

ACI CONCRETE DESIGN FOR SAP90

SAPCON

VERSION 5.20

TUTORIAL

Desain Penampang Struktur Beton dengan SAPCON.

Contoh Aplikasi SAPCON untuk
Struktur Frame 2D.

Editor

Hanggoro Tri Cahyo
Arnida Ambar Cahyati

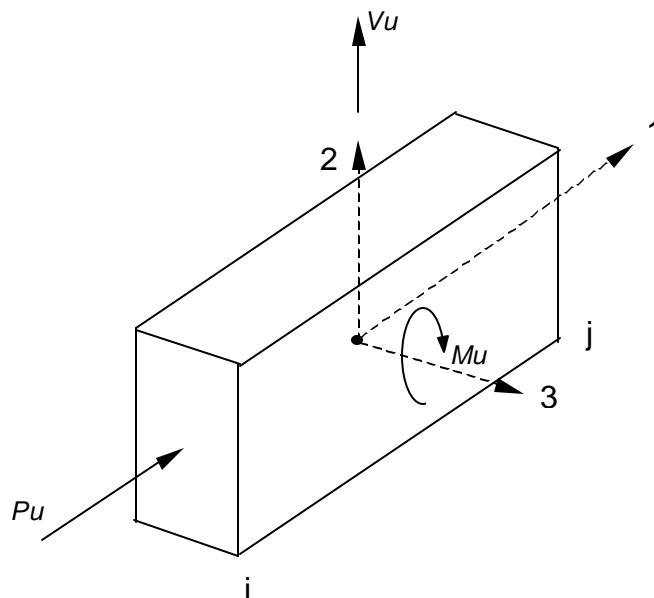
Biro Pengembangan Profesionalisme Sipil
Himpunan Mahasiswa Sipil
Universitas Diponegoro

<http://www.bpps.ourfamily.com>

E-mail : wr-hangs@semarang.wasantara.net.id

DESAIN PENAMPANG STRUKTUR BETON DENGAN SAPCON

Tidak semua elemen struktur beton dapat didesain dengan program SAPCON ini. Program SAPCON hanya dapat digunakan untuk menentukan penulangan dari elemen balok (*beam*) dan elemen kolom (*column*) yang ada pada sistem struktur beton. Batasan lain dari penggunaan program SAPCON ini khususnya adalah pada perhitungan tulangan dari elemen balok. Program SAPCON hanya dapat digunakan untuk menghitung tulangan lentur (tulangan memanjang /tulangan pokok) akibat momen yang bekerja terhadap sumbu lokal elemen 3 (M_3), serta menghitung tulangan geser (sengkang) untuk menahan gaya lintang yang bekerja searah dengan sumbu lokal elemen 2 (V_2). Pengaruh dari momen torsi, momen lentur, serta gaya lintang yang bekerja pada arah yang lain dari elemen balok, perlu dilakukan perhitungan secara terpisah oleh pemakai program (*user*).



Gambar 1. Gaya-gaya pada elemen balok

Pada prosedur desain dari elemen kolom, SAPCON menggunakan Diagram Interaksi Momen–Gaya Normal (Desain Interaksi M-P) dari penampang kolom yang ada. Dengan demikian bentuk dan dimensi kolom, mutu beton dan mutu baja tulangan, serta diameter dan konfigurasi penempatan dari tulangan yang akan dipasang pada penampang kolom harus didefinisikan terlebih dahulu sebagai data masukan untuk program.

SAPCON merupakan program bantu (*post processor*) dari SAP90 untuk keperluan mendesain struktur beton. SAPCON digunakan untuk mendesain elemen-elemen struktur rangka kaku bidang (*frame-2D*) atau struktur rangka kaku ruang (*frame-3D*). Elemen-elemen balok (*beam*) dan kolom (*column*) beton dari struktur rangka dapat ditentukan jumlah tulangannya dengan menggunakan SAPCON, setelah terlebih dahulu dihitung momen lentur, gaya geser, dan gaya normal/aksial yang bekerja pada elemen-elemen struktur dengan SAP90.

