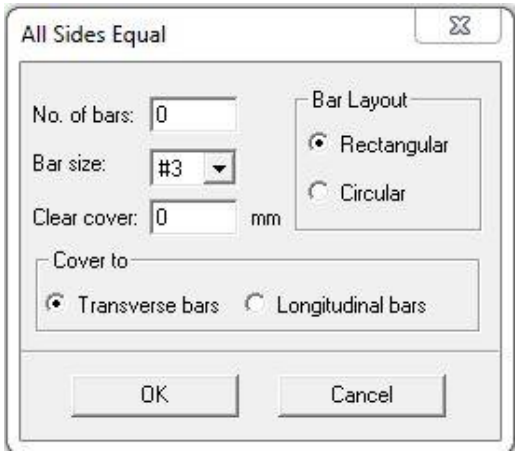


Gambar 2-34 Perencanaan Jumlah dan Diameter Tulangan

(Sumber: Software SP Column Versi 4.81)

Disini ada 4 pilihan untuk mendapatkan tulangan sesuai yang diinginkan.

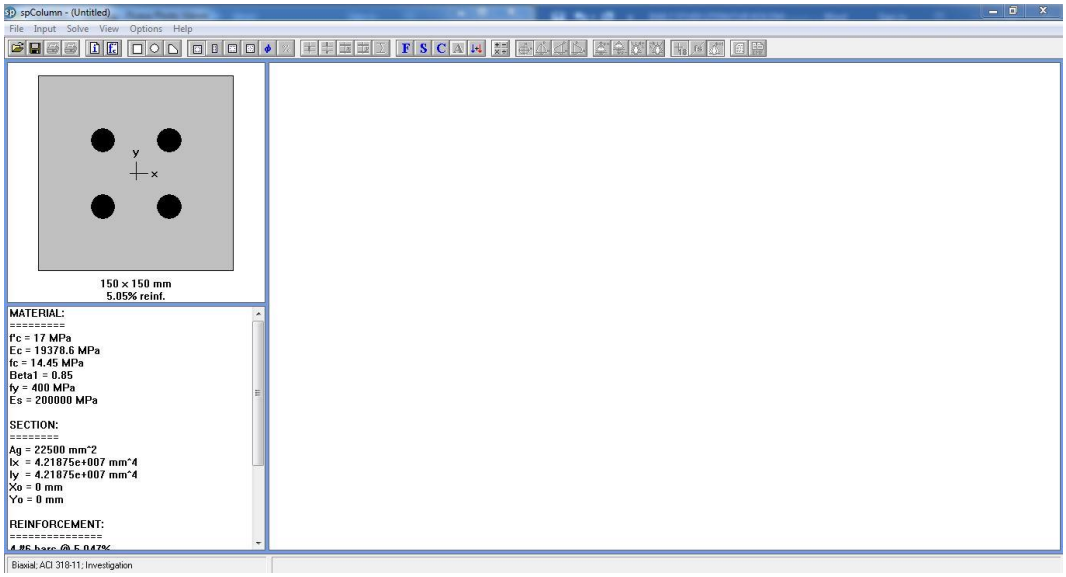
- ***All Side Equal,*** mendefinisikan jumlah dan dimensi tulangan yang telah diinput, akan disebar ke seluruh sisi kolom secara merata.
- ***Equal Spacing,*** hampir sama dengan ***All Side Equal.***
- ***Side Different,*** pada pilihan ini dapat menempatkan jumlah dan diameter tulangan pada sisi yang akan digunakan.
- ***Irregular Pattern,*** yang diinput adalah luasan tulangan yang akan digunakan.



Gambar 2-35 Sistem Penulangan

(Sumber: Software SP Column Versi 4.81)

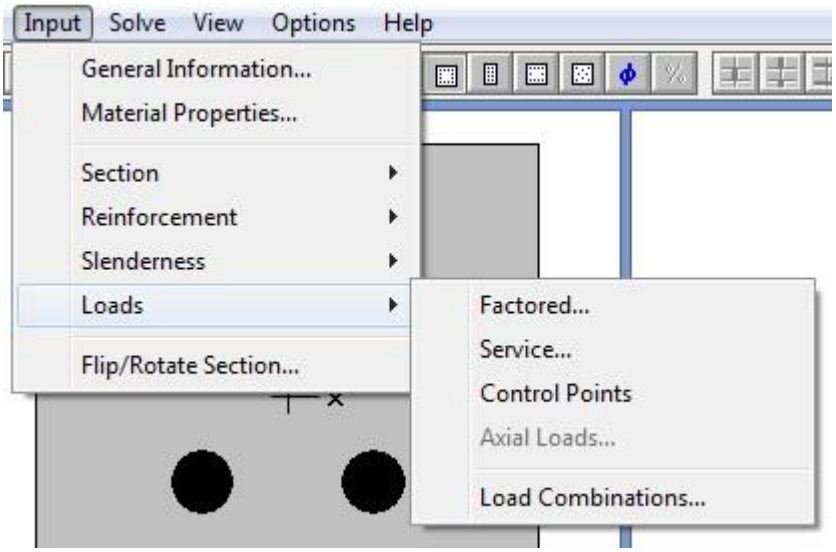
Setelah data terisi pada kotak dialog di atas, klik **OK** untuk mengetahui apakah posisi tulangan pada penampang sudah sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 2-36 Tampilan Program SP Column Setelah Mendefinisikan Property Data

