

DESAIN MODIFIKASI STRUKTUR BALOK DAN PELAT LANTAI MENGGUNAKAN METODE PRACETAK**Andik Nur Azis^a, Titin Sundari^b, Meriana Wahyu Nugroho^c, Totok Yulianto^d**^a Teknik / Teknik Sipil, Andikazis07@gmail.com, Universitas Hasyim Asy'ari Tebuireng Jombang^b Teknik / Teknik Sipil, tari1273@yahoo.co.id, Universitas Hasyim Asy'ari Tebuireng Jombang^c Teknik / Teknik Sipil, rian.sipilunhasy@gmail.com, Universitas Hasyim Asy'ari Tebuireng Jombang^d Teknik / Teknik Sipil, totokunhasy@gmail.com, Universitas Hasyim Asy'ari Tebuireng Jombang**Abstract**

Precast concrete is a construction technology where at the time of the design and manufacture process is carried out by fabrication, the installation itself must be supervised by experts because during the process of connecting precast elements there can be no mistakes so that the connection between precast structures is solid and there are no cracks, boarding house flats Darusa'adah in Kebumen Regency, Central Java is a building designed using an on-site casting system, beam and slab structural elements that will be modified to precast elements. The structural system that will be used in the building calculation analysis process is the Special Moment Bearing Frame System (SRPMK), the structural planning of this building will refer to the regulations of SNI 2847-2013, SNI 1727-2013, SNI 1726-2012 and SNI 7833-2012, the connection that will be used for the union between the precast elements is a wet connection. Based on the calculation of structural modifications, the results for the thickness of the plate = 14 cm for the calculation of the G1.1 beam, the dimensions are 25cm x 45cm, and G1.2, it is obtained 25cm x 50cm, for the calculation of the column K1, the dimensions are 50cm x 30cm and for the column K2 40cm x 30cm, while in the calculation of the connection between precast structures, the results for the short console with dimensions of 55 cm x 30 cm x 30 cm with the number of main reinforcement are 7 D16 while the stirrup / fastener reinforcement is 4 D13 and for plate stud reinforcement to the beam the results are D10 - 150 mm.

Keywords: Precast Concrete, Precast, Concrete Connection.

Abstrak

Beton pracetak merupakan suatu teknologi konstruksi dimana pada saat proses pendesainan maupun pembuatan dilakukan secara fabrikasi pemasangannya sendiri harus diawasi oleh tenaga ahli karena pada saat proses penyambungan elemen pracetak tidak boleh salah supaya sambungan antar struktur pracetak jadi solid dan tidak ada keretakan, bangunan rumah susun pondok pesantren Darusa'adah di Kabupaten Kebumen Jawa Tengah merupakan bangunan yang didesain menggunakan sistem pengecoran di lokasi, elemen struktur balok dan pelat yang akan dimodifikasi ke elemen pracetak. Sistem struktur yang akan di pakai pada proses analisis perhitungan bangunan gedung adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), perencanaan struktur bangunan gedung ini akan mengacu pada peraturan SNI 2847-2013, SNI 1727-2013, SNI 1726-2012 dan SNI 7833-2012, sambungan yang akan dipakai untuk penyatuan antar elemen pracetak adalah sambungan basah. Berdasarkan perhitungan modifikasi struktur didapatkan hasil untuk Tebal Plat = 14 cm untuk perhitungan balok G1.1 didapatkan dimensi 25cm x 45cm, dan G1.2 didapatkan 25cm x 50cm untuk perhitungan kolom K1 didapatkan hasil dimensi 50cm x 30cm dan untuk kolom K2 40cm x 30cm, sedangkan pada perhitungan sambungan antar struktur pracetak didapatkan hasil untuk konsol pendek dengan dimensi 55 cm x 30 cm x 30 cm dengan jumlah tulangan utama 7 D16 sedangkan Tulangan sengkang / pengikat 4 D13 dan untuk tulangan stud plat ke balok di dapatkan hasil D10 – 150 mm.

Kata Kunci: Beton Pracetak, Precast, Sambungan Beton.

1. PENDAHULUAN

Beton pracetak merupakan suatu metode desain yang masih belum terlalu sering dipakai di lapangan dikarenakan proses pemasangannya memerlukan teknisi yang ahli tapi dari segi mutu dan kekuatannya lebih terjamin dibandingkan dengan beton konvensional dikarenakan pada proses pembuatannya dilakukan secara

fabrikasi sehingga selalu mendapatkan pengawasan dan penjagaan supaya tidak terjadi keretakan sampai proses pemasangan dilapangan. Bangunan gedung rumah susun pondok pesantren Darusa'adah di Kebumen adalah suatu bangunan dengan dua lantai yang pada saat perencanaannya menggunakan beton cor ditempat, beton cor ditempat sudah umum digunakan pada konstruksi bangunan untuk saat ini akan tetapi masih mempunyai beberapa faktor kelemahan, point ke satu waktu pengerjaannya cukup memakan waktu berkaitan dengan pelepasan cetakan struktur beton yang memerlukan waktu antara 21 sampai dengan 28 hari, kedua pada saat proses pengerjaan di lokasi proyek kondisi cuacanya harus mendukung terlebih dulu maka dari itu penundaan kerja pengecoran sering kali terjadi dan hal ini tentunya sangat berpengaruh di waktu pengerjaan poyek yang sudah diatur oleh perencanaan, point tiga mutu dari beton sendiri sulit untuk di jaga dikarenakan campuran yang tidak sesuai sehingga mutu dari beton tidak sama seperti yang di inginkan, keempat jumlah pekerja yang digunakan relatif banyak sehingga dari segi biaya para pekerja cukup relatif tinggi, kelima penggunaan perancah dan bekisting / cetakan beton banyak membuang material kususny pada bekisting dan perancah yang berbahan kayu dan triplek.

