

# ANALISIS KOLOM BETON BERTULANG DENGAN VARIASI POSISI TULANGAN DAN PENAMPANG MENGGUNAKAN DIAGRAM INTERAKSI

Oleh

**Oni Guspari**

Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang  
Kampus Limau Manis Padang

---

## ABSTRAK

Kolom merupakan elemen struktur yang sangat vital dalam suatu bangunan gedung, karena kolom merupakan penahan hampir seluruh beban upper structure. Karenanya kajian tentang elemen kolom merupakan kajian yang sangat menarik dan terus berkembang. Pada tulisan ini akan dianalisis pengaruh variasi posisi tulangan serta bentuk penampang kolom terhadap kapasitas aksial dan kapasitas momen penampang kolom dengan menggunakan diagram interaksi kolom, kapasitas yang ditinjau difokuskan pada kondisi seimbang (balance failure) dengan asumsi momen satu arah ke sisi pendek. Penampang yang ditinjau adalah 4 buah kolom dengan dimensi 400 mm x 600 mm dua buah dan 490 mm x 490 mm dua buah. Karakteristik kolom diuat sama dengan  $f_c'=25$  MPa dan  $f_y = 300$  MPa. Hasil kajian menunjukkan bahwa kolom dengan penampang empat persegi panjang memberikan kapasitas kolom yang lebih baik dibandingkan penampang persegi, sedangkan jika dimensi penampang kolomnya sama, maka penempatan posisi tulangan pada dua sisi akan lebih memberikan kapasitas lebih baik dibandingkan dengan posisi tulangan pada empat sisi

**Kata kunci :** *diagram interaksi, balance failure*

## PENDAHULUAN

Kolom adalah sebuah elemen struktur vertikal yang menerima beban aksial tekan dengan atau tanpa momen, secara umum kolom akan menerima beban dari balok dan memindahkannya ke pondasi. Keruntuhan yang terjadi pada kolom rata rata adalah keruntuhan tekan. Dari segi ekonomis dan dari segi manusiawinya, keruntuhan pada kolom adalah keruntuhan yang sangat perlu untuk dicermati, dimana apabila terjadi keruntuhan akan menyebabkan runtuhnya satu sistem balok dan lantai yang bersangkutan yang tentunya akan diikuti oleh runtuhnya seluruh system.

Dalam disain struktur gedung, sangat dikenal istilah *Strong Column Weak Beam* yang berarti bahwa suatu struktur di disain dengan kekuatan kolom melebihi kekuatan balok sehingga apabila terjadi kegagalan pada struktur, yang diharapkan hancur terlebih

dahulu adalah balok. Karena itu perencanaan kolom selalu dilakukan secara hati-hati serta dengan memberikan kekuatan cadangan yang lebih besar bila dibandingkan dengan elemen struktur lainnya, terlebih lagi keruntuhan tekan pada kolom tidak memberikan peringatan awal yang cukup jelas. Hal ini dapat dilihat dengan besarnya reduksi kekuatan yang disyaratkan SNI 03-2847-2002 untuk elemen tekan dibandingkan dengan reduksi pada balok misalnya.

Kekuatan kolom dalam memikul beban didasarkan pada kemampuannya memikul kombinasi beban axial ( $P_u$ ) dan Momen ( $M_u$ ) secara bersamaan. Sehingga perencanaan kolom suatu struktur bangunan didasarkan pada kekuatan dan kekakuan penampang lintangnya terhadap aksi beban aksial dan momen lentur.

Disamping itu, kekuatan kolom juga sangat dipengaruhi oleh bentuk penampang dan penempatan posisi tulangan yang terdapat pada kolom, dan erat juga kaitannya dengan penempatan posisi kolom terhadap *lay out* bangunan itu sendiri, sebab hal ini akan mempengaruhi juga terhadap arah momen yang dominan bekerja pada system bangunan tersebut.