(Sumber: Software SP Column Versi 4.81)

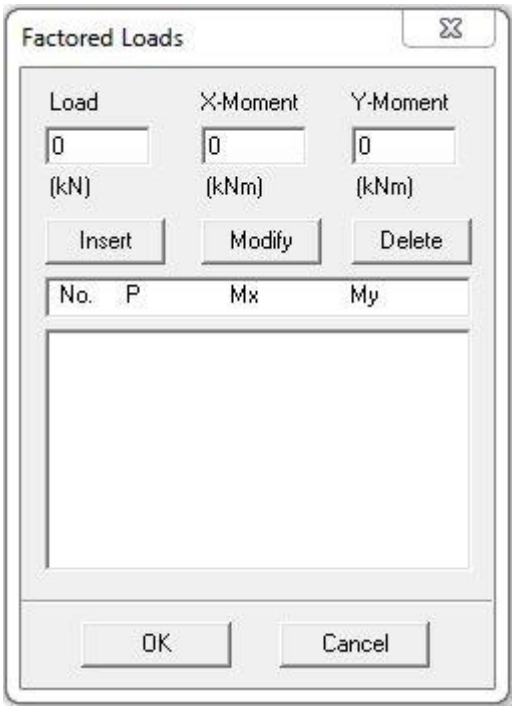
7. Masukan beban yang bekerja pada kolom tersebut yang sebelumnya didapat dari suatu hasil perhitungan menggunakan program rakayasa struktur SAP2000, Dengan cara ***Input → Loads → Factored, Service, Control Points, Axial Loads.***



Gambar 2-37 Menu Pembebanan

(Sumber: Software SP Column Versi 4.81)

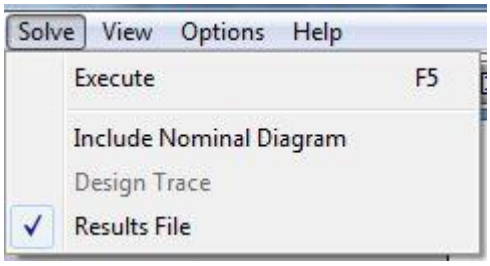
Ada 4 pilihan cara untuk memasukan data pembebanan, tergantung dari beban yang didapat dari perhitungan sebelumnya. Jika ingin menmbahkan kombinasi pembebanan dengan cara klik ***Load Combinations.***



Gambar 2-38 Factored Load

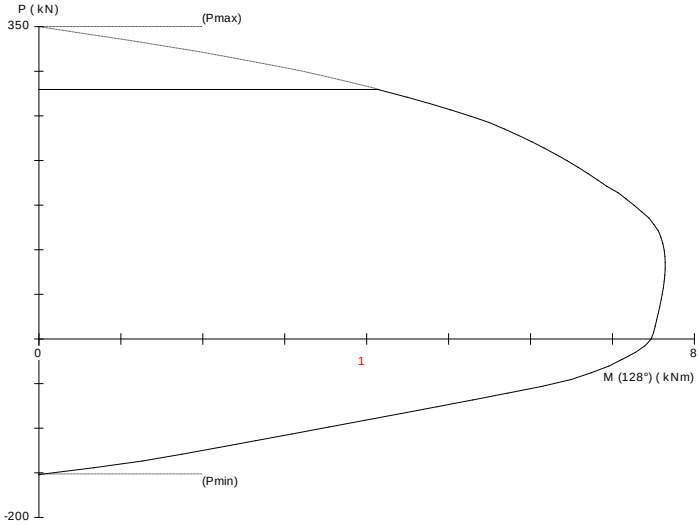
(Sumber: Software SP Column Versi 4.81)

8. Langkah selanjutnya yang harus dilakukan adalah mengecek keukatan kolom. ***Solve → Execute***, atau tekan tombol F5 pada keyboard maka akan muncul:



Gambar 2-39 Menu Running

(Sumber: Software SP Column Versi 4.81)



Gambar 2-40 Contoh Diagram Interaksi

(Sumber: Software SP Column Versi 4.81)

Tanda (+) yang ada di dalam kurva adalah symbol dari beban atau kombinasi beban yang diinput, jadi dengn masuknya semua tanda (+) ke dalam kurva menandakan bahwa kolom yang direncanakan aman terhadap beban tersebut.

