

## Perkuatan Struktur pada Bangunan Rumah Tinggal 3 Lantai

Anis Rosyidah<sup>1)</sup>, Rinawati<sup>1)</sup>, Dimas Wiratenaya<sup>2)</sup> dan Muhammad Amitabh Pattisia<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta

<sup>2)</sup> Alumni Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta

Kampus Baru - UI Depok 16425

Email: anis.rosyidah@gmail.com

### Abstract

*Design on building a less mature may result in failure of the building functions. It can be seen from the emergence of cracks in structural elements. To handle these problems, to prevent any malfunction or possible collapse of the building, it is necessary to strengthen or repair the structural elements that are considered damaged. Damage to the structure elements can be seen from the comparison between the existing calculation of structural elements with ideal calculations buildings. If the ideal calculation is greater than the existing calculation of the structural elements considered necessary improvements. There are several options for strengthening methods. But the selection of methods must be based on the needs, circumstances and budget for strengthening the field itself. In this project the planners combine two methods for strengthening, the concrete jacketing and inject column. In each of these methods has advantages and disadvantages of each is conditioned by the field. Because of this, then inject column be the first choice at this stage of the selection method, this is because the advantages of this method can reduce the force in the received by beam. If this method can not be done due to limited field conditions will be the second selection method that is concrete jacketing. In this method of structural elements can add the capacity of strength to restrain load factored. Until the choosing of the appropriate method.*

*Keyword: concrete strengthening, concrete jacketing, inject column.*

### PENDAHULUAN

Bangunan adalah tempat kita melakukan berbagai macam aktifitas di kehidupan sehari – hari. Dalam merencanakan bangunan pihak perencana diwajibkan untuk merancang atau memperhitungkan disain bangunan yang memenuhi kaidah dari keamanan, kenyamanan si calon pemakai, serta kekuatan dari konstruksi bangunan itu sendiri.

Pihak perencana merancang atau memperhitungkan disain struktur yang memenuhi syarat kaidah kekuatan. Perhitungan yang dilakukan didasarkan pada beban – beban rencana yang bekerja pada bangunan itu seperti beban hidup, beban mati, beban angin, beban hujan dan beban gempa. Dari berbagai macam beban yang diprediksikan akan bekerja pada bangunan maka pihak perencana dapat menentukan disain konstruksi bangunan yang memenuhi syarat keamanan dan kekuatan bangunan. Sedangkan kaidah kenyamanan si calon pengguna, pihak

perencana juga mendisain gambar arsitektur yang disesuaikan pada konsep bangunan serta mengacu juga pada efek psikologis si calon pengguna bangunan tersebut.

Tetapi polemik yang ada di masyarakat sekarang kurang memperhatikan kaidah – kaidah dari perencanaan bangunannya terutama pada bangunan lantai tiga ke bawah, padahal hal ini dapat mengakibatkan resiko yang fatal. Contoh akibatnya adalah ada bangunan mengalami kerusakan (retak – retak) pada elemen struktur yang penting atau yang lebih parah bangunan bisa mengalami keruntuhan. Dilihat dari seberapa parahnya keretakan atau kerusakan yang terjadi, bangunan itu bisa dikategorikan mengalami kegagalan fungsi atau keruntuhan dalam jangka waktu tertentu.

Dengan adanya tuntutan bahwa bangunan yang mengalami kerusakan harus segera diperbaiki, maka perlu adanya penanganan masalah tersebut terhadap kerusakan – kerusakan yang terjadi. Baik

dengan melakukan perbaikan ataupun perkuatan pada elemen struktur yang mengalami kerusakan. Oleh sebab itu untuk mendapatkan hasil perbaikan atau perkuatan yang tepat guna, maka perlu dilakukan investigasi lapangan guna mendapatkan data umum bangunan serta gambaran kerusakan yang terjadi melalui pengamatan secara visual maupun dengan pengujian *non – destructive* maupun *semi – destructive* dan mereview data struktur yang ada.

Dari hasil investigasi tersebut, kemudian dilakukan analisis dan evaluasi pada struktur tersebut untuk menentukan apakah kerusakan yang terjadi hanya perlu perbaikan atau perkuatan atau malah bangunan dalam kondisi terburuk.

## TINJAUAN PUSTAKA

Analisis dan perencanaan perkuatan struktur secara umum merupakan perbandingan antara kekuatan yang tersedia setelah diprovokasi sedemikian sehingga mencapai kekuatannya pada saat bekerjanya beban berfaktor harus lebih besar dari kekuatan yang diperlukan (gaya aksial, geser, atau momen lentur) akibat beban berfaktor. Gaya-gaya yang bekerja tersebut diharapkan dapat memenuhi keseimbangan dan kestabilan.

Proses analisis dan desain struktur dapat dilakukan dengan program analisis dan desain struktur. Perbedaan mendasar antara dua analisis tersebut adalah kemudahan proses *trial and error* dalam menganalisis struktur. Hal ini sangat membantu dalam perencanaan karena kecil kemungkinan mencapai desain struktur yang kuat dan ekonomis serta mudah dilaksanakan dalam beberapa kali perhitungan.

### Perkuatan Pada Beton Bertulang

*Strengthening* atau perkuatan dilaksanakan untuk meningkatkan kapasitas kekuatan, kekakuan maupun daktilitas struktur. Pekerjaan *strengthening* harus direncanakan sesuai yang diinginkan

dan memenuhi persyaratan teknis yang berlaku. Beberapa prinsip yang menjadi tujuan dalam perencanaan kekuatan yang perlu diperhatikan antara lain:

- a. Memperkecil gaya dalam yang terjadi
- b. Meningkatkan kemampuan tarik
- c. Meningkatkan kemampuan tekan beton

Dalam pemilihan teknik atau metode perkuatan yang harus diperhatikan beberapa hal diantaranya kapasitas struktur, lingkungan dimana struktur berada, peralatan yang tersedia, kemampuan tenaga pelaksana, serta batasan-batasan dari pemilik seperti keterbatasan ruang kerja, kemudahan pelaksanaan, waktu pelaksanaan dan biaya perkuatan.

Momen Kapasitas adalah kemampuan dari penampang dalam menerima momen lentur yang bekerja padanya dan dipengaruhi oleh desain penampang dan tulangan yang terpasang. Desain kapasitas adalah desain suatu penampang yang mengacu pada beban yang bekerja. Kekuatan lentur rencana  $\Phi M_n$  adalah perkalian dari faktor reduksi kekuatan  $\Phi$  dengan kekuatan lentur nominal  $M_n$ . Untuk perhitungan lentur nominal  $M_n$ , dipakai pemisalan-pemisalan berikut:

1. Kekuatan unsur-unsur harus didasarkan pada perhitungan yang memenuhi syarat keseimbangan dan kompatibilitas regangan.
2. Regangan di dalam baja tulangan dan beton dimisalkan berbanding lurus dengan jarak terhadap garis netral.
3. Regangan maksimum yang dapat dipakai  $\epsilon_{cu}$  pada serat tekan ekstrim beton diambil sebesar 0,003.
4. Kekuatan tarik beton diabaikan (kecuali pada beberapa keadaan di dalam beton prategang).
5. Modulus elastisitas baja tulangan tanpa prategang dapat diambil sebesar 29.000.000 lb/inch<sup>2</sup>\* (200000MPa atau 2.040.000 kgf/cm<sup>2</sup>).

Teknik perkuatan struktur yang dapat dibedakan berdasarkan material perkuatannya diantaranya:

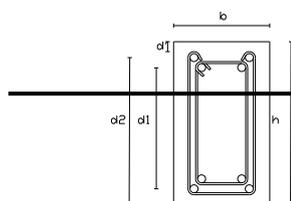
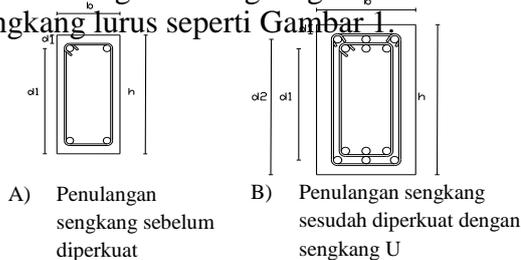
**Concrete Jacketing**

Concrete Jacketing merupakan teknik perkuatan dengan cara melapisi seluruh atau sebagian permukaan elemen struktur dengan beton baru dengan atau tanpa disertai dengan penambahan tulangan longitudinal maupun tulangan transversal. Beton baru yang ditambahkan harus memiliki kuat tekan yang lebih tinggi atau minimal sama dengan beton struktur yang diperkuat untuk memaksimalkan penambahan kemampuan tekan struktur.

