

ANALISIS KEKUATAN MENARA BTS TIPE SST KAKI EMPAT TERHADAP PENAMBAHAN ANTENA PARABOLA (STUDI KASUS MENARA BTS DI KABUPATEN OGAN ILIR)

Ahmad Muhtarom¹, Yakni Idris¹, dan Merantia Limas²

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang
E-mail: ahmadmuhtarom2000@yahoo.com

²Alumni Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang

Abstrak. Seiring dengan peningkatan kebutuhan teknologi telekomunikasi dan kepatuhan terhadap regulasi menara bersama maka penyedia layanan telekomunikasi berusaha memanfaatkan menara yang sudah ada untuk menambah antenna pemancar yang baru. Penulis melakukan penelitian pada tiga menara BTS tipe SST kaki empat di Kabupaten Ogan Ilir dengan tinggi 42 meter, 52 meter dan 72 meter. Metode pertama adalah menganalisis kekuatan *existing* masing-masing menara mengacu standar TIA/EIA-222-F dengan empat syarat batas, yaitu perpindahan horizontal di bawah $H/200$, putaran dan goyangan di bawah $0,5^\circ$ serta rasio tegangan di bawah 1. Jika syarat batas bisa dipenuhi maka dilanjutkan ke metode kedua yaitu menganalisis kekuatan menara dengan penambahan antenna pemancar jenis parabola berdiameter 2 meter sampai batas izin. Hasil analisis metode pertama didapatkan bahwa menara dengan tinggi 42 meter dan 72 meter memenuhi keempat syarat batas sedangkan menara dengan tinggi 52 m ada elemen yang tidak memenuhi 1 syarat batas karena rasio tegangan 1,271 (>1). Hasil dari metode kedua didapatkan menara dengan tinggi 42 meter dapat ditambahkan antenna parabola maksimum 10 buah, dan menara dengan tinggi 72 meter maksimum 18 buah. Hasil penelitian merekomendasikan penambahan antenna parabola baru pada menara dengan tinggi 42 meter dan 72 meter saja.

Kata kunci: antenna parabola, beban angin, menara, rasio tegangan

I. PENDAHULUAN

Bedasarkan Peraturan Kementerian Komunikasi dan Informatika Nomor: 02/PER/M.KOMINFO/3/2008 tentang Pedoman Pembangunan dan Penggunaan Menara Bersama Telekomunikasi maka penyelenggara telekomunikasi wajib menggunakan menara bersama untuk meningkatkan dan pengembangan layanan dan menghindari pembangunan menara telekomunikasi yang semakin banyak demi efisiensi dan efektifitas ruang. Penambahan antenna pemancar di menara bersama sampai kemampuan teknis menara adalah salah satu solusi dari penyelenggara telekomunikasi untuk meningkatkan layanan tanpa membangun menara baru sehingga mematuhi regulasi dari pemerintah tersebut.

Dalam penelitian ini Penulis melakukan analisis kekuatan struktur atas tiga menara telekomunikasi berupa Tower BTS (*Base Transceiver Station*) Tipe SST (*Self Supporting Tower*) kaki empat dengan tipe *bracing* tipe X-M yang berdiri di atas tanah masing-masing dengan tinggi 42 meter, 52 meter dan 72 meter yang ada di Kabupaten Ogan Ilir Provinsi Sumatera Selatan untuk bisa tidaknya ditambah antenna pemancar

jenis parabola dan berapa banyak penambahan antenna sampai batas kemampuan teknis menara tersebut.

Effendi dan Subagio (2006) menganalisis kekuatan menara kaki tiga di atas atap bangunan (*Roof Top*) milik salah satu penyedia jasa telekomunikasi di Indonesia terhadap beban angin. Tinggi menara adalah 25 meter, yang terletak di atas atap bangunan penduduk dengan ketinggian 20 meter dari muka tanah. Perhitungan mengacu pada standar TIA/EIA-222-F dengan empat syarat batas, yaitu perpindahan horizontal di bawah $H/200$, putaran dan goyangan di bawah $0,5^\circ$ serta rasio tegangan di bawah 1 (syarat AISC-LRFD 1993). Hasil penelitian menunjukkan bahwa respon struktur menara tersebut masih memenuhi 4 syarat batas yang ditentukan.

Siddesha (2010) melakukan penelitian pengaruh beban angin terhadap variasi konfigurasi *bracing* pada menara BTS tipe SST kaki empat dengan antenna parabola (*microwave*). Tiga variasi *bracing* yang digunakan adalah tipe X, tipe X-horizontal dan tipe X-M. Hasil penelian menunjukkan *bracing* tipe X-M yang dipasang pada panel bawah adalah yang paling efektif mereduksi *displacement*.

Menurut penelitian Sumargo dkk (2008), beban angin yang bekerja pada menara pemancar tipe *Monopole* dengan ketinggian 120 meter di kota Semarang sangat berpengaruh terhadap kekuatan struktur menara. Perhitungan beban angin mengacu pada standar TIA/EIA-222-F. Pengaruh tersebut dapat dilihat dari kapasitas rasio hasil respon struktur. Nilai kapasitas rasio hasil pembebanan tanpa kombinasi beban angin adalah 0,98, sedangkan nilai kapasitas rasio hasil pembebanan menggunakan kombinasi beban angin naik menjadi 3,67. Syarat batas dari AISC-LRFD untuk kapasitas rasio adalah kurang dari 1, sehingga perlu dilakukan perkuatan pada menara tersebut.

II. METODOLOGI

Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

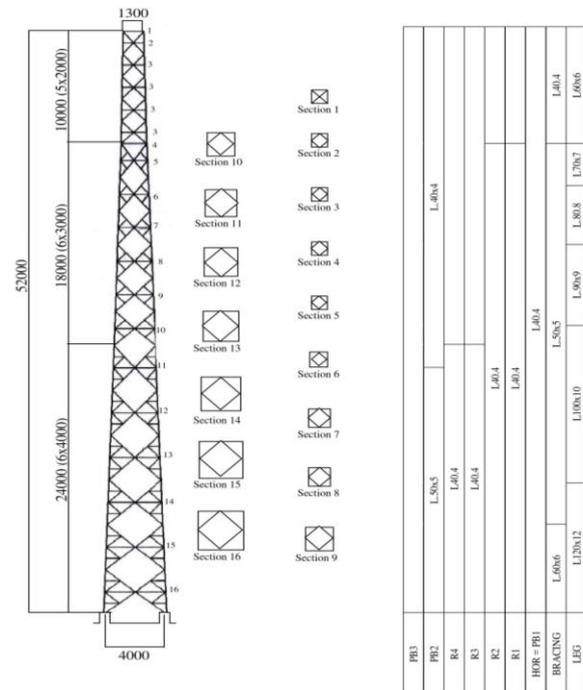
A. *Pemodelan Existing Struktur Menara*

Pemodelan *existing* tiga struktur menara BTS tipe SST kaki empat yang berada di Kota Inderalaya Kabupaten Ogan Ilir masing-masing dengan ketinggian 42 meter, 52 meter dan 72 meter. Detail pemodelan untuk masing-masing menara dapat dilihat pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3.

B. *Pembebanan Struktur Menara*

Pembebanan struktur menara berdasarkan standar EIA/TIA-222-F. Berikut ini merupakan penjelasan detail pembebanan menara telekomunikasi.

- c. