

## PEMROGRAMAN ANALISIS KAPASITAS KOLOM DENGAN VARIASI MUTU BETON DALAM SATU PENAMPANG

*Prasetya Adi*

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Janabadra  
Jl. Tentara Rakyat Mataram No. 55-57 Yogyakarta 55231  
Email: prasetya@janabadra.ac.id

### **ABSTRACT**

*Reinforced concrete is used in many structures. Concrete is easy to form, may be produced to achieve high compression strength and functioned as heat insulator. Concrete materials are easily available at relatively low prices make concrete is widely used as a structural material. Column is one component of a structure to support the whole building load and other structure components above it. Columns collapse means the collapse of structures. Fire exposure is one of the dangerous hazard. Compression strength of concrete will decrease during and after fire exposure. Strengthening used to increase the capacity of column.*

*Column capacity analysis was difficult if the section have more than one compression strength of concrete and more than one tensile strength of rebar. This computer programs design for column analysis that have more than one compression strength of concrete and more than one tensile strength of rebar. Borland Delphi used to develop this software.*

*This software able to analysis the capacity of concrete column that have more than one compression strength of concrete and tensile strength of rebar. This computer program also able to analyze strengthened column using different rebar materials like CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer).*

**Keywords :** *computer program, column capacity*

### **PENDAHULUAN**

Beton bertulang sampai saat ini masih menjadi pilihan utama sebagai bahan struktur. Bahan penyusun beton yang mudah didapat dengan harga yang relatif murah menjadikan beton banyak digunakan sebagai bahan struktur. Proses pengerjaan beton umumnya dikerjakan secara masal dan tidak menuntut ketrampilan yang tinggi sehingga cocok digunakan di Indonesia. Kelebihan beton dibanding bahan struktur yang lain adalah mudah dibentuk, tidak memerlukan pemeliharaan yang rumit, memiliki kemampuan menahan gaya tekan yang cukup tinggi, dan dapat berfungsi sebagai penyekat panas.

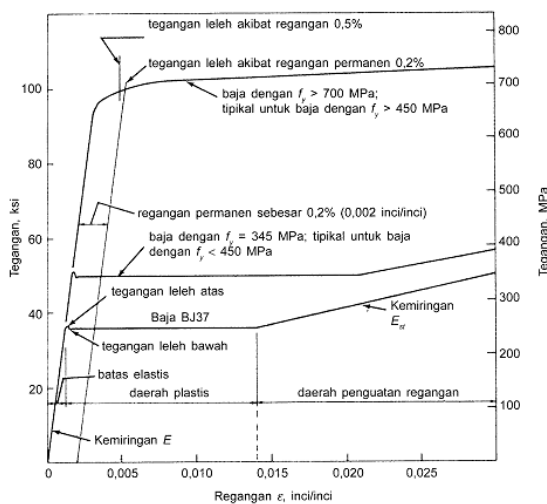
Komponen rangka utama bangunan secara umum terdiri atas plat, balok, dan kolom.

Kolom merupakan komponen struktur yang berfungsi menyangga semua beban-beban di atasnya dan meneruskan ke bawah. Kolom memegang peranan penting agar bangunan tetap berdiri karena keruntuhan kolom berarti keruntuhan struktur yang berada di atasnya atau keruntuhan seluruh bangunan.

Salah satu bahaya yang sering menimpa bangunan adalah bahaya kebakaran. Kebakaran dapat memperlemah bahkan meruntuhkan bangunan akibat suhu tinggi yang terjadi. Beton dan baja hanya dapat bertahan sampai pada suhu dan durasi kebakaran tertentu. Kemampuan beton akan menurun saat mengalami suhu tinggi dan tidak kembali pada kemampuan awalnya setelah suhu normal.

Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI 03–2847-2002). Beton normal adalah beton yang mempunyai berat satuan 2,200 kg/m<sup>3</sup> sampai 2.500 kg/m<sup>3</sup> dan dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah (SNI 03–2847-2002). Baja muncul sebagai material baru berupa paduan antara besi dan karbon pada abad ke-19 dimana kandungan karbon lebih sedikit dari pada besi tuang. Pembuatan baja dalam volume besar baru dilakukan pertama kali oleh Sir Henry Bessemer (Setiawan, 2008).