Dengan banyaknya kemungkinan posisi tulangan dan atau penampang kolom, maka perlu adanya kajian terhadap pengaruh variasi posisi tulangan serta bentuk penampang kolom terhadap kapasitas aksial dan kapasitas momen penampang kolom. Kajian kapasitas difokuskan pada kondisi regangan seimbang (*balance strain*) dengan asumsi momen yang dominan adalah ke arah tegak lurus terhadap sisi pendek kolom

Untuk mempermudah mengetahui kekuatan penampang kolom biasanya dibuat diagram interaksi, yaitu suatu grafik daerah batas yang menunjukkan ragam kombinasi beban aksial dan momen yang dapat ditahan oleh kolom secara aman (Wahyudi, 1997).

**Tujuan Penelitian**

Adapun target akhir dari kajian ini adalah untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh posisi tulangan terhadap kapasitas kolom serta pengaruh bentuk penampang kolom terhadap kapasitas kolom

**TINJAUAN PUSTAKA**

**Kapasitas Kolom**

Kapasitas suatu kolom yang mengalami beban aksial murni (*Axial Load only*) terjadi apabila kolom hanya menahan beban sentris

pada penampangnya (tanpa eksentrisitas). Pada kondisi ini gaya luar akan ditahan oleh penampang kolom yang secara matematis dirumuskan dalam persamaan:

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

dimana:

$f_c'$  = Kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa),

$A_g$  = Luas penampang kolom,

$A_{st}$  = Luas tulangan total

$f_y$  = Kuat tarik tulangan baja yang diijinkan (MPa).

Namun kekuatan yang dihitung dengan rumus diatas jarang sekali bisa diperoleh pada suatu kolom karena normalnya selalu ada momen pada kolom yang akan mereduksi kapasitas aksial kolom. Momen tersebut bisa saja terjadi akibat:

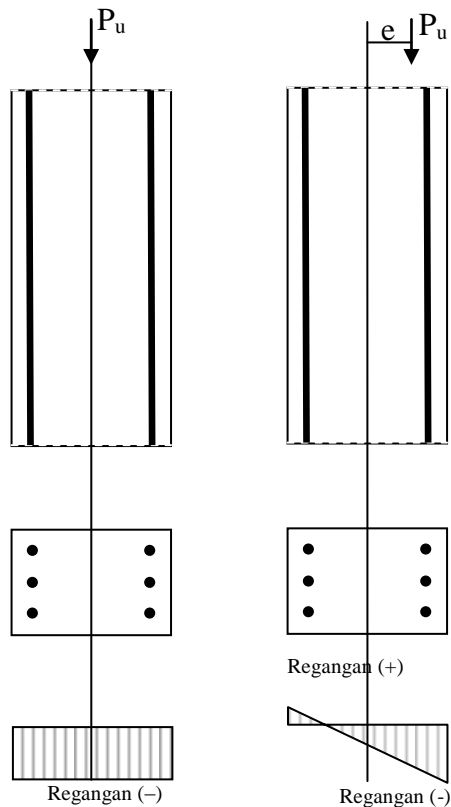
- Tidak konsentrisnya as kolom dari satu lantai terhadap lantai berikutnya
- Mengimbangi momen pada balok
- Penulangan yang tidak sentris yang mengakibatkan tidak berhimpitnya titik berat geometrinya dengan titik berat penampang

Untuk memperhitungkan efek dari momen yang tidak diharapkan tersebut, maka kapasitas aksial kolom harus dikalikan dengan 0,85 untuk kolom dengan spiral dan 0,8 untuk kolom dengan sengkang, sehingga:

$$P_o = 0,85 \cdot P_o \text{ (kolom dengan spiral)}$$

$$P_o = 0,80 \cdot P_o \text{ (kolom dengan sengkang)}$$

Secara umum, kolom akan menerima beban seperti yang disajikan dalam gambar berikut:



Gambar 1. Kolom konsentris dan eksentris

Apabila beban  $P$  bergeser dari sumbu kolom, maka timbul eksentrisitas beban pada penampang kolom, sehingga kolom harus memikul kombinasi pembebanan aksial dan momen.