Melalui penambahan dimensi serta tulangan ini diharapkan untuk menambah kapasitas kekuatan struktur.

Pekerjaan Concrete Jacketing dapat dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

- Menghilangkan semua bagian-bagian beton yang telah lapuk (terkontaminasi) atau menghilangkan semua bagian beton yang retak-retak berat pada pekerjaan perbaikan beton yang telah rusak
- Untuk kondisi beton yang belum rusak cukup dilakukan pengupasan beton sampai terlihat tulangan longitudinal
- Melapisi beton lama dengan bahan perekat
- Cor beton perlapis, bila bidang yang dilapisi sangat luas dapat juga dipakai secara shotcrete. Untuk ketebalan lebih dari 5 cm perlu diperkuat dengan kawat anyaman agar tidak terjadi retak-retak sebagai akibat adanya susut pada beton. Untuk peletakkan sengkang dipasang melalui 2 tahap yaitu dengan sengkang U dan sengkang lurus seperti Gambar 1.



C) Penulangan sengkang

Gambar 1. Gambar Penulangan sengkang sebelum dan sesudah diperkuat dengan concrete jacketing.

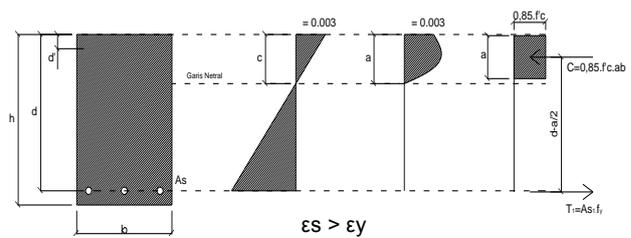
- Dalam melaksanakan metode concrete jacketing diperlukan ketelitian dikarenakan dalam memasang sengkang harus diperhatikan jarak antara tulangan longitudinal.

**a. Menghitung Kuat Lentur Balok dan Ring Balok**

Dapat diperlihatkan bahwa kriteria untuk menjamin keadaan leleh dari tulangan tekan suatu penampang bertulangan rangkap pada saat dicapainya kekuatan nominal ditunjukkan oleh pers. 1.

$$\rho - \rho' \left( 1 - \frac{0,85 f_c'}{f_y} \right) \geq 0,85 \beta_1 \left( \frac{f_c' d'}{f_y d} \right) \left( \frac{600}{600 - f_y} \right) \quad (1)$$

Dengan menggunakan Gambar 2, kriteria untuk melelehnya tulangan tekan adalah:



Gambar 2. Distribusi Regangan dan Tegangan Balok

Gaya-gaya dalam pada Gambar 2 dapat dilihat pada pers. 2 – 4.

$$T = \rho . b . d . f_y \quad (2)$$

$$C_c = 0,85 f_c' \beta_1 x b \quad (3)$$

$$C_s = (f_y - 0,85 f_c') \rho' b d \quad (4)$$

Setelah menentukan bahwa tulangan tekan harus digunakan, apakah untuk syarat kekuatan atau untuk pengendalian lendutan, berikut dibutuhkan pemilihan tulangan  $A_s$  dan tulangan tekan

$A_s'$  yang mencukupi. Untuk maksud ini kedua persamaan keseimbangan dapat digunakan (pers. 5 – 6), yaitu :

$$C_c + C_s = T \quad (5)$$

$$M_n = C_c \left( d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \quad (6)$$

Jika tulangan tekan tidak leleh, maka persamaan keseimbangan harus disusun kembali dengan menggunakan suatu tegangan  $f_s'$  di dalam tulangan tekan yang sebanding dengan regangan yang bersangkutan.

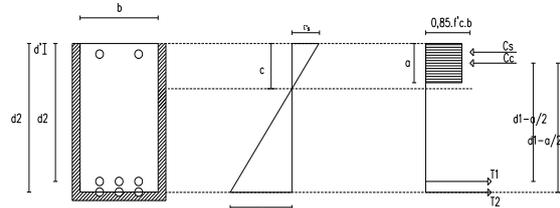
Perhitungan dalam analisis dan perencanaan dimensi, tulangan lentur dan tulangan geser tambahan dapat dilakukan berdasarkan keseimbangan gaya dan kompatibilitas regangan sama seperti analisis dan perencanaan konstruksi beton pada umumnya.

Kebutuhan perkuatan diperhitungkan berdasarkan atas kebutuhan momen yang diaplikasikan yang harus lebih besar atau sama dengan momen dari hasil perhitungan eksisting dari balok yang ditinjau. Pada balok utama yang ditinjau balok biasa, hal ini dikondisikan karena balok dianggap tidak monolit dengan pelat.

Dalam merencanakan perkuatan ring balok, kita dapat merencanakan perkuatan seperti balok utama tetapi dalam menganalisis ulang setelah melakukan perkuatan, analisis menggunakan kaidah perencanaan pada balok biasa. Hal ini disebabkan oleh ring balok yang tidak menopang pelat.

Karena perkuatan yang dilakukan yang mengakibatkan perubahan dimensi dan jumlah tulangan sehingga mengakibatkan perubahan momen kapasitas yang berbanding lurus dengan dimensi dan jumlah tulangan, hal ini bisa dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Gambar 3. Diagram Regangan-Tegangan sebelum Diperkuat



a. Penampang Balok Bertulangan b. Diagram Tegangan c. Blok Tegangan Tekan persegi Ekuivalen

Gambar 4. Diagram Regangan-Tegangan setelah Diperkuat daerah Tumpuan

Penentuan tulangan yang baru

$$\rho_{asumsi} = 25\% \cdot \rho_{min} \quad (7)$$

mencari luas tulangan

$$A_{s\ perlu} = \rho_{asumsi} \cdot b \cdot d \quad (8)$$

Untuk jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{s\ perlu}}{A_s} \quad (9)$$

Dari Gambar 3 dan Gambar 4 biasa dilihat bahwa ring balok yang sudah diperkuat mendapat pertambahan momen kapasitas seperti pers. 6.

Menjadi :

$$Mn_3 = T_1 \cdot \left( \frac{1}{2} Db + Ds + \frac{1}{2} Db_{tambahan} \right) \quad (10)$$

$$Mn = Mn_1 + Mn_2 + Mn_3 \quad (11)$$

$$Mn = Cc \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) + C_s \cdot (d - d') + T_1 \cdot \left( \frac{1}{2} Db + Ds + \frac{1}{2} Db_{tambahan} \right) \quad (12)$$

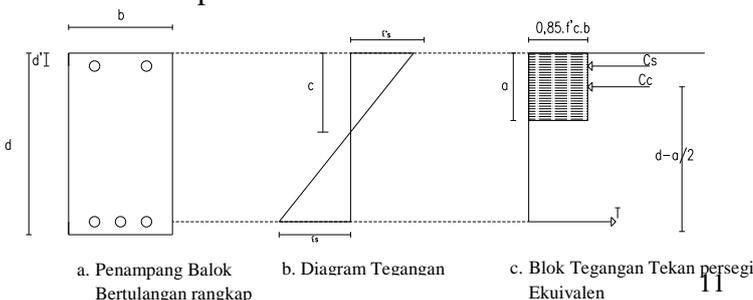
$$Mn = (A_s - A_s') \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' \cdot f_y \cdot (d - d') + T_1 \cdot \left( \frac{1}{2} Db + Ds + \frac{1}{2} Db_{tambahan} \right) \quad (13)$$

Tetapi ingat dalam menentukan nilai c perencana tetap harus memeriksa kelelahan tulangan terlebih dahulu, untuk mendapatkan nilai aktual. Sedangkan perencanaan untuk perkuatan geser sama seperti penulangan geser pada balok.

**Kolom**

Untuk mengetahui kapasitas kekuatan pada kolom dibutuhkan diagram interaksi P-M yang menggambarkan kekuatannya secara jelas. Berikut langkah – langkah pembuatan diagram tersebut :

1) Tentukan keruntuhan pada kondisi *balanced*



a. Penampang Balok Bertulangan rangkap b. Diagram Tegangan c. Blok Tegangan Tekan persegi Ekuivalen

2) Hitung nilai  $\epsilon_y = f_y/E_s$  dan nilai  $\epsilon_{cu} = 0,003$ .

3) Dari segitiga yang sebangun dapat diperoleh persamaan tinggi sumbu netral pada kondisi *balanced* ( $C_b$ ) dengan persamaan 14.

$$C_b = \left(\frac{600}{600 + f_y}\right) \cdot d \quad (14)$$

4) Tentukan leleh atau tidaknya tulangan tarik dan tekan sesuai dengan pers. 15 dan 16:

$$f_s = E_s \cdot \epsilon_s = E_s \frac{0,003(d - c)}{c} \leq f_y \quad (15)$$

$$f_s' = E_s \cdot \epsilon_s' = E_s \frac{0,003(c - d')}{c} \leq f_y \quad (16)$$

5) Tentukan blok tinggi tekan pada kondisi *balanced* ( $a_b$ ), seperti persamaan 17.

$$a_b = \beta_1 \cdot C_b \quad (17)$$

6) Menghitung gaya – gaya yang bekerja pada kolom, seperti  $C_c$  (pers. 18),  $C_s$  (pers. 19),  $T$  (pers. 20).

$$C_c = 0,85 f' c b a \quad (18)$$

$$C_s = C_{s1} + C_{s2} = A_s' \cdot f' s \quad (19)$$

$$T = T_1 + T_2 = A_s \cdot f_s \quad (20)$$

7) Berdasarkan keseimbangan gaya ( $\sum H$ ), tentukan  $P_{nb}$ , seperti pada pers. 21.

$$P_{nb} = C_c + C_s - T_s \quad (21)$$

8) Setelah itu hitung nilai momen pada kondisi *balanced* ( $M_{nb}$ ), sesuai dengan pers. 22.

$$M_{nb} = P_{nb} \cdot e_b = 0,85 \cdot f' c b a \left(\bar{y} - \frac{a}{2}\right) + A_s' \cdot f' s (\bar{y} - d) + A_s \cdot f_s (d - \bar{y}) \quad (22)$$

9) Hitung nilai eksentristas pada saat kondisi runtuh *balanced* ( $e_b$ ) dengan rumus pers 23.

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} \quad (23)$$

10) Menentukan keruntuhan tarik pada kolom, prosedur yang digunakan adalah coba – coba pada nilai  $c$ . Syarat  $c$  adalah menghasilkan nilai :

- $P_n < P_{nb}$
- $e > e_b$
- $c > c_b$

untuk memenuhi syarat – syarat tersebut gunakan langkah 4 sampai langkah 9.

11) Menentukan keruntuhan tekan pada kolom, prosedur yang digunakan adalah coba – coba pada nilai  $c$ . Syarat  $c$  adalah menghasilkan nilai :

- $P_n > P_{nb}$
- $e < e_b$
- $c < c_b$

untuk memenuhi syarat – syarat tersebut gunakan langkah 4 sampai langkah 9.

12) Hitung nilai  $P_o$  ketika  $e = 0$ , dengan menggunakan pers.24.

$$P_o = 0,85 f' c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st} \quad (24)$$

13) Tentukan nilai  $M_n$  ketika  $e = \sim$ , dengan mencari nilai  $c$  sebagai variable ( $c = x$ ), dan  $P_n = 0$ . Sehingga rumus bisa disederhanakan menjadi :

$$0,0012 \cdot f' c b \cdot x^2 + 2x - h = 0 \quad (25)$$

14) Plot nilai  $P_n$  dan  $M_n$  pada langkah :7), 8), 10), 11), 12), dan 13) kedalam suatu kurva yang fungsi ordinatnya ( $P_n$ ) dan absisnya ( $M_n$ ). Sehingga membentuk suatu kurva yang dinamakan diagram interaksi P-M.

## b. Menghitung Kuat Geser Balok dan Ring Balok

Perilaku balok beton pada keadaan runtuh karena geser sangat berbeda dengan keruntuhan karena lentur. Balok dengan keruntuhan geser, umumnya tanpa peringatan terlebih dahulu. Perilaku keruntuhan geser bersifat *getas/brittle*, oleh karena itu perlu dirancang penampang yang cukup kuat untuk memikul gaya geser.

Tulangan geser diperlukan karena pada dasarnya ada tiga jenis retak pada struktur, yaitu:

- a. Retak lentur murni (*flexural crack*), retak yang terjadi di daerah yang mempunyai momen lentur besar. Arah retak hamper tegak lurus sumbu balok.
- b. Retak geser lentur (*flexural shear crack*), retak yang terjadi pada bagian balok yang sebelumnya telah terjadi keretakan lentur. Jadi retak geser lentur

merupakan perambatan retak miring dari retak yang sudah terjadi sebelumnya.

- c. Retak geser murni (*shear crack*), retak yang terjadi pada daerah dimana gaya geser maksimum bekerja dan tegangan normal sangat kecil.

Adapun jenis-jenis tulangan geser adalah:

- a. Senggang (*stirrup*) yang tegak lurus terhadap sumbu balok/pembesian longitudinal.
- b. Senggang miring.
- c. Kombinasi antara senggang tegak dan miring.
- d. Senggang spiral, biasanya digunakan untuk kolom-kolom bulat.

Tulangan geser pada dasarnya mempunyai empat fungsi, yaitu:

- a. Memikul sebagian gaya geser rencana  $V_u$ .
- b. Membatasi bertambahnya retak diagonal.
- c. Memegang dan mengikat tulangan memanjang pada posisinya sehingga tulangan memanjang dapat berfungsi dengan baik dalam menahan lentur.
- d. Memberikan ikatan pada daerah beton yang tertekan terutama apabila digunakan senggang tertutup.

a) Perencanaan Penampang Terhadap Geser

Kapasitas geser yang ditahan oleh tulangan geser ( $V_s$ ) dan kapasitas beton dalam menahan geser ( $V_c$ ) dikemukakan pada pers. berikut:

$$V_n = V_c + V_s \tag{26}$$

Tetapi karena dalam persyaratan SNI 03-2847-2002 pasal 23.3(4(2)) menyatakan bahwa kapasitas beton dalam menahan geser dianggap tidak bekerja ( $V_c=0$ ), apabila:

- 1) Gaya geser akibat gempa lebih besar dari setengah gaya geser akibat beban kombinasi
- 2)  $P_u < A_g \cdot f'c \cdot 0,2$  (27)

Sehingga kapasitas geser yang dibutuhkan menjadi,

$$V_n = V_s \tag{28}$$

Dilihat dari beberapa faktor yang mempengaruhi kebutuhan  $V_n$  pada balok maka didapat pers.(26) dan berikut proses perhitungannya

$$V_u = \left( \frac{M_{nl} + M_{nr}}{2} \right) + \left( \frac{w_u \cdot l_n}{2} \right) \tag{29}$$

$$V_{ud} = \frac{V_u \left( \frac{l_n}{2} - d \right)}{\frac{l_n}{2}} \tag{30}$$

,maka

$$V_s = V_n = \frac{V_{ud}}{\phi} = \frac{V_{ud}}{0,75} \tag{31}$$

$$A_v = \frac{V_s \cdot s}{f_y \cdot d} \tag{32}$$

Senggang dipasang dengan jarak tidak lebih besar dari jarak yang telah disyaratkan dalam berdasarkan SNI 2847 pasal 23.10(4(2)) jarak senggang diatur tidak boleh melebihi nilai-nilai berikut:

- a. Seperempat nilai tinggi efektif balok ( $d$ )
- b. 8 kali diameter tulangan memanjang terkecil
- c. 24 kali diameter tulangan senggang
- d. Tidak lebih dari 300mm

Untuk jarak senggang pada muka tumpuan dipakai  $1/4$  dan pada muka lapangan dipakai  $1/2$ . Untuk penetapan jarak senggang pada muka tumpuan dipakai jarak senggang terkecil dan pada lapangan dikalikan 2 jarak senggang terkecil.

b) Cek syarat gempa :

- 1)  $P_u < \frac{A_g \cdot f'c}{10}$
- 2)  $M^+ > \frac{1}{3} M^-$
- 3)  $M^- \text{ atau } M^+ > \frac{1}{5} M_{maks}$

**Kolom**

Kekuatan geser pada kolom disumbangkan oleh beton dan tulangan penahan geser. Tetapi dalam perencanaan bangunan tahan gempa sumbangan beton bisa diabaikan ( $V_c = 0$ ), bila  $P_u < A_g \cdot f'c \cdot 0,2$ . (33)

Gaya geser yang harus ditahan kolom dipengaruhi oleh momen yang bekerja di kolom dan ditentukan di

diagram interaksi P-M. Gaya lintang maksimum di dapat dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh gempa (E), diambil dua nilai terkecil. Kemudian ditarik garis lurus sampai batas kurva, sehinggadidapatkan nilai momennya.