2.11 Penelitian Terdahulu

Berdasarkan penelusuran terhadap beberapa karya penelitian sebelumnya yang memiliki tema yang hampir relevan tentang analisa terhadap kekuatan struktur elemen kolom dengan tema yang diangkat peneliti. Secara ringkas disajikan pada tabel di bawah ini:

Table 2-10 Penelitian Terdahulu

No	Penyusun	Judul	Metodologi	Kesimpulan
1	Tim dosen dan alumni Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi 10 Nopember (ITS) Surabaya, diantaranya: (Ir. Iman Wimbadi, Tavio, S.T., M.T., & Riaditya Dwi Aryadi, 2010)	Studi Kolom Biaksial Berpenampang Bujur Sangkar Tanpa Pengekang Dengan Pemrograman Visual Basic 6.0	Penelitian ini dimaksudkan untuk menghitung kapasitas elemen kolom berpenampang bujur sangkar yang mengalamai momen lentur biaxial dengan menggunakan program *Visual Basic 6.0* yaitu *BiaxialCol v1.2* yang mana hasil dari perhitungan program tersebut selanjutnya diverifikasi dengan program *PCA Column v4.0.* Penampang kolom yang diuji berdimensi sama, hanya saja pada proses penelitian dilakukan variasi Sudut Inklinasi dengan variasi sudut 0º, 15º, 30º dan 45º.	Berdasarkan penyelidikan uji kapasitas elemen kolom menggunakan program buatan sendiri bernama *BiaxialCol v1.2* dengan *PCA Column v4.0* dihasilkan selisih nilai (Mn) pada kurva atau diagram interaksi yang di analisis pada kolom yang diuji. Hasil program *BiaxialCol v1.2* lebih besar sekitar 6% - 7% dari hasil *PCA Column v4.0.* Perbedaan tersebut disebabkan oleh pengurangan luas blok tegangan karena jumlah luas tulangan tertekan yang juga diperhitungkan pada metode penyelesaian yang digunakan *PCA Column v4.0.*

No	Penyusun	Judul	Metodologi	Kesimpulan
2	(Made Pande, 2012)	Desain Grafik Interaksi P-M Kolom menggunakan Program SAP2000 v11.0.8 dengan Program Microsoft Excel	Menganalisa kekuatan struktur kolom menggunakan program SAP2000 yang mengacu pada konsep diagram interaksi sesuai dengan prinsip metode LRFD (*Load Resistance & Factor Design*) dan ACI 318-99. Pemodelan elemen kolom sederhana dilakukan dengan program SAP2000 tanpa dibebani karena tujuannya hanya ingin mengetahui nilai kekuatan kolomnya saja yang selanjutnya nilai P (beban aksial) dan M (momen lentur) yang dihasilkan program SAP2000 diconvert ke dalam program Microsoft Excel untuk membuat diagram interaksi P-M kolom.	Program SAP2000 dapat digunakan untuk mendesain struktur elemen kolom dengan mengacu pada prinsip metode LRFD (*Load Resistance & Factor Design*) dan ACI (*American Concrete Institute*). Dengan acuan bahwa struktur kolom itu kuat atau tidak menahan beban yang bekerja, bisa dilihat pada kombinasi antara beban aksial (P) dan momen lentur (M) yang berupa grafik interaksi P-M kolom. Gaya dalam yang dihasilkan oleh program SAP2000 dapat dikolaborasikan dengan program Microsoft Excel untuk membuat grafik interaksi P-M kolom serta dapat melihat varian sudut yang dihitung oleh SAP2000 sebanyak 24 arah sudut yang berbeda dari satu penampang kolom.

