

ANALISIS STRUKTUR RUMAH TINGGAL 3 LANTAI AKIBAT PENAMBAHAN PEMBEBANAN MINI TOWER 20 M DAN BTS (BASE TRANSCIEVER STATION)

Studi Kasus Rumah Tinggal 3 Lantai Di Banjarmasin Kalimantan Selatan

(Analysis Of The Structure Of a 3-Storey Residential House Due To Additional Loading Mini Tower 20 m and BTS (Base Transceiver Station) Case Study 3-Storey Residential House In Banjarmasin, South Kalimantan)

Aprenius Gultom¹, Fadli Kurnia¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pancasila, Jakarta

E-mail: 4219215008@univpancasila.ac.id

Diterima 6 Maret 2023, Disetujui 14 April 2023

ABSTRAK

Untuk mengimbangi kebutuhan dalam berkomunikasi diperlukan adanya pembangunan sarana yang menunjang perluasan jaringan telekomunikasi, seperti menara telekomunikasi dan BTS (*Base Transceiver Station*). Dalam Penelitian ini adalah sebuah rumah tinggal tiga lantai di daerah Banjarmasin, Kalimantan Selatan yang akan di tambahkan *mini tower* 20 m beserta BTS pada *rooftop* bangunan tersebut. Studi Kasus dalam Penelitian ini sebelumnya sudah pernah dianalisis menggunakan SNI 2002 akan tetapi tidak memperhitungkan Faktor beban Gempa, Oleh karena itu dalam Penelitian ini akan menganalisis struktur bangunan *existing* menggunakan SNI yang terbaru dengan menambahkan faktor beban gempa 2002 dan gempa 2019, dengan tujuan untuk memastikan keamanan struktur bangunan *existing*. Metode perencanaan dengan menggunakan sitem rangka beton bertulang pemikul momen menengah (SRPMM). Untuk perencanaan ketahanan gempa dengan menggunakan 2 pedoman yaitu SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2019. Perbandingan nilai gaya geser dasar seismik dengan SNI 03-1726-2019 adalah 11713,36281 kg, masih lebih besar daripada SNI 03-1726-2002 dengan nilai 9228,71 kg. Akibat pengaruh pembebanan *mini tower* 20m beserta BTS dan faktor beban gempa dengan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2019 maka didapatkan 4 struktur balok *existing*, momen negatifnya tidak memenuhi syarat aman karena momen yang terjadi melebihi kapasitas balok (memerlukan perkuatan). Hasil dari analisis, balok diperkuat dengan material CFRP – Carbon dengan tipe FRS-CS N300 1 Lapis dengan lebar 100mm untuk 3 balok dan 1 balok lagi diperkuat dengan 2 lapis FRS-CS N300 dengan lebar 100mm.

Kata Kunci : *Mini Tower*, BTS, Beton Bertulang, HILTI, CFRP

ABSTRACT

To balance the need for communication, it is necessary to have development facilities that support the expansion of telecommunications networks, such as telecommunication towers and BTS (Base Transceiver Station). In this final project, there is a three-storey residential house in the Banjarmasin area, South Kalimantan, which will be added with a 20 m mini tower and BTS on the rooftop of the building. The case studies in this research have previously been analyzed using SNI 2002 but did not count the earthquake load factor to ensure the safety of existing structures. The planning method uses an intermediate moment-bearing reinforced concrete frame system (SRPMM). For planning earthquake resistance using 2 guidelines, namely SNI 03-1726-2002 and SNI 03-1726-2019. Comparison of the Seismic Base Shear Force Value with SNI 03-1726-2019 is 11713.36281 kg, still greater than SNI 03-1726-2002 with a value of 9228.71 kg. Due to the influence of the loading of the 20m mini tower along with the BTS and the earthquake load factor on SNI 03-1726-2002 and SNI 03-1726-2019, 4 existing beam structures were obtained. The negative moments do not meet the safe requirements because the moments that occur exceed the beam capacity (requires reinforcement). The results of the analysis, the beams are reinforced with CFRP – Carbon material with 1 layer FRS-CS N300 type with a width of 100mm for 3 beams and 1 beam again reinforced with 2 layers of FRS-CS N300 with a width of 100mm.

Keywords: *Mini Tower*, BTS, Reinforced Concrete, HILTI, CFRP

PENDAHULUAN

Jaringan telekomunikasi adalah merupakan perangkat telekomunikasi yang berfungsi sebagai alat penghubung bagi manusia untuk dapat saling bertukar informasi baik dengan cara berbicara, menulis pesan atau gambar melalui media elektronik yang dapat disampaikan dengan waktu yang cukup singkat. Untuk mengimbangi kebutuhan dalam berkomunikasi diperlukan adanya pembangunan sarana yang menunjang perluasan jaringan telekomunikasi, seperti menara telekomunikasi dan BTS (*Base Transceiver Station*) [1].

Pemilihan jenis menara tersebut sangat tergantung pada ketinggian antena yang diperlukan oleh operator seluler, ketersediaan lahan, keamanan dan kondisi lingkungan. Ketersediaan lahan merupakan salah satu kendala yang sering terjadi dalam pembangunan menara telekomunikasi khususnya di daerah perkotaan yang sudah padat oleh pemukiman penduduk. Salah satu solusi terkait kendala ketersediaan lahan tersebut adalah dengan memanfaatkan bangunan *existing* sebagai tempat berdirinya menara telekomunikasi.

Studi kasus dalam Penelitian ini yaitu sebuah rumah tinggal tiga lantai di daerah Banjarmasin, Kalimantan Selatan akan dibangun atau ditambahkan pembebanan *mini tower* 20 m beserta *shelter* BTS untuk operator Telkomsel, operator XL dan *genset* pada *rooftop* bangunan tersebut. Dalam Penelitian ini analisis struktur bangunan *existing* menggunakan SNI yang terbaru dengan menambahkan faktor beban gempa 2002 dan gempa 2019, dengan tujuan untuk memastikan keamanan struktur bangunan *existing*. Hasil analisis dengan SNI terbaru dengan menambahkan faktor beban gempa dikhawatirkan tidak memenuhi syarat aman mengingat mutu beton bangunan *existing* yang tergolong kecil, sehingga diperlukan suatu metode perkuatan.

Tujuan dari Penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui cara analisis struktur rumah tinggal 3 lantai akibat Penambahan beban Mini tower 20 m dan BTS (*Base Transceiver Station*).
2. Mengetahui nilai *stress ratio* struktur *existing* bangunan akibat Penambahan beban
3. Mengetahui metode perkuatan (*strengthening methode*) terhadap *existing* bangunan yang mengalami *over stress* (*stress ratio* > 1,0).
4. Mengetahui hasil perbandingan analisis struktur bangunan *existing* dengan beban gempa 2002 dan beban gempa 2019.

METODE

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Kuantitatif, yaitu diawali dengan mempelajari beberapa literatur kemudian dilanjutkan dengan melakukan perhitungan (analisis struktur) rumah tinggal 3 lantai yang merupakan stuktur beton bertulang. Analisis terhadap struktur tambahan yang berfungsi sebagai penopang menara telekomunikasi mini tower 20 m menggunakan *base frame*. *Base frame* dan *shelter* BTS perlu diperhitungkan dengan baik agar menara telekomunikasi yang akan dibangun tepat guna, tidak membahayakan dan memberi rasa aman pada

penghuni serta masyarakat sekitar. Untuk mencapai hal - hal tersebut maka dilakukan langkah - langkah metodologi analisis struktur sebagai berikut :

1. Mempelajari Kajian Literatur
2. Pengumpulan data Primer dan data sekunder
3. Pengolahan data
4. Perencanaan *Base frame* dan *acnchor Base Plate*
5. Pemodelan struktur bangunan *existing* dengan menambahkan beban mati, beban hidup, beban *mini tower* 20m, beban operator, serta beban gempa 2002 dan beban gempa 2019.
6. Evaluasi struktur bangunan *existing*, jika hasil analisis struktur aman maka dilanjutkan dengan kesimpulan. Apabila hasil analisis struktur tidak aman maka dilanjutkan dengan analisis perkuatan struktur bangunan *existing* kemudian dilanjutkan dengan kesimpulan.

Lokasi

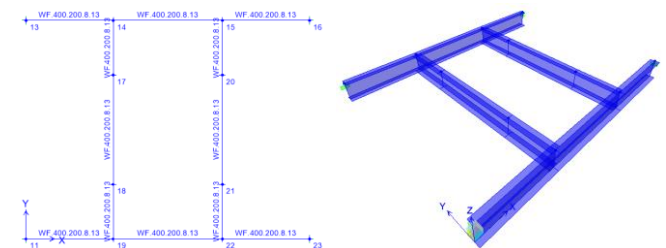
Berikut deskripsi singkat mengenai penelitian ini:

<i>Coordinate Latitude</i>	: -3.32463°S
<i>Coordinate Longitude</i>	: 114.59513°E
Lokasi bangunan	: Banjarmasin, Kal. Selatan
Fungsi bangunan	: Rumah toko
Material struktur	: Beton bertulang
Jenis struktur atap	: Dak beton
Luas bangunan	: ± 205,9 m ²
Luas area sewa	: 12 x 12 m
Tinggi bangunan	: 9,8 m
Jumlah Lantai	: 3 lantai

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan Base Frame

Dalam perencanaan *base frame* beban yang dimasukkan adalah hasil *support reaction* yang terbesar dari hasil *MS Tower mini tower* 20m.



Gambar 1 Pemodelan struktur *base frame*

Kombinasi pembebanan yang digunakan untuk perhitungan *base frame* adalah:

Kombinasi 1 = 1,2DL + 1,0T1

Kombinasi 2 = 1,2DL + 1,0T2

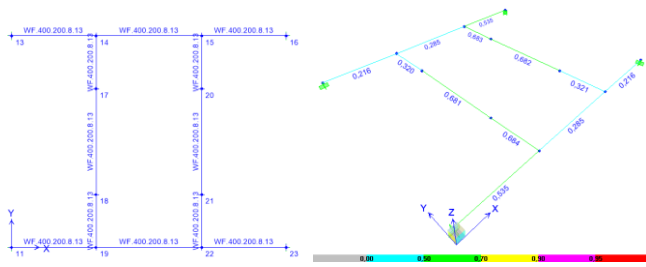
Keterangan:

DL= Beban Mati (Berat sendiri dari semua bagian struktur bangunan yang terpasang)

T1= Pembebanan *base frame* reaksi titik 1

T2= Pembebanan *base frame* reaksi titik 2

Hasil analisis struktur *base frame* dengan menggunakan profil WF 400 x 200 x 8 x 13, adalah sebagai berikut :



Gambar 2 Preview Maximum Stress Ratio Base Frame

Tabel 1 Maximum Stress Ratio Base Frame

Beam	Allowable Stress Ratio - Aall*	Maximum Stress Ratio - Amax.**	Check (Aall > Amax.)
B13	1	0,216	OK!
B14	1	0,285	OK!
B15	1	0,535	OK!
B16	1	0,32	OK!
B17	1	0,681	OK!
B18	1	0,684	OK!
B19	1	0,683	OK!
B20	1	0,682	OK!
B21	1	0,321	OK!
B22	1	0,535	OK!
B23	1	0,285	OK!
B24	1	0,216	OK!

Dari data tabel diatas dapat diketahui bahwa nilai *Maximum Stress Ratio Base Frame* berada pada *beam* B18 dengan nilai $0,684 \leq 1$ OK. Dengan hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa WF 400 x 200 x 8 x 13 masih mampu menahan beban *tower* beserta perangkatnya.

Tabel 2 Support Reaction Base Frame

Point	FX kN	FY kN	FZ kN	MX kN.m	MY kN.m	MZ kN.m
11	8,19	9,7	-84,17	-0,045	74,322	8,282
11	8,32	9,83	113,85	0,059	-106,264	8,421
13	6,83	5,22	10,12	0,046	-30,103	5,945
13	6,39	5,69	19,58	-0,059	-1,837	6,256
16	8,32	9,84	113,85	-0,059	106,259	-8,421
16	8,19	9,7	-84,17	0,045	-74,329	-8,282
23	6,39	5,69	19,58	0,059	1,842	-6,256
23	6,83	5,22	10,12	-0,046	30,11	-5,945

Analisis Angkur Baja dan Base Plate

Beban yang bekerja pada angkur dan *base plate* adalah gaya tarik maksimum dari *support reaction base frame*.

Desain angkur dan base plate dengan Hilti Profis Engineering-3.0.81

Berdasarkan pemodelan *angkur* dan *base plate* maka dapat diketahui hasil analisis dengan program komputer (*Hilti Profis Engineering-3.0.81*) [2].

Angkur dan *base plate* yang dihasilkan menggunakan spesifikasi sebagai berikut :

- Jenis Angkur : Angkur Hilti HAS-U 5.8
- Jenis Chemical : HIT-RE 500 V3
- Diameter Angkur : 24 mm

- Min. Kedalaman Angkur : 310 mm
- Panjang Angkur : 450 mm
- Tebal *Base Plate* : 16 mm
- Lebar *Base Plate* : 200 mm
- Panjang *Base Plate* : 850 mm + 450 mm =1300mm

Desain angkur dan base plate dengan Mathcad

Berdasarkan Perhitungan manual dengan bantuan program komputer Mathcad didapatkan kebutuhan angkur sebagai berikut:

- Jenis Angkur : Angkur Fischer
- Jenis Chemical : FIS V 360S
- Diameter Angkur : 20 mm
- Minimum Kedalaman Angkur : 190 mm
- Panjang Angkur : 290 mm
- Tebal *Base Plate* : 16 mm
- Lebar *Base Plate* : 200 mm
- Panjang *Base Plate* : 700 mm + 350 mm = 1050 mm

Analisis Struktur Existing

Pemodelan struktur *existing* dilakukan dengan bantuan program komputer ETABS V.9.7.4, dengan input data sebagai berikut :

Material Properties

Sifat mekanis beton yang digunakan, yaitu :

- Berat Jenis Beton : $\gamma = 2.400 \text{ kg/m}^3 = 23,536 \text{ kN/m}^3$
- Rasio Poisson : $\mu = 0,2$
- Koefisien Pemuaian : $\alpha = 9,9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
- Mutu baja tulangan digunakan adalah Bj.TD 24, sehingga:
- Tegangan Putus Minimum : $f_u = 390 \text{ Mpa}$
- Tegangan Leleh Minimum : $f_y = 240 \text{ MPa}$

Dari hasil uji *hammer test* didapatkan nilai mutu beton yang cukup rendah atau kecil. Oleh karena itu dalam analisis penggunaan mutu beton yang digunakan adalah mutu beton aktual lapangan atau dibawah standar yang biasanya digunakan untuk rumah tinggal. Berikut ini adalah perhitungan modulus elastisitas berdasarkan mutu beton struktur bangunan *existing*.

Modulus Elastisitas Kolom :

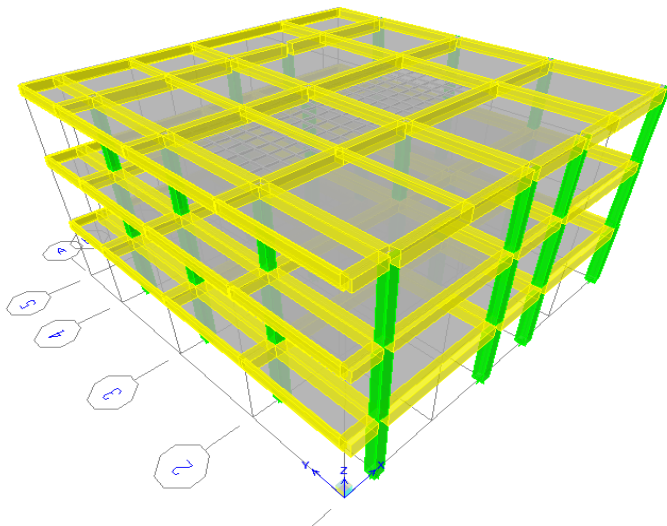
$$E = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{21,0474} = 21.562,19446 \text{ MPa}$$

Modulus Elastisitas Balok :

$$E = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{10,4815} = 15.215,95511 \text{ MPa}$$

Modulus Elastisitas Pelat Lantai :

$$E = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{11,605} = 16.011,07273 \text{ Mpa}$$



Gambar 3 Pemodelan Struktur Bangunan Existing

Pembebanan Struktur Existing

Pembebanan yang dilakukan dalam analisis struktur meliputi beban mati struktur, beban mati tambahan, beban hidup struktur, beban operator, beban mini tower 20m dan beban gempa.

Beban Gempa (Earthquake Load)

1. Beban Gempa SNI 1726:2002

- Penentuan Kategori Gedung dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Gedung :Gedung umum seperti untuk perumahan, perniagaan dan perkantoran

Faktor keutamaan (I) : I1 . I2 = 1 . 1 = 1

- Wilayah gempa dan spektrum respons
Percepatan Puncak Batuan Dasar, A = 0,03
Percepatan Maksimum Permukaan Tanah, Ao= 0,05
- Spektrum Respons Desain
Tc = 0,6 detik
Am = 0,13 detik
Ar = 0,08 detik

Dengan menetapkan percepatan respons maksimum Am sebesar:

$Am = 2,5 \cdot Ao = 2,5 \cdot 0,05 = 0,125$ detik

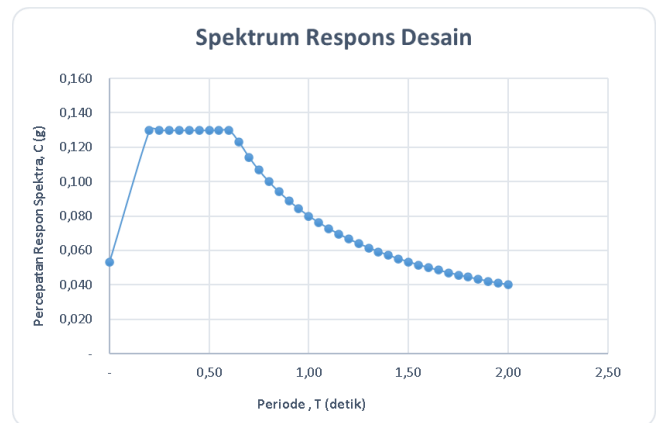
Faktor Respons Gempa C ditentukan oleh persamaan dengan persamaan sebagai berikut [3]:

- Untuk $T \leq Tc$:
 $C = Am = 0,125$
- Untuk $T > Tc$:
 $Ar = Am \cdot Tc = 0,125 \cdot 0,6 = 0,075 = 0,08$
 $C = Ar / T = 0,08 / 0,65 = 0,12$

Tabel 3 Spektrum Respon Desain

	T	C
T0 = 0	-	0,053
T ≤ Tc	0,20	0,130
	0,25	0,130
	0,30	0,130
	0,35	0,130
	0,40	0,130
	0,45	0,130
	0,50	0,130

	0,55	0,130
	0,60	0,130
T > Tc	0,65	0,123
	0,70	0,114
	0,75	0,107
	0,80	0,100
	0,85	0,094
	0,90	0,089
	0,95	0,084
	1,00	0,080
	1,05	0,076
	1,10	0,073
	1,15	0,070
	1,20	0,067
	1,25	0,064
	1,30	0,062
	1,35	0,059
	1,40	0,057
	1,45	0,055
	1,50	0,053
	1,55	0,052
	1,60	0,050
	1,65	0,048
	1,70	0,047
	1,75	0,046
	1,80	0,044
	1,85	0,043
	1,90	0,042
	1,95	0,041
	2,00	0,040



Gambar 4 Kurva Spektrum Respons Desain

- Pembatasan waktu getar alami fundamental
 $T1 < \zeta n$
 $T1 < 0,20 \cdot 3$
 $T1 < 0,6$
Nilai koefisien ζ ditetapkan menurut Tabel 8 SNI 1726-2002 : $\zeta = 0,20$
- Menentukan Sistem Pemikul Gaya Seismik koefisien Faktor daktilitas maksimum (μm) = 3,3 faktor reduksi gempa maksimum (Rm) = 5,5 faktor tahanan lebih struktur dan faktor tahanan lebih total beberapa jenis sistem dan subsistem struktur gedung (f) = 2,8
- Gaya Geser Dasar Seismik (V)

$$V_x = \frac{C_1 \cdot I}{R} \cdot W_t$$

$$= \frac{0,13 \cdot 1}{5,5} \cdot 390445,4271$$

$$= 9228,71 \text{ kg}$$

$$V_y = \frac{C_1 \cdot I}{R} \cdot W_t$$

$$= \frac{0,13 \cdot 1}{5,5} \cdot 390445,4271$$

$$= 9228,71 \text{ kg}$$

2. Beban Gempa SNI 1726:2019

- Penentuan Kategori Resiko Faktor Keutamaan Gempa

Kategori resiko (I) : II (jenis pemanfaatan rumah toko dan rumah kantor)

Faktor keutamaan (Ie) : 1

- Penentuan S_s dan S₁ serta Penentuan Klasifikasi Situs Tanah

S_s = 0,13 g

S₁ = 0,08 g

- Faktor Koefisien Situs

F_a = 1,6

F_v = 2,4

Hitung S_{MS} dan S_{M1} :

Periode 0,2 detik S_{MS} = F_a x S_s S_{MS} = 0,20 g

Periode 1 detik S_{M1} = F_v x S₁ S_{M1} = 0,18 g

- Parameter Percepatan Spektral Desain

Hitung S_{DS} dan S_{D1} :

Periode 0,2 detik S_{DS} = 2/3 x S_{MS} S_{DS} = 0,13 g

Periode 1 detik S_{M1} = 2/3 x S_{M1} S_{D1} = 0,12 g

- Menghitung periode transisi

T_s = SD1 / SDS Ts = 0,90 detik

T₀ = 0,2 x Ts T₀ = 0,18 detik

TL = 6 < TL < 20 detik TL = 12 detik

- Spektrum Respons Desain

Untuk T < T₀, maka spektrum respons percepatan desain, S_a : T = 0 detik.

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0})$$

S_a = 0,13 (0,4)

S_a = 0,05

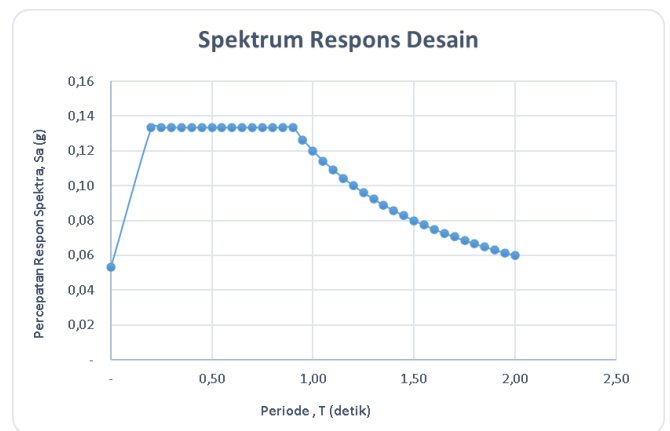
Untuk T > T₀ dan ≤ T_s, spektrum respons percepatan desain, S_a = S_{DS}

Untuk T ≥ T_s dan ≤ TL, maka spektrum respons percepatan desain dihitung sebagai berikut : S_a = S_{D1} / T [4].