Baja mempunyai sifat mekanis yang khas. Model pengujian yang paling tepat untuk mendapatkan sifat mekanik dari material baja adalah dengan melakukan uji tarik (Setiawan, 2008). Diagram tegangan regangan baja secara umum dapat dipisahkan menjadi bagian linear, luluh dan pengerasan regangan.



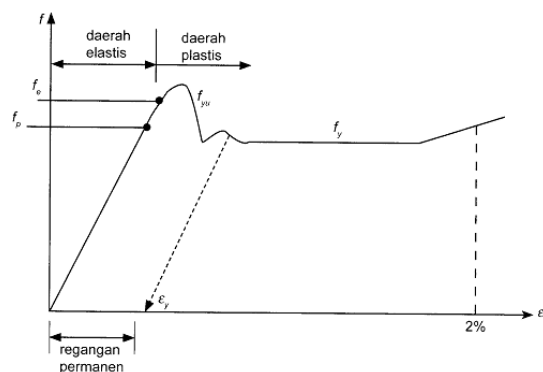
Gambar 1. Diagram tegangan regangan baja

Titik-titik penting yang terdapat dalam diagram tegangan regangan (Gambar 2) membagi menjadi beberapa daerah yaitu (Setiawan, 2008) :

1. Daerah linier antara 0 dan fy, dalam daerah ini berlaku hukum Hooke, kemiringan dari bagian kurva yang lurus ini disebut sebagai Modulus Elastisitas atau Modulus Young,

$$(E = \frac{f}{\epsilon}) \quad \dots (1)$$

2. Daerah elastis antara 0 dan fy, pada daerah ini jika beban dihilangkan maka benda uji masih kembali ke bentuk semula atau dikatakan bahwa benda uji tersebut masih bersifat elastis.
3. Daerah plastis yang dibatasi oleh regangan antara 2% hingga 1.2 – 1.5%, pada bagian ini regangan mengalami kenaikan akibat tegangan konstan sebesar fy. Daerah ini dapat menunjukkan tingkat *daktilitas* dari material baja tersebut. Pada baja mutu tinggi terdapat pula daerah plastis, namun pada daerah ini tegangan masih mengalami kenaikan. Karena itu baja jenis ini tidak mempunyai daerah plastis yang benar-benar datar sehingga tidak dapat dipakai dalam analisis plastis.
4. Daerah penguatan regangan (*strain-hardening*) antara  $\epsilon_{sh}$  dan  $\epsilon_u$ . Untuk regangan lebih besar dari 15 hingga 20 kali regangan elastis maksimum, tegangan kembali mengalami kenaikan namun dengan kemiringan yang lebih kecil daripada kemiringan daerah elastis. Daerah ini dinamakan daerah penguatan regangan (*strain hardening*), yang berlanjut hingga mencapai tegangan putus. Kemiringan daerah ini dinamakan modulus penguatan regangan  $\epsilon_s$ .



Gambar 2. Titik-titik penting dalam diagram tegangan regangan baja

Kolom adalah komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil melebihi 3 yang digunakan terutama untuk mendukung beban aksial tekan (SNI 03–2847-2002).

Ada tiga jenis kolom beton bertulang yaitu (Dipohusodo, 1994) :

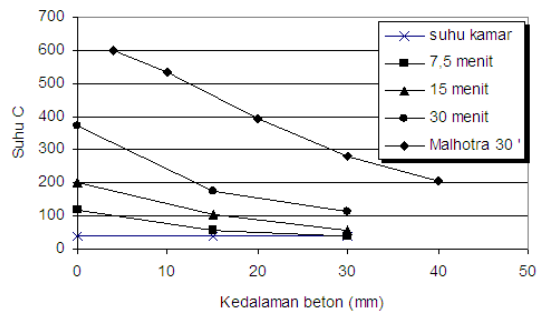
1. Kolom menggunakan pengikat sengkang lateral. Kolom ini merupakan kolom beton yang ditulangi dengan batang tulangan pokok memanjang, yang pada jarak spasi tertentu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral. Tulangan ini berfungsi untuk memegang tulangan pokok memanjang agar tetap kokoh pada tempatnya.
2. Kolom menggunakan pengikat spiral. Bentuknya sama dengan yang pertama hanya saja sebagai pengikat tulangan pokok memanjang adalah tulangan spiral yang dililitkan keliling membentuk *heliks* menerus di sepanjang kolom. Fungsi dari tulangan *spiral* adalah memberi kemampuan kolom untuk menyerap deformasi cukup besar sebelum runtuh, sehingga mampu mencegah terjadinya kehancuran seluruh struktur sebelum proses redistribusi momen dan tegangan terwujud.
3. Struktur kolom komposit, merupakan komponen struktur tekan yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau pipa, dengan atau tanpa diberi batang tulangan pokok memanjang.