Untuk elemen-elemen struktur yang didesain sebagai elemen kolom, SAPCON akan melakukan prosedur analisis serta perhitungan berupa :

- ❑ Pemeriksaan kapasitas atau kekuatan dari penampang kolom terhadap gaya aksial/normal tekan dan momen lentur satu atau dua arah (*uni/biaxial bending*)
- ❑ Perhitungan tulangan geser dari penampang terhadap pengaruh gaya geser dua arah (*biaxial shear*)

Kondisi tegangan yang terjadi pada suatu penampang kolom akibat gaya normal tekan atau tarik dan momen lentur, dinyatakan dalam rasio kapasitas penampang. Rasio kapasitas dari penampang adalah faktor yang menunjukkan perbandingan antara kondisi tegangan yang terjadi pada penampang akibat pengaruh beban luar, dengan kapasitas/kekuatan aktual dari penampang kolom berdasarkan jumlah tulangan yang terpasang. Untuk pemeriksaan kapasitas dari penampang digunakan Diagram Interaksi Momen (M) dan Gaya Normal (P). SAPCON dapat membuat Diagram Interaksi M-P berbentuk tiga dimensi untuk penampang kolom berbentuk persegi atau lingkaran dengan penempatan tulangan sembarang.

Perhitungan faktor pembesaran momen (*moment magnification factor* : δ) dan faktor panjang batang (*effective length factor*) untuk memperhitungkan pengaruh tekuk pada kolom, serta perhitungan faktor reduksi kekuatan bahan (*strength reduction factor* : ϕ) untuk memperhitungkan pengaruh mutu bahan, dilakukan secara otomatis didalam algoritma program.

Untuk elemen-elemen struktur yang didesain sebagai elemen balok, program SAPCON akan melakukan prosedur analisis serta perhitungan tulangan tarik untuk menahan momen lentur, dan tulangan geser untuk menahan gaya geser yang bekerja pada elemen.

DESAIN ELEMEN KOLOM

Pada prosedur desain dari elemen kolom dengan SAPCON, pengguna program terlebih dahulu harus menentukan bentuk dari kolom (persegi atau lingkaran) serta menentukan jumlah dan penempatan dari tulangan yang akan dipasang pada elemen-elemen kolom dari struktur. Prosedur desain elemen-elemen kolom dari struktur terdiri dari tiga tahapan sebagai berikut :

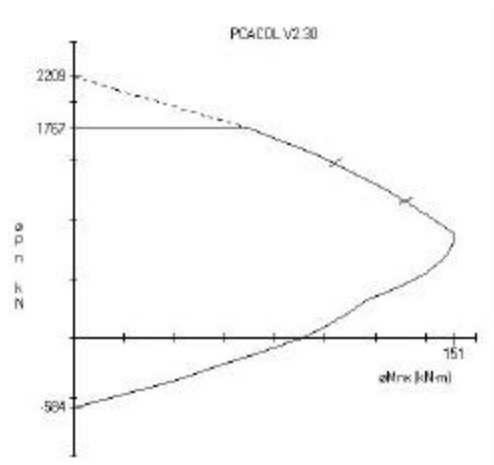
1. Pembuatan Diagram Interaksi M-P untuk penampang kolom
2. Pemeriksaan kapasitas penampang kolom, terhadap pengaruh gaya aksial terfaktor dan momen lentur terfaktor *uni/biaxial bending* (gaya aksial dan momen lentur terfaktor, didapat dari perhitungan mekanika gaya dengan SAP90).
3. Desain tulangan geser kolom untuk pengaruh gaya geser dua arah.

DIAGRAM INTERAKSI M-P

Diagram interaksi M-P merupakan diagram yang menunjukkan kapasitas atau kekuatan dari suatu penampang kolom. Dengan Diagram Interaksi M-P ini dapat diketahui hubungan antara momen lentur maksimum dan gaya normal maksimum yang dapat ditahan oleh penampang kolom. Diagram M-P dapat digunakan untuk mendesain kolom beton dengan lebih cepat dan mudah. Bentuk umum dari diagram interaksi M-P dari suatu penampang kolom diperlihatkan pada gambar dibawah.

Contoh Diagram Interaksi M-P (Lentur satu Arah/Uniaxial Bending)

Diagram Interaksi M-P dari kolom berukuran 40x40 cm, mutu beton $f'_c=20$ Mpa dan mutu baja tulangan $f_y=240$ Mpa, dengan jumlah tulangan 8 \varnothing 22 terpasang simetris pada keempat sisinya. Tebal selimut beton 4 cm, Modulus elastisitas baja $E_s=2000000$ kg/cm². Diagram Interaksi M-P dibuat dengan Program PCACOL