Metode beton pracetak mempunyai beberapa keunggulan jika disamakan dengan metode beton cor ditempat, point satu struktur beton pracetak merupakan struktur yang pada saat proses pengecoran dilakukan di pabrik dikarenakan pengecorannya dilakukan di dalam pabrik maka spesifikasi dan kekuatan dari struktur beton pracetak sendiri bisa terjamin dan sama rata, kedua dari segi waktu pekerjaan struktur beton pracetak relatif lebih cepat bila dibandingkan dengan beton cor ditempat teruntuk konstruksi gedung yang berbentuk simpel di konstruksi strukturnya, point tiga pada proses pengecoran metode beton pracetak tidak terlalu tergantung oleh kondisi cuaca dikarenakan proses pengecorannya di kerjakan di pabrik maka cuaca tidak terlalu berpengaruh pada saat proses pemasangannya, keempat pemasangan sistim pracetak tidak terlalu memakai cetakan dan perancah di lokasi pemasangan sehingga bisa meminimalisir bahan kayu dan triplek akibat pemakaian cetakan struktur, kelima pada saat pengaplikasian di lokasi proyek tidak terlalu membutuhkan tenaga pekerja maka dari itu biaya dari segi tenaga pekerja bisa diminimalisir kususny pada pekerjaan pengecoran strukturnya

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Sistem struktur pracetak adalah perakitan antara komponen pracetak yang menghubungkan satu komponen dengan komponen lainnya dan tentunya mampu menahan beban dari berat manusia, material dan angin maupun gempa jumlah sendiri cor ditempat pada kerangka sistem pracetak tidak melebihi angka 5% dari pada volum kasar struktur bangunan dan 3/5 dari pada angka yang disebutkan iyalah struktur plat lantainya, pada proses analisa desain bangunan precetak secara garis besar sama halnya dengan proses perencanaan analisa beton cor ditempat yang membedakan diantara keduanya adalah pada saat proses pemasangan dan penyambungan antara elemen dikarenakan sambungan sistem pracetak sangat berbeda dari beton konvensional pada saat proses pengangkatan harus dihitung dulu momen dan gaya yang bekerja pada saat diangkat untuk diaplikasikan pada bangunan.

2.2. Desain Perencanaan Awal

Perencanaan awal dimensi struktur primer dan sekunder akan dihitung dengan menggunakan acuan-acuan yang ada didalam peraturan SNI 2847-2013 yang mengatur tentang perencanaan struktru beton.

2.3. Pembebanan

Peraturan pembebanan struktur bangunan gedung akan memakai peraturan yang ditetapkan oleh SNI 1727 2013 dan untuk peraturan pembebanan gempa akan memakai peraturan yang ada pada SNI 1726 2012, untuk kombinasi pembebanan struktur gedung sendiri akan memakai peraturan SNI 2847 2013, dimana :

$$U = 1,4 D$$

$$U = 1,2 D + 1,6 L$$

$$U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$$

$$U = 1,0 D + 1,0 L$$

$$U = 0,9 D + 1,0 E$$

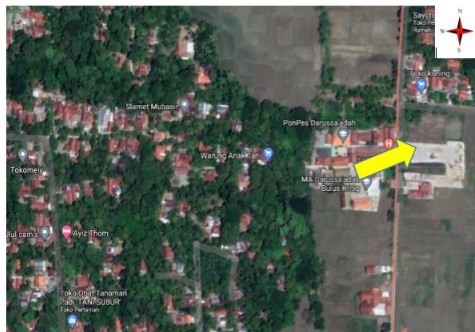
2.4. Perhitungan Struktur

Proses perhitungan struktur bangunan gedung akan memakai bantuan dari suatu aplikasi dimana dari hasil analisa perencanaan nanti didapatkan momen dan tentunya gaya apa saja yang berada di struktur bangunan setelah itu akan dilakukan proses perhitungan kebutuhan tulangan dimana data momen dan gaya – gaya dalam yang bekerja pada struktur bangunan didapat dari hasil analisa program tersebut setelah proses perhitungan akan didapatkan hasil dimana dari hasil tersebut akan dituangkan ke bentuk gambar agar pada saat pengerjaan dilapangan lebih mudah dipahami oleh pekerja di lapangan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

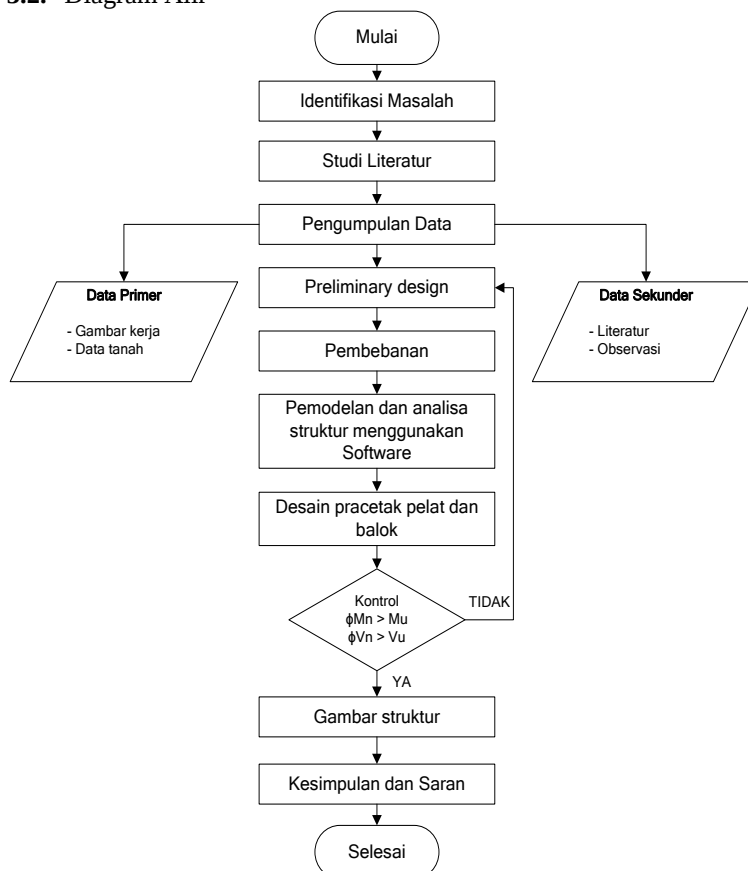
3.1. Lokasi Proyek

Lokasi untuk penelitian berada di Desa Truka, Kecamatan Petanahan, Kabupaten Kebumen Jawa Tengah. Tepatnya pada proyek pembangunan Rumah susun Pondok Pesantren Darusa'adah, yang berfungsi sebagai tempat tinggal.