**Diagram Interaksi Kolom**

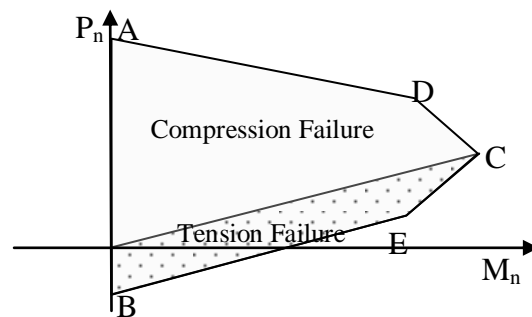
Diagram interaksi kolom adalah deskripsi kekuatan nominal suatu penampang kolom pada saat beban konsentris dan eksentris yang dijabarkan secara grafis. Diagram interaksi dapat dibuat dalam dua tipe, yaitu:

- Diagram interaksi  $M - P$
- Diagram interaksi  $e - P$

Kegunaan diagram interaksi terutama adalah untuk desain kolom-kolom pada lantai yang sama. Biasanya kolom-kolom pada lantai yang sama pada sebuah struktur gedung didesain

dengan dimensi dan bentuk yang sama. Untuk menghindari desain yang berulang ulang, cukup didesain satu buah kolom struktur dengan beban maksimum dan tipikal dengan kolom lainnya, kemudian dibuat diagram interaksinya. Selanjutnya, untuk kolom-kolom yang lain, cukup dengan menginteraksikan gaya-gaya dalam dibagi dengan faktor reduksi pada diagram yang telah dibuat. Jika titik tersebut berada didalam diagram, maka penampang yang sama dapat digunakan, sebaliknya, jika titiknya berada diluar diagram berarti penampang tidak cukup kuat. Untuk itu dilakukan desain tersendiri untuk kolom tersebut.

Gambaran diagram interaksi kolom secara umum dapat dilihat dari gambar 2, sumbu vertikal menunjukkan beban aksial yang dapat ditahan kolom sedang sumbu horizontal menunjukkan beban momen yang dapat ditahan oleh kolom.



Gambar 2. Tipikal Diagram Interaksi Kolom

Pada kolom yang mengalami beban eksentris, apabila besarnya beban aksial dan momen yang ditahan oleh kolom diplotkan dalam gambar diagram interaksi kekuatan penampang kolom, maka akan terdapat 3 jenis kondisi keruntuhan penampang kolom. Jenis-jenis kondisi keruntuhan kolom tersebut adalah : kondisi keruntuhan tekan (A), kondisi

keruntuhan setimbang (C), kondisi keruntuhan tarik (B).

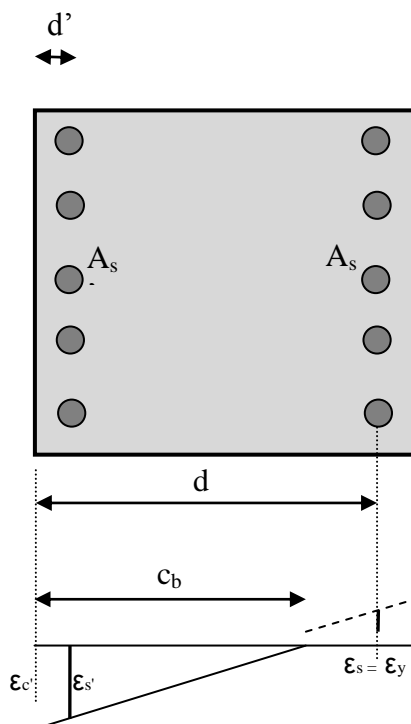
Kondisi keruntuhan tekan (*Compression failure*) terjadi apabila beban P bergeser sedikit dari sumbu penampang kolom, sehingga sebagian kecil penampang kolom akan mengalami kondisi tarik, namun sebagian besar penampang kolom akan mengalami kondisi tekan. Kondisi ini mengakibatkan jarak garis netral penampang kolom lebih besar dari nilai *c balance*, yaitu jarak garis netral kolom pada keadaan setimbang. Kondisi keruntuhan setimbang (*balance failure*) terjadi apabila eksentrisitas beban P bergeser lebih besar dari kondisi keruntuhan tekan, maka akan tercapai tegangan tarik tulangan mencapai leleh ( $f_s = f_y$ ) dan bersamaan itu regangan tekan beton mencapai maksimal ( $\epsilon_c' = 0,003$ ).

