

EVALUASI STRUKTUR ATAS BOGOR VALLEY APARTEMEN DAN HOTEL

Anderika Pradhita, Fajar Wahyu Putranto, Sukamta^{*)}, Hardi Wibowo^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Bogor Valley Apartemen dan Hotel mulai dibangun pada November 2012. Gedung ini merupakan gedung bertingkat tinggi yang terdiri dari 2 tower apartemen dan 1 tower hotel. Ketinggian struktur mencapai 63,7 m dengan 22 tingkat serta 2 semi basement pada bagian apartemen, untuk bagian hotel terdiri dari 10 tingkat. Evaluasi struktur atas pada Bogor Valley Apartemen dan Hotel ditinjau berdasarkan SNI gempa 03 – 1726 – 2012. Pemodelan struktur dilakukan semirip mungkin dengan struktur yang telah berdiri. Elemen struktur dimodelkan sesuai dengan detail penampang pada As Built Drawing yang ada. Pembebanan struktur berupa beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Analisis beban gempa berupa analisis gempa dinamis karena struktur memiliki tingkat yang cukup tinggi serta bentuk yang tidak begitu beraturan. Analisis struktur atas menggunakan bantuan program SAP 2000 v14. Evaluasi elemen struktur atas yang berupa plat tangga, plat lantai, balok, kolom dan shear wall menunjukkan bahwa elemen struktur Gedung Bogor Valley Apartemen dan Hotel masih perlu peninjauan ulang lebih mendalam karena terdapat beberapa elemen yang tidak memenuhi persyaratan ketika ditinjau berdasarkan SNI 03 – 2847 – 2002.

kata kunci : *Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), SNI 03-1726-2012, Gempa dinamis, SNI 03 – 2847 – 2002, SAP2000 v14*

ABSTRACT

Bogor Valley Apartment and Hotel was built in November 2012. This high rise building consists of 2 towers of apartment and 1 tower of hotel. The apartment reaches 63,7m high with 22 stories and 2 semi basements and the hotel has 10 stories with no semi basement. This upperstructure evaluation of Bogor Valley Apartment and Hotel is based on Indonesian Seismic Code (SNI 03 – 1726 – 2012). Structure is modeled as similar as possible to existing structure. Structural element represents detail section in As Built Drawing. Loading structure in the form of dead load, live load, and seismic load. This structure has irregular shape and high enough stories so therefore using dynamic seismic load analysis is more suitable. Upper structure analysis is using SAP2000v14. As the result of calculations showed that structural element of Bogor Valley Apartment and Hotel building needs to be reviewed deeper because there are some elements that cant pass the requirements based on analyze of Indonesian Concrete Code (SNI 03 – 2847 – 2002).

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

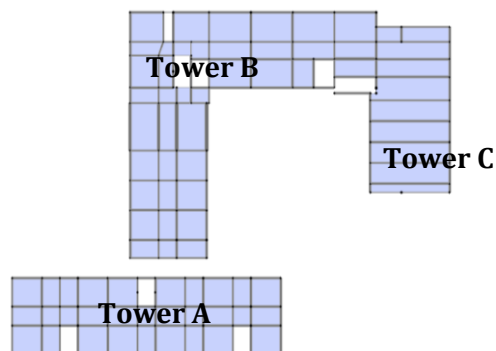
keywords: *Special Moment Resisting Frame System (SMRFS), SNI 03-1726-2012, Dynamic seismic load, SNI 03 – 2847 - 2002, SAP2000 v14*

PENDAHULUAN

Bangunan bertingkat tinggi merupakan upaya optimalisasi pemanfaatan lahan akibat dari bertambahnya penduduk di kota – kota besar. Optimalisasi struktur dilakukan ke arah vertikal disebabkan lahan yang terbatas sehingga struktur akan menjadi semakin tinggi dan analisis pun menjadi semakin kompleks. Evaluasi dilakukan untuk mengetahui kelayakan fungsi gedung yang ditinjau terhadap peraturan terbaru yang berlaku saat ini. Objek yang dijadikan studi evaluasi struktur atas adalah Bogor Valley Apartemen dan Hotel dengan mengacu pada peraturan gempa yang terbaru yaitu SNI 03 – 1726 – 2012.