Tabel 4 Spektrum Respon Desain

	T	Sa
T ₀ = 0	-	0,05
T ≥ T ₀ ≤ T _s	0,20	0,13
	0,25	0,13
	0,30	0,13
	0,35	0,13
	0,40	0,13
	0,45	0,13
	0,50	0,13
	0,55	0,13
	0,60	0,13

	T	Sa
	0,65	0,13
	0,70	0,13
	0,75	0,13
	0,80	0,13
	0,85	0,13
T ≥ T _s	0,90	0,13
	0,95	0,13
	1,00	0,12
	1,05	0,11
	1,10	0,11
	1,15	0,10
	1,20	0,10
	1,25	0,10
	1,30	0,09
	1,35	0,09
	1,40	0,09
	1,45	0,08
	1,50	0,08
	1,55	0,08
	1,60	0,08
	1,65	0,07
	1,70	0,07
	1,75	0,07
	1,80	0,07
	1,85	0,06
	1,90	0,06
	1,95	0,06
	2,00	0,06



Gambar 5 Kurva Spektrum Respons Desain

- Kategori Desain Seismik
 Nilai S_{DS} sebesar 0,13 dengan kategori risiko II, maka KDS yang dihasilkan yaitu A, karena nilai S_{DS} < 0,167.
 Nilai S_{D1} sebesar 0,12 dengan kategori risiko II, maka KDS yang dihasilkan yaitu B, karena nilai 0,067 ≤ S_{D1} ≤ 0,133
- Menentukan Sistem Pemikul Gaya Seismik
 koefisien modifikasi respons (R) = 5
 faktor pembesaran defleksi (Cd) = 4,5
 faktor kuat lebih sistem (Ω_o) = 3
- Batasan Periode Fundamental Struktur
 Koefisien Cu = 1,66
 Koefisien Ct = 0,0466
 x = 0,9
 hn = 9,8 m

Ta min = Ct . hn^x = 0,363

Ta max = Cu . Ta min = 0,60

- Perhitungan koefisien respon seismik

$$C_s = \frac{S_{DS}}{(R/I_e)} = 0,03$$

- Nilai Cs yang dihitung tidak perlu melebihi

$$C_{smax} = \frac{S_{D1}}{T_a(R/I_e)} = 0,066$$

Csmin = 0.044 x S_{DS} . Ie = 0,0059

Maka, Csmin < Cs < Csmax = 0,0059 < 0,03 < 0,0660

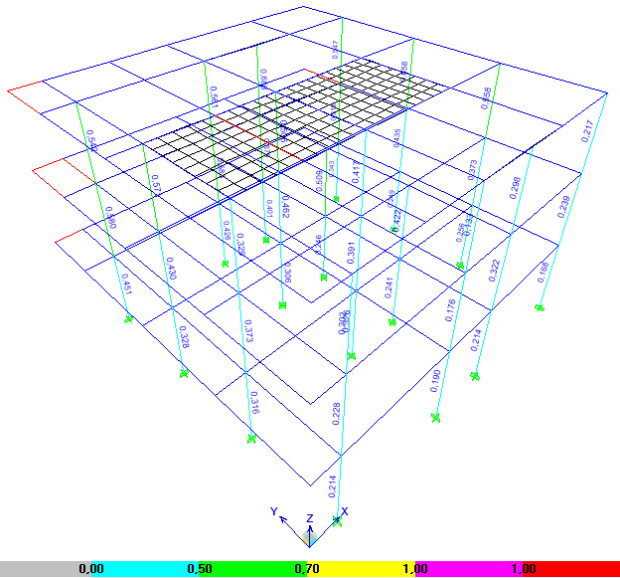
- Gaya Geser Dasar Seismik (V)

Vx = Cs . W
 = 0,03 x 390445,4271
 = 11713,36281 kg

Vy = Cs . W
 = 0,03 x 390445,4271
 = 11713,36281 kg

Cek Penulangan Kolom

1. Stress Ratio Kolom



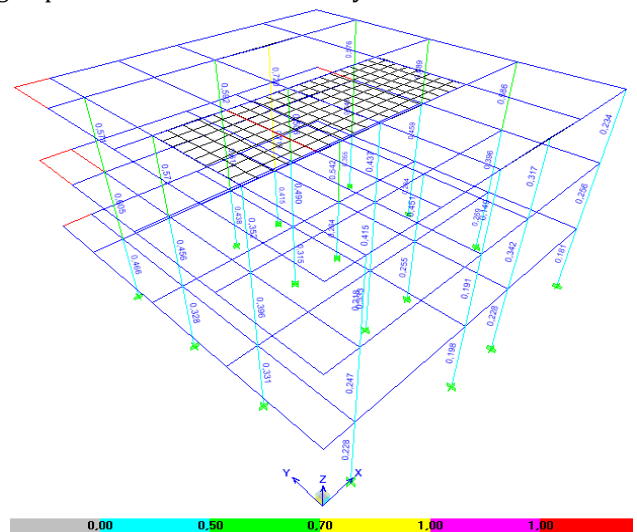
Gambar 6 Max Stress Ratio Coloumn SNI 1726:2002

Tabel 5 Stress Ratio Kolom SNI 1726:2002

Story	Label	Column	Allowable Stress Ratio - A _{all} *	Maximum Stress Ratio - A _{max} **	Check (A _{all} * > A _{max} **)
STORY1	C1	K40X40	1	0,451	OK!
STORY1	C2	K40X40	1	0,426	OK!
STORY1	C3	K40X40	1	0,401	OK!
STORY1	C4	K40X40	1	0,343	OK!
STORY1	C5	K40X40	1	0,328	OK!
STORY1	C6	K40X40	1	0,306	OK!
STORY1	C7	K40X40	1	0,246	OK!
STORY1	C8	K40X40	1	0,249	OK!
STORY1	C9	K40X40	1	0,316	OK!
STORY1	C10	K40X40	1	0,326	OK!
STORY1	C11	K40X40	1	0,241	OK!
STORY1	C12	K40X40	1	0,256	OK!
STORY1	C13	K40X40	1	0,214	OK!
STORY1	C14	K40X40	1	0,19	OK!

Story	Label	Column	Allowable Stress Ratio - A _{all} *	Maximum Stress Ratio - A _{max} **	Check (A _{all} * > A _{max} **)
STORY1	C15	K40X40	1	0,214	OK!
STORY1	C16	K40X40	1	0,168	OK!
STORY2	C1	K35X35	1	0,58	OK!
STORY2	C2	K35X35	1	0,583	OK!
STORY2	C3	K35X35	1	0,676	OK!
STORY2	C4	K35X35	1	0,519	OK!
STORY2	C5	K35X35	1	0,43	OK!
STORY2	C6	K35X35	1	0,462	OK!
STORY2	C7	K35X35	1	0,509	OK!
STORY2	C8	K35X35	1	0,435	OK!
STORY2	C9	K35X35	1	0,373	OK!
STORY2	C10	K35X35	1	0,391	OK!
STORY2	C11	K35X35	1	0,422	OK!
STORY2	C12	K35X35	1	0,373	OK!
STORY2	C13	K35X35	1	0,228	OK!
STORY2	C14	K35X35	1	0,176	OK!
STORY2	C15	K35X35	1	0,322	OK!
STORY2	C16	K35X35	1	0,239	OK!
STORY3	C1	K30X30	1	0,542	OK!
STORY3	C2	K30X30	1	0,561	OK!
STORY3	C3	K30X30	1	0,686	OK!
STORY3	C4	K30X30	1	0,547	OK!
STORY3	C5	K30X30	1	0,571	OK!
STORY3	C6	K30X30	1	0,506	OK!
STORY3	C8	K30X30	1	0,658	OK!
STORY3	C9	K30X30	1	0,329	OK!
STORY3	C10	K30X30	1	0,417	OK!
STORY3	C12	K30X30	1	0,558	OK!
STORY3	C13	K30X30	1	0,202	OK!
STORY3	C14	K30X30	1	0,133	OK!
STORY3	C15	K30X30	1	0,298	OK!
STORY3	C16	K30X30	1	0,217	OK!

