

## DIAGRAM INTERAKSI KOLOM BANGUNAN PERUMAHAN DI WILAYAH SURAKARTA DALAM MEMENUHI PERSYARATAN MEMIKUL BEBAN GEMPA

Mochamad Solikin<sup>1\*</sup>, Budi Setiawan<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A. Yani, Tromol Pos I, Pabelan, Kartasura, 57162

\*email: msolikin@ums.ac.id

### Abstrak

Peraturan beton Indonesia yang terbaru yaitu SNI-03-2847-2013, menetapkan syarat minimum mutu beton tahan gempa sebesar 20 MPa. Pada bangunan rumah sederhana, 2 lantai, pengecoran kolom dilakukan terlebih dahulu dengan cara manual mengingat volumenya yang cukup kecil, sebelum dilakukan pengecoran balok dan pelat dalam jumlah besar yang biasanya menggunakan pemesanan dari *batching plant readymix*. Penelitian ini dilakukan, untuk mengetahui apakah pembuatan beton yang dilakukan secara manual sudah memadai sebagai bahan komponen kolom dalam memikul beban gempa. Penelitian ini dilaksanakan dengan membuat perhitungan analisis struktur terhadap beberapa bangunan perumahan di wilayah Surakarta dan mencari besarnya kuat tekan dengan pengumpulan benda uji beton dari bangunan perumahan yang sedang melaksanakan proses pembangunan berbentuk kubus ukuran 15 x 15 x 15 cm<sup>3</sup>. Hasil penelitian berdasarkan diagram interaksi menunjukkan bahwa kolom struktur bangunan perumahan di daerah Surakarta pada bangunan 2 lantai, pada umumnya masih dapat menerima kombinasi beban-beban yang bekerja, berupa beban mati, beban hidup dan beban gempa. Namun pada kolom struktur bangunan yang beban kolom cukup besar, misalnya karena bentang balok yang cukup lebar ternyata kolom tidak mampu lagi memikul beban luar yang bekerja.

**Kata kunci:** gempa, kolom, kuat tekan, diagram interaksi

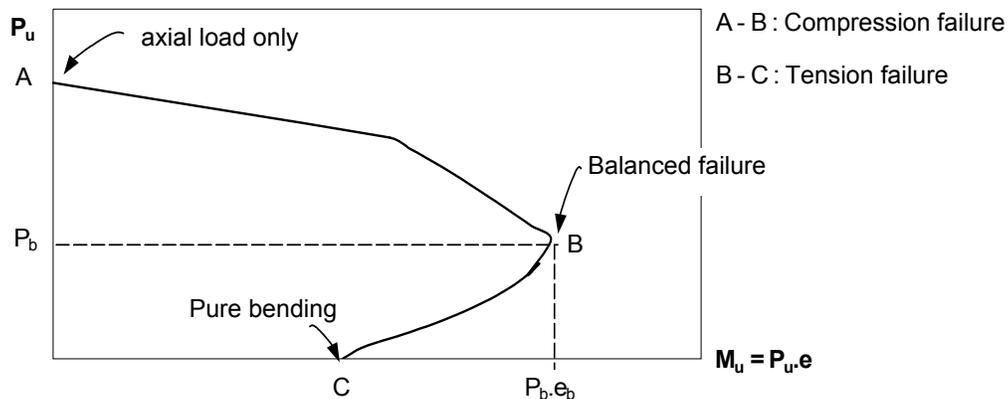
### PENDAHULUAN

Penggunaan beton sebagai bahan utama konstruksi bangunan saat ini sudah tidak diragukan lagi keunggulannya. Kemudahan dalam pengerjaannya, kekuatan yang semakin tinggi dalam memikul beban dan durabilitasnya yang baik menjadikan beton pilihan utama untuk bahan konstruksi. Dalam kaitannya sebagai bahan konstruksi, beton selalu dikaitkan dengan tulangan sehingga terbentuk struktur beton bertulang atau struktur komposit. Pada struktur beton bertulang, beton merupakan konstruksi yang berfungsi menahan beban tekan sedang tulangan berfungsi menahan beban tarik atau lentur pada elemen struktur. Sehingga kerja sama antara beton dan tulangan dalam memikul beban sangat diperlukan agar terbentuk suatu sistem struktur yang handal.