Bogor Valley Apartemen dan Hotel merupakan salah satu hunian yang terletak di jalan Sholeh Iskandar nomor 5 kota Bogor. Bangunan bertingkat 22 lantai termasuk lantai basement ini terdiri dari 3 tower serta basement yang saling berhubungan. Tower A dan tower B merupakan tower apartemen dengan tinggi 63,7 m dan untuk tower C merupakan bangunan 10 lantai dengan tinggi 32,7 m yang berfungsi sebagai hotel. Terdapat dilatasi pada tower A dan B sebesar 12cm. Konfigurasi tower yang ada dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 1.

Evaluasi hanya meninjau bagian struktur atas dari objek, baik pergerakan struktur maupun kapasitas masing – masing elemen erdasarkan *As built drawing* yang ada. Elemen struktur yang dievaluasi meliputi pelat, tangga, balok, kolom, dan *shearwall*. Evaluasi struktur tidak meninjau metode pelaksanaan konstruksi, manajemen konstruksi, instalasi jaringan listrik, *finishing*, dan lain-lain.



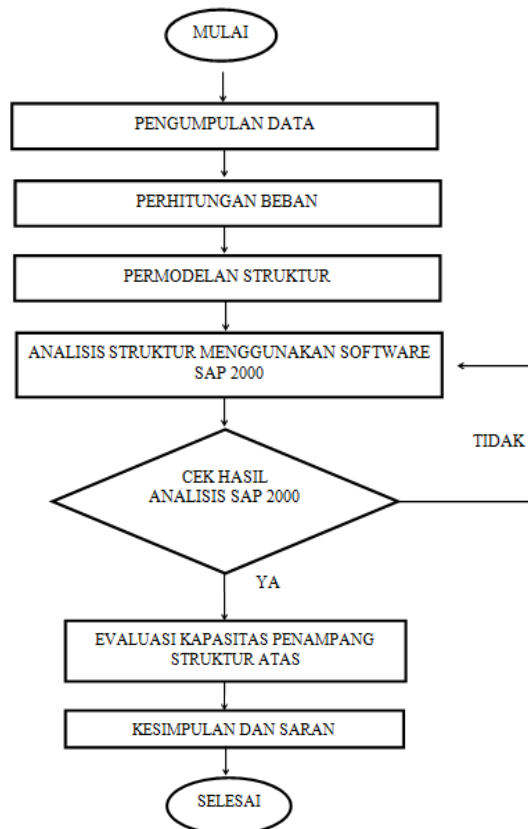
Gambar 1. Denah Tower

METODOLOGI

Pengumpulan data seperti *As built drawing*, data tanah, spesifikasi elemen dilakukan agar struktur dapat dievaluasi dalam kondisi semirip mungkin dengan keadaan yang sebenarnya. Struktur dimodelkan dengan bantuan program SAP2000 v14. Pembebanan struktur dihitung sesuai dengan beban – beban yang ada, baik itu beban mati akibat elemen

struktur, beban mati akibat elemen non struktural, beban hidup, dan beban gempa. Diagram alur evaluasi ini dapat dilihat pada gambar 2.

Evaluasi dibagi menjadi dua bagian yaitu, evaluasi pergerakan struktur yang mengacu pada SNI 03 – 1726 – 2012 (peraturan gempa yang terbaru) dan evaluasi kapasitas elemen yang mengacu pada SNI 03 – 2847 – 2002 (peraturan elemen beton bertulang). Analisis struktur dilakukan terpisah antara tower A dan tower B – C karena terdapat jarak pemisah antar dua struktur tersebut. Hasil analisis struktur dari program SAP kemudian dievaluasi berdasarkan kebutuhan komponen-komponen yang perlu untuk dievaluasi, seperti jarak spasi minimum dilatasi, periode pendekatan fundamental dan yang lain.