Gambar 2. Diagram Interaksi M-P

Prosedur desain dari suatu elemen kolom dengan SAPCON, dilakukan dengan menggunakan Diagram Interaksi M-P. Diagram Interaksi M-P digunakan untuk memeriksa kapasitas penampang dari kolom yang akan didesain. Jadi pada prinsipnya, SAPCON akan membuat terlebih dahulu Diagram Interaksi M-P dari elemen kolom berdasarkan data masukan yang berupa bentuk dan ukuran kolom, mutu beton, dan mutu baja tulangan, diameter dan penempatan pemasangan tulangan pada penampang kolom. Program SAPCON menyediakan fasilitas berupa bentuk-bentuk penampang kolom beserta penempatan tulangannya, yang dapat dipilih untuk keperluan desain (tersedia di materi tutorial **Contoh aplikasi SAPCON**)

Sebelum menggunakan Diagram Interaksi M-P untuk memeriksa kapasitas dari penampang kolom, momen lentur terfaktor (M_u) dan gaya aksial terfaktor (P_u) dari elemen yang didapat dari perhitungan mekanika gaya dengan SAP90, harus terlebih dahulu diperbesar dengan faktor reduksi kekuatan bahan (ϕ) dan faktor pembesaran momen (δ), sebagai berikut

$$P = P_u / \phi$$

$$M_2 = \delta \cdot M_{u2} / \phi$$

$$M_3 = \delta \cdot M_{u3} / \phi$$

P_u , M_{u2} , dan M_{u3} merupakan gaya normal aksial dan momen lentur terfaktor yang bekerja pada elemen kolom, yang didapat dari perhitungan mekanika gaya dengan SAP90. δ adalah faktor pembesaran momen untuk memperhitungkan pengaruh tekuk pada kolom, dan ϕ adalah faktor reduksi kekuatan bahan untuk memperhitungkan pengaruh dari mutu bahan. Titik-titik koordinat yang terbentuk dari P , M_2 dan M_3 (titik L) kemudian diplot pada Diagram Interaksi M-P. Jika titik ini terletak didalam diagram, maka kapasitas dari penampang kolom cukup kuat untuk menahan gaya normal tekan/tarik dan momen lentur yang bekerja pada kolom. Jika titik L terletak diluar diagram, kapasitas penampang dari kolom, tidak cukup kuat untuk menahan beban-beban yang ada.

Untuk memeriksa kondisi tegangan yang terjadi pada elemen kolom, dapat digunakan rasio kapasitas tegangan. Rasio kapasitas tegangan ditentukan dengan cara memplotkan titik L yang didapat dari P , M_2 dan M_3 , kemudian ditentukan lokasi dari titik C. Titik C didefinisikan sebagai titik dimana garis OL memotong bidang keruntuhan pada Diagram Interaksi M-P (tersedia di materi tutorial **Contoh aplikasi SAPCON**).

Rasio kapasitas tegangan (CR) ditentukan oleh perbandingan $CR = OL$, sebagai berikut :

- ❑ Jika $OL = OC$ ($CR = 1$) titik L terletak tepat pada permukaan Diagram Interaksi M-P, pada kondisi ini tegangan yang terjadi pada penampang sama dengan tegangan kapasitas penampang kolom.
- ❑ Jika $OL < OC$ ($CR < 1$) titik L terletak di dalam Diagram Interaksi M-P pada kondisi ini tegangan yang terjadi pada penampang lebih kecil dari tegangan kapasitas penampang kolom. Dengan demikian kekuatan dari pemampang kolom cukup kuat untuk menahan gaya-gaya yang bekerja.
- ❑ Jika $OL > OC$ ($CR > 1$) titik L terletak diluar Diagram Interaksi M-P, pada kondisi ini tegangan yang terjadi pada penampang lebih besar dari tegangan kapasitas penampang kolom. Dengan demikian kekuatan dari penampang kolom tidak kuat untuk menahan gaya-gaya yang bekerja.

DESAIN ELEMEN BALOK

Pada desain dari elemen balok program SAPCON akan menghitung luasan tulangan pokok dan tulangan geser berdasarkan momen lentur dan gaya geser yang terjadi pada elemen. Momen lentur terfaktor (M_u) dan gaya geser terfaktor (V_u) yang terjadi pada elemen balok didapat dari perhitungan mekanika gaya dengan SAP90. Elemen balok hanya didesain untuk momen lentur terhadap sumbu lokal elemen 3 (M_{u3}), dan untuk gaya geser yang searah sumbu lokal elemen 2 (V_{u2}). Pengaruh dari gaya normal, torsi serta momen lentur dan gaya geser pada arah sumbu lokal elemen yang lain, harus dianalisa tersendiri oleh pengguna program. Prosedur desain elemen-elemen balok dari struktur dengan SAPCON terdiri dari dua tahapan sebagai berikut :

1. Desain tulangan pokok untuk menahan momen lentur
2. Desain tulangan geser (sengkang) untuk menahan gaya geser

SATUAN PADA PROGRAM SAPCON

Semua data masukan (*input data*) untuk program SAPCON dan SAP90, harus menggunakan sistem satuan yang sama. Untuk data masukan dari program SAPCON dapat menggunakan sistem satuan *English*, *MKS metric* atau *SI metric*.