Gambar 1. Lokasi Penelitian [1]

3.2. Diagram Alir



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Pembebanan

Proses perhitungan struktur menggunakan sap 2000 yang mana beban mati dari material yang dipakai akan dihitung otomatis oleh aplikasi berdasarkan pada input data dari material dan dimensi yang akan digunakan.

4.1.1 Beban Mati Tambahan (SDL)

Beban mati tambahan yang bekerja pada lantai

- Beban pasir dengan tebal 1cm = $0,16 \text{ kN/m}^2$
- Beban spesi dengan tebal 3 cm = $0,63 \text{ kN/m}^2$
- Beban keramik dengan tebal 1 cm = $0,24 \text{ kN/m}^2$
- Beban plafond dan kerangka = $0,2 \text{ kN/m}^2$
- Beban instalasi mekanikal elektrik = $0,25 \text{ kN/m}^2$

Beban tambahan dari semua komponen = $1,48 \text{ kN/m}^2$

4.1.2 Beban Hidup (L)

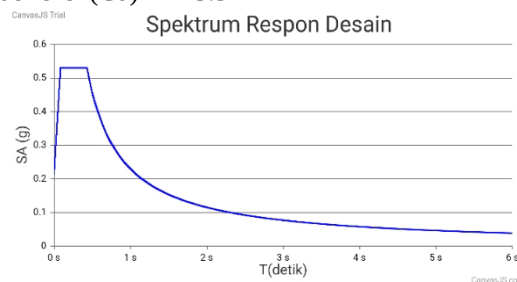
Pada peraturan SNI sudah ditetapkan bahwasanya fungsi dari suatu ruangan akan menimbulkan beban yang berbeda-beda, pada analisa ini gedung akan difungsikan sebagai rumah hunian/rumah susun.

- Beban orang dan perlengkapan = $4,79 \text{ kN/m}^2$

4.1.3 Beban Gempa

Sistim kerangka beton bertulang pemikul momen khusus dipakai dalam pembangunan rumah susun pondok pesantren darusa'adah.

- Koefisien modifikasi respon (R) = 8
- Koefisien kekuatan sistem (Ω_0) = 3
- Faktor pembesaran defleksi (Cd) = 5.5



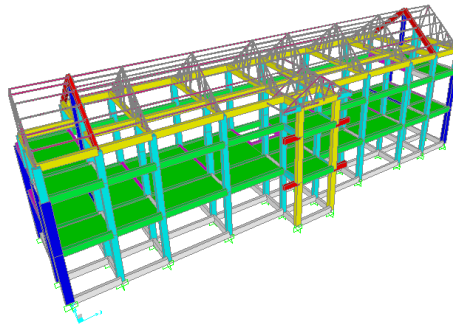
Gambar 3. Grafik respon spektrum

4.1.4 Kombinasi untuk pembebanan

Struktur beton yang direncanakan harus mampu menahan beban-beban kombinasi yang akan diaplikasikan untuk kombinasi pembebanan akan memakai kombinasi dari SNI 2847-2013 :

- Kombinasi 1 = $1,4 D + 1,4 \text{ SDL}$
- Kombinasi 2 = $1,2 D + 1,2 \text{ SDL} + 1,6 \text{ LL}$
- Kombinasi 3 = $1,37 D + 1,37 \text{ SDL} + 1 \text{ LL} + 1 \text{ Eq.Dx} + 0,3 \text{ Eq.Dy}$
- Kombinasi 4 = $1,37 D + 1,37 \text{ SDL} + 1 \text{ LL} + 1 \text{ Eq.Dx} - 0,3 \text{ Eq.Dy}$
- Kombinasi 5 = $1,37 D + 1,37 \text{ SDL} + 1 \text{ LL} - 1 \text{ Eq.Dx} + 0,3 \text{ Eq.Dy}$
- Kombinasi 6 = $1,37 D + 1,37 \text{ SDL} + 1 \text{ LL} - 1 \text{ Eq.Dx} - 0,3 \text{ Eq.Dy}$
- Kombinasi 7 = $1,37 D + 1,37 \text{ SDL} + 1 \text{ LL} + 1 \text{ Eq.Dy} + 0,3 \text{ Eq.Dx}$
- Kombinasi 8 = $1,37 D + 1,37 \text{ SDL} + 1 \text{ LL} + 1 \text{ Eq.Dy} - 0,3 \text{ Eq.Dx}$
- Kombinasi 9 = $1,37 D + 1,37 \text{ SDL} + 1 \text{ LL} - 1 \text{ Eq.Dy} + 0,3 \text{ Eq.Dx}$
- Kombinasi 10 = $1,37 D + 1,37 \text{ SDL} + 1 \text{ LL} - 1 \text{ Eq.Dy} - 0,3 \text{ Eq.Dx}$

4.2. Pemodelan Struktur Bangunan Gedung



Gambar 4. Model Struktur Gedung

4.3. Perhitungan Analisa Plat Lantai

4.3.1. Penulangan plat lantai

$\beta = L_y/L_x = 4,5/3 = 1,5 < 2$ jadi digunakan plat dua arah

Mu rencana = 9,108 kNm

Rasio tulangan pada kondisi balance

$$Pb = \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)} \quad (1)$$

$$Pb = 0,85 \times 0,85 \times \frac{25}{240} \times \frac{600}{(600 + 400)} = 0,0315$$

Tahanan faktor momen maksimum

$$R_{max} = 0,75 \times Pb \times f_y \times \left(\frac{1 - 0,5 \times 0,75 \times Pb \times f_y}{0,85 \times f_c'} \right) \quad (2)$$

$$R_{max} = 0,75 \times 0,0315 \times 240 \times \left(\frac{1 - 0,5 \times 0,75 \times 0,0315 \times 400}{0,85 \times 29,05} \right) = 7,64$$