Gambar 2. Diagram Alur Evaluasi

Evaluasi elemen struktur dilakukan dengan menghitung syarat presentase tulangan sesuai dengan SNI 03 – 2847 – 2002, perhitungan tebal minimum (pelat lantai dan pelat tangga), perhitungan momen kapasitas, perhitungan geser kapasitas, perhitungan kapasitas lentur dan aksial (kolom dan *shearwall*), perhitungan *beam – column joint*, perhitungan geser kapasitas untuk dinding sesuai SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 13 dan 23. Elemen balok harus dicek terlebih dahulu apakah evaluasi hanya sebatas elemen lentur saja atau termasuk elemen lentur dan aksial. Elemen kolom juga dicek apakah elemen tersebut dievaluasi secara elemen lentur saja atau secara elemen lentur dan aksial. Penentuan elemen dihitung sebagai elemen lentur dan aksial apabila $P_u > 0,1 A_g f_c^{[2]}$, dimana

P_u : gaya aksial yang diterima elemen

A_g : luas penampang struktur

f'_c : kuat tekan beton yang disyaratkan.

Pelat adalah elemen struktur berbentuk bidang tipis yang menahan beban transversal melalui aksi lentur untuk diteruskan menuju masing-masing tumpuan. Langkah-langkah evaluasi pelat lantai adalah sebagai berikut :

1) Sistem pembebanan pelat^[4]

Beban mati (D) : berat sendiri pelat, berat keramik, berat spesi, berat instalasi M/E/P, berat plafond dan penggantung.

Beban hidup (L) : sesuai fungsi bangunan dan fungsi ruangan.

2) Menentukan nilai momen ultimate

Nilai momen ultimate didapatkan dari hasil analisis SAP 2000

3) Pembatasan presentase tulangan^[2]

ρ_{min} diambil yang terbesar dari persamaan $\frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y}$ dan $\frac{1,4}{f_y}$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b$$

4) Perhitungan kapasitas penampang pelat

Perhitungan kapasitas momen yang mengacu pada Gambar 3 diuraikan sebagai berikut.

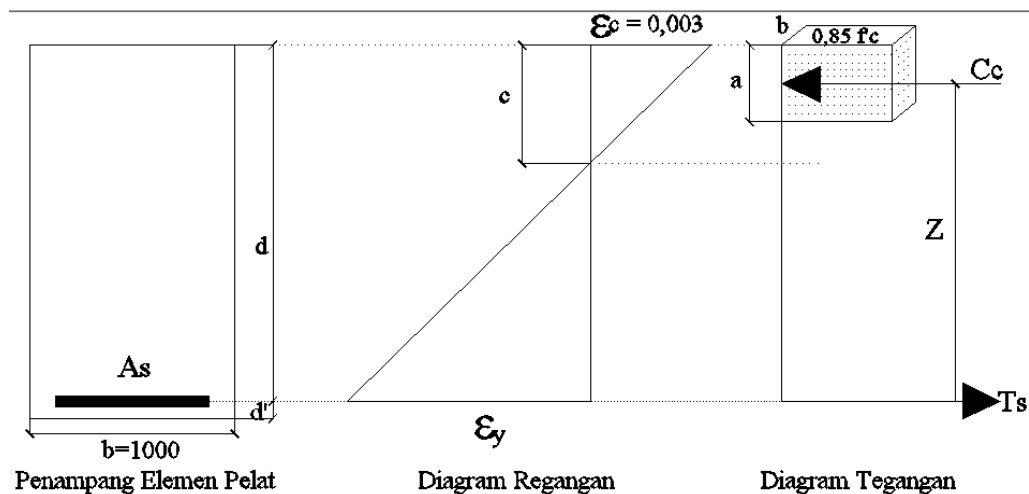
$$M_n = T_s \cdot Z = C_c \cdot Z$$

$$T_s \cdot Z = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot Z$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$M_n = T_s \cdot Z$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{A_s \cdot f_y}{2 \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot b}\right) \\ &= A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\rho \cdot b \cdot d \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c \cdot b}\right) \\ &= A_s \cdot f_y \cdot d \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f'_c}\right) \end{aligned}$$