Maka gaya geser terfaktor menjadi :

$$V_e = \frac{Mnt + Mnb}{Hn} \quad (34)$$

Kemudian didapatkan nominal kapasitas geser kolom setelah dibagi faktor reduksi sebesar 0,6.

$$V_s = V_n = \frac{V_u}{\phi} \quad (35)$$

Setelah itu bandingkan dengan kapasitas geser maksimum sebesar :

$$V_{s_{max}} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \quad (36)$$

Pemilihan tulangan

$$A_v = \frac{V_s \cdot s}{f_y \cdot d} \quad (37)$$

Untuk mendapatkan jarak sengkang maksimum (Smax), berdasarkan SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 23.10.5.1 (ambil nilai terkecil), menentukan sebagai berikut :

- d/4
- 8Db terkecil
- 24 diameter sengkang
- 300 mm

Untuk panjang penyaluran, berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 23.10.5.1 (ambil yang terbesar), menentukan sebagai berikut:

- 1/6 tinggi bersih kolom ( $h_b$ )
- Dimensi terbesar penampang
- 500 mm

Untuk penjangkaran, berdasarkan SNI 03-2847-2002, pasal 23.5.4.1 (ambil yang terbesar), menentukan sebagai berikut:

- 8 diameter tulangan longitudinal
- 150 mm
- Untuk tulangan tarik

Untuk tulangan kait dipakai rumus

$$ldh = \frac{f_y \cdot db}{5,4 \cdot \sqrt{f'c}} \quad (38)$$

Untuk tulangan tanpa kait  $b < 300$  pers. 2.3-52 dikalikan dua setengah kali dan untuk  $b > 300$  pers. 2.3-52 dikalikan tiga setengah kali.

### Strong Column Weak Beam

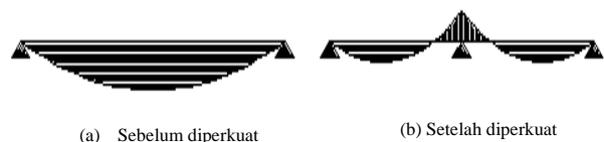
Sesuai dengan filosofi desai kapasitas, maka SNI-2847-2002 pasal 23.4(2) mensyaratkan bahwa

$$\sum M_e \geq \sum 6/5 M_g \quad (39)$$

Dimana  $\sum M_e$  adalah momen kapasitas kolom dan  $\sum M_g$  merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa  $M_e$  harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan kolom maka selanjutnya adalah mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan *strong column weak beam*.

### Inject Column

Memperpendek bentang adalah salah satu metode perkuatan yang dilakukan dengan mengaplikasikan kaidah perkuatan yang berupa memperkecil gaya dalam yang terjadi pada suatu bentang. Pada pelaksanaannya adalah menambah kolom yang berfungsi sebagai perletakan baru yang di posisikan pada tengah bentang atau pada lokasi momen terbesar di suatu bentang, seperti yang di gambarkan pada Gambar 7. Tetapi dalam perencanaan dan pelaksanaannya tetap memperhatikan ketentuan – ketentuan yang berlaku.



(a) Sebelum diperkuat

(b) Setelah diperkuat

Gambar 7. Konsep Perkuatan yang Memperpendek Bentang

Pemilihan metode yang disesuaikan dengan kondisi lapangan juga merupakan pertimbangan penting dalam perencanaan perkuatan. Seperti halnya pada perkuatan “memperpendek bentang”, pada metode tersebut biasanya perencana selalu terbentur pada kondisi lapangan yang tidak memungkinkan, seperti:

- Terdapat bagian bangunan yang tidak dapat dipindahkan (seperti jendela).
- Posisi kolom perkuatan berada di tengah ruangan.
- Kondisi arsitekturnya tidak sesuai dengan strukturnya.

Pada melaksanakan metode inject column atau memperpendek bentang dengan menyanggah balok dengan kolom yang ditentukan dengan dimensi yang ada atau pemilihan dimensi. Pada pelaksanaan dengan *inject column* momen yang terjadi menjadi berubah. Pada awalnya momen pada muka lapangan menjadi momen muka tumpuan. Jika momen ideal lebih dari momen kapasitas pada daerah tumpuan maka ditambahkan tulangan pada daerah muka tumpuan. Dengan cara dibobok dan ditambahkan tulangan sesuai dengan kebutuhan momen kapasitas sehingga sesuai dengan pers.39.

$$\Phi M_n > M_u \quad (40)$$

Selain penentuan dimensi dipakai pers. 40, penentuan dimensi dapat ditentukan dengan memakai dimensi yang ada. Pemilihan diambil dari dimensi kolom yang terbesar.

Hal – hal yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan dengan metode perkuatan ini adalah sebagai berikut:

1. Dimana letak bentang yang ingin diperkuat, hal ini harus sesuai dengan gambar.
2. Pemilihan dimensi
3. Peletakkan kolom yang ingin diperkuat.
4. Pemasukkan kolom pada program setelah itu di *running*, tetapi harus sesuai dengan dimensi kolom di atas

dan di bawahnya suatu kolom yang ingin ditambahkan.

5. Desain kolom yang diperkuat.
6. Cek kolom yang diperkuat dengan metode *Strong Coloumn Weak Beam*.
7. Cek Momen kapasitas dengan Momen Ideal setelah diperkuat. Apakah pers. 40 masuk syarat.

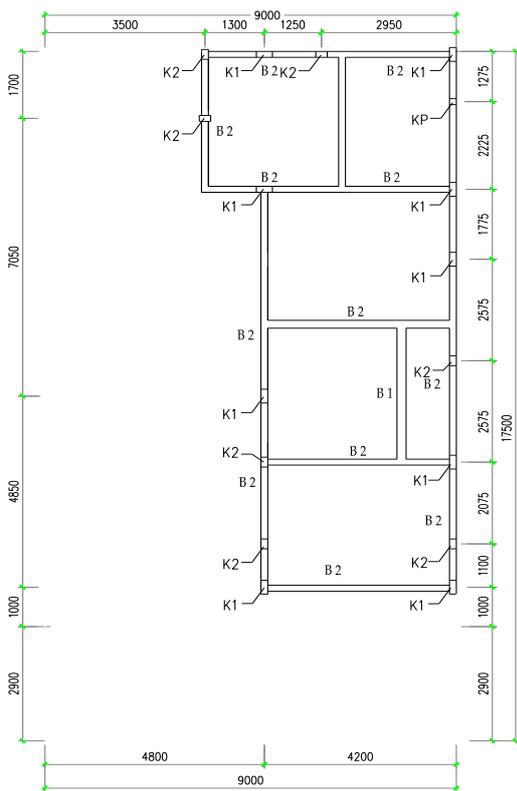
## METODOLOGI

Struktur Eksisting (Gambar 8 – 10) yang dijadikan bahan studi kasus ini dideskripsikan sebagai berikut:

|                                |   |  |
|--------------------------------|---|--|
| Nama Bangunan                  | : | Aruba Residence                              |
| Fungsi Bangunan                | : | Tempat Tinggal (Perumahan)                   |
| Lokasi                         | : | Depok, Jawa Barat                            |
| Jarak Dari tepi laut           | : | >5km   |
| Wilayah Gempa                  | : | Wilayah Gempa 4 Indonesia                    |
| Sistem struktur                | : | Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) |
| Jenis Tanah                    | : | Tanah Lunak                                  |
| Faktor Keutamaan Bangunan (I): | : | 1,0  |
| Faktor Reduksi Gempa (R):      | : | 5,5  |
| Jumlah Lantai                  | : | 2 Lantai dan Atap                            |
| Panjang Bangunan               | : | 17,5 m                                       |
| Lebar Bangunan                 | : | 9 m  |
| Tinggi Portal per lantai       | : |  |
| Lantai 3                       | : | 3,2 m  |
| Lantai 2                       | : | 3,2 m  |
| Lantai 1                       | : | 2,5 m  |
| Tinggi total portal            | : | 8,9 m  |
| Material                       | : | Struktur Beton bertulang                     |
| Atap                           | : | Dengan rangka atap baja ringan               |
| Dimensi Balok                  | : |  |
| (B1)                           | : | 350/200                                      |
| (B2)                           | : | 350/150                                      |
| Dimensi Ring Balok             | : |  |
| (RB1)                          | : | 300/150                                      |
| (RB1A)                         | : | 300/150                                      |
| (RB2)                          | : | 200/150                                      |
| Dimensi Kolom                  | : |  |

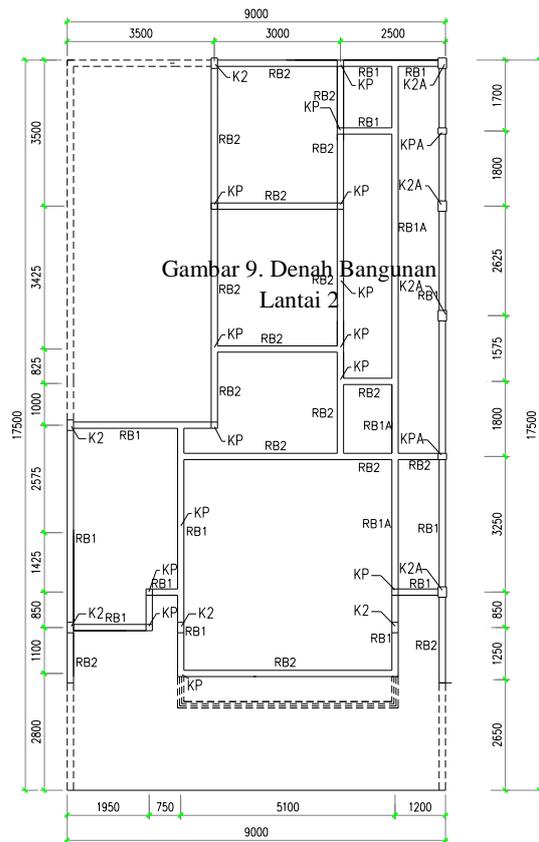
- (K1) : 350/150
- (K2) : 250/150
- (K1A) : 350/200
- (K2A) : 250/200
- (KP) : 150/150
- (KPA) : 150/200

- Mutu Beton Balok dan Kolom : 20 MPa
- Mutu Baja tulangan lentur ( $f_y$ ) : 240 MPa
- Mutu Baja tulangan geser ( $f_{ys}$ ) : 240 MPa

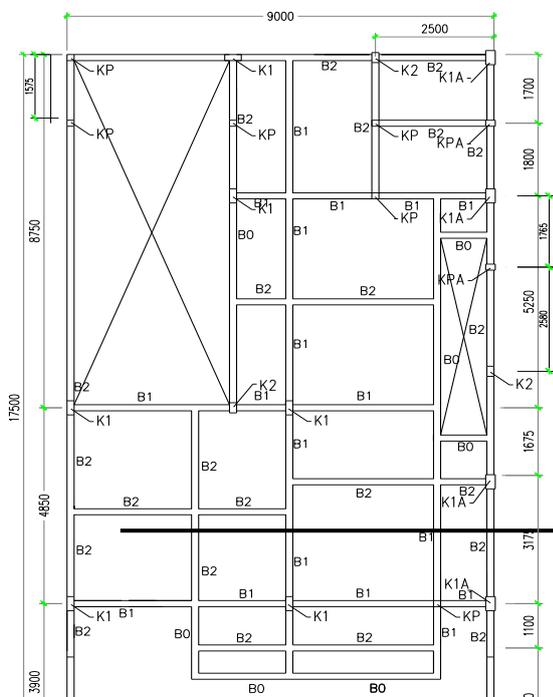


Gambar 8. Denah Bangunan Lantai 1

Gambar 9. Denah Bangunan Lantai 2

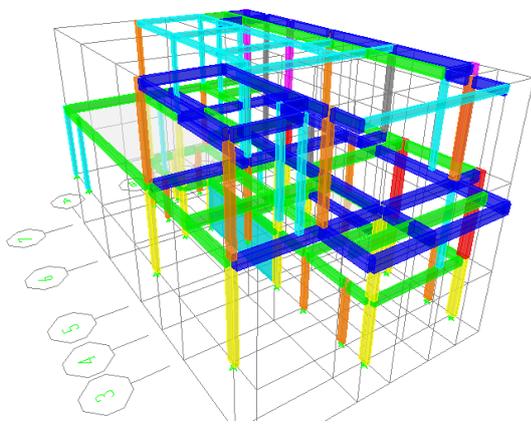


Gambar 10. Denah Bangunan Lantai Atap



Bangunan dimodelkan sebagai portal ruang (3D) dengan sistem struktur rangka pemikul momen portal kaku (*rigid frame*) dengan memodelkan komponen struktur utama yang balok dan kolom serta kuda – kuda dan gording pada atap dan plat lantai sebagai komponen struktur pendukungnya. Sedangkan tumpuan yang digunakan dimodelkan secara sendi. Pembebanan yang dilakukan hanya tiga jenis yaitu beban mati, beban hidup dan beban gempa.

Guna mempermudah serta mendapatkan hasil perhitungan gaya dalam yang akurat dalam menganalisis digunakan software ETABS v.9 (Gambar 11), sedangkan analisis kapasitas kekuatan struktur eksisting dilakukan melalui perhitungan manual.



Gambar 11. Gambar Bangunan Aruba Residence

Dari hasil analisis gaya dalam secara keseluruhan bangunan didapatkan kuat perlu komponen struktur dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang nantinya akan dibandingkan dengan kekuatan struktur eksisting yang tersedia. Bila didapatkan kuat perlu yang lebih besar dari kekuatan yang tersedia dapat disimpulkan bahwa struktur eksisting tidak mampu menerima beban yang direncanakan. Hal demikian menyebabkan perlu dirancang perkuatan agar struktur mampu menerima beban rencana.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Struktur Eksisting

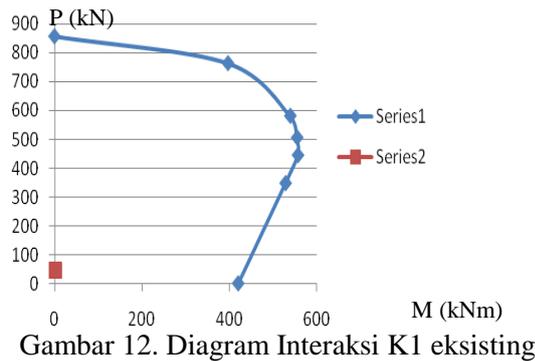
Dengan memasukkan beban-beban yang bekerja seperti beban mati, hidup dan gempa pada pemodelan struktur Aruba Residence secara keseluruhan menyebabkan penambahan kekuatan yang harus ditahan oleh elemen struktur.