- ❑ Jika digunakan sistem satuan *English*, data masukan perlu disiapkan dengan satuan *inch-kip-second* (kode satuan : E)
- ❑ Jika digunakan sistem satuan *MKS metric*, data masukan perlu disiapkan dengan satuan *meter-kilogram-second* (kode satuan : M)
- ❑ Jika digunakan sistem satuan *SI metric*, data masukan perlu disiapkan dengan satuan *meter-kiloNewton-second* (kode satuan : S)

OUTPUT FILE SAPCON

Setelah program SAPCON dijalankan maka terbentuk dua buah file (*output file*) yang berisi hasil analisis/perhitungan. Jika file data masukan (*input file*) untuk program SAPCON diberi nama BETON, maka file hasil perhitungan yang akan terbentuk adalah BETON.CON dan BETON.COL. File BETON.CON akan berisi hasil perhitungan yang terdiri dari :

- Jumlah tulangan pokok dan tulangan geser yang perlu dipasang pada elemen balok.
- Rasio kapasitas tegangan yang terjadi pada elemen kolom serta jumlah tulangan geser yang harus dipasang.

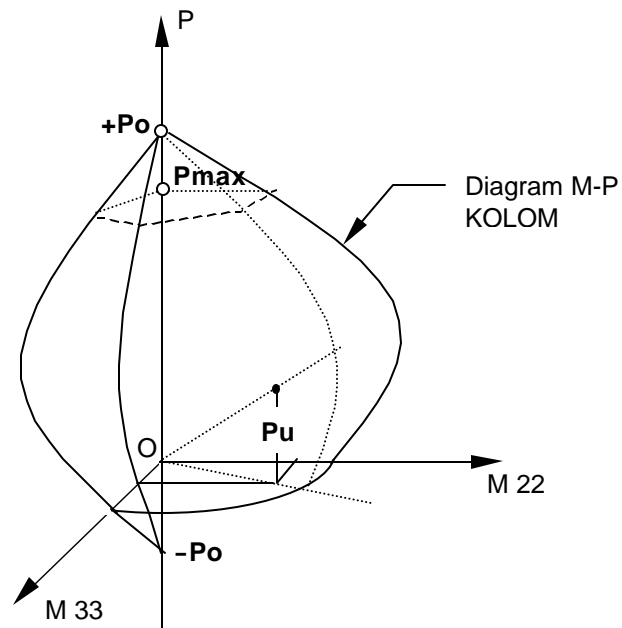
Jika digunakan sistem satuan MKS pada data masukan, semua gaya dan momen yang dihitung pada output file, dinyatakan dalam satuan ton dan meter. Semua luas tulangan baja yang didapat dari perhitungan dinyatakan dalam cm^2 , dan tulangan geser dinyatakan dalam cm^2 per meter panjang.

Jika digunakan sistem satuan SI pada data masukan, semua gaya dan momen yang dihitung pada output file, dinyatakan dalam satuan meter-kiloNewton (kN), Luas tulangan baja yang didapat dari perhitungan dinyatakan dalam cm^2 , dan tulangan geser dinyatakan dalam cm^2 per meter panjang.

File BETON.COL akan berisi hasil-hasil analisis/perhitungan yang dapat digunakan untuk membuat diagram Interaksi M-P tiga dimensi. File BETON.COL ini tidak diperlukan pada pembacaan perhitungan tulangan.

Pada prosedur desain dari elemen balok atau pemeriksaan kapasitas penampang dari elemen kolom, program SAPCON akan melakukan analisis dan akan membuat pesan jika dijumpai kondisi kegagalan (*failure condition*) atau kondisi kelebihan tegangan (*overstress*) pada penampang. Pesan-pesan yang dibuat program SAPCON akan diberi tanda CHK#1, CHK#2, CHK#3, CHK#4 dan CHK#5.

CHK#1	Concrete compression failure
CHK#2	Percentage of steel exceeds max. allowed
CHK#3	Shear stress exceeds max. allowed
CHK#4	P is greater than Pmax
CHK#5	P is less than - Po
CHK#6	Column buckling failure $P_u \geq \phi P_c$



Gambar 3. Diagram interaksi kolom untuk Kolom Biaksial dan Uniaksial