Gambar 3. Diagram Stress Block Pelat

Struktur pelat dinyatakan kuat apabila nilai

$$M_u < \phi M_n$$

f_c' : Kuat tekan beton

f_y : Kuat leleh baja tulangan

d : Jarak dari serat tekan terluar ke tulangan tarik

M_n : Momen kapasitas

ϕ : Faktor reduksi 0,85

b : Lebar pelat per meter panjang

ρ : Rasio tulangan tarik

A_s : Luas tulangan tarik

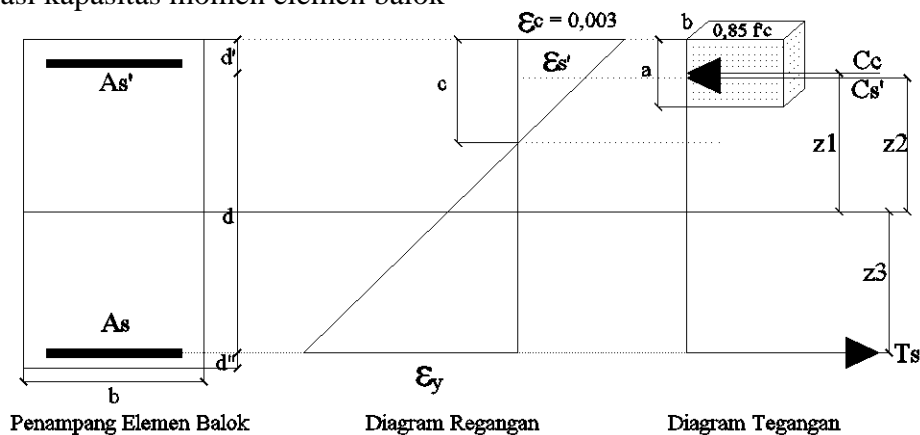
Balok adalah elemen struktur yang menahan beban transversal melalui aksi lentur untuk diteruskan menuju masing-masing tumpuan. Langkah-langkah evaluasi balok adalah sebagai berikut :

- 1) Gaya aksial tekan terfaktor yang bekerja pada komponen struktur tidak melebihi $0.1 A_g f_c'^{[2]}$
- 2) Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektif elemen struktur^[2]
- 3) Perbandingan lebar terhadap tinggi balok tidak boleh kurang dari 0,3^[2]
- 4) Lebar balok tidak boleh kurang dari 250 mm atau tidak boleh lebih dari lebar kolom penumpu^[2]
- 5) Pembatasan presentase tulangan^[2]

ρ_{min} diambil yang terbesar dari persamaan $\frac{\sqrt{f_c}}{4f_y}$ dan $\frac{1,4}{f_y}$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b$$

- 6) Evaluasi kapasitas momen elemen balok



Gambar 4. Diagram *Stress Block* Balok

Perhitungan kapasitas momen yang mengacu pada Gambar 3 diuraikan sebagai berikut.

$$C_s' + C_c = T_s$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s = A_s \cdot f_y$$

$$0,85^2 \cdot f_c' \cdot b \cdot c^2 + (A_s' \cdot 600 - A_s \cdot f_y) \cdot c$$

$$- A_s' \cdot 600 \cdot d'' = 0$$

$$x = 0,85^2 \cdot f_c' \cdot b$$

$$y = (As' \cdot 600 - As \cdot fy)$$

$$z = -As' \cdot 600 \cdot d''$$

dari persamaan di atas didapat nilai

$$c = \frac{-y \pm \sqrt{y^2 - 4xz}}{2x}$$

$M_n = \Sigma$ Momen terhadap pusat plastis balok

$$M_n = C_c \cdot Z_1 + C_s' \cdot Z_2 + T_s \cdot Z_3$$

M_{pr} = Momen Probable yang merupakan momen – momen ujung didasarkan pada tegangan tarik $1,25f_y$ dimana f_y adalah kuat leleh yang disyaratkan^[2]. Struktur balok dinyatakan kuat apabila nilai $\mu < \phi M_n$.