Pada sistem struktur beton bertulang yang menerima beban gempa, dimana beban yang bekerja bersifat bolak-balik, maka beton dan tulangan harus memiliki kekuatan yang lebih tinggi dalam memikul beban. Dengan munculnya peraturan beton Indonesia yang terbaru yaitu SNI-03-2847-2013, telah ditetapkan persyaratan beton tahan gempa harus memiliki kuat tekan lebih besar atau sama dengan 20 MPa. Sedangkan persyaratan luas tulangan yang ada dalam kolom tidak boleh kurang dari 0,01 atau lebih dari 0,08 kali luas penampang bruto.

Menurut SNI-1726-2002 Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 wilayah gempa, di mana wilayah gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan wilayah gempa 6 dengan kegempaan paling tinggi. Wilayah Surakarta yang terletak di Propinsi Jawa Tengah termasuk wilayah gempa 3 dengan tingkat kegempaan sedang. Pembagian wilayah gempa ini, didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar akibat pengaruh gempa rencana dengan perioda ulang 500 tahun.

Kekuatan kolom dalam memikul beban didasarkan pada kemampuannya memikul kombinasi beban aksial (Pu) dan Momen (Mu) secara bersamaan. Sehingga perencanaan kolom suatu struktur bangunan didasarkan pada kekuatan dan kekakuan penampang lintangnya terhadap aksi beban aksial dan momen lentur. 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). Pada Diagram Interaksi kolom, sumbu vertikal menunjukkan beban aksial yang dapat ditahan kolom sedang sumbu horizontal menunjukkan beban momen yang dapat ditahan oleh kolom.



Gambar 1. Tipikal Diagram Interaksi kolom (Park dkk, 1975)

Sebagaimana diketahui, pada umumnya pengecoran kolom dilakukan terlebih dahulu sebelum pengecoran pelat dan balok. Pengecoran balok dan pelat dalam jumlah besar biasanya menggunakan pemesanan dari *batching plant readymix*, sehingga pengawasan mutu hasil kuat tekan biasanya telah memenuhi persyaratan kuat tekan rencana.

Adapun pengecoran kolom yang volumenya lebih kecil dan pelaksanaannya terlebih dahulu dibandingkan pengecoran balok dan pelat biasanya pembuatan betonnya dilakukan secara manual, yaitu dengan pengadukan tangan atau dengan bantuan molen pengaduk. Pembuatan beton dengan cara manual tersebut memungkinkan mutu beton yang dihasilkan dapat saja tidak memenuhi persyaratan kuat tekan rencana.

Selain kelemahan dalam proses pengadukan beton, terdapat pula kelemahan dalam pembuatan beton *non-fabrikasi*, yaitu bahan-bahan pembuat beton yang dipergunakan tidak dilakukan pemeriksaan terlebih dahulu apakah memenuhi persyaratan atau tidak. Sedangkan untuk rancangan campuran betonnya para tukang biasanya menggunakan campuran bahan beton dengan perbandingan PC : Pasir : Kerikil = 1 : 2 : 3. Padahal mutu beton yang dihasilkan sangat tergantung dari kualitas bahan dan rancangan campuran beton yang dipergunakan.

Berdasarkan petunjuk praktis perancangan campuran beton yang dikeluarkan PT Semen Gresik (2004) rancangan campuran beton perumahan dengan perbandingan semen : pasir : kerikil = 1 : 2 : 3, semestinya menghasilkan kuat tekan antara 25 – 29 MPa. Kuat tekan yang dihasilkan tersebut telah memenuhi persyaratan kuat tekan beton tahan gempa.

Namun menurut Harjanto, K. (2006), apabila salah satu bahan yang digunakan membuat campuran beton tidak memenuhi persyaratan, nilai kuat tekan beton yang dihasilkan akan menurun. Pada penelitian tersebut, digunakan pasir yang diambil dari lapangan, dimana kadar lumpurnya mencapai 12,5%. Meskipun telah dilakukan pencucian terhadap pasir yang digunakan, namun hasil kuat tekan jauh lebih rendah dari petunjuk praktis rancangan campuran beton dari PT Semen Gresik.

Dari uraian di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa penelitian ini penting dilakukan, agar dapat diketahui apakah pembuatan beton yang dilakukan untuk bangunan perumahan di wilayah Surakarta, dimana tidak dilakukan pemeriksaan terhadap bahan-bahan pembuatan beton, sudah memadai sebagai komponen kolom dalam memikul beban gempa.