Momen nominal rencana

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{9,108}{0,8} = 11,385 \text{ kN/m} \quad (3)$$

Faktor tahanan momen

$$Rn = \frac{Mn \times 10^{-6}}{b \times d^2} = \frac{11,385 \times 10^{-6}}{1000 \times 105^2} = 1,0327 \quad (4)$$

$R_n < R_{max}$ OK

Rasio penulangan perlu

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \times Rn}{0,85 \times f_c'}} \right) \quad (5)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times 29,05}{400} \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \times 1,0327}{0,85 \times 29,05}} \right) = 0,0026$$

Rasio penulangan minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \quad (6)$$

Rasio penulangan yang digunakan

$\rho_{min} > \rho = 0,0035 > 0,0026$

Digunakan $\rho_{min} = 0,0035$

Luas penulangan diperlukan

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= \rho \times b \times d \quad (7) \\ &= 0,0035 \times 1000 \times 105 \\ &= 368 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penulangan pakai

$$\begin{aligned} A_{s_{pakai}} &= \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \frac{b}{s} \quad (8) \\ A_{s_{pakai}} &= \frac{3,14}{4} \cdot 10^2 \cdot \frac{1000}{200} = 393 \text{ mm} \end{aligned}$$

$As_{perlu} < As_{pakai} \dots 368 \text{ mm} < 393 \text{ mm} \dots \text{OK}$

Jarak tulangan yang digunakan

$393 = 10 D - 200 \text{ mm} \dots \dots \dots$ lihat pada tabel penulangan

Tabel 1. Kebutuhan tulangan pada pelat lantai

Rekapitulasi desain tulangan pelat lantai

Elemen	Tipe	Daerah	Kode	Kebutuhan luasan
Pelat	3 x 4,5 m	Tulangan tumpuan	Arah X	D10 - 200
		Tulangan tumpuan	Arah Y	D10 - 200
		Tulangan lapangan	Arah X	D10 - 200
		Tulangan lapangan	Arah Y	D10 - 200

4.3.2. Perhitungan tulangan angkat pelat

Beban ultimit

$$Q_u = 1,2(1,2 \times DL) + (1,6 \times LL) = (1,2 \times 25,92) + (1,6 \times 2) = 41,16 \text{ kN}$$

Gaya angkat T_u setiap tulangan

$$T_u = \frac{Q_u}{4} = \frac{41,16}{4} = 10,29 \text{ kN} \quad (9)$$

Tegangan tarik ijin baja

$$\sigma_{ijin} = \frac{f_y}{1,5} = \frac{400}{1,5} = 266,6 \text{ Mpa} \quad (10)$$

Diameter tulangan angkat

$$As_{tul} = \frac{T_u}{\sigma_{tarik \text{ ijin}}} = \frac{10290}{266,6} = 40,9 \text{ mm}^2 \quad (11)$$

$$\phi = \arctg \frac{0,9}{0,9} = 45^\circ \quad (12)$$

$$T_u' = T_u \times \cos \alpha = 10,29 \times \cos 45^\circ = 7,27 \text{ kN} \quad (13)$$

$$\alpha_i = \arctg \frac{0,9}{0,9} = 45^\circ, \alpha_j = \arctg \frac{0,9}{0,35} = 67,38^\circ \quad (14)$$

Faktor gaya horizontal

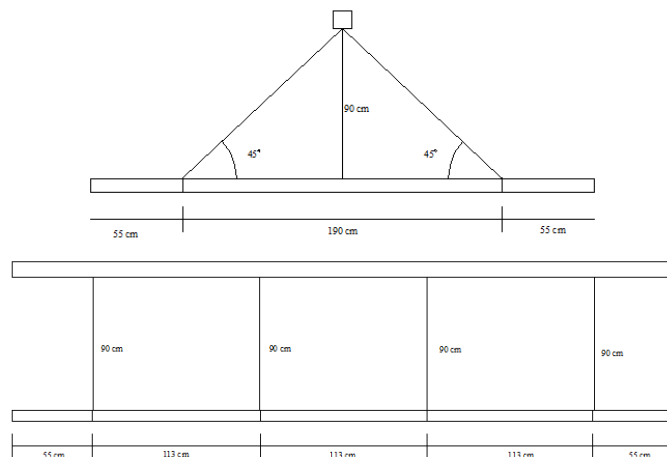
$$T_i = T_u' \times \cos \alpha_i = 7,27 \times \cos 45^\circ = 5,14 \text{ kN}$$

$$T_j = T_u' \times \cos \alpha_j = 7,27 \times \cos 67,38^\circ = 2,79 \text{ kN}$$

Untuk diameter penulangan angkat arah i dan j

$$\phi_{tul. angkat} \geq \sqrt{\frac{4}{\pi} \times As_{tul}} = \sqrt{\frac{4}{3,14} \times 40,9} = 7,29 \text{ mm} \quad (15)$$

Maka digunakan penulangan angkatnya D 10 mm



Gambar 5. Pengangkatan Pelat pracetak

4.4. Perhitungan Struktur Balok

$$f_c' \leq 30 \text{ Mpa} \rightarrow \beta_1 = 0,85$$

Rasio penulangan pada kondisi balance

$$\rho_b = \frac{\beta_1 \times 0,85 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (16)$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,85 \times 29,05}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,0315$$

Tahanan faktor momen maksimum

$$R_{max} = 0,75 \times \rho_b \times f_y \left(1 - \frac{1}{2} \times \frac{0,75 \times \rho_b \times f_y}{0,85 \times f_c'} \right) \quad (17)$$

$$R_{max} = 0,75 \times 0,0315 \times 400 \left(1 - \frac{1}{2} \times \frac{0,75 \times 0,0315 \times 400}{0,85 \times 29,05} \right) = 7,638$$

4.4.1. Penulangan momen positif

Momen ultimit

$$M_u = 78,533 \text{ kNm}$$

Momen nominal

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{78,533}{0,8} = 98,166 \text{ kNm} \quad (18)$$