Jarak garis netral penampang kolom dalam kondisi setimbang (*c balance*) dengan anggapan nilai  $\epsilon_c' = 0,003$  dan  $E_s = 200.000$  MPa dapat diperoleh dengan persamaan:

$$c_b = \frac{\epsilon_c'.d}{\epsilon_c'+\epsilon_y} = \frac{600.d}{600+f_y}$$

Kondisi keruntuhan tarik (*Tension failure*) di dalam diagram interaksi terjadi apabila eksentrisitas beban P bergeser sedikit lagi dari kondisi setimbang, maka luas penampang kolom yang mengalami kondisi tarik semakin besar dan luas penampang kolom yang mengalami kondisi tekan semakin kecil. Apabila penampang kolom hanya menerima beban momen saja (*pure bending*) maka perhitungan penampang kolom dilakukan seperti perhitungan balok biasa.

Untuk kolom dengan tulangan pada dua sisi seperti yang ditunjukkan gambar 3, formula selengkapnya untuk membuat diagram interaksi adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram regangan kolom pada keadaan setimbang (Asroni, 2001)

Konsentris

Koordinat titik A ( Tekan )

$$P_n = 0,85f_c \cdot A_g + A_{st} \cdot f_y$$

$$M_n = 0$$

Koordinat titik B ( Kondisi Tarik )

$$P_n = - A_{st} \cdot f_y$$

$$M_n = 0$$

Eksentris

Koordinat titik C ( Balance )

$$c_b = \frac{\epsilon_c'.d}{\epsilon_c'+\epsilon_y} = \frac{0,003 \cdot d}{0,003+\epsilon_y}$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\frac{d'}{h} = 0,1$$

$$d = h - d'$$

$$\varepsilon'_s = \frac{(c_b - d') \cdot \varepsilon_c}{c_b}$$

$$f'_s = \varepsilon'_s \cdot E_s$$

Sehingga dapat dihitung:

$$P_n = A_s \cdot f'_s + 0,85f_c \cdot b \cdot c_b \cdot \beta_1 - A_s \cdot f_y$$

$$M_n = A_s \cdot f'_s \cdot (\frac{1}{2}h - d') + A_s \cdot f'_s \cdot (\frac{1}{2}h - d') + 0,85f_c \cdot b \cdot c_b \cdot \beta_1 \cdot (\frac{1}{2}h - c_b \cdot \frac{1}{2}\beta_1)$$

Koordinat titik D ( Tekan )

$$c = 0,8 \cdot c_b$$

$$\varepsilon'_s = \frac{(c - d') \cdot \varepsilon_c}{c}$$

$$f'_s = \varepsilon'_s \cdot E_s$$

$$\varepsilon_s = \frac{(d \cdot \varepsilon_c - c \cdot \varepsilon_c)}{c}$$

$$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s$$

Sehingga dapat dihitung:

$$P_n = A_s \cdot f'_s + 0,85f_c \cdot b \cdot c \cdot \beta_1 - A_s \cdot f_s$$

$$M_n = A_s \cdot f'_s \cdot (\frac{1}{2}h - d') + A_s \cdot f'_s \cdot (\frac{1}{2}h - d') + 0,85f_c \cdot b \cdot c \cdot \beta_1 \cdot (\frac{1}{2}h - c \cdot \frac{1}{2}\beta_1)$$

Koordinat titik E ( Tarik )

$$c = 1,2c_b$$

$$\varepsilon'_s = \frac{(c - d') \cdot \varepsilon_c}{c}$$

$$f'_s = \varepsilon'_s \cdot E_s$$

$$\varepsilon_s = \frac{(d \cdot \varepsilon_c - c \cdot \varepsilon_c)}{c}$$

$$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s$$

Sehingga dapat dihitung:

$$P_n = A_s \cdot f'_s + 0,85f_c \cdot b \cdot c \cdot \beta_1 - A_s \cdot f_s$$

$$M_n = A_s \cdot f'_s \cdot (\frac{1}{2}h - d') + A_s \cdot f'_s \cdot (\frac{1}{2}h - d') + 0,85f_c \cdot b \cdot c \cdot \beta_1 \cdot (\frac{1}{2}h - c \cdot \frac{1}{2}\beta_1)$$

Untuk semua formula berlaku arti simbol sebagai berikut:

$P_n$  = Kapasitas Aksial kolom (kN)

$M_n$  = Kapasitas Momen kolom (kNm)

$c_b$  = jarak garis netral kondisi *balance* (mm)

$\varepsilon_c$  = regangan beton

$\varepsilon_s$  = regangan tulangan

$\varepsilon_y$  = regangan leleh

$d$  = tinggi efektif (mm)

$d'$  = jarak tulangan tekan dari luar (mm)

$E_s$  = Modulus elastisitas tulangan

$A_s$  = Luas tulangan tarik (mm<sup>2</sup>)

$A_s'$  = Luas tulangan tarik (mm<sup>2</sup>)

$f_c$  = kuat tekan beton ( MPa)

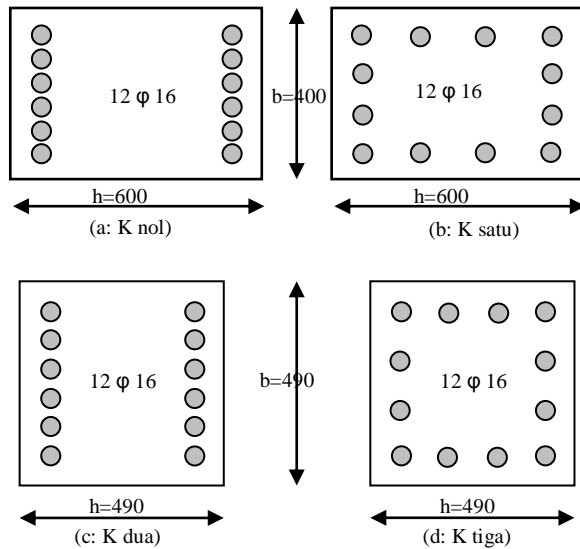
$f_y$  = kuat tarik tulangan (MPa)

Untuk kondisi kolom dengan posisi tulangan yang berbeda, formulanya dapat menyesuaikan dan identik dengan analisis diatas

### Metode Analisis

Untuk mengetahui pengaruh posisi tulangan dan penampang dalam kolom beton bertulang terhadap kekuatannya dalam memikul beban dilakukan analisis terhadap model penampang kolom. Dalam hal ini dibatasi bahwa arah momen yang terjadi hanya satu arah, yaitu kearah horizontal (sumbu x) pada gambar penampang yang ditampilkan. Pembahasan dilakukan terhadap 4 buah penampang kolom dengan luas tulangan dan luas beton yang sama, yaitu jumlah tulangan pokok 12  $\phi$  16 dan luas penampang beton  $A_g = 240000$  mm<sup>2</sup> yang terdiri dari penampang kolom persegi panjang 400 mm x 600 mm sebanyak 2 buah, satu penampang dengan sebaran tulangan dua sisi dan satunya lagi sebaran tulangannya pada empat sisi. Penampang kolom persegi 490 mm x 490 mm sebanyak 2 buah, satu penampang dengan

sebaran tulangan dua sisi dan satunya lagi sebaran tulangnya pada empat sisi. Semua tulangan dan beton mempunyai karakteristik berturut turut adalah  $f_y = 300$  MPa dan  $f_c' = 25$  MPa, selengkapnya ditunjukkan pada gambar dan gambar berikut:



Gambar 4. Penampang kolom yang ditinjau

Tabel 1. Rincian Model Kolom yang di gunakan

No	1	2	3	4
Kolom	K Nol	K Satu	K Dua	K Tiga
Dimensi Kolom / Luas	400x600 = 240000 mm <sup>2</sup>	400x600 = 240000 mm <sup>2</sup>	490x490 = 240100 mm <sup>2</sup>	490x490 = 240100 mm <sup>2</sup>
Tulangan / Luas	12φ16 = 2414 mm <sup>2</sup>	12φ16 = 2414 mm <sup>2</sup>	12φ16 = 2414 mm <sup>2</sup>	12φ16 = 2414 mm <sup>2</sup>
Posisi	Gambar 3a	Gambar 3b	Gambar 3c	Gambar 3d
Keterangan	$f_c' = 25$ MPa $f_y = 300$ MPa			

Pembahasan kekuatan kolom dalam memikul beban mula-mula dilakukan terhadap diagram

interaksi penampang kolom dengan dimensi 400x 600 dengan sebaran tulangan pada dua sisi, seperti pada gambar 4a. Selanjutnya ditinjau seberapa jauh penurunan/kenaikan kekuatan memikul beban pada kolom dengan posisi tulangan dan atau penampang kolom lainnya (gambar 4b, 4c dan 4d) dengan catatan luas tulangan dan luas kolom tetap sama..

Analisis kekuatan penampang kolom menggunakan diagram interaksi kolom, yang berfungsi membuat desain dan pemeriksaan kekuatan penampang kolom beton bertulang. Sehingga dapat diperoleh kesimpulan pengaruh penempatan tulangan dan penampang kolom yang mempunyai luas tulangan, luas kolom yang sama serta dengan *material properties* tertentu terhadap kekuatan kolom dalam memikul beban. Dengan diperolehnya diagram interaksi masing-masing penampang kolom, maka dapat dibandingkan pengaruh posisi serta bentuk kolom terhadap momen kapasitas berdasarkan beban aksial ( $P_u$ ) yang bekerja.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dengan memakai formula formula sebelumnya maka didapatkan koordinat titik A, B, C, D dan E dimana koordinat A menunjukkan kapasitas kolom dalam memikul beban aksial tekan murni / tanpa momen, koordinat B menunjukkan kapasitas memikul beban aksial tarik murni/tanpa momen, koordinat C menunjukkan kapasitas kolom dalam kondisi setimbang, sedangkan koordinat D dan E adalah kapasitas kolom memikul beban momen dan aksial atau dengan kata lain beban kolom mempunyai eksentrisitas tertentu. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan dalam tabel 2 berikut:

Tabel 2. Kapasitas Momen dan Aksial K nol

Titik	Mn (kNm)	Pn (kN)
A	0	5824.114
D	493.6483	3302.229
C	556.1344	2601
E	543.3375	2080.8
B	0	-724.114

Tabel 3. Kapasitas Momen dan Aksial K satu

Titik	Mn (kNm)	Pn (kN)
A	0	5824.114
D	480.003	2997.045
C	515.6225	2346.68
E	491.4385	1877.344
B	0	-724.114

Tabel 4. Kapasitas Momen dan Aksial K dua

Titik	Mn (kNm)	Pn (kN)
A	0	5826.239
D	403.2697	3303.529
C	454.3066	2602.084
E	443.8514	2081.667
B	0	-724.114

Tabel 5. Kapasitas Momen dan Aksial K tiga

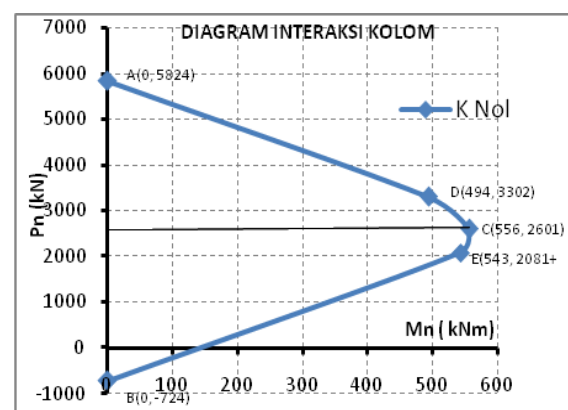
Titik	Mn (kNm)	Pn (kN)
A	0	5826.239
D	395.1378	3060.668
C	428.4943	2399.699
E	410.4567	1919.76
B	0	-724.114