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah, memperoleh besarnya gaya dalam yang timbul pada kolom bangunan perumahan di wilayah Surakarta akibat kombinasi beban mati, beban hidup dan beban gempa, sebagai dasar perencanaan kolom beton bertulang, memperoleh hasil data statistik kuat tekan beton yang dibuat secara manual (*non fabrikasi*) untuk keperluan pembuatan kolom beton dan mendapatkan kesimpulan apakah diagram interaksi kolom bangunan perumahan di wilayah surakarta telah memenuhi persyaratan memikul beban gempa berdasarkan data-data yang diperoleh sebelumnya.

Lingkup pembahasan dalam penelitian ini meliputi: benda uji beton untuk tes kuat tekan berupa kubus beton ukuran  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ , jumlah lokasi pengambilan sampel sebanyak 7 tempat, masing-masing dibuat 2 buah benda uji, Jumlah bangunan yang dilakukan perhitungan

analisis struktur sebanyak 2 buah dengan analisis secara 3 dimensi, dan perhitungan diagram interaksi kolom menggunakan *software* PCA COL ver 2.3.

### Metode Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini terbagi dalam 4 tahap, meliputi tahap pengumpulan data, tahap pembuatan diagram interaksi, tahap analisis kekuatan penampang kolom dan tahap penarikan kesimpulan. Masing-masing tahapan dilaksanakan dalam masa penelitian ini sehingga waktu penyelesaian penelitian sesuai rencana yang ditetapkan.

Pengujian kuat tekan ini menggunakan benda uji berupa kubus beton dengan ukuran  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ . Benda uji kubus beton tersebut diambil dari 7 lokasi bangunan yang berbeda di wilayah Surakarta, dimana pada lokasi tersebut, beton dibuat dengan cara manual yaitu dengan menggunakan pencampuran dengan tangan atau dengan alat bantu molen pengaduk. Jumlah benda uji kubus beton dari masing-masing lokasi pengambilan sampel adalah 2 benda uji, sehingga keseluruhan benda uji berjumlah 14 benda uji.

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Lokasi penelitian terbagi menjadi dua, yang pertama adalah bangunan perumahan yang dihitung analisis strukturnya untuk memperoleh besarnya gaya dalam yang bekerja. Sedangkan lokasi penelitian yang kedua berupa lokasi pengambilan sampel beton untuk diperoleh kuat tekan beton rata-rata di wilayah Surakarta. Adapun bangunan dan lokasi bangunan perumahan yang dihitung analisis strukturnya adalah:

1. Rumah Tinggal, terletak di Jl. Pakel, Banyuanyar Kota Surakarta  
Data Teknis: Luas bangunan =  $\pm 190 \text{ m}^2$ , jumlah lantai 2, tinggi antar tingkat = 3,5 m, bentang balok terbesar = 4,25 m.
2. Masjid Al Barokah, Desa Ngemplak Kabupaten Sukoharjo, ex-Karesidenan Surakarta.  
Data Teknis: Luas bangunan =  $\pm 49,50 \text{ m}^2$ , jumlah lantai 2, tinggi antar tingkat = 4 m, bentang balok terbesar = 6,00 m.

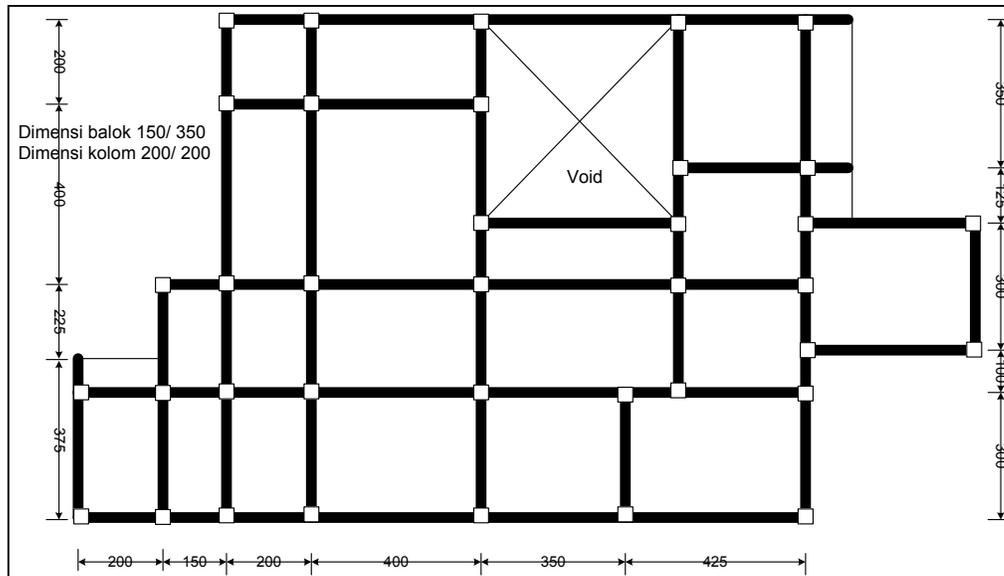
Besarnya gaya aksial perlu hasil analisis struktur kedua bangunan perumahan dalam denah di atas, ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut ini.