Faktor tahanan momen

$$R_n = \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} = \frac{98,166 \times 10^6}{250 \times 400^2} = 2,4542 \quad (19)$$

$$R_n < R_{max} \dots 2,4542 < 7,638 \dots \text{OK}$$

Rasio penulangan yang diperlukan

$$\rho = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \quad (20)$$

$$\rho = \frac{0,85 \times 29,05}{400} \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \times 2,4542}{0,85 \times 29,05}} \right) = 0,00647$$

Rasio penulangan minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \quad (21)$$

$$\rho_{min} < \rho \rightarrow 0,0035 > 0,00647$$

Rasio tulangan yang digunakan $\rho = 0,00647$

Luas penulangan perlu

$$A_{s_{perlu}} = \rho \times b \times d = 0,00647 \times 250 \times 400 = 647 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan terpasang

$$n = \frac{A_s}{\pi : 4 \times (D^2)} = \frac{647}{3,14 : 4 \times (16^2)} = 3,220 \approx 4 \quad (22)$$

Dipakai tulangan..... 4 D 16

Luas penulangan terpakai

$$A_{s_{pakai}} = \frac{n \times \pi}{4 \times D^2} = \frac{4 \times 3,14}{4 \times 16^2} = 804 \text{ mm}^2 \quad (23)$$

$$A_{s_{perlu}} < A_{s_{pakai}} \approx 647 \text{ mm}^2 < 804 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

4.4.2. Penulangan momen negative

Momen ultimit

$$M_u = 41,917 \text{ kNm}$$

Momen nominal

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{41,917}{0,8} = 52,396 \text{ kNm} \quad (24)$$

Faktor tahanan momen

$$R_n = \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} = \frac{52,396 \times 10^6}{250 \times 400^2} = 1,3099 \quad (25)$$

$$R_n < R_{\max} \dots 1,3099 < 7,638 \dots \text{OK}$$

Rasio penulangan yang diperlukan

$$\rho = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \quad (26)$$

$$\rho = \frac{0,85 \times 29,05}{400} \left(1 - \sqrt{\frac{1 - 2 \times 1,3099}{0,85 \times 29,05}} \right) = 0,0034$$

Rasio penulangan minimum

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\min} > \rho \rightarrow 0,0035 > 0,0034$$

Rasio penulangan yang digunakan $\rho = 0,0035$

Luas penulangan perlu

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d = 0,0035 \times 250 \times 400 = 350 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan terpasang

$$n = \frac{A_s}{\pi : 4 \times (D^2)} = \frac{350}{3,14 : 4 \times (16^2)} = 1,741 \approx 2 \quad (27)$$

Dipakai tulangan..... 2 D 16

Luas penulangan terpakai

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{n \times \pi}{4 \times D^2} = \frac{2 \times 3,14}{4 \times 16^2} = 402 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} < A_{s_{\text{pakai}}} \approx 350 \text{ mm}^2 < 402 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

4.4.3. Penulangan geser

Gaya geser ultimit

$$V_u = 91,396 \text{ kNm}$$

Kekuatan gaya geser beton

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \cdot 10^6 = 0,17 \times 1 \times \sqrt{29,05} \times 250 \times 402 \times 10^6 \quad (28)$$

$$V_c = 91,627 \text{ kN}$$

Geser tahanan beton

$$\phi \cdot V_{c \text{ beton}} = 0,75 \times 91,627 = 68,720 \text{ kN}$$

$$V_u > \phi V_c \approx 91,396 \text{ kN} > 68,720 \text{ kN} \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

Tahanan geser sengkang

$$\phi \cdot V_{s \text{ sengkang}} = V_u - \phi V_c = 91,396 - 68,720 = 22,676 \text{ kN}$$

Kuat geser sengkang

$$V_s = \frac{\phi V_{s \text{ sengkang}}}{\phi} = \frac{22,676}{0,75} = 30,235 \text{ kN} \quad (29)$$

Digunakan sengkang berpenampang 2 D 10

Luas tulangan geser

$$A_v = \frac{n_s \cdot \pi}{4 \cdot p^2} = \frac{2 \times 3,14}{4 \times 10^2} = 157,08 \text{ mm}^2 \quad (30)$$

Jarak sengkang yang diperlukan

$$S_{\max} = \frac{d}{2} = \frac{402}{2} = 201 \text{ mm} \quad (31)$$

$$S_{\min} = \frac{d}{4} = \frac{402}{4} = 100,5 \text{ mm} \quad (32)$$

Dipakai jarak sengkang (S = 150 mm)

Digunakan sengkang 2D 10 – 150 mm

Tabel 2. Kebutuhan tulangan balok
Rekapitulasi kebutuhan tulangan pada balok

Elemen	Tipe	Dimensi	Daerah	Kode	Kebutuhan tulangan
Balok	G1.1	45 x 25 cm	Tumpuan	Atas	4 D16
			Tumpuan	Bawah	2 D16
			Lapangan	Atas	2 D16
			Lapangan	Bawah	4 D16
			Pinggang/torsi	-	2 D13
			Sengkang	-	10 D - 150
	G1.2	50 x 25 cm	Tumpuan	Atas	5 D16
			Tumpuan	Bawah	4 D16
			Lapangan	Atas	4 D16
			Lapangan	Bawah	5 D16
			Pinggang/torsi	-	2 D13
			Sengkang	-	10D - 150

4.4.4. Pengangkatan balok pracetak

Beban sendiri untuk balok pracetak = $0,25 \times 0,31 \times 4,5 \times 24 = 8,37$ kN

$Q_u = 1,2 \times 1,2 \times 8,37 = 12,05$ kN

Dipakai sejumlah 2 angkat tulangan, $Q_u/2 = 12,05 / 2 = 6,025$ kN

Gaya angkat untuk setiap tulangan ;

$$P_u = \frac{Q_u}{\sin 45} = \frac{6,025}{\sin 45} = 8,5 \text{ kN} \quad (33)$$

Berdasarkan rumus PBB1 pasal 2.2.2 Tarik tegangan baja untuk tulangan ($F_y / 1,5$).

$$\sigma_{ijin} = \frac{400}{1,5} = 266,6 \text{ Mpa} \quad (34)$$

$$\phi_{tul. ijin} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{ijin} \times \pi}} \quad (35)$$

$$\phi_{tul. ijin} \geq \sqrt{\frac{8,5 \times 10^3}{266,6 \times 3,14}} = 3,19 \text{ mm}$$

Maka maka dipakai penulangan angkat D 10 mm

Pengontrol tulangan angkat

$W = 0,25 \times 0,31 \times 24 = 1,86$ kN

$$Y_t = Y_b = \frac{(45 - 14)}{2} = 15,5 \text{ cm}$$

$$Y_c = Y_t + 5 = 20,5$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 20,5}{450 \times \tan 45}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{15,5}{15,5} \left(1 + \frac{4 \times 20,5}{450 \times \tan 45} \right)} \right)} = 0,221 \quad (36)$$

$$X \times L = 0,221 \times 450 = 99,45 \text{ cm}$$

$$+ M = \frac{1,86 \times 4,5^2}{8} \left(1 - 4 \times 0,221 + \frac{4 \times 0,205}{4,5 \times \tan 45} \right) = 1,4 \text{ kNm}$$

$$- M = \frac{1,86 \times 0,221^2 \times 4,5^2}{2} = 0,9$$

$$f_r = 0,62 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} = 0,62 \times 1 \times \sqrt{29,05} = 3,34 \text{ Mpa}$$

$$W_t = \frac{1}{6} \times b \times h^2 = \frac{1}{6} \times 250 \times 310^2 = 4004166,6 \text{ mm}^3$$

Momen Lapangan

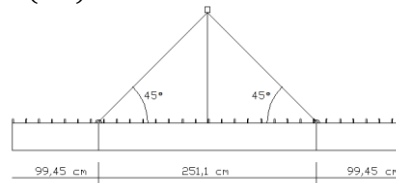
$$f = \frac{+ M}{W_t} = \frac{1,4 \times 10^6}{4004166,6} = 0,35 \text{ Mpa}$$

$$f = 0,35 \text{ Mpa} \leq f_r = 3,34 \text{ Mpa} \quad (OK)$$

Momen Tumpuan

$$f = \frac{-M}{W_t} = \frac{0,9 \times 10^6}{4004166,6} = 0,224 \text{ Mpa}$$

$$f = 0,224 \text{ Mpa} \leq f_r = 3,34 \text{ Mpa (OK)}$$



Gambar 6. Pengangkatan balok pracetak

4.5. Perhitungan Kolom

4.5.1. Cek persyaratan struktur bangunan gedung penahan gempa

Gaya terfaktor aksial lebih dari $\frac{A_g f_c}{10}$

$$\frac{A_g f_c}{10} = \frac{(30 \times 50) \times 25}{10^2} = 375 \text{ kN (37)}$$

387,459 > 375 kNOK

Sisi pendek tidak boleh lebih kecil dari 30cm

30 cm ≥ 30 cmOk

Rasio untuk dimensi pada penampang tidak boleh lebih kecil dari 0,4

$$\frac{b}{h} = \frac{30}{50} = 0,6 > 0,4 \dots \text{OK}$$

4.5.2. Pehitungan penulangan kolom

Kolom Dasar :

Pu Kolom : 387,459 kN

Mu Kolom : 31,6712 kNm

Kolom Lantai Dua :

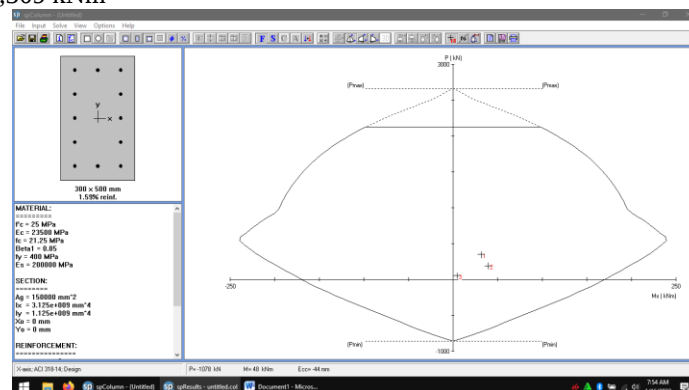
Pu Kolom : 192,52 kN

Mu Kolom : 39,36 kNm

Kolom Atas :

Pu Kolom : 56,652 kN

Mu Kolom : 4,309 kNm



Gambar 7. Diagram interaksi gaya aksial dan momen pada kolom

Didasarkan pada analisa sp *column* kebutuhan penulangan pasang adalah 12D16 ($\rho = 1,59 \% = 0,0159$). pemakaian ρ sudah memenuhi persyaratan dari SNI 2847 2013 pasal 10.9.1 yaitu antara (1% - 8%).

4.5.3. Cek syarat kolom kuat balok lemah

Menentukan nilai $\sum M_{nb}$

$$\sum M_{nb} = \frac{6}{5} (M_{nb.ki} + M_{nb.ka}) \quad (38)$$

$$= \frac{6}{5} (165,744 \text{ kNm} + 137,250 \text{ kNm}) = 363,594 \text{ kNm}$$

Menentukan Nilai $\sum M_{nc}$

Nilai $\sum M_{nc}$ diperoleh dari hasil diagram interaksi kolom hasil rekap dari program bantu *SP column*

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities					
NOTE: Design/Required ratio $\phi M_n / M_u \geq 1.00$					
No	Pu	Mux	ϕM_{nx}	$\phi M_n / M_u$	
	kN	kNm	kNm		
1	350.42	31.67	219.13	6.919	
2	192.52	39.36	197.74	5.024	
3	56.65	4.31	178.30	41.378	

Gambar 8. Output diagram interaksi desain kolom

Pada gambar bisa dilihat hasil dari $\sum M_{nc}$

$$\sum M_{nc} = 219,13 + 197,74 = 416,87 \text{ kNm}$$

Syarat *Strong Column Weak Beam*

$$\sum M_{nc} \geq \sum M_{nb} = 416,87 \text{ kNm} \geq 363,594 \text{ kNm} \dots \dots \text{Ok}$$

4.5.4. Desain tulangan geser

Menghitung V_e

$$V_e = \frac{M_{pr \text{ atas}} \times DF_{atas} + M_{pr \text{ bawah}} \times DF_{bawah}}{l_u} \quad (39)$$

$$= \frac{302,994 \times 0,5 + 302,994 \times 0,5}{3,75} = 80,8 \text{ kN}$$

Dipasang tulangan geser minimum

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{80,8}{0,75} = 107,7 \text{ kN}$$

$$A_v = \frac{V_s \cdot s}{f_y \cdot d} = \frac{(107,7 \times 10^3) \times 100}{400 \times 440} = 61,193 \text{ mm}$$

Dikarenakan sebelumnya sudah dipasang tulangan *confinement* 5Ø10 – 100 ($A_{sh, pakai} = 393 \text{ mm}^2$) persyaratan kekuatan geser terpenuhi.

Tabel 3. Kebutuhan tulangan pada kolom

Rekapitulasi kebutuhan tulangan pada kolom					
Elemen	Tipe	Dimensi	Daerah	Kode	Kebutuhan tulangan
Kolom	K1	30 x 50 cm	Tulangan utama	-	12 D16
			Sengkang	Tumpuan	10 D - 100
			Sengkang	Lapangan	10 D - 150
	K2	30 x 40 cm	Tulangan utama	-	12 D16
			Sengkang	Tumpuan	10 D - 100
			Sengkang	Lapangan	10 D - 150

4.6. Perencanaan Sambungan

4.6.1. Sambungan desain balok dan pelat pracetak

Balok dan plat pracetak mengandalkan adanya tulangan tumpuan yang diaplikasikan secara panjang dan menerus diatas balok yang menghubungkan antara stud-stud pelat dan setelah diberi konektor tersebut selanjutnya akan dilakukan proses pengecoran (*overtopping*) yang sehingga hubungan antara balok dan plat pracetak bisa menjadi monolit dan kuat.

4.6.2. Sambungan desain antara balok pracetak dan kolom

Data perencanaan konsol pendek / Corbel

Ukuran kolom = 300/500 cm

a_s = 40 mm

f_c' = 25 Mpa

f_y = 400 Mpa

V_{DL} = 155 kN

V_{DD} = 245 kN

$$N_{\text{Corbel}} = 60 \text{ kN}$$

Beban terfaktor

$$V_u = 1,2.155 + 1,6.245 = 578 \text{ kN} = \phi \cdot V_n$$

$$N_u = 1,6 \times 60 = 96 \text{ kN}$$

Dimensi konsol pendek

$$\phi V_n = \phi \times (0,85 \times f'c' \times A)$$

$$578.10^3 = 0,75 \times (0,85 \times 25 \times 300 \times b_v)$$

$$b_v = 120,889 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } b_v = 120 \text{ mm}$$

$$a_v = \frac{b_v}{2} + 2x(25) = \frac{120}{2} + (2 \times 25) = 110 \text{ mm} \quad (40)$$

Menentukan tinggi penampang konsol

SNI 2847-2013 mensyaratkan, bahwa $\frac{a_v}{d} < 1$:

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \leq 0,2 \times f'c' \times b_w \cdot d = 1500 \cdot d \quad (41)$$

$$\leq (3,3 + 0,08 \times f'c') \times b_w \cdot d = 1590 \cdot d$$

$$\leq 11 \times b_w \cdot d = 3300 \cdot d$$

$$d \geq \frac{V_n}{1500} = \frac{578.10^3}{0,75 \times 1500} = 513,7 \text{ mm}$$

$$d_s = a_s + \frac{D_{tul}}{2} = 40 + \frac{16}{2} = 48 \text{ mm}$$

$$h \geq d + d_s = 513,7 + 48 = 561,7 \text{ mm}$$

$$h = 562 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s = 562 - 48 = 514 \text{ mm}$$

$$\frac{a_v}{d} = \frac{110}{514} = 0,214 < 1 \rightarrow Ok$$

Menentukan luas tulangan

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{578}{0,75} = 770,6 \text{ kN} \quad (42)$$

$$N_n = \frac{N_u}{\phi} = \frac{96}{0,75} = 128 \text{ kN}$$

$$A_{vf} = \frac{V_n}{\mu \cdot f_y} = \frac{770,6 \times 10^3}{1,4 \times 400} = 1376,1 \text{ mm}^2$$

$$A_n = \frac{N_n}{f_y} = \frac{128 \times 10^3}{400} = 320 \text{ mm}^2$$

$$M_n = M_R = V_n \cdot a_v + N_n \cdot (h - d) \\ = \{770,6 \times 110 + 128 \times (562 - 514)\} \times 10^3 = 90,91 \text{ kN}$$

$$\gamma = \frac{2 \cdot M_n}{0,85 \cdot f'c' \cdot b_w \cdot d^2} = \frac{2 \times 90,91 \times 10^6}{0,85 \times 25 \times 300 \times 514^2} = 0,108$$

$$k_a = 1 - \sqrt{1 - \gamma} = 1 - \sqrt{1 - 0,108} = 0,055$$

$$k_z = 1 - \frac{k_a}{2} = 1 - \frac{0,055}{2} = 0,973$$

$$k_t = \frac{1}{f_y \cdot k_z} = \frac{1}{400 \times 0,973} = 2,574 \cdot 10^{-3}$$

$$A_f = k_t \cdot \frac{M_n}{d} = 2,574 \cdot 10^{-3} \times \frac{90,91}{514} = 455,26 \text{ mm}^2$$

Bila memakai persamaan (5.6) dari SNI maka :

$$A_s = \frac{\left\{ V_n \cdot a_v + N_n \cdot \left(h - \frac{k_a \cdot d}{2} \right) \right\}}{\left(d \cdot \frac{k_a \cdot d}{2} \right) \cdot f_y} \quad (43)$$

$$= \frac{\left\{ 770,6 \times 110 + 128 \times \left(562 - \frac{0,055 \times 514}{2} \right) \right\}}{\left(514 \times \frac{0,055 \times 514}{2} \right) \times 400} = 774,672 \text{ mm}^2$$

$$774,672 \text{ mm}^2 > 455,26 \text{ mm}^2, \rightarrow \text{Dipakai } A_f = 774,672 \text{ mm}^2$$

SNI 2847-2013 mensyaratkan bahwa :

$$A_s \geq \frac{2}{3} \cdot A_{vf} + A_n = \frac{2}{3} \times 1376,1 + 320 = 1237,4 \text{ mm}^2$$

$$\geq A_f + A_n = 774,672 + 320 = 1094,672 \text{ mm}^2$$

Dipakai :

$$A_s = 1237,4 \text{ mm}^2 \rightarrow 7 \text{ D16} = 1407 \text{ mm}^2$$

Tulangan Horizontal

$$A_h = \frac{1}{2} \cdot (A_s - A_n) = \frac{1}{2} \times (1237,4 - 320) = 458,7 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan 4 D13} = 531 \text{ mm}^2$$

Tabel 4. Kebutuhan tulangan pada konsol pendek

Rekapitulasi kebutuhan tulangan pada konsol pendek

Elemen	Dimensi	Daerah	Kebutuhan tulangan
Konsol pendek	56,2 x 30 x 30 cm	Tulangan utama	7 D16
		Sengkang / pengikat	4 D 13

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pemakaian beton pracetak memiliki keuntungan bila dibanding dengan beton konvensional beberapa keuntungannya ialah kualitas beton lebih terjamin dan pada kondisi tertentu juga memiliki keuntungan tersendiri dikarenakan pada proseng pengerjaan struktur tidak terlalu banyak membutuhkan tenaga kerja. Berdasarkan perhitungan modifikasi struktur gedung Rumah Susun Pondok Pesantren Darusa'adah di Kebumen, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tebal Plat = 14 cm dengan tulangan dua arah, tumpuan 10 D-200 dan Lapangan 10 D-200

Dimensi Balok = G1.1 (25cm x 45cm), G1.2 (25cm x 50cm)

Dimensi Kolom = K1 (50cm x 30cm), K2 (40cm x 30cm)

konsol pendek untuk sambungan balok dan kolom didapatkan dimensi 55 cm, 30 cm, 30 cm. Tulangan utama 7 D16, Tulangan sengkang / pengikat 4 D13.

Untuk tulangan stud plat di dapatkan Ø10 – 150 mm.

5.2. Saran

Pada saat pengerjaan pemasangan beton pracetak harus dilakukan oleh tenaga ahli yang sudah terampil, dikarenakan pada saat proses penyambungan tidak boleh ada kesalahan karena sistem sambungan yang dipakai tidak semonolit dengan beton cor ditempat supaya nanti disaat menopang beban-beban yang bekerja di stuktur bangunan tidak akan terjadi kesalahan seperti terjadinya penambahan gaya yang tentunya tidak di inginkan pada area sambungan dikarenakan tidak kuatnya pekerjaan penyambungan struktur. Desain beton pracetak sendiri harus dibuat seminim mungkin supaya lebih seragam untuk bentuk cetaknya dan tentunya juga untuk detail penulangan supaya konstruksi dengan menggunakan beton pracetak bisa terlaksanakan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyadi, A., Of, D., & Engineering, C. (2015). Redesign of Surabaya Fave Hotel Using Precast Concrete Method in Beam and Slab Structure Elements.
- Devania, A., & Hermawan, A. R. (2020). Modifikasi Struktur Gedung Dengan Beton Pracetak Pada Apartemen the Conexio. *Construction and Material Journal*, 2(2), 115–122. <https://doi.org/10.32722/cmj.v2i2.3092>
- Mubarok, M. A., & Piscesa, B. (2020). Desain Modifikasi Perancangan Struktur Gedung The Alton Apartment Semarang Menggunakan Metode Pracetak. 9(2).
- Sipil, F. T. (2017). MODIFIKASI STRUKTUR GEDUNG GRAND KAMALA.
- SNI:1726. (2012). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. *Rethinking Marxism*, 15(3), 316–325. <https://doi.org/10.1080/0893569032000131613>

SNI:2847. (2013). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Bandung: Badan Standardisasi Indonesia, 1–265.

SNI:7833. (2012). Tata cara perancangan beton pracetak dan beton prategang untuk bangunan gedung. Bandung: Badan Standardisasi Indonesia.

NOMENKLATUR

Ag	= Luas bruto penampang beton
As	= Luas tulangan
Av	= Luas tulangan geser horizontal
D	= Beban mati
d	= Tinggi efektif balok
ds	= Tebal selimut beton
Es	= Modulus elastisitas baja
Fy	= Mutu baja
F'c	= Mutu beton
L	= Beban hidup
Ly	= Bentang panjang plat lantai
Lx	= Bentang lebar plat lantai
m	= Faktor modifikasi komponen
Mn	= Momen nominal
Mu	= Momen ultimit
n	= Jumlah tulangan
Pb	= Gaya aksial pada kondisi balance
Pu	= Gaya tekan aksial terfaktor
Ts	= Jumlah gaya total dari tulangan tarik
V	= Gaya geser dasar
Vc	= Kekuatan nominal yang disediakan beton
Vn	= Kekuatan geser nominal
Vs	= Kekuatan geser nominal tulangan geser
Vu	= Gaya geser terfaktor
$\beta 1$	= Faktor distribusi tegangan beton
$\sum Mnc$	= Jumlah kekuatan lentur nominal kolom
$\sum Mn b$	= Jumlah kekuatan lentur nominal balok
ρ	= Rasio tulangan
ρ_{min}	= Rasio tulangan minimum
ρ_{maks}	= Rasio tulangan maksimal
$\Omega 0$	= Faktor kuat lebih sistem
$\emptyset$	= Faktor reduksi kekuatan