Kuat nominal adalah kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi metode perencanaan sebelum dikalikan dengan nilai faktor reduksi kekuatan yang sesuai (SNI 03–2847-2002).

Kuat perlu adalah kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang berkaitan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi seperti yang ditetapkan dalam tata cara ini (SNI 03–2847-2002).

Kuat rencana adalah kuat nominal dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan  $\phi$  (SNI

03–2847-2002).



Gambar 3. Distribusi suhu dalam beton

Suhu pada pasta semen menyebabkan terjadinya dehidrasi atau menguapnya air C-S-H terdekomposisi menjadi  $CaO + H_2O (\uparrow) + SiO_2$ . Senyawa  $CaO$  tersebut jika bereaksi kembali dengan air akan menjadi senyawa hidroksida ( $Ca(OH)_2$ ) dan akan terjadi penambahan volume sampai 14 % sehingga memicu terjadinya retak. Menguapnya air kristal juga akan menimbulkan retak kecil (*microcrack*). Dehidrasi mulai muncul pada suhu beton 400 °C dan terjadi dehidrasi sempurna pada suhu 800 °C. Reaksi dehidrasi ini bersifat *ireversibel* atau tidak dapat terjadi reaksi balik. (Fintel, 1985).

Kapasitas kolom dengan kondisi beban tanpa eksentrisitas dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$P_o = 0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \dots (2)$$

dengan

$P_o$  = kuat beban aksial nominal tanpa eksentrisitas

$f_c'$  = kuat tekan beton

$f_y$  = kuat leleh baja

$A_g$  = luas tampang kotor kolom

$A_{st}$  = luas tampang tulangan

Faktor reduksi untuk memperhitungkan kekuatan kolom akibat adanya eksentrisitas sebesar 20 % untuk kolom dengan pengikat sengkang dan 15 % untuk kolom dengan pengikat spiral, sehingga didapat persamaan :

Kolom dengan penulangan spiral :

$$\phi.P_n = 0,85.\phi.\{0,85.fc'.(A_g - A_{st}) + f_y.A_{st}\} \dots (3)$$

Kolom dengan penulangan sengkang :

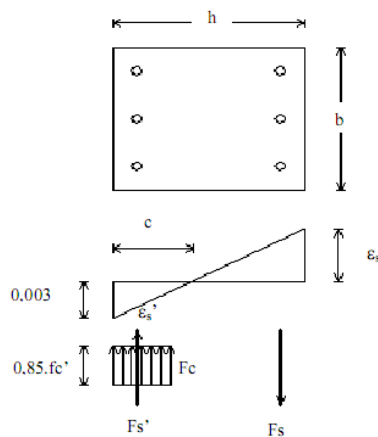
$$\phi.P_n = 0,80.\phi.\{0,85.fc'.(A_g - A_{st}) + f_y.A_{st}\} \dots (4)$$

dengan

$P_n$  = kuat beban aksial nominal dengan eksentrisitas tertentu

$\phi$  = faktor reduksi

Faktor reduksi diambil sebesar 0,70 untuk kolom dengan pengikat spiral dan 0,65 untuk kolom dengan pengikat sengkang.



Gambar 4. Tegangan dan Regangan Kolom dengan Beban Aksial Eksentris

Kapasitas kolom dengan kondisi beban eksentris dapat dihitung dengan persamaan berikut :

Gaya yang diberikan beton,

$$F_c = 0,85.fc'.\beta_1.c.b \dots (5)$$

Gaya yang diberikan tulangan tekan,  $F_s' = \epsilon_s.E_s.A_s$  jika tulangan belum luluh atau  $F_s' = A_s.f_y$  jika tulangan sudah luluh.

Gaya yang diberikan tulangan tarik,  $F_s = \epsilon_s.E_s.A_s$  jika tulangan belum luluh atau  $F_s = A_s.f_y$  jika tulangan sudah luluh.