Tabel 1. Hasil perhitungan momen perlu terbesar pada kolom hasil analisis struktur

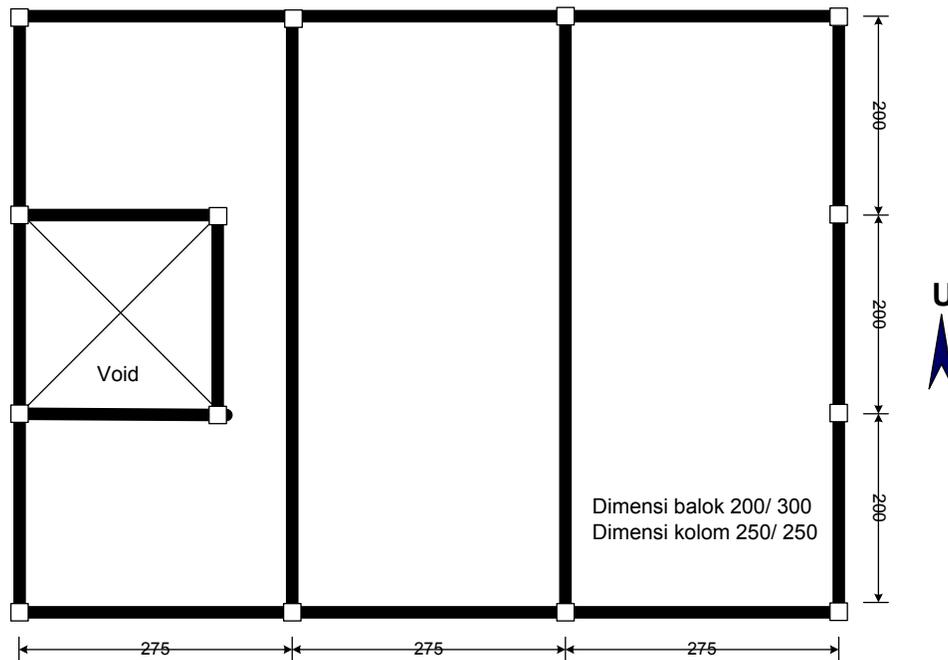
No	Nama Bangunan	Hasil analisis Struktur (kNm)			Kombinasi (kNm)	
		Mati (D)	Hidup (L)	Gempa (E)	1,2D + 1,6L	1,05 (D + Lr + E)
1	Rumah Tinggal	1,270	0,277	17,757	1,968	20,240
2	Masjid Al Barokah	10,561	8,136	58,874	25,689	80,594

Tabel 2. Hasil perhitungan gaya aksial perlu pada kolom hasil analisis struktur

No	Nama Bangunan	Hasil analisis Struktur (kN)			Kombinasi (kN)	
		Mati (D)	Hidup (L)	Gempa (E)	1,2D + 1,6L	1,05 (D + Lr + E)
1	Rumah Tinggal	136,986	31,939	-12,840	215,486	160,536
2	Masjid Al Barokah	108,945	41,445	16,701	197,046	171,094



Gambar 2. Denah struktur rumah tinggal, Banyuwangi-Solo



Gambar 3. Denah struktur Masjid Al-Barokah, Ngemplak-Sukoharjo

Lokasi pengambilan sampel kuat tekan beton berupa kubus beton ukuran  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$  berasal dari 7 lokasi masing-masing berjumlah 2 sampel beton. Hasil pengujian sampel kuat tekan beton dengan pembuatan secara manual untuk bangunan perumahan di wilayah Surakarta ditunjukkan pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Nilai kuat tekan beton dengan pembuatan secara manual, untuk bangunan perumahan di wilayah ex-Karesidenan Surakarta.