Berdasarkan hasil analisis ring balok eksisting, momen nominal terfaktor yang mampu ditahan oleh ring balok jenis RB1 pada daerah tumpuan sebesar 8,061 kNm dan 7,679 kNm pada daerah lapangan. Sebagai contoh pada ring balok as A/2-4 hanya menahan momen ultimit rencana sebesar 8,74 kNm pada daerah tumpuan dan 10,97 pada daerah lapangan. Nilai momen ultimit rencana yang jauh bila dibandingkan dengan momen nominal terfaktor ring balok eksisting menyebabkan dibutuhkan sebuah perancangan perkuatan guna menaikkan kapasitas momen nominal terfaktor agar ring balok dapat menahan momen ultimit akibat beban bekerja.

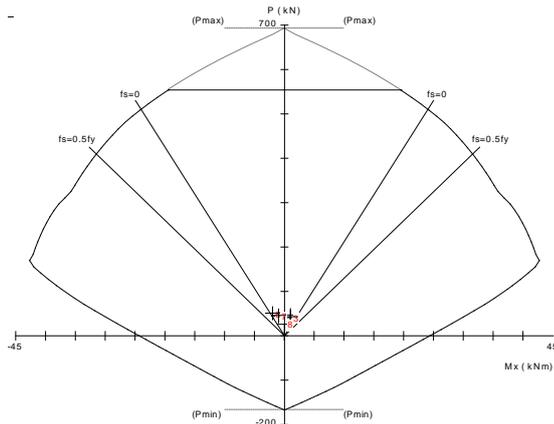
Berdasarkan hasil analisis balok eksisting, momen nominal terfaktor yang mampu ditahan oleh balok jenis B2 pada daerah tumpuan sebesar 15,33 kNm dan 15,83 kNm pada daerah lapangan. Sebagai contoh pada ring balok as A/4-7 hanya menahan momen ultimit rencana sebesar 49,73 kNm pada daerah tumpuan dan 30,07 pada daerah lapangan. Nilai momen ultimit rencana yang jauh bila dibandingkan dengan momen nominal terfaktor balok eksisting menyebabkan dibutuhkan sebuah perancangan perkuatan guna menaikkan kapasitas momen nominal terfaktor agar balok dapat menahan momen ultimit akibat beban bekerja.

Di dalam analisis struktur eksisting pada kolom K1 di dapat hasil yaitu diagram interaksi momen secara matematis dan program dengan menggunakan diagram PC column. Hasilnya berupa Gambar 12 dan 13. Ternyata dari hasilnya masih masuk di dalam gambar PC column. Berarti tidak perlu diberikan perkuatan tetapi untuk cek daktilitas tidak masuk syarat. Berarti diperlukan perkuatan yaitu pada tulangan transversal.

Tabel 1. Perbandingan Momen Kapasitas dengan Momen Ideal pada Ring Balok  
 Anis Rosyidah, Rinawati, Dimas W. & M. Amitabh, Perkuatan Struktur pada.....



Gambar 12. Diagram Interaksi K1 eksisting



### Perbandingan Analisis Eksisting dengan Ideal

Dari hasil eksisting dan ideal dapat dibandingkan melalui rekapitulasi untuk ring balok (Tabel 1) dan balok (Tabel 2 & 3) serta untuk kolom yang akan di yang akan dibandingkan adalah luas tulangan terpasang dengan hasil analisis luas tulangan perlu. Luas tulangan perlu dijadikan acuan perbandingan karena gaya tekan dan momen yang bekerja pada kolom sudah diplot ke dalam diagram interaksi P-M masing – masing kolom. Kolom eksisting baik yang berkontribusi langsung dalam menahan beban-beban yang bekerja, dinyatakan mampu menahan kombinasi kuat lentur-tekan akibat beban rencana. Hal ini ditandai dengan letak kombinasi  $Mu-Pu$  dari semua kombinasi pembebanan yang masih berada di dalam batas aman  $Mn-Pn$  yang mampu ditahan

oleh kolom eksisting. Perbandingan Luas Tulangan dijelaskan pada (Tabel 4).

Tabel 2. Perbandingan Momen Kapasitas dengan Momen Ideal pada

| Balok | Tipe ring balok | Ideal   |          | Kapasitas       |                 | Ket |
|-------|-----------------|---------|----------|-----------------|-----------------|-----|
|       |                 | Tumpuan | Lapangan | Tumpuan         | Lapangan        |     |
|       |                 | Mu(kNm) | Mu(kNm)  | $\phi Mn$ (kNm) | $\phi Mn$ (kNm) |     |
| B107  | B2              | -35,90  | 31,73    | 15,33           | 15,83           | NO  |
| B77   | B2              | -49,73  | 30,07    | 15,33           | 15,83           | NO  |
| B136  | B2'             | -17,98  | 14,10    | 15,33           | 15,83           | NO  |
| B145  | B1              | -38,18  | 37,40    | 19,70           | 15,35           | NO  |
| B40   | B1              | -36,81  | -12,86   | 19,70           | 15,35           | NO  |
| B138  | B1              | -33,32  | 6,12     | 19,70           | 15,35           | NO  |
| B144  | B1              | -30,00  | 24,27    | 19,70           | 15,35           | NO  |

Tabel 3. Perbandingan Momen Kapasitas dengan Momen Ideal pada Balok Lantai 1

| Ring Balok | Tipe ring balok | Ideal   |          | Kapasitas       |                 | Ket |
|------------|-----------------|---------|----------|-----------------|-----------------|-----|
|            |                 | Tumpuan | Lapangan | Tumpuan         | Lapangan        |     |
|            |                 | Mu(kNm) | Mu(kNm)  | $\phi Mn$ (kNm) | $\phi Mn$ (kNm) |     |
| B132       | B2'             | -16,03  | 12,85    | 15,33           | 15,83           | NO  |
| B135       | B2'             | -16,93  | 7,81     | 15,33           | 15,83           | NO  |
| B8         | B2              | -13,55  | 16,76    | 15,33           | 15,83           | NO  |

Tabel 4. Perbandingan Luas Tulangan Terpasang dengan Luas Tulangan Ideal

| Kolom | Kolom | Luas tul. Perlu |         | Ket. |
|-------|-------|-----------------|---------|------|
|       |       | Terpasang       | Ideal   |      |
| C 41  | K2    | 795,66          | 852.631 | NO   |
| C 16  | K1    | 530,66          | 567.228 | NO   |

### Perancangan Perkuatan Struktur

Bila elemen struktur memiliki luas tulangan yang lebih sedikit dari tulangan yang diperlukan, maka disarankan untuk diberikan perkuatan menggunakan salah satu alternatif metode perkuatan yang telah

Tabel 1. Perbandingan Momen Kapasitas dengan Momen Ideal pada

| Ring Balok | Tipe ring balok | Ideal   |          | Eksisting       |                 | Ket |
|------------|-----------------|---------|----------|-----------------|-----------------|-----|
|            |                 | Tumpuan | Lapangan | Tumpuan         | Lapangan        |     |
|            |                 | Mu(kNm) | Mu(kNm)  | $\phi Mn$ (kNm) | $\phi Mn$ (kNm) |     |
| B150       | RB1             | -12,487 | 1,414    | 8,061           | 7,679           | NO  |

dirancang baik *concrete jacketing* ataupun *Inject Column* dengan tujuan elemen struktur tersebut mampu menahan kuat lentur yang diperlukan akibat kombinasi beban terbesar. Pada ring balok as B-E/1 dan A-B/2-4 yang dinyatakan tidak mampu menahan beban rencana digunakan dua alternatif perkuatan yang dapat dipilih oleh pihak pemilik gedung.