Berdasarkan hasil didapatkan maksimum *stress ratio* berada pada kolom C3 - *Story 3* dengan nilai 0,686. Dengan nilai yang didapatkan tersebut maka kolom *existing* yang sudah ditambahkan dengan pembebanan gempa dan mini tower 20m dinyatakan aman.



Gambar 7 Max Stress Ratio Coloumn SNI 1726:2019

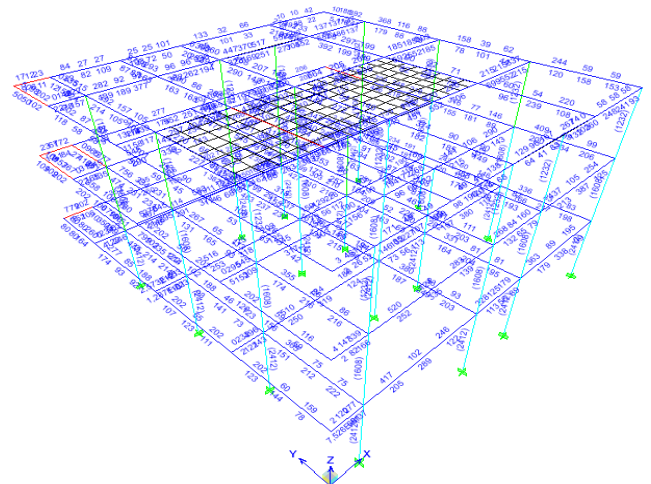
Tabel 6 Stress Ratio Kolom SNI 1726:2019

Story	Label	Column	Allowable Stress Ratio - A_{all}^*	Maximum Stress Ratio - A_{max}^{**}	Check ($A_{all} > A_{max}^{**}$)
STORY1	C1	K40X40	1	0,466	OK!
STORY1	C2	K40X40	1	0,438	OK!
STORY1	C3	K40X40	1	0,415	OK!
STORY1	C4	K40X40	1	0,355	OK!
STORY1	C5	K40X40	1	0,328	OK!
STORY1	C6	K40X40	1	0,315	OK!
STORY1	C7	K40X40	1	0,264	OK!
STORY1	C8	K40X40	1	0,264	OK!
STORY1	C9	K40X40	1	0,331	OK!
STORY1	C10	K40X40	1	0,333	OK!
STORY1	C11	K40X40	1	0,255	OK!
STORY1	C12	K40X40	1	0,269	OK!
STORY1	C13	K40X40	1	0,228	OK!
STORY1	C14	K40X40	1	0,198	OK!
STORY1	C15	K40X40	1	0,228	OK!
STORY1	C16	K40X40	1	0,181	OK!
STORY2	C1	K35X35	1	0,605	OK!
STORY2	C2	K35X35	1	0,614	OK!
STORY2	C3	K35X35	1	0,71	OK!
STORY2	C4	K35X35	1	0,545	OK!
STORY2	C5	K35X35	1	0,456	OK!
STORY2	C6	K35X35	1	0,49	OK!
STORY2	C7	K35X35	1	0,542	OK!
STORY2	C8	K35X35	1	0,459	OK!
STORY2	C9	K35X35	1	0,396	OK!
STORY2	C10	K35X35	1	0,415	OK!
STORY2	C11	K35X35	1	0,451	OK!
STORY2	C12	K35X35	1	0,396	OK!
STORY2	C13	K35X35	1	0,247	OK!
STORY2	C14	K35X35	1	0,191	OK!
STORY2	C15	K35X35	1	0,342	OK!
STORY2	C16	K35X35	1	0,256	OK!
STORY3	C1	K30X30	1	0,571	OK!
STORY3	C2	K30X30	1	0,592	OK!
STORY3	C3	K30X30	1	0,72	OK!
STORY3	C4	K30X30	1	0,576	OK!
STORY3	C5	K30X30	1	0,571	OK!
STORY3	C6	K30X30	1	0,506	OK!
STORY3	C8	K30X30	1	0,689	OK!
STORY3	C9	K30X30	1	0,352	OK!
STORY3	C10	K30X30	1	0,437	OK!
STORY3	C12	K30X30	1	0,586	OK!
STORY3	C13	K30X30	1	0,218	OK!
STORY3	C14	K30X30	1	0,149	OK!
STORY3	C15	K30X30	1	0,317	OK!
STORY3	C16	K30X30	1	0,234	OK!

Berdasarkan hasil dari data tabel diatas didapatkan maksimum *stress ratio* berada pada kolom C3 - Story 3 dengan nilai 0,72. Dengan nilai yang didapatkan tersebut maka kolom *existing* yang sudah ditambahkan dengan pembebanan gempa dan *mini tower* 20m dinyatakan aman.

2. Luas Tulangan Perlu Kolom

Berikut ini merupakan hasil analisis luas tulangan perlu kolom dengan menggunakan program bantu ETABS V 9.7.4.



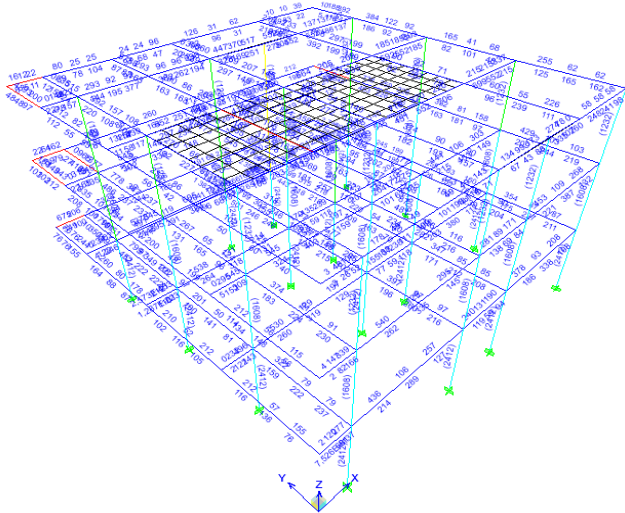
Gambar 8 Luas Tulangan Perlu Kolom SNI 1726:2002

Tabel 7 Luas Tulangan Perlu Kolom SNI 1726:2002

Story	Label	Column	Luas Tulangan Perlu Max. (mm ²)	Luas Tulangan Perlu Aktual (mm ²)	Check (Luas TulanganPerlu Max > Luas Tulangan Perlu Aktual)
STORY1	C1	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C2	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C3	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C4	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C5	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C6	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C7	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C8	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C9	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C10	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C11	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C12	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C13	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C14	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C15	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C16	K40X40	2412	2412	OK!
STORY2	C1	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C2	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C3	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C4	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C5	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C6	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C7	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C8	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C9	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C10	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C11	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C12	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C13	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C14	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C15	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C16	K35X35	1608	1608	OK!
STORY3	C1	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C2	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C3	K30X30	1232	1062	OK!