No.	Lokasi	Kuat Tekan 28 Hari ( Kg/Cm <sup>2</sup> )			Rata-rata Kuat Tekan ( Kg/Cm <sup>2</sup> )
		Kubus 1	Kubus 2	Rata-rata	
1	Ruko Kratonan 1, Surakarta	111,11	106,67	108,89	
2	Ruko Kratonan 2	122,22	111,11	116,67	
3	Ruko Jl Yos Sudarso	162,22	160,00	161,11	
4	Ruko Hadiwijayan, Surakarta	151,11	144,44	147,78	127,78
5	Rumah Puri Gading, Surakarta	133,33	122,22	127,78	
6	Rumah Semanggi, Surakarta	137,78	113,33	125,56	
7	Rumah Nusukan, Surakarta	111,11	102,22	106,67	

Menggunakan hasil pada Tabel 3. di atas dapat disimpulkan bahwa, kuat tekan benda uji kubus beton dengan pembuatan secara manual untuk bangunan perumahan di wilayah Surakarta memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 127,78 kg/ cm<sup>2</sup>. Kuat tekan tersebut apabila dikonversi menjadi kuat tekan dalam satuan MPa, menjadi sebesar 12,78 MPa (127,78 kg/ cm<sup>2</sup> x 0,1). Nilai kuat tekan tersebut, belum memenuhi persyaratan nilai kuat tekan minimum bangunan tahan gempa, yaitu sebesar 20 MPa.

Meskipun demikian, langkah penelitian dilanjutkan untuk membuat analisis besarnya penulangan yang diperlukan dan keamanan hasil perencanaan tulangan tersebut berdasarkan diagram interaksi kolom yang dibuat.

#### Penulangan kolom beton bertulang.

Jumlah tulangan baja yang digunakan tidak dihitung dengan cara kapasitas, namun didasarkan kenyataan di lapangan bahwa penempatan tulangan adalah dalam satu baris mengelilingi sisi kolom. Mengingat kenyataan tersebut maka mula-mula perlu dihitung jumlah tulangan satu baris yang bisa dipasang pada setiap sisi kolom menggunakan rumus:

$$m = \frac{b - 2.d_s}{D + 40} + 1$$

Dengan  $m$  = jumlah tulangan tiap baris  
 $b$  = lebar sisi kolom  
 $d_s$  = Jarak sisi terluar dengan pusat tulangan  
 $D$  = diameter tulangan yang digunakan

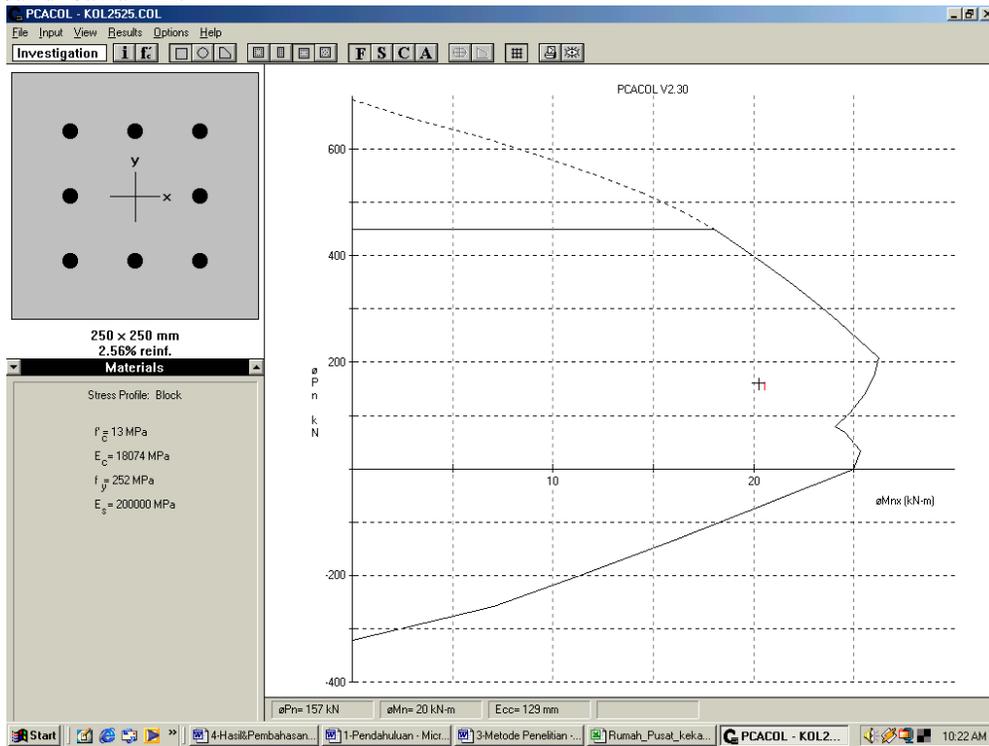
Pada bangunan rumah dengan lebar kolom 250 mm, menggunakan diameter tulangan ( $\phi$ ) = 16 mm dan nilai  $d_s = 40 + 10 + 1/2 \times 16 = 58$  mm maka jumlah tulangan tiap sisi lebar kolom tiap baris dalam kolom penelitian ini adalah: 3 D 16 tiap baris sisi tulangan, Prosentase luas tulangan =  $\frac{n \times 0,25 \times \pi \times D^2}{b \times h} = \frac{6 \times 0,25 \times \pi \times 16^2}{250 \times 250} = 1,9\%$ .