f_c' : Kuat tekan beton

f_y : Kuat leleh baja tulangan

c : Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral

a : Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen

d' : Jarak dari serat tekan terluar ke tulangan tekan

d'' : Jarak dari serat tarik terluar ke tulangan tarik

b : Lebar balok

ρ : Rasio tulangan tarik

A_s : Luas tulangan tarik

A_s' : Luas tulangan tekan

Z_1 : Jarak dari gaya desak beton ke pusat plastis balok

Z_2 : Jarak dari gaya desak tulangan tekan ke pusat plastis balok

Z_3 : Jarak dari gaya tarik tulangan tarik ke pusat plastis balok

7) Evaluasi kapasitas geser elemen balok

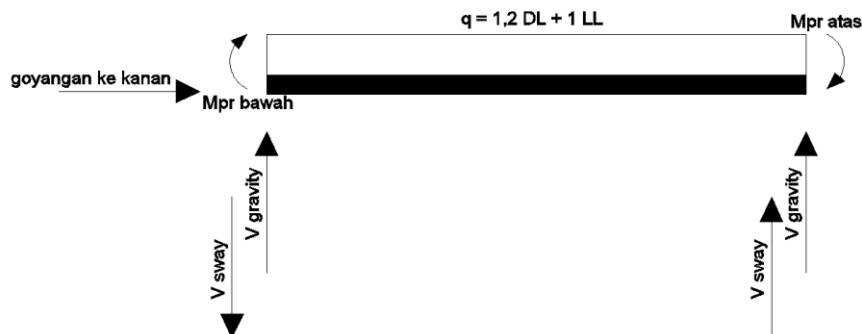
Besar gaya geser yang dibutuhkan merupakan hasil dari gaya geser pengaruh dari beban gravitasi dan momen probable.

Kondisi balok akibat goyangan ke kanan digambarkan pada gambar 5.

$$V_u = V_{sway} \pm V_{gravity}$$

$$V_s = V_c + \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{s}$$

Struktur balok dinyatakan kuat apabila nilai $V_u < \phi V_s$.



Gambar 5. Kondisi Balok Akibat Goyangan ke Kanan

Kolom adalah elemen struktur yang menahan lentur dan aksial. Langkah–langkah evaluasi kolom adalah sebagai berikut.

- 1) Menggunakan diagram interaksi kolom.
- 2) Pengecekan kelangsingan kolom seperti pada SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 12.11.
- 3) Evaluasi lentur biaksial menggunakan metode Bresler

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_{no}}$$

Struktur balok dinyatakan kuat apabila nilai $P_u < \phi P_n$.

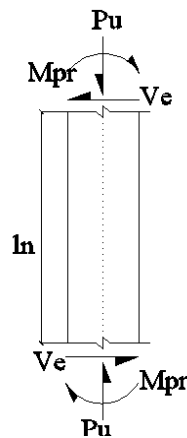
- 4) Evaluasi kapasitas geser kolom

Besar gaya geser yang dibutuhkan merupakan hasil dari gaya geser pengaruh dari momen probable yang dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 6.

$$V_e = (M_{pr_{atas}} + M_{pr_{bawah}}) / l_n$$

$$V_s = V_c + \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{s}$$

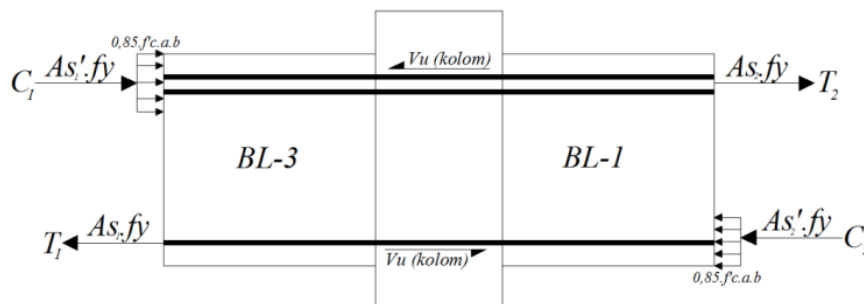
Struktur kolom dinyatakan kuat apabila nilai $V_e < \phi V_s$.



Gambar 6. Gaya – Gaya pada Kolom

Evaluasi *Shearwall* sama seperti kolom hanya terdapat komponen – komponen tambahan yang perlu dievaluasi dalam hal geser elemen yang tertera pada SNI 03 – 2847 – 2012 pasal 13.10 dan 23.6.