Story	Label	Column	Luas Tulangan Perlu Max. (mm ²)	Luas Tulangan Perlu Aktual (mm ²)	Check (Luas TulanganPerlu Max > Luas Tulangan Perlu Aktual)
STORY3	C4	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C5	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C6	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C8	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C9	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C10	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C12	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C13	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C14	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C15	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C16	K30X30	1232	1062	OK!

Berdasarkan hasil analisis dengan bantuan *software* ETABS didapatkan luas tulangan perlu maksimal sebesar 1232 mm² , dengan hasil tersebut luas tulangan perlu maksimal masih lebih besar dibandingkan dengan luas tulangan perlu aktual yang berarti menunjukkan kolom tersebut masih aman.



Gambar 9 Luas Tulangan Perlu Kolom SNI 1726:2019

Tabel 8 Luas Tulangan Perlu Kolom SNI 1726:2019

Story	Label	Column	Luas Tulangan Perlu Max. (mm ²)	Luas Tulangan Perlu Aktual (mm ²)	Check (Luas TulanganPerlu Max > Luas Tulangan Perlu Aktual)
STORY1	C1	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C2	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C3	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C4	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C5	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C6	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C7	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C8	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C9	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C10	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C11	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C12	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C13	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C14	K40X40	2412	2412	OK!

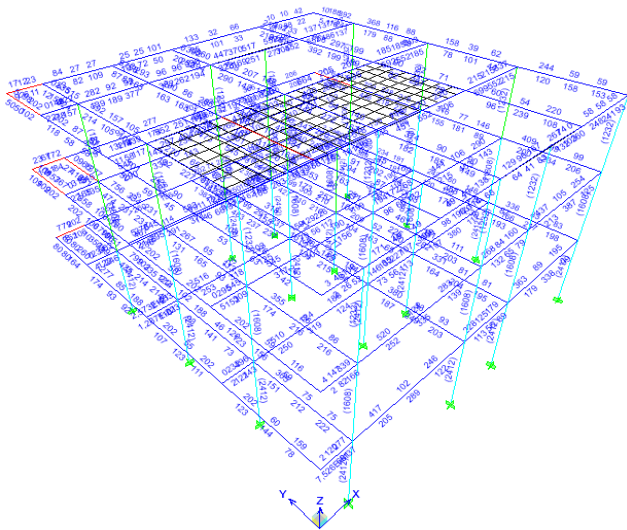
Story	Label	Column	Luas Tulangan Perlu Max. (mm ²)	Luas Tulangan Perlu Aktual (mm ²)	Check (Luas TulanganPerlu Max > Luas Tulangan Perlu Aktual)
STORY1	C15	K40X40	2412	2412	OK!
STORY1	C16	K40X40	2412	2412	OK!
STORY2	C1	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C2	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C3	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C4	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C5	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C6	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C7	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C8	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C9	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C10	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C11	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C12	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C13	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C14	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C15	K35X35	1608	1608	OK!
STORY2	C16	K35X35	1608	1608	OK!
STORY3	C1	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C2	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C3	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C4	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C5	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C6	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C8	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C9	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C10	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C12	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C13	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C14	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C15	K30X30	1232	1062	OK!
STORY3	C16	K30X30	1232	1062	OK!

Berdasarkan hasil analisis dengan bantuan *software* ETABS didapatkan luas tulangan perlu maksimal sebesar 1232 mm² , dengan hasil tersebut luas tulangan perlu maksimal masih lebih besar dibandingkan dengan luas tulangan perlu aktual yang berarti menunjukkan kolom tersebut masih memenuhi syarat aman.

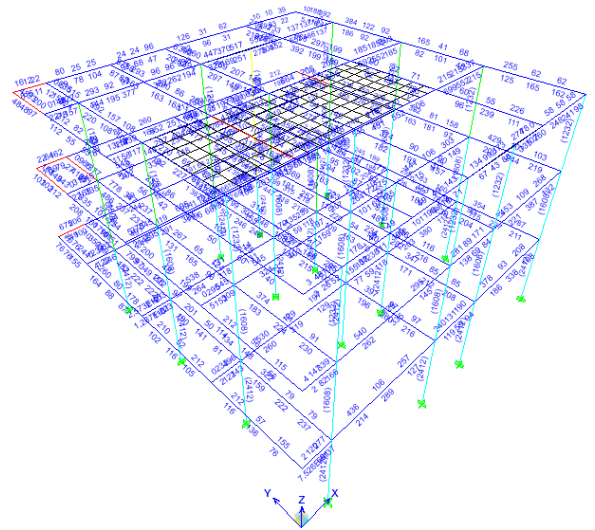
Cek Penulangan Balok

1. Luas Tulangan Perlu Balok

Berikut ini merupakan hasil analisis luas tulangan perlu balok dengan menggunakan program bantu ETABS V 9.7.4.



Gambar 10 Luas Tulangan Perlu Balok SNI 1726:2002



Gambar 11 Luas Tulangan Perlu Balok SNI 1726:2019

Tabel 9 Luas Tulangan Perlu Balok SNI 1726:2002

Story	Label	Beam	Luas Tulangan Perlu Max. (mm ²)	Luas Tulangan Perlu Aktual (mm ²)	Check (Luas TulanganPerlu Max > Luas Tulangan Perlu Aktual)
STORY1	B11	B15X40	468	190,35	OK!
STORY1	B50	B40X60	1938,23	788,31	OK!
STORY2	B19	B35X47	1294,36	526,44	OK!
STORY3	B23	B30X40	928	377,46	OK!
STORY3	B25	B30X55	1321	537,38	OK!
STORY3	B91	B20X25	384	156,15	OK!

Tabel 10 Luas Tulangan Perlu Balok SNI 1726: 2019

Story	Label	Beam	Luas Tulangan Perlu Max. (mm ²)	Luas Tulangan Perlu Aktual (mm ²)	Check (Luas TulanganPerlu Max > Luas Tulangan Perlu Aktual)
STORY1	B11	B15X40	468	190,35	OK!
STORY1	B50	B40X60	1938,23	788,31	OK!
STORY2	B50	B35X47	1294,36	526,44	OK!
STORY3	B91	B20X25	384	156,15	OK!
STORY3	B25	B30X55	1321	537,38	OK!
STORY3	B23	B30X40	928	377,46	OK!

Data pada tabel di atas merupakan 6 luas tulangan perlu balok yang terbesar. Berdasarkan hasil dari analisis, luas tulangan perlu maksimum balok masih lebih besar dari luas tulangan perlu aktual yang dihasilkan dengan analisis kapasitas balok dengan menggunakan rmax dan rmin, oleh karena itu balok *existing* dinyatakan masih memenuhi syarat aman setelah ditambahkan pembebanan *mini tower* 20m dan BTS operator. Berikut merupakan contoh perhitungan balok B91 story 3.

$$r_b = b1 * 0.85 * f_c' / f_y * 600 / (600 + f_y)$$

$$= 0,85 * 0.85 * 10,4815 / 390 * 600 / (600 + 390)$$

$$= 1,18 \%$$

$$r_{max} = 0,75 * r_b = 0,75 * 1,18 \% = 0,88 \%$$

- luas tulangan perlu maksimum
 $A_s = r_{max} * b * d = 0,88 \% * 200 * 217,5 = 384 \text{ mm}^2$

$$r_{min} = 1,4 / f_y = 1,4 / 390 = 0,36 \%$$

- luas tulangan perlu Aktual
 $A_s = r_{min} * b * d = 0,36 \% * 200 * 217,5 = 156,15 \text{ mm}^2$

Data pada tabel di atas merupakan 6 luas tulangan perlu balok yang terbesar. Berdasarkan hasil dari analisis, luas tulangan perlu maksimum balok masih lebih besar dari luas tulangan perlu aktual yang dihasilkan dengan analisis kapasitas balok dengan menggunakan rmax dan rmin, oleh karena itu balok *existing* dinyatakan masih memenuhi syarat aman setelah ditambahkan pembebanan *mini tower* 20m dan BTS operator. Berikut merupakan contoh perhitungan balok B91 story 3.