Pada bangunan masjid dengan lebar kolom 300 mm, menggunakan diameter tulangan ( $\phi$ ) = 16 mm dan nilai  $d_s = 40 + 10 + 1/2 \times 16 = 58$  mm maka jumlah tulangan tiap sisi lebar kolom tiap baris dalam kolom penelitian ini adalah, 4 D 16 tiap baris sisi tulangan prosentase luas tulangan =  $\frac{n \times 0,25 \times \pi \times D^2}{b \times h} = \frac{8 \times 0,25 \times \pi \times 16^2}{300 \times 300} = 1,79\%$

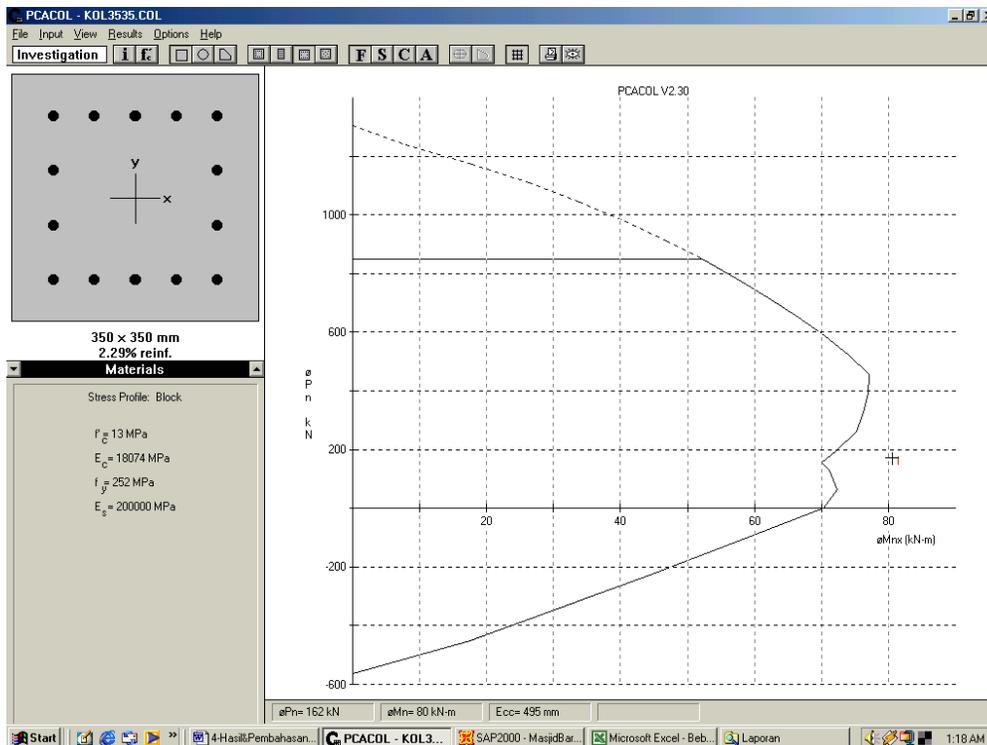
#### Diagram interaksi kolom

Pembuatan diagram interaksi kolom berdasarkan hasil-hasil penulangan kolom di atas, menggunakan program PCA COL ver 2.30, suatu paket perangkat lunak yang dikeluarkan *Portland Cement Association*, Skokie, IL-USA, yang berfungsi membuat perencanaan dan pemeriksaan kekuatan penampang kolom beton bertulang. Pembuatan diagram interaksi kolom dengan cara memasang tulangan 1 baris pada kolom.

Hasil pembuatan diagram interaksi kolom bangunan rumah dan sekaligus plotting gaya dalam gaya aksial perlu dan Momen perlu seperti hasil sebelumnya, ditunjukkan pada gambar-gambar di bawah ini.