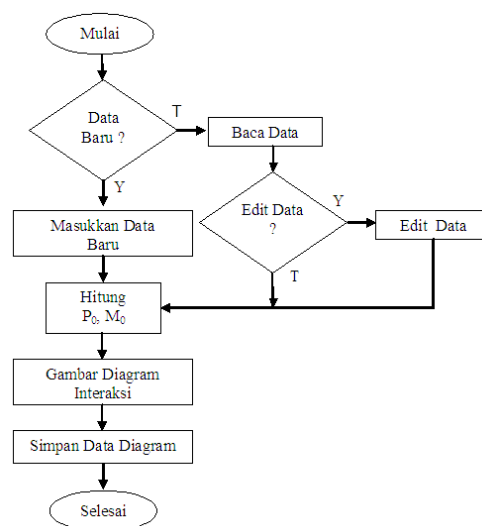
Kapasitas aksial nominal kolom,  $P_n = F_c + F_s' - F_s$

Kapasitas momen nominal kolom,

$$M_n = F_c.\left(\frac{h}{2} - \frac{\beta_1.c}{2}\right) + F_s'.\left(\frac{h}{2} - d'\right) + F_s.\left(\frac{h}{2} - d\right) \dots (6)$$

Perhitungan kapasitas kolom didasarkan atas letak garis netral yang berbeda. Perbedaan letak garis netral akan menyebabkan bergesernya c yang tentu saja akan diikuti oleh perubahan regangan. Berdasarkan regangan yang terjadi maka dapat dihitung tegangan yang terjadi pada masing-masing bahan yaitu beton dengan berbagai mutu dan baja tulangan. Beberapa titik penting dari kapasitas kolom adalah :

1. Kapasitas beban sentris ( $P_0$ ), yaitu kapasitas kolom untuk beban aksial murni
2. Kapasitas lentur murni ( $M_0$ ), yaitu kapasitas kolom untuk beban lentur murni
3. Kapasitas balance ( $M_b, P_b$ ), yaitu kapasitas kolom pada kondisi seimbang, yaitu saat beton mencapai regangan 0,003 dan baja mengalami luluh



Gambar 5. Bagan Alir Analisis Kolom

Program dibatasi untuk analisis penampang kolom beton bertulang dengan bentuk persegi. Variasi mutu beton yang terjadi juga memiliki bentuk persegi yang sebangun dengan penampang utama. Tulangan yang terpasang

memiliki penampang bulat yang tersebar merata di sekeliling penampang. Adapun batasan atau penyederhanaan terhadap penampang beton adalah :

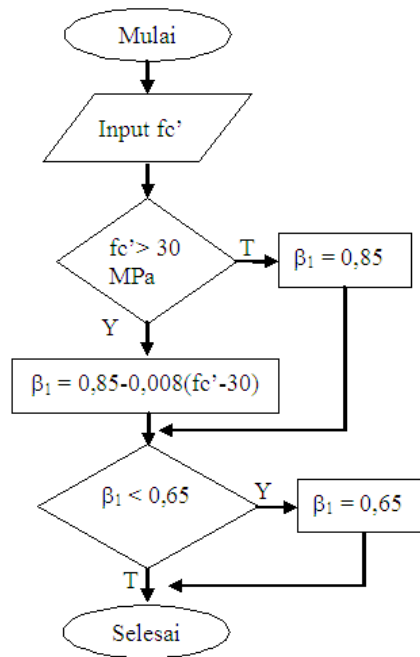
1. Bidang penampang tetap rata setelah terjadi lenturan.
2. Regangan desak yang terjadi pada serat terluar beton sebesar 0,003.
3. Kuat tarik beton diabaikan.
4. Beton dan tulangan teregang secara bersamaan tanpa ada gelinciran beton dan tulangan.

Secara umum program terdiri dari beberapa program kecil (sub program) yang selanjutnya akan digabungkan menjadi program utama. Tujuan dari penggunaan sub program adalah untuk mempermudah proses pemrograman antara lain :

1. Meningkatkan *readability*, yaitu mempermudah pembacaan program
2. Meningkatkan *modularity*, yaitu memecah sesuatu yang besar menjadi modul-modul atau bagian-bagian yang lebih kecil sesuai dengan fungsinya, sehingga mempermudah pengecekan, testing dan lokalisasi kesalahan.
3. Meningkatkan *reusability*, yaitu suatu sub program dapat dipakai berulang kali dengan hanya memanggil sub program tersebut tanpa menuliskan perintah-perintah yang semestinya diulang-ulang.

Input data yang diperlukan dalam program ini adalah : lebar kolom, tinggi kolom, mutu baja, modulus elastisitas baja, tegangan luluh baja, banyaknya baris tulangan, diameter tulangan, posisi tulangan, variasi mutu beton, mutu beton, regangan maksimum beton.