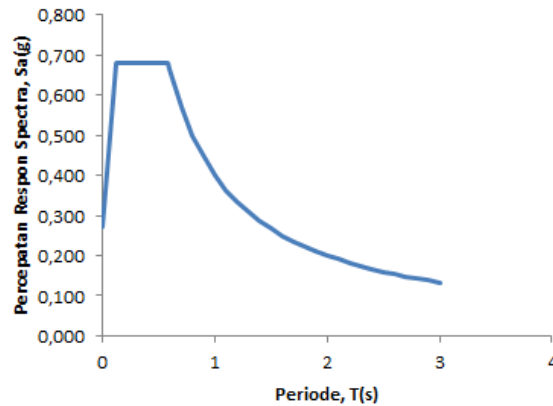
Evaluasi *beam – column joint* dihitung berdasarkan gaya – gaya yang bekerja pada *joint*, yaitu geser balok dan kolom yang tidak boleh melebihi batas $V_n = 1,7 \sqrt{f'_c} A_j$ untuk *joint* yang terkekang keempat sisinya^[2]. Kapasitas *joint* yang terkekang pada ketiga atau kedua sisinya adalah $V_n = 1,25 \sqrt{f'_c} A_j$ ^[2]. Gaya – gaya yang bekerja pada *joint* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Gaya – Gaya yang Bekerja pada *Joint*

ANALISIS STRUKTUR ATAS

Pembebanan struktur akibat beban gravitasi berdasarkan peraturan PPURG 1987 yaitu beban mati (*Dead Load*) dan beban hidup (*Live Load*) yang mengacu pada fungsi masing – masing ruang serta beban – beban tambahan pada ruang tersebut. Pembebanan akibat gempa berdasarkan SNI 03 – 1726 – 2012 yang menghasilkan respon spektrum seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Respon Spektrum Desain

Pemodelan struktur dilakukan dengan metode *closed frame building* dimana struktur pelat juga dimodelkan dalam struktur, tidak hanya menjadi beban ekivalen ke balok dimana konfigurasi penampang elemen – elemen struktur mengacu pada *As Built Drawing* yang ada. Analisis dengan bantuan SAP2000 v14 dilakukan terpisah antara tower A dan tower B karena terdapat dilatasi di antara kedua struktur tersebut sebesar 12 cm. Pada struktur tangga dimodelkan terpisah, lalu hasil dari reaksi tangga diinput ke model struktur utama.

Analisis struktur dilakukan dengan bantuan SAP2000v14 dengan penginputan *section properties* yang sesuai *As built drawing* dan pembebanan yang sesuai fungsi ruang serta beban tambahan. Pembebanan gempa merupakan hasil dari massa struktur dikalikan dengan percepatan^[5]. Massa struktur didefinisikan dari elemen struktur serta kombinasi pembebanan akibat gravitasi, sedangkan percepatan struktur merupakan input respon spektrum pada Gambar 8. Input *Load Case* beban gempa harus dikalikan *scale factor* $\frac{g \cdot I^{[5]}}{R}$, dimana :

- g : percepatan gravitasi
- I : faktor keutamaan gempa (Tabel 2 SNI 03 – 1726 – 2012)
- R : koefisien untuk sistem penahan gempa (Tabel 9 SNI 03 – 1726 – 2012)

EVALUASI STRUKTUR ATAS

Evaluasi struktur atas ditinjau sebagai berikut :

1) Pengecekan Ketidakberaturan Struktur^[1]

SNI 03 – 1726 – 2012 pasal 7.3.2 menjelaskan ketidakberaturan horizontal dan vertikal. Struktur yang ditinjau merupakan struktur dengan ketidakberaturan horizontal (1a) menurut tabel 10 dan tabel 11 SNI 03 – 1726 – 2012.

$$\delta_{avg} = 0,0265$$

$$\delta_{max} = 0,0431$$

$$1,2\delta_{avg} < \delta_{max} < 1,4\delta_{avg}$$

- Perhitungan di atas menunjukkan bahwa struktur mengalami ketidakberaturan torsi (1a.) sehingga gaya desain harus ditingkatkan sebesar 25% pada join.
- 2) Pengecekan Periode Pendekatan Fundamental^[1]
 SNI 03 – 1726 – 2012 pasal 7.8.1 dan 7.8.2 menjelaskan batasan maksimal dari periode pendekatan