Gambar 4. Diagram interaksi kolom dimensi 250 x 250 mm<sup>2</sup> pada rumah tinggal

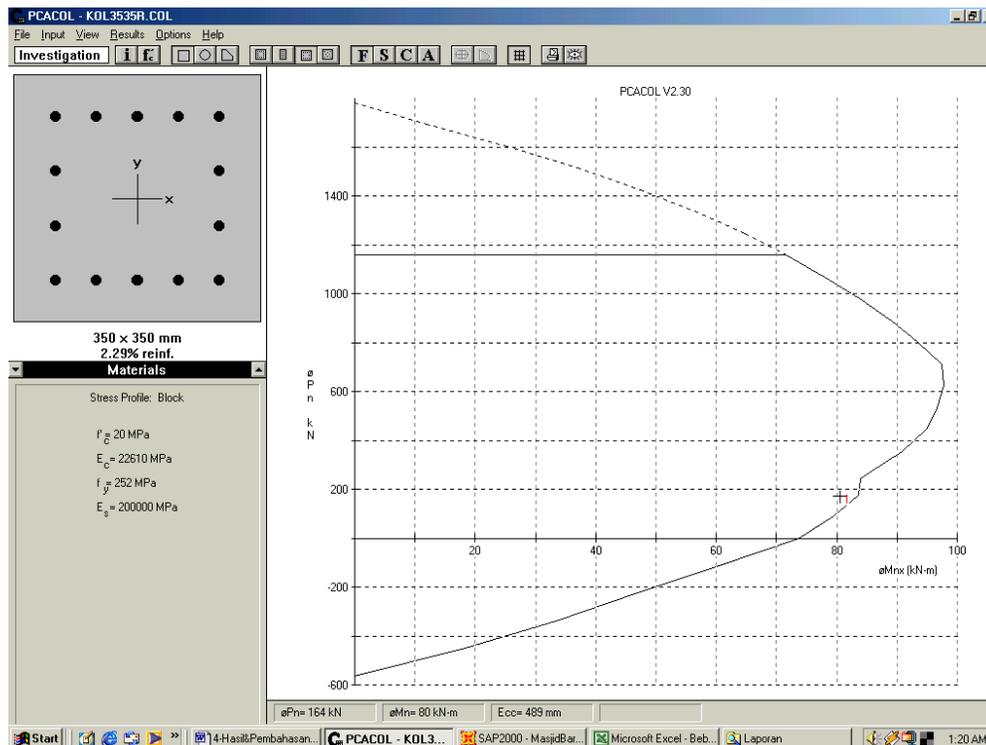


Gambar 5. Diagram interaksi kolom dimensi 350 x 350 mm<sup>2</sup> Masjid

Hasil pembuatan digram interaksi kolom menunjukkan bahwa, hasil perencanaan kolom bangunan rumah mampu menerima beban perlu dengan aman. Hal ini ditunjukkan oleh letak titik kombinasi beban aksial dan momen yang berada di dalam daerah diagram interaksi.

Namun hasil perencanaan kolom bangunan masjid 2 lantai, tidak mampu memikul beban perlu yang ada yang ditunjukkan oleh letak titik kombinasi beban aksial dan momen yang berada di luar daerah diagram interaksi. Hal yang sangat mungkin menjadi penyebab adalah buruknya mutu kuat tekan beton yang digunakan. Selain itu melihat denah struktur dimana kolom beton bertulang bangunan masjid harus mendukung balok dengan bentang 6,00 m mengakibatkan kolom memikul beban yang berlebihan.

Dengan asumsi buruknya kualitas mutu beton adalah penyebab ketidakmampuan kolom memikul beban perlu yang bekerja, maka dicoba dibuat diagram interaksi pada kolom bangunan masjid 2 lantai dengan mutu beton yang memenuhi persyaratan memikul beban gempa, yaitu 20 MPa. Hasil perolehan diagram interaksi dapat dilihat pada Gambar 5.8. berikut ini.



Gambar 6. Diagram interaksi kolom 350 x 350 Masjid dengan mutu beton  $f_c' = 20$  MPa.