### Metode *Inject Column*

Dalam memperpendek kolom dapat digunakan sebagai salah satu alternatif perkuatan. Dengan cara menambah kolom pada bentang balok yang tidak aman. Dalam penentuan dimensi kolom didapat dari dimensi yang ada dan desain kolom secara manual. Dari segi pengerjaan di lapangan dan perencanaan metode ini lebih mudah dilakukan. Perancangan kolom harus sudah memperhitungkan dari segi struktur dan memperhatikan kondisi serta arsitektur bangunan. Desain kolom mengacu pada dimensi eksisting, tetapi untuk meningkatkan kekuatan dan syarat pendetailan bangunan tahan gempa, mutu beton dinaikkan menjadi 30 Mpa dan baja tulangan dinaikkan menjadi 400 Mpa. Dengan menggunakan dimensi tulangan D16 untuk jenis K2P1 dan D13 untuk jenis K1P dan K2P serta tulangan transversal menggunakan tulangan polos dengan Ø8. Pada balok as A/2-4 diberikan *Inject Column* tipe K1P dengan jarak setengahnya dari bentang balok tersebut. Sehingga balok tersebut menjadi 2 bagian yaitu balok B163 dengan momen ideal pada daerah tumpuan sebesar 3,702 kNm dan pada daerah lapangan sebesar 3,724 kNm dan balok B164 dengan momen ideal pada daerah tumpuan sebesar 5,446 kNm dan pada daerah lapangan sebesar 3,2 kNm. Hal tersebut jauh dari kapasitas momen yang terjadi pada jenis balok B2 yaitu pada daerah tumpuan sebesar 15,33 kNm dan pada daerah lapangan sebesar 15,83 kNm serta dipakai tulangan geser 2Ø8 – 70 mm pada daerah tumpuan dan

2Ø8 – 70 mm pada daerah lapangan. Sehingga balok as A/2-4 sudah memenuhi kaidah perkuatan yaitu  $\phi M_n > M_u$  berikut rekapitulasi untuk semua jenis *inject column* pada Tabel 5, 6 dan 7.

Tabel 5. Tabel perbandingan Momen Ideal dengan Kapasitas Ring Balok Lantai Atap

| JOINT | Ring Balok | As      | Tipe Ring Balok | Ideal    |          | Kapasitas        |                  | Ket. |
|-------|------------|---------|-----------------|----------|----------|------------------|------------------|------|
|       |            |         |                 | Tumpuan  | Lapangan | Tumpuan          | Lapangan         |      |
|       |            |         |                 | Mu (kNm) | Mu (kNm) | $\phi M_n$ (kNm) | $\phi M_n$ (kNm) |      |
| 1     | B163       | A/2-4   | RB1             | -2,883   | 2,057    | 8,061            | 7,679            | YES  |
|       | B164       | A/2-4   | RB1             | -2,989   | 2,815    | 8,061            | 7,679            | YES  |
| 2     | B35        | A-B/1-2 | RB1             | -4,869   | -1,911   | 8,061            | 7,679            | YES  |
| 3     | B30        | E/1-2   | RB1             | -2,996   | -0,316   | 8,061            | 7,679            | YES  |
| 4     | B177       | B/4-5   | RB2             | -1,996   | 1,018    | 5,046            | 4,663            | YES  |
|       | B178       | B/5-6   | RB2             | -4,337   | 3,065    | 5,046            | 4,663            | YES  |
| 5     | B56        | A-B/4   | RB1             | -1,739   | 3,732    | 8,061            | 7,679            | YES  |
|       | B119       | A-B/4   | RB2             | -0,773   | 0,649    | 5,046            | 4,663            | YES  |
| 6     | B179       | A-E/3-4 | RB2             | -2,31    | 1,623    | 5,046            | 4,663            | YES  |
|       | B59        | E-F/3-4 | RB2             | 1,246    | 0,191    | 5,046            | 4,663            | YES  |

Tabel 6. Tabel perbandingan Momen Ideal dengan Kapasitas Balok Lantai 2 setelah

| JOINT | Balok | As      | Tipe Balok | Ideal    |          | Kapasitas        |                  | Ket. |
|-------|-------|---------|------------|----------|----------|------------------|------------------|------|
|       |       |         |            | Tumpuan  | Lapangan | Tumpuan          | Lapangan         |      |
|       |       |         |            | Mu (kNm) | Mu (kNm) | $\phi M_n$ (kNm) | $\phi M_n$ (kNm) |      |
| 7     | B161  | A-B/2   | B1         | -11,212  | 0,16     | 19,7             | 15,35            | YES  |
|       | B162  | A-C/2   | B1         | 3,726    | 1,567    | 19,7             | 15,35            | YES  |
| 8     | B157  | A/4-6   | B2         | -10,854  | 6,752    | 15,33            | 15,83            | YES  |
|       | B158  | A/5-7   | B2         | -11,687  | 8,047    | 15,33            | 15,83            | YES  |
| 9     | B163  | A/2-3   | B2         | -3,702   | 3,724    | 15,33            | 15,83            | YES  |
|       | B164  | A/2-4   | B2         | -5,446   | 3,2      | 15,33            | 15,83            | YES  |
| 10    | B165  | B/4-6   | B1         | -7,105   | 3,542    | 19,7             | 15,35            | YES  |
|       | B166  | B/5-6   | B1         | -4,455   | 0,298    | 19,7             | 15,35            | YES  |
| 11    | B172  | F/5-6   | B2         | -10,968  | -4,95    | 15,33            | 15,83            | YES  |
|       | B173  | F/5-6   | B2         | 3,247    | 1,732    | 15,33            | 15,83            | YES  |
| 12    | B175  | A-B/1'  | B1         | -8,214   | -4,228   | 19,7             | 15,35            | YES  |
|       | B35   | A-B/1-2 | B1         | -10,508  | -7,982   | 19,7             | 15,35            | YES  |
| 13    | B174  | E/1'    | B1         | -9,223   | -7,76    | 19,7             | 15,35            | YES  |
|       | B30   | E/1-2   | B1         | -10,821  | -2,564   | 19,7             | 15,35            | YES  |
| 14    | B187  | E/3-4   | B1         | -19,181  | -7,913   | 19,7             | 15,35            | YES  |
|       | B188  | E/4-6   | B1         | 19,228   | 7,048    | 19,7             | 15,35            | YES  |

Tabel 7. Tabel perbandingan Momen Ideal dengan Kapasitas Balok Lantai 1 setelah

| JOINT | Balok | As    | Tipe Balok | Ideal    |          | Kapasitas  |            | Ket. |
|-------|-------|-------|------------|----------|----------|------------|------------|------|
|       |       |       |            | Tumpuan  | Lapangan | Tumpuan    | Lapangan   |      |
|       |       |       |            | Mu (kNm) | Mu (kNm) | $\phi M_n$ | $\phi M_n$ |      |
| 15    | B168  | F/4-5 | B2         | -2,938   | -1,378   | 15,33      | 15,83      | YES  |
|       | B169  | F/5-6 | B2         | -7,642   | -0,524   | 15,33      | 15,83      | YES  |

### Metode *Concrete Jacketing*

Alternatif perkuatan yang kedua dengan menggunakan metode *concrete jacketing*, yaitu perkuatan dengan jalan menambah dimensi penampang setebal 50

mm dengan mutu beton  $f'c$  20 MPa serta penambahan tulangan tarik 2D10 di daerah tumpuan dan 2D10 di daerah lapangan. Dengan penambahan dimensi dan tulangan ini momen nominal terfaktor ring balok dapat ditingkatkan dari 8,06 kNm menjadi 23,31 kNm pada daerah tumpuan dan 4,66 kNm menjadi 23,18 kNm pada daerah lapangan. Hal tersebut diikuti juga dengan penambahan tulangan geser 2Ø8-80mm pada seperempat bentang dan 2Ø8-160 mm pada setengah bentang di daerah lapangan. Hal ini mengakibatkan hubungan balok dan kolom tidak memenuhi syarat sehingga kolom perlu dilakukan perkuatan. Pada kolom jenis K2 dilakukan perkuatan dengan menambah dimensi sebesar 50 mm dengan mutu beton  $f'c$  20 MPa serta penambahan tulangan 6D16 dengan  $f_y$  240 Mpa dengan tulangan transversal 2Ø8-75mm. Hal tersebut menghasilkan  $\sum Me > \sum 6/5 Mg$ . Berarti Hubungan pada HBK masuk syarat kaidah perkuatan dan *Strong Column Weak Beam*.