$$r_b = b1 * 0.85 * f_c' / f_y * 600 / (600 + f_y)$$

$$= 0,85 * 0.85 * 10,4815 / 390 * 600 / (600 + 390)$$

$$= 1,18 \%$$

$$r_{max} = 0,75 * r_b = 0,75 * 1,18 \% = 0,88 \%$$

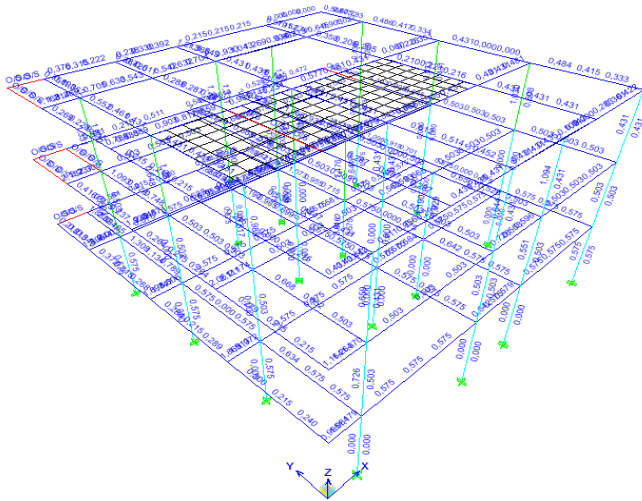
- luas tulangan perlu maksimum
 $A_s = r_{max} * b * d = 0,88 \% * 200 * 217,5 = 384 \text{ mm}^2$

$$r_{min} = 1,4 / f_y = 1,4 / 390 = 0,36 \%$$

- luas tulangan perlu Aktual
 $A_s = r_{min} * b * d = 0,36 \% * 200 * 217,5 = 156,15 \text{ mm}^2$

2. Nilai Shear Balok

Berikut ini merupakan hasil dari analisis nilai *shear* balok dengan program bantu ETABS V 9.7.4.



Gambar 12 Nilai Shear Aktual Balok SNI 1726:2002

Tabel 11 Nilai Shear Balok SNI 1726:2002

Story	Label	Beam	Nilai Shear Max (fv _n) (mm ²)	Nilai Shear Aktual (V _n) (mm ²)	Check (fv _n ≥ V _n)
STORY1	B18	B15X40	49,24	49,24	OK!
STORY1	B34	B40X60	127,25	127,25	OK!
STORY2	B34	B35X47	119,62	119,62	OK!
STORY3	B34	B30X40	70,146	53,34	OK!
STORY3	B69	B30X55	106,96	106,96	OK!
STORY3	B92	B20X25	32,96	32,96	OK!

Data pada tabel di atas merupakan 6 nilai *shear* balok yang terbesar. Berdasarkan hasil analisis diatas terdapat nilai *shear maximum* balok *existing* masih lebih besar dari nilai *shear* aktual. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa balok *existing* tersebut tidak perlu diperkuat karna masih memenuhi syarat aman.

Berikut contoh perhitungan nilai *shear maximum* balok *existing* :

$$V_c = (\sqrt{f_c'}) / 6 * b * d * 10^{-3}$$

$$= (\sqrt{10,4815}) / 6 * 200 * 217,5 * 10^{-3}$$

$$= 23,472 \text{ kN}$$

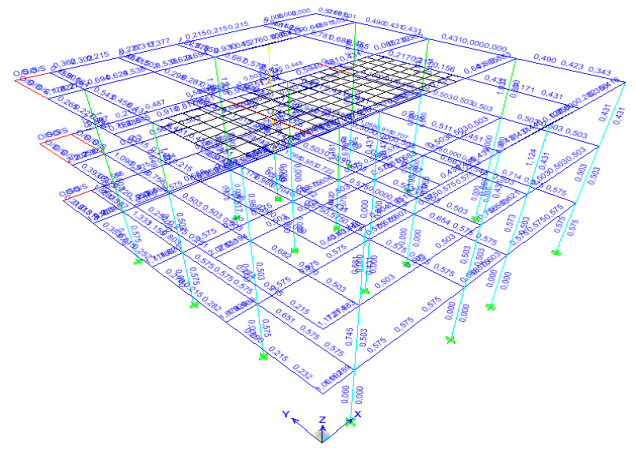
$$V_s = (V_u - f * V_c) / f$$

$$= (32,96 - 0,75 * 23,472) / 0,75$$

$$= 20,475 \text{ kN}$$

maka $f * V_n = f * (V_c + V_s) \geq V_u$ (B92 Story 3)

$$= 0,75 * (23,472 + 20,475) \geq V_u$$
 (B92 Story 3)
$$= 32,96 \text{ kN} \geq 32,96 \text{ kN}$$
 (B92 Story 3)



Gambar 13 Nilai Shear Aktual Balok SNI 1726:2019

Tabel 12 Nilai Shear Balok SNI 1726:2019

Story	Label	Beam	Nilai Shear Max (fv _n) (mm ²)	Nilai Shear Aktual (V _n) (mm ²)	Check (fv _n ≥ V _n)
STORY1	B34	B40X60	127,25	127,25	OK!
STORY1	B18	B15X40	49,24	49,24	OK!
STORY2	B34	B35X47	119,62	119,62	OK!
STORY3	B92	B20X25	32,96	32,96	OK!
STORY3	B69	B30X55	106,96	106,96	OK!
STORY3	B34	B30X40	70,146	53,34	OK!

Data pada tabel di atas merupakan 6 nilai *shear* balok yang terbesar. Berdasarkan hasil analisis diatas terdapat nilai *shear maximum* balok *existing* masih lebih besar dari nilai *shear* aktual. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa balok *existing* tersebut tidak perlu diperkuat karna masih memenuhi syarat aman.

Berikut contoh perhitungan nilai *shear maximum* balok *existing* :

$$V_c = (\sqrt{f_c'}) / 6 * b * d * 10^{-3}$$

$$= (\sqrt{10,4815}) / 6 * 200 * 217,5 * 10^{-3}$$

$$= 23,472 \text{ kN}$$

$$V_s = (V_u - f * V_c) / f$$

$$= (32,96 - 0,75 * 23,472) / 0,75$$

$$= 20,475 \text{ kN}$$

maka $f * V_n = f * (V_c + V_s) \geq V_u$ (B92 Story 3)

$$= 0,75 * (23,472 + 20,475) \geq V_u$$
 (B92 Story 3)
$$= 32,96 \text{ kN} \geq 32,96 \text{ kN}$$
 (B92 Story 3)

3. Momen Lentur Balok

Berikut ini merupakan hasil dari analisis nilai momen lentur balok dengan program bantu ETABS V 9.7.4.