$$T_{max} = C_u \times T_a$$

$$= 1,4 \times 1,96 = 2,743 \text{ s}$$
 Hasil SAP menunjukkan periode fundamental adalah
 $T_1 = 2,4265 \text{ s}$
 $T_2 = 2,3286 \text{ s}$
 - 3) Pengecekan Partisipasi Massa^[1]
 SNI 03 – 1726 – 2012 pasal 7.9.1 menjelaskan tentang partisipasi massa minimal 90%. Hasil dari analisis menunjukkan partisipasi massa mencapai 90,55% dan 93,07% pada ragam ke 12.
 - 4) Pengecekan *Base Shear*^[1]
 SNI 03 – 1726 – 2012 pasal 7.9.4.1 menjelaskan tentang skala gaya akibat *base shear* yang terjadi (dinamis) > *base shear* hitungan (statik). Peninjauan *base shear* pada tower A.
 $V_{statik} = 442,16 \text{ ton}$
 $V_{dinamis} = 379,992 \text{ ton}$
 $V_d > 0,85 V_s$
 (Tidak diperlukan amplifikasi)
 - 5) Pengecekan Simpangan Antar Lantai^[1]
 SNI 03 – 1726 – 2012 pasal 7.12.1 menjelaskan syarat simpangan antar lantai adalah $\Delta_i < 0,010 \times h_{sx}$
 Dimana
 Δ_i = simpangan antar lantai
 h_x = tinggi struktur.
 $\Delta_i < 0,010 \times 6370 = 63,7 \text{ mm}$
 $16,37 < 63,7$ (Terpenuhi)
 - 6) Pengecekan Spasi Dilatasi^[1]
 SNI 03 – 1726 – 2012 pasal 7.12.3 menjelaskan jarak minimum pemisah antar gedung adalah $\delta_{MT} = \sqrt{(\delta_{M1})^2 + (\delta_{M2})^2}$, dimana
 δ_{M1} dan δ_{M2} : jarak perpindahan maksimum struktur yang bersebelahan
 $\delta_{MT} = 0,363\text{m} = 36,3\text{cm} >$ dilatasi yang ada (12cm).

EVALUASI ELEMEN STRUKTUR

Perhitungan evaluasi elemen struktur atas meninjau elemen tangga penghubung lantai SB1 – GF, pelat lantai GF elemen 182, Balok B1 elemen 444, Kolom K1 elemen 6976, *Shearwall*(SW) penghubung lantai GF – 2. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa terdapat beberapa elemen yang tidak memenuhi persyaratan SNI 03 – 2847 – 2002, seperti geser balok B1 memiliki kapasitas geser sebesar 14,45 ton untuk kebutuhan geser sebesar 17,94 ton sehingga penulangan geser yang diperlukan seharusnya 3D10 – 150 dan presentase minimum pada tulangan tangga tipe I kurang dari syarat minimum, yaitu $\rho_{min} > \rho_{hitung} = 0,0035 > 0,0025$ sehingga tulangan minimum yang terpasang seharusnya d10 – 120.

KESIMPULAN

Hasil evaluasi struktur atas Bogor Valley Apartemen dan Hotel yang mengacu pada peraturan gempa terbaru SNI 03 – 1726 – 2012 menunjukkan ada syarat yang tidak terpenuhi, yaitu jarak pemisah antar gedung. Jarak pemisah antar gedung minimum yang merupakan hasil analisis berdasarkan SNI 03 – 1726 – 2012 dengan menggunakan bantuan program SAP 2000v14 adalah 36,3 cm, sedangkan dilatasi pada struktur yang terbangun hanya 12 cm. Evaluasi elemen struktur atas juga menunjukkan syarat yang tidak terpenuhi mengacu pada peraturan struktur beton pada gedung SNI 03 – 2847 – 2002 seperti presentase tulangan minimum pada tangga tipe I, yaitu $\rho_{min} > \rho_{hitung}$ geser.

kapasitas balok pada B1 yang tidak mampu menahan gaya geser akibat momen probabel. Hasil evaluasi ini perlu ditinjau lebih dalam terkait dengan pembebanan dan model struktur yang mungkin terdapat perbedaan antara penulis dan perencana struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 03-1726-2012. Bandung: BSN. [1]
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, SNI 03-2847-2002. Bandung: BSN. [2]
- Chu-Kia Wang, and Charles G. Salmon. 1994. Disain Beton Bertulang. Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga. v [3]
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. Peraturan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung. Bandung: Yayasan Penyelidikan Masalah Bangunan Gedung. M. [4]
- Satarno, Iman, Purbolaras Nawangalam, dan Indra Pratomo. 2012. Belajar SAP2000 Analisis Gempa. Yogyakarta: Zamil Publishing. [5]