Sub program untuk menghitung faktor  $\beta_1$  berisi perhitungan untuk menentukan besarnya faktor  $\beta_1$  yaitu faktor yang digunakan untuk menyederhanakan bentuk tegangan beton menjadi segi empat yang lebih mudah untuk dianalisis. Faktor  $\beta_1$  ditentukan oleh besarnya mutu beton, bagan alir proses tersebut ditampilkan dalam Gambar 6.

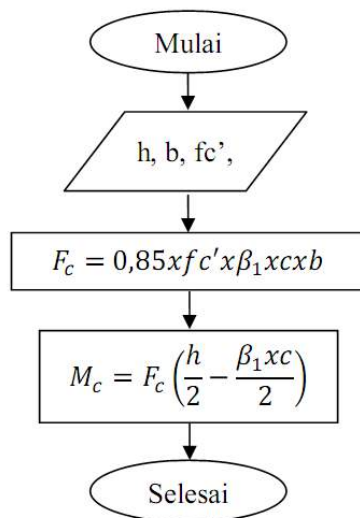


Gambar 6. Bagan Alir Perhitungan Faktor  $\beta_1$  Untuk Berbagai Mutu Beton

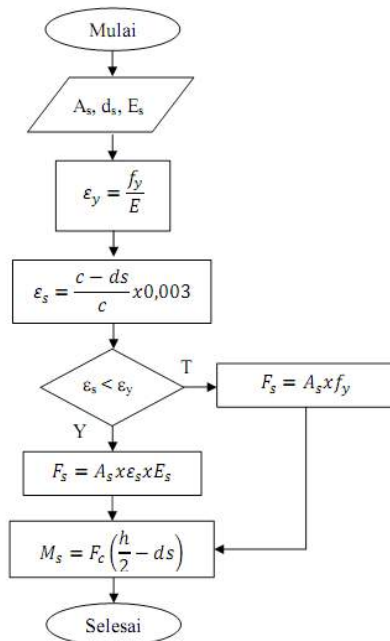
Kolom beton bertulang memiliki kapasitas aksial dan momen yang diberikan oleh beton dan baja tulangan. Gaya yang diberikan oleh beton besarnya didasarkan pada regangan maksimum yang terjadi pada beton sebesar 0,003. Besarnya gaya yang diberikan beton juga dipengaruhi oleh letak garis netral dan faktor  $\beta_1$ . Bentuk blok desak beton selanjutnya mempengaruhi besarnya kapasitas aksial yang diberikan oleh beton dari besarnya blok tersebut dan kapasitas momen oleh jarak blok dari sumbu simetri kolom. Bagan alir perhitungan kontribusi kapasitas aksial dan momen oleh beton disampaikan dalam Gambar 7.

Gaya yang diberikan oleh tulangan dipengaruhi oleh tegangan yang terjadi pada tulangan dan luas penampang tulangan. Tegangan yang terjadi pada tulangan dipengaruhi oleh regangan yang terjadi serta modulus elastisitas tulangan. Perhitungan diawali dengan data luas tulangan, modulus elastisitas dan posisi tulangan dalam penampang beton. Berdasarkan posisi tulangan maka dapat dihitung regangan yang terjadi. Regangan tersebut dibandingkan dengan regangan luluh

tulangan, jika regangan melebihi regangan luluh maka digunakan tegangan luluh tulangan. Perhitungan tersebut diulang-ulang sejumlah baris tulangan yang dipasang, selanjutnya dihitung kontribusi gaya aksial dan momen yang diberikan oleh tulangan. Bagan alir perhitungan tersebut terdapat dalam Gambar 8.



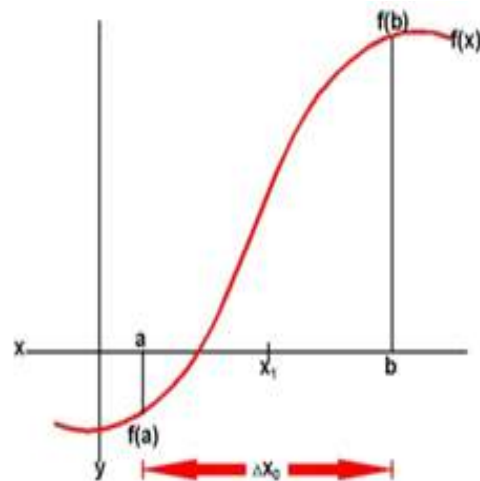
Gambar 7. Bagan alir perhitungan kontribusi gaya beton terhadap kapasitas aksial dan momen kolom



Gambar 8. Bagan Alir Perhitungan Kontribusi Gaya Oleh Tulangan Pada Berbagai Regangan Terhadap Kapasitas Aksial Dan Momen Kolom

Sub program perhitungan letak garis netral digunakan untuk menghitung letak garis netral agar didapat kapasitas aksial = 0 (garis netral untuk kapasitas momen murni).