No	Penyusun	Judul	Metodologi	Kesimpulan
3	Staf pengajar jurusan Teknik Sipil Universitas Janabadra, Yogyakarta: (Prasetya Adi, 2015)	Pemrograman Analisis Kapasitas Kolom Dengan Variasi Mutu Beton Dalam Satu Penampang.	Menganalisa kekuatan struktur kolom menggunakan program buatan sendiri dengan sistem operasi Visual Basic. Parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan yang dilakukan oleh program tersebut berpedoman pada SNI 03-2847-2002. Dengan melakukan variasi input data berupa mutu beton dan baja tulangan, program dapat menghitung tegangan dan regangan yang terjadi pada struktur kolom yang menjadi bahan pertimbangan dalam merencanakan kolom beton bertulang yang aman dan ekonomis dengan melihat diagram interaksi yang terjadi.	Untuk menghindari kesalahan pada saat proses menghitung kapasitas kolom, dapat dilakukan dengan bantuan program tersebut karena menghasilkan keluaran dengan kesalahan yang relatif kecil. Dengan melihat tegangan dan regangan yang terjadi, maka proses coba-coba mencari garis netral yang biasanya dilakukan secara manual dengan metode *trial an error* pada penampang kolom, kini dapat dilakukan secara otomatis oleh program tersebut untuk menghitung penampang kolom dengan variasi mutu beton dan baja tulangan yang berbeda-beda serta modulus elastis tulangan yang berbeda-beda.

No	Penyusun	Judul	Metodologi	Kesimpulan
4	Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil – Universitas Muhammadiyah Surakarta: (Renaningsih, 2006)	Analisis Penampang Kolom Beton Bertulang Persegi Berlubang Menggunakan PCA Col	Pembahasan dilakukan terhadap 3 buah penampang kolom dengan ukuran 200 x 200 mm2 yang terdiri dari penampang kolom tak berlubang, penampang kolom berlubang 4% dan penampang kolom berlubang 7%. Dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh lubang dalam kolom beton bertulang terhadap kekuatannya dalam memikul beban yang bekerja yaitu kombinasi beban aksial (Pu) dan momen lentur (Mu). Analisis kekuatan penampang kolom ini dilakukan dengan menggunakan program PCA Col v2.30 guna menghasilkan diagram interaksi dari masing-masing penampang kolom. Penelitian ini mengacu pada SNI 03-	Dari diagram interaksi yang dihasilkan oleh program PCA Col v2.30 dapat diperoleh hasil, besarnya momen kapasitas kolom berdasarkan beban aksial yang diterima kolom. Luas conduit yang melebihi persyaratan SNI 03-2847-2002, yaitu 7%, apabila penampang kolom berada di daerah keruntuhan tarik (*tension failure*) tidak menyebabkan penurunan kekuatannya dalam memikul beban. Luas conduit yang melebihi persyaratan SNI 03-2847-2002, yaitu 7%, apabila penampang kolom berada di daerah keruntuhan tekan (*compression failure*) akan menyebabkan penurunan momen kapasitas kolom sampai dengan 10,52%. Luas conduit pada penampang

No	Penyusun	Judul	Metodologi	Kesimpulan
			2847-2002 mengenai persyaratan luas *conduit* pada penampang kolom.	kolom sebesar 7% masih dapat digunakan, dengan persyaratan letak *conduit* benar-benar sentris di tangah penampang kolom. Batasan luas *conduit* dalam SNI 03-2847-2002 dimaksudkan memberikan perlindungan terhadap kesalahan pemasangan konduit yang tidak sentris pada tengah penampang kolom.
5	(Ardiansyah Kusuma Negara, 2009)	Desain Langsung Tulangan Longitudinal Kolom Beton Bertulang Bujur Sangkar	Menghitung rasio tulangan dan kebutuhan tulangan pada desain kolom berpenampang bujur sangkar dengan menggunakan program buatan sendiri berbasis *Visual Basic* yaitu *ITS Column.* Selanjutnya, output perhitungan akan divalidasi oleh program *PCA Column* agar hasilnya dapat dipertanggung	Setelah dilakukan perhitungan dan membandingkan keluaran dari kedua program tersebut, maka program *ITS Column* terbukti dapat dipakai sebagai alat bantu dalam menentukan rasio tulangan dan menghitung kebutuhan tulangan pada struktur elemen kolom yang akan direncanakan. Meskipun ada perbedaan selisih perhitungan antara

No	Penyusun	Judul	Metodologi	Kesimpulan
			jawabkan. Ada beberapa studi kasus untuk mengaplikasikan perhitungan yang dilakukan oleh program bantu tersebut. Diantaranya menghitung penampang elemen kolom kecil, kolom besar, membandingkan 2 kolom dengan mutu beton yang berbeda, membandingkan 2 kolom dengan mutu tulangan yang berbeda dan melakukan perbandingan pada 2 kolom dengan perbedaan konsep *Limit State Method* pada SNI 03-2847-2002 dengan konsep *Unified Design Provisions* pada ACI 318-2002.	kedua program tersebut, itu tidak terlalu signifikan. Itu disebabkan oleh pembulatan angka di belakang koma.