Perbandingan kapasitas keempat kolom difokuskan pada kondisi setimbang (koordinat C) dalam bentuk tabel 6 berikut:

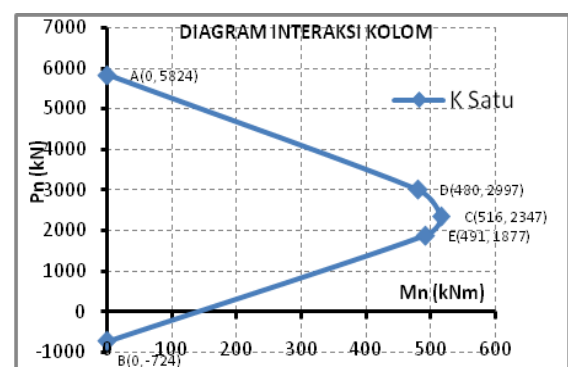
Tabel 6. Perbandingan Kapasitas Momen dan Aksial dalam kondisi setimbang

	Knol		K Satu		K Dua		K Tiga	
	Mn	Pn	Mn	Pn	Mn	Pn	Mn	Pn
A	0	5824	0	5824	0	5826	0	5826
D	494	3302	480	2997	403	3304	395	3061
C	556	2601	516	2347	454	2602	428	2400
E	543	2081	491	1877	444	2082	410	1920
B	0	-724	0	-724	0	-724	0	-724

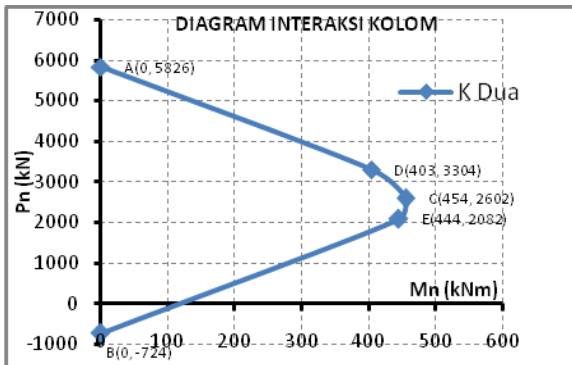
Diagram interaksi kolom dari masing masing kondisi tersebut dapat dilihat dalam gambar 5 sampai gambar 8 berikut:



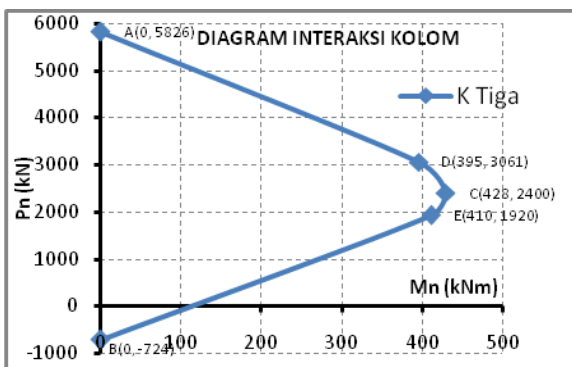
Gambar 5. Diagram Interaksi K Nol



Gambar 6. Diagram Interaksi K Satu

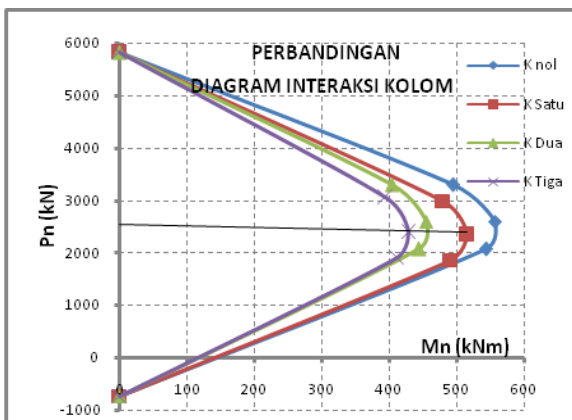


Gambar 7. Diagram Interaksi K Dua



Gambar 8. Diagram Interaksi K Tiga

Sedangkan perbandingan diagram interaksi masing masing kolom adalah disajikan dalam gambar 9 berikut:



Gambar 9: Perbandingan Diagram Interaksi Kolom

Pengamatan diagram interaksi difokuskan pada koordinat titik C ( *balance failure* ). Besarnya beban aksial (  $P_{balance}$  ) dan kapasitas momen (  $M_{balance}$  ) dapat ditabulasikan sebagai berikut:

Tabel 7. Kapasitas beban aksial dan momen dalam kondisi *balance*

Benda Uji	Kapasitas Aksial		Kapasitas Momen	
	P balance	% Pengaruh	M balance	% Pengaruh
K Nol	2601.0	0.0	556.1	0.0
K Satu	2346.7	-9.8	515.6	-7.3
K Dua	2602.1	0.0	454.3	-18.3
K Tiga	2399.7	-7.7	428.5	-23.0

Dari hasil analisis terhadap diagram interaksi dan tabel diatas diperoleh:

1. Ketika penampang kolom dibuat sama dengan kondisi awal (K Satu) tetapi penyebaran tulangan didistribusikan pada ke empat sisi kolom, maka kapasitas aksial penampang turun 9,8% sedangkan kapasitas momennya turun 7,3 %
2. Ketika penampang kolom dibuat sama sisi (K Dua) dan penyebaran tulangan di buat sama dengan kondisi awal, maka kapasitas aksial penampang relatif tetap sedangkan kapasitas momennya bertambah turun menjadi 18,3 %
3. Ketika penampang kolom dibuat sama sisi (K Tiga) dan penyebaran tulangan di didistribusikan merata ke semua sisi, maka kapasitas aksial penampang turun 7,7% sedangkan kapasitas momennya turun lebih tajam menjadi 23,0 %



## KESIMPULAN DAN SARAN

Beberapa kesimpulan yang dapat disampaikan dari kajian dan analisis penampang kolom yang ditinjau adalah:

1. Perubahan posisi tulangan dari dua sisi menjadi empat sisi dengan tetap mempertahankan bentuk penampang akan mengurangi kapasitas penampang, baik kapasitas aksial maupun kapasitas momen
2. Perubahan bentuk penampang dari empat persegi panjang ke bentuk persegi dengan posisi tulangan tetap akan mengurangi kapasitas penampang yang lebih signifikan terhadap kapasitas momen, sedangkan terhadap kapasitas aksial tidak mengalami perubahan yang berarti

Saran-saran yang dapat disampaikan untuk penelitian ini adalah perlunya memperhatikan situasi dan tata letak bangunan, sehingga dapat menetapkan posisi tulangan dan bentuk penampang kolom yang dapat memberikan peningkatan kapasitas kolom, baik terhadap gaya aksial maupun terhadap momen. Disamping itu, kajian ini merupakan kajian awal, olehkarena itu perlu pengembangan kajian dalam bentuk lain, misalnya dalam bentuk dan ukuran kolom yang berbeda dari kondisi diatas

## DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, Ali, 2001. *Struktur Beton II*, Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- James G MacGregor, *Reinforced Concrete, Mechanics and Design*, Department of Civil Engineering University of Alberta, United States of America
- Oni Guspari, 2007. *Penerapan Metode Bisection dan Metode Secant Dalam Rekayasa Sipil (Studi Kasus Pembuatan Diagram Interaksi Kolom Beton Bertulang)*, REKAYASA SIPIL.
- Park, R. and Pauley, T., 1974. *Reinforced Concrete Structure*, Department of Civil Engineering University of Canterbury New Zealand, John Willey & Sons, New York.
- Purwono, Rahmat, dkk., 2005. *Perencanaan Struktur*
- Renaningsih, 2006. *Analisis Penampang Kolom Beton Bertulang Berlubang Menggunakan PCA COL*, dinamika TEKNIK SIPIL
- Vis, W.C. dan Kusuma, G.H., 1993, *Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Wahyudi, L. dan Rahim, Syahril A., 1997. *Struktur Beton Bertulang*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.