Kapasitas lentur murni kolom akan didapatkan jika terjadi keseimbangan gaya tarik dan tekan yang diberikan beton maupun baja. Kondisi ini akan dicapai pada posisi garis netral tertentu. Berbagai cara dapat dilakukan untuk mendapatkan posisi garis netral tersebut. Metoda yang digunakan dalam pemrograman ini adalah metoda setengah interval. Metoda ini menggunakan 2 masukan untuk mendapatkan 2 hasil yang berbeda tanda (positif dan negatif), selanjutnya dicari nilai input berikutnya dari nilai tengah 2 input sebelumnya (Gambar 9).

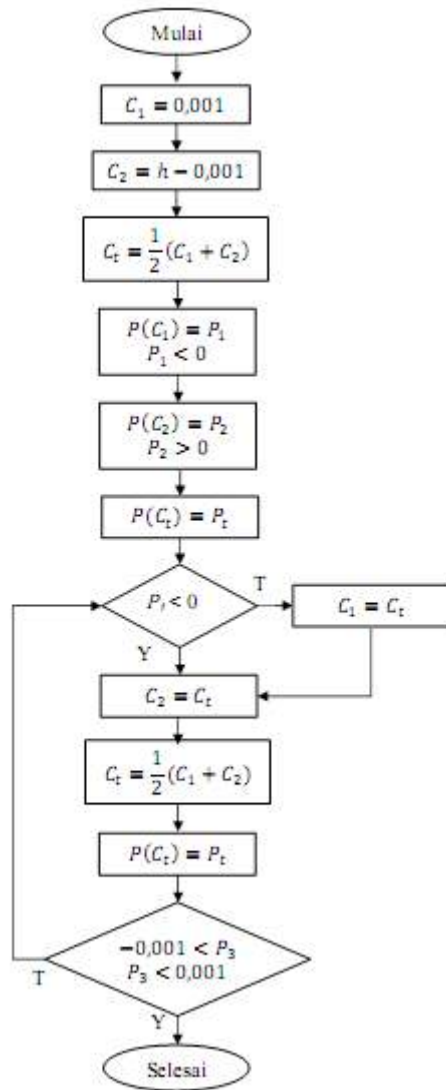


Gambar 9. Pencarian akar persamaan dengan metoda setengah interval

Cara ini dipilih karena kolom akan menghasilkan gaya aksial positif (tarik) pada posisi garis netral mendekati 0 dan memberikan gaya aksial negatif (tekan) pada posisi garis netral mendekati tinggi kolom. Setelah garis netral didapatkan dan memperoleh kapasitas aksial kolom mendekati 0, selanjutnya dihitung kapasitas momen kolom, yaitu kapasitas lentur murni. Bagan alir metoda ini disampaikan dalam Gambar 10.

Kapasitas kolom umumnya dinyatakan dalam bentuk diagram interaksi. Diagram ini menunjukkan kapasitas kolom pada berbagai

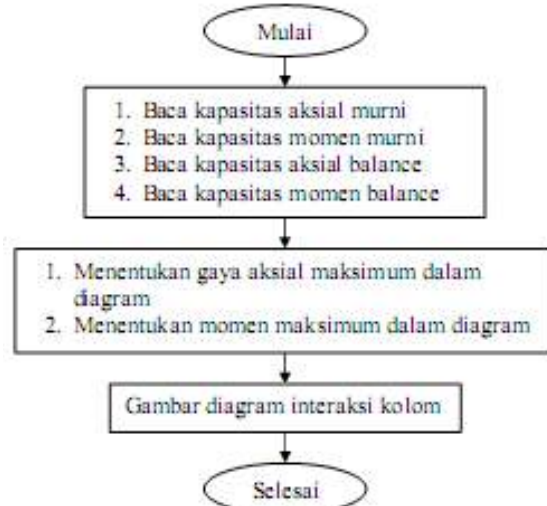
kapasitas aksial dan momen. Diagram ini diperoleh dengan menghitung kapasitas aksial dan momen pada berbagai kondisi garis netral.