Tabel 13 Momen Lentur Balok SNI 1726:2002

Story	Beam	Momen Nominal Max (fM _n) (mm ²)	Momen Positif (M _u ⁺) (mm ²)	Check (fM _n ≥ M _u ⁺)	Momen Negatif (M _u ⁻) (mm ²)	Check (fM _n ≥ M _u ⁻)
STORY1	B40X60	301,863	0,56	OK!	164,17	OK!
STORY1	B40X60	301,863	1,45	OK!	202,82	OK!
STORY1	B40X60	301,863	15,65	OK!	138,72	OK!
STORY1	B40X60	301,863	0,29	OK!	221,07	OK!
STORY1	B40X60	301,863	0,24	OK!	206,44	OK!
STORY2	B35X47	153,666	0,58	OK!	153,36	OK!
STORY2	B35X47	153,666	3,11	OK!	182,37	NOT OK

Story	Beam	Momen Nominal Max (M _n) (mm ²)	Momen Positif (M _u ⁺) (mm ²)	Check (fM _n ≥ M _u ⁺)	Momen Negatif (M _u ⁻) (mm ²)	Check (fM _n ≥ M _u ⁻)
STORY2	B35X47	153,666	0,44	OK!	212,47	NOT OK
STORY2	B35X47	153,666	0,70	OK!	198,08	NOT OK
STORY3	B20X25	21,608	15,93	OK!	24,79	NOT OK

Data pada tabel di atas merupakan 4 nilai momen lentur balok yang terbesar. Berikut contoh perhitungan nilai Momen nominal *maximum* balok *existing* untuk balok 20x25 Story 3:

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal, } M_n &= A_s \cdot f_y \cdot (d - a / 2) \cdot 10^{-6} \\ &= 398 \cdot 390 \cdot (217,5 - 87,155 / 2) \cdot 10^{-6} \\ &= 27,010 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal } \textit{maximum}, f \cdot M_n &= 0,80 \cdot 27,010 \\ &= 21,608 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tabel 14 Momen Lentur Balok SNI 1726:2019

Story	Beam	Momen Nominal Max (M _n) (mm ²)	Momen Positif (M _u ⁺) (mm ²)	Check (fM _n ≥ M _u ⁺)	Momen Negatif (M _u ⁻) (mm ²)	Check (fM _n ≥ M _u ⁻)
STORY1	B40X60	301,863	0,66	OK!	164,17	OK!
STORY1	B40X60	301,863	1,45	OK!	202,82	OK!
STORY1	B40X60	301,863	16,80	OK!	143,50	OK!
STORY1	B40X60	301,863	0,29	OK!	221,07	OK!
STORY1	B40X60	301,863	0,24	OK!	206,44	OK!
STORY2	B35X47	153,666	0,69	OK!	153,36	OK!
STORY2	B35X47	153,666	3,11	OK!	182,37	NOT OK
STORY2	B35X47	153,666	0,44	OK!	212,47	NOT OK
STORY2	B35X47	153,666	0,70	OK!	198,08	NOT OK
STORY3	B20X25	21,608	15,93	OK!	24,79	NOT OK

Data pada tabel di atas merupakan 4 nilai momen lentur balok yang terbesar. Berikut contoh perhitungan nilai Momen nominal *maximum* balok *existing* untuk balok 20x25 Story 3:

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal, } M_n &= A_s \cdot f_y \cdot (d - a / 2) \cdot 10^{-6} \\ &= 398 \cdot 390 \cdot (217,5 - 87,155 / 2) \cdot 10^{-6} \\ &= 27,010 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen nominal } \textit{maximum}, f \cdot M_n &= 0,80 \cdot 27,010 \\ &= 21,608 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Perkuatan Balok

1. Balok B30 (B 350 x 470)

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan program komputer SFRS maka didapatkan hasil Balok B30 (B 350 x 470) diperkuat dengan menggunakan FRS dengan *Type* FRS-CS N300, 1 Lapis dengan lebar 100mm , panjang 2,5m.

2. Balok B34 (B 350 x 470)

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan program komputer SFRS maka didapatkan hasil Balok B34 (B 350 x 470) diperkuat dengan menggunakan FRS dengan *Type* FRS-CS N300, 2 Lapis dengan lebar 100mm , panjang 2,5m.

3. Balok B38 (B 350 x 470)

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan program komputer SFRS maka didapatkan hasil Balok B38 (B 350 x 470) diperkuat dengan menggunakan FRS dengan *Type* FRS-CS N300, 1 Lapis dengan lebar 100mm , panjang 2,5m.

4. Balok B92 (B 200 x 250)

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan program komputer SFRS maka didapatkan hasil Balok B92 (B 200 x 250) diperkuat dengan menggunakan FRS dengan *Type* FRS-CS N300, 1 Lapis dengan lebar 100mm , panjang 4m [5].

KESIMPULAN

Nilai *stress ratio* struktur *existing* bangunan akibat Penambahan beban pada SNI 03-1726-2002 didapatkan nilai maksimum *stress ratio* berada pada kolom C3 – *Story* 3 dengan nilai 0,686, sementara Pada SNI 03-1726-2019 nilai maksimum *stress ratio* berada pada kolom C3 – *Story* 3 dengan nilai 0,72 (masih memenuhi syarat aman).

Metode perkuatan (*strengthening methode*) terhadap *existing* bangunan yang mengalami *over stress* adalah dengan menggunakan menggunakan FRS *Type* FRS-CS N300.

- Balok B30 (B 350 x 470) menggunakan FRS *Type* FRS-CS N300, 1 Lapis dengan lebar 100mm , panjang 2,5m.
- Perkuatan Balok B34 (B 350 x 470) menggunakan FRS *Type* FRS-CS N300, 2 Lapis dengan lebar 100mm , panjang 2,5m.
- Perkuatan Balok B38 (B 350 x 470) menggunakan FRS *Type* FRS-CS N300, 1 Lapis dengan lebar 100mm , panjang 2,5m.
- Perkuatan Balok B92 (B 200 x 250) menggunakan FRS *Type* FRS-CS N300 1 Lapis dengan lebar 100mm , panjang 4m.

Perbandingan hasil analisa struktur bangunan *existing* dengan beban gempa 2002 dan beban gempa 2019.

- Pada SNI 03-1726-2002 maksimum *stress ratio* berada pada kolom C3 – *Story* 3 dengan nilai 0,686, sementara Pada SNI 03-1726-2019 maksimum *stress ratio* berada pada kolom C3 – *Story* 3 dengan nilai 0,72 (masih memenuhi syarat aman).
- Pedoman SNI 03-1726-2002 Menghasilkan faktor percepatan respon (C) gempa maksimum 0,13 terjadi pada waktu getar alami 0,2detik dan Pedoman SNI 03-1726-2019 Menghasilkan faktor percepatan respon (SA) gempa maksimum 0,13 terjadi pada waktu getar alami 0,2detik.
- Simpangan antar lantai yang terjadi dengan menggunakan SNI 03-1726-2019 lebih besar daripada nilai simpangan antar lantai menggunakan SNI 03-1726-2002.
- Gaya aksial yang bekerja pada kolom dengan menggunakan SNI 03-1726-2019 adalah sama besar dengan nilai gaya aksial menggunakan SNI 03-1726-2002, akan tetapi untuk besaran nilai M_{ux} dan M_{uy} terjadi perbedaan yg cukup besar.
- Evaluasi nilai momen lentur balok dengan menggunakan analisa dengan SNI 2002 dan SNI 2019, terdapat 4 balok yang momen negatifnya tidak memenuhi syarat aman karena momen yang terjadi melebihi kapasitas balok (memerlukan perkuatan).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian PUPR, *Surat Edaran Direktur Jenderal Penataan Ruang Kementerian Pekerjaan Umum N0.06/SE/Dr/2011 tentang Petunjuk Teknis Kriteria Lokasi Menara Telekomunikasi*, no. 06. Indonesia, 2011.
- [2] H. HIT-RE, "Hilti HIT-RE 500 V3 mortar with HIT-V rod," pp. 1–22, 2016.
- [3] SNI 1726, "Sni 1726:2002, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, no. 8, p. 254, 2019.
- [4] SNI 1726, "Sni 1726:2019," *Tata Cara Perenc. Ketahanan Gempa Untuk Strukt. Bangunan Gedung dan Non Gedung*, 2002.
- [5] H. Khoeri, "Pemilihan Metode Perbaikan Dan Perkuatan Struktur Akibat Gempa (Studi Kasus Pada Bank Sulteng Palu)," *Konstruksia*, vol. 12, no. 1, p. 93, 2021, doi: 10.24853/jk.12.1.93-104.