Untuk mencapai kuat tekan beton agar memenuhi kuat tekan minimum persyaratan gempa yaitu sebesar 20 MPa, maka dapat dilakukan dengan metode perbaikan kolom. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah pemakaian carbon fiber reinforced polymer (CFRP). Berdasarkan hasil penelitian Alfonsius (2011) silinder beton yang dibungkus dengan 2 lapis CFRP, kekuatan akan meningkat sebesar 1,79 kali dibandingkan beton tanpa pelapis CFRP. Dengan demikian kuat tekan kolom beton di pasaran dapat meningkat menjadi  $1,79 \times 12,78 = 22,9$  MPa dengan dibungkus dengan 2 lapis CFRP.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian Diagram Interaksi Kolom Bangunan perumahan di Wilayah Surakarta dalam Memenuhi Persyaratan Memikul Beban Gempa ini adalah

1. Konfigurasi elemen struktur pada bangunan perumahan sangat bervariasi, karena tergantung jenis bangunan dan peruntukannya.

2. Analisis struktur secara 3 dimensi akan mempermudah dalam meletakkan beban gempa yang memiliki eksentrisitas antara pusat masa dengan pusat kekekuan.
3. Besarnya kuat tekan rata-rata pembuatan beton dengan cara manual sebesar 12,78 MPa, sangat rendah, tidak memenuhi batas persyaratan minimum kuat tekan beton untuk perencanaan struktur tahan gempa.
4. Rendahnya kuat tekan beton mengakibatkan kolom tidak mampu memikul kombinasi beban mati, beban hidup dan beban gempa secara bersama pada bangunan yang memiliki bentang balok yang cukup besar.
5. Pembuatan beton dengan cara manual, sebaiknya tidak meninggalkan pengawasan yang baik terhadap mutu bahan maupun proses pekerjaan, sehingga hasil kuat tekannya memenuhi persyaratan mutu kuat tekan beton tahan gempa.
6. Perlu penelitian lebih mendalam mengenai sebab utama mengapa beton yang dibuat secara manual mutu kuat tekannya jauh lebih rendah dari persyaratan mutu kuat tekan beton untuk perencanaan tahan gempa.

#### UCAPAN TERIMA KASIH.

Penelitian ini dapat dilaksanakan melalui kerja sama dengan laboratorium Teknik Sipil UMS dan terlaksana dengan biaya penelitian Dosen Muda DP2M Dikti.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, Ali, 2001. *Struktur Beton II*, Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Alfonsius, Butje L. F, Efek Temperatur Tinggi Pada Perilaku Cylinder Beton Mutu Tinggiyang Dibungkus dengan Fiber Reinforced Polymer, Jurnal Dinamika Teknik Sipil, Vol. 11, Nomor 3, September 2011, Jurusan Teknik Sipil UMS, Surakarta.
- BSN, 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI – 1726 – 2002*, Badan Standarisasi Nasional, Bandung.
- Basuki, dan Hidayati, N., 2006, *Tinjauan Kuat Geser Sengkang Alternatif dan Sengkang Konvensional pada Balok Beton Bertulang*, Jurnal dinamika TEKNIK SIPIL, Volume 6, Nomor 1, Januari 2006 : pp. 36 – 45, Jurusan Teknik Sipil UMS, Surakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1990, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SK.SNI.T-15-1990-03)*, Yayasan LPMB, Bandung
- Harjanto, K., 2006, *Tinjauan Kuat Tekan dan Biaya Operasional Pembuatan Beton dengan Metode Pencampuran Pasta Semen ditambah Agregat, Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Park, R. and Pauley, T., 1974. *Reinforced Concrete Structure*, Department of Civil Engineering University of Canterbury New Zealand, John Willey & Sons, New York.
- PCA, 1993. *PCA COL Portland Cement Association*, Skokie, IL-USA.
- PT Semen Gresik, 2004, *Petunjuk Praktis Penggunaan Portland Cement Jenis I (PC I) dan Portland Pozzolan Cement (PPC)*, Gresik.
- Ritonga, A., 1987, *Statistika Terapan untuk Penelitian*, Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03 - 2847- 2002)*, Yayasan LPMB, Bandung
- Subakti, A., 1995, *Teknologi Beton dalam Praktek*, Jurusan teknik Sipil FTSP-ITS, Surabaya.
- Sumantri, R.F., 1989, *Penggunaan Dasar-Dasar Perencanaan Bangunan Gedung Tahan Gempa*, Dirjen DIKTI, Departemen Pedidikan dan Kebudayaan, Jakarta.
- Tjokrodinuljo, K., 1996. *Teknologi Beton*, Nafiri, Yogyakarta.
- Wahyudi, L. dan Rahim, Syahril A., 1997. *Struktur Beton Bertulang*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.