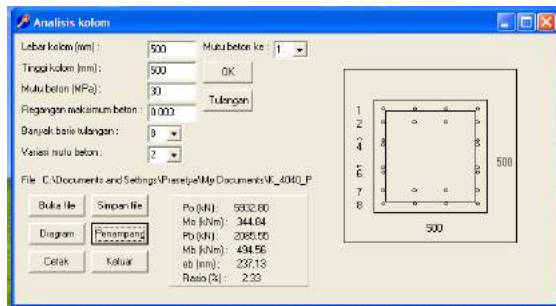
Gambar 10. Bagan alir perhitungan letak garis netral kapasitas momen murni dengan metoda setengah interval

Pergeseran letak garis netral dibatasi dari kapasitas momen murni sampai dengan kapasitas aksial murni. Penggambaran diagram didahului penentuan nilai maksimum agar diagram tidak keluar dari bidang gambar. Sumbu vertikal dibatasi oleh kapasitas aksial maksimum yaitu kapasitas aksial murni, sumbu horisontal dibatasi oleh kapasitas lentur pada kondisi seimbang (*balance*). Titik-titik yang digambarkan dalam diagram diperoleh dari

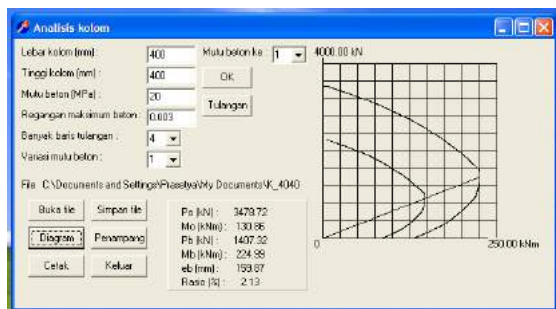
kapasitas aksial dan momen dibandingkan dengan kapasitas aksial dan momen maksimum. Proses penggambaran diagram dijelaskan dalam bagan alir Gambar 11.



Gambar 11. Bagan alir penggambaran diagram interaksi kolom



Gambar 12. Tampilan penampang kolom dengan perkuatan



Gambar 13. Tampilan diagram interaksi kolom

Kesimpulan dari penggunaan program tersebut adalah :

1. Program valid untuk digunakan karena menghasilkan keluaran dengan kesalahan yang relatif kecil.
2. Program mampu menghitung penampang dengan mutu beton yang berbeda.
3. Program mampu menghitung penampang dengan mutu tulangan yang berbeda
4. Program mampu menghitung penampang dengan modulus elastisitas tulangan yang berbeda.
5. Diameter tulangan ditunjukkan dengan tampilan yang skalatis dengan penampang.
6. Tampilan posisi tulangan dalam arah X masih belum sempurna.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adi, P., 2010, *Peningkatan Ketahanan Kolom Beton Bertulang Terhadap Kebakaran dengan Memperkuat Tulangan Pengekang*. Janateknika.
- Adi, P., 2005, *Perilaku Kolom Pendek Akibat Temperatur Tinggi dengan Ketebalan Selimut Beton yang Berbeda*. Jurnal

*Teknik Sipil*, 82-164.

- Dipohusodo, I., 1994, *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Jakarta.
- Fintel, M., 1985, *Handbook of Concrete Engineering*. New York: W Van Nostrand Reinhold Company.
- James M. Gere, S. G., 1985, *Mekanika Bahan*. Jakarta: Erlangga.
- Mustofa, K., 2014, *PROSEDUR dan FUNGSI REKURSIF*, Retrieved, 2014, from Fakultas Mipa Universitas Gadjah Mada : [http://khabib.staff.ugm.ac.id/index.php?option=com\\_content&view=article&id=82:prosedur-dan-fungsi-rekursif&catid=28:introduction-to-algorithm-and-programming](http://khabib.staff.ugm.ac.id/index.php?option=com_content&view=article&id=82:prosedur-dan-fungsi-rekursif&catid=28:introduction-to-algorithm-and-programming)
- SNI\_03-2847-2002, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI 03 - 2847 - 2002*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Wang, C. K., 1986, *Disain beton bertulang*. Jakarta: Erlangga.