Pada Balok B2 dengan jalan menambah dimensi penampang setebal 50 mm dengan mutu beton  $f'c$  20 MPa serta penambahan tulangan tarik 2Ø10 di daerah tumpuan dan 2Ø10 di daerah lapangan. Dengan penambahan dimensi dan tulangan ini momen nominal terfaktor ring balok dapat ditingkatkan dari 15,33 kNm menjadi 27,25 kNm pada daerah tumpuan dan 15,195 kNm menjadi 27,32 kNm pada daerah lapangan. Hal tersebut diikuti juga dengan penambahan tulangan geser 2Ø8-90 pada seperempat bentang dan 2Ø8-180 mm pada setengah bentang di daerah lapangan. Hal ini mengakibatkan hubungan balok dan kolom memenuhi syarat sehingga kolom tidak perlu dilakukan perkuatan. Berarti Hubungan pada HBK masuk syarat kaidah perkuatan dan *Strong Column Weak Beam*, berikut rekapitulasi untuk semua jenis inject column pada Tabel 8,9,10 dan 11.

Tabel 8. Perbandingan Momen Kapasitas dengan Momen Ideal pada Ring Balok Setelah di *Inject Column*

| Ring Balok | Tipe ring balok | Ideal   |          | Eksisting       |                 | Ket |
|------------|-----------------|---------|----------|-----------------|-----------------|-----|
|            |                 | Tumpuan | Lapangan | Tumpuan         | Lapangan        |     |
|            |                 | Mu(kNm) | Mu(kNm)  | $\phi Mn$ (kNm) | $\phi Mn$ (kNm) |     |
| B164       | RB1             | -12,487 | 1,414    | 8,061           | 7,679           | NO  |
| B147       | RB1             | -18,976 | -8,610   | 8,061           | 7,679           | NO  |
| B 30       | RB1'            | -16,359 | -7,433   | 8,061           | 7,679           | NO  |
| B 102      | RB1'            | -13,609 | -8,721   | 8,061           | 7,679           | NO  |
| B 104      | RB2             | -6,468  | 9,137    | 5,046           | 4,663           | NO  |

Tabel 9. Perbandingan Momen Kapasitas dengan Momen Ideal pada Balok Lantai 2 setelah di *Inject Kolom*

| Balok | Tipe ring balok | Ideal   |          | Kapasitas       |                 | Ket |
|-------|-----------------|---------|----------|-----------------|-----------------|-----|
|       |                 | Tumpuan | Lapangan | Tumpuan         | Lapangan        |     |
|       |                 | Mu(kNm) | Mu(kNm)  | $\phi Mn$ (kNm) | $\phi Mn$ (kNm) |     |
| B19   | B1              | -16,03  | 29,36    | 19,70           | 15,35           | NO  |
| B132  | B2              | -17,66  | 16,64    | 15,33           | 15,83           | NO  |
| B188  | B1              | -16,03  | 29,36    | 19,76           | 15,23           | NO  |

Tabel 10. Spesifikasi Baru untuk Ring Balok setelah Diperkuat

| Ket.      | Jenis Ring Balok |          |         |          |         |          |
|-----------|------------------|----------|---------|----------|---------|----------|
|           | RB1              |          | RB1'    |          | RB2     |          |
|           | Lap.             | Tump.    | Lap.    | Tump.    | Lap.    | Tump.    |
| h         | 380              |          | 380     |          | 250     |          |
| b         | 200              |          | 200     |          | 200     |          |
| Db        | 2 Ø10            | 4 Ø10    | 2 Ø10   | 4 Ø10    | 2 Ø10   | 4 Ø10    |
| Db tamb   | 2 D10            | 2 D10    | 4 D10   | 2 D10    | 2 D10   | 2 D10    |
| senggang  | Ø8 - 80          | Ø8 - 160 | Ø8 - 80 | Ø8 - 160 | Ø8 - 80 | Ø8 - 160 |
| $\phi Mn$ | 23,177           | 23,305   | 27,107  | 23,305   | 13,41   | 13,64    |

Tabel 11. Spesifikasi Baru untuk Balok setelah Diperkuat

| Ket.      | Jenis Balok |          |         |          |
|-----------|-------------|----------|---------|----------|
|           | B1          |          | B2'     |          |
|           | Lap.        | Tump.    | Lap.    | Tump.    |
| b         | 400         |          | 400     |          |
| h         | 250         |          | 200     |          |
| Db        | 4 Ø13       | 2 Ø13    | 4 Ø13   | 2 Ø13    |
| Db tamb   | 2 D13       | 2 D13    | 2 Ø10   | 2 Ø10    |
| senggang  | Ø8 - 90     | Ø8 - 180 | Ø8 - 90 | Ø8 - 180 |
| $\phi Mn$ | 41,64       | 49,51    | 27,245  | 27,23    |

## KESIMPULAN

Perencanaan bangunan yang kurang sempurna dapat mengakibatkan keamanan bagi pengguna bangunan berkurang, serta kenyamanan penghuni pun ikut terganggu.

Maka setiap bangunan lantai 3 ke atas dengan analisis dinamik menggunakan respon spektra harus disertai perencanaan yang baik dengan mengacu pada beban – beban rencana.

Pada proyek yang ditinjau perencanaan strukturnya sangat kurang sempurna, hal ini bisa dilihat dari retak – retak pada elemen struktur penting pada bangunan. Maka pihak pengelola bangunan memutuskan untuk melakukan perkuatan pada elemen struktur. Perkuatan dilakukan dengan mengaplikasikan dua metode perkuatan yang sudah ada, yaitu memperpendek bentang (*inject column*) dan meningkatkan kemampuan tekan beton (*concrete jacketing*).

Untuk mendapatkan lokasi elemen struktur yang butuh perkuatan, maka perencana membandingkan perhitungan ideal bangunan dengan analisis eksisting setiap elemen strukturnya. Apabila perhitungan ideal lebih besar daripada analisis eksisting maka elemen yang ditinjau dapat dianggap butuh perkuatan.

Dalam pemilihan metode perkuatan, kebutuhan, dan kondisi lapangan merupakan hal yang harus diperhatikan. Sebagai contoh pada balok B138 (As C/2-4) dibutuhkan perkuatan, tetapi bila diaplikasikan dengan metode *inject coloumn* maka dari segi kondisi lapangan sangat tidak memungkinkan. Hal ini dikarenakan di bawah balok itu terdapat ruangan yang akan digunakan penghuni. Sehingga dipilihlah metode perkuatan *concrete jacketing*.

Desain metode *inject column* diambil pada tipe kolom yang sudah ada. Hal ini dilakukan karena untuk memudahkan perencanaan, tetapi pada mutu beton ( $f'c$ ) dan mutu baja ( $f_y$ ) dinaikkan, Demi memenuhi kebutuhan kekuatan balok yang akan ditopang dan persyaratan yang telah ditetapkan.

Sedangkan untuk metode *concrete jacketing* elemen struktur ditambah dimensi dan tulangnya yang disesuaikan dengan kebutuhan nilai momen perhitungan ideal (pada balok) dan luas tulangan perlu (pada kolom).

Setelah melakukan perencanaan perkuatan, pihak perencana juga diharuskan untuk mengecek kembali struktur perkuatannya dengan persyaratan yang sudah ditentukan. Setelah di cek, maka bangunan tersebut layak huni karena sudah sesuai dengan Metode Kekuatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1].Badan Standarisasi Nasional, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002*, Bandung: BSN, 2002.
- [2].Badan Standarisasi Nasional, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002*, Bandung: BSN, 2002.
- [3].Chu Kia Wang, Salmon Charles G., *Reinforced Concrete Design* Jilid 1 terjemahan, Edisi Keempat, Jakarta : Erlangga, 1993.
- [4].Chu Kia Wang, Salmon Charles G., *Reinforced Concrete Design* Jilid 2 terjemahan, Edisi Keempat, Jakarta : Erlangga, 1989.
- [5].Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Badan Penelitian dan Pengembangan Teknologi Permukiman, Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung. SNI 1726-2002, Bandung: Puskim, 2002.
- [6].Rosyidah Anis, *Modul Kursus ETABS Analisis dan Perancangan Struktur Gedung Menggunakan Komputer*, Depok: PT. Integrate Quality, 2008.
- [7].Gideon Kusuma – WC Vis, *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang*, Jakarta: Erlangga, 1993.
- [8].G. NAWY Edward, *Beton Bertulang*, Bandung : PT. ERESKO, 1990.
- [9].Yayasan Badan Penerbit PU, *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung*, SKBI-1.3.53.1987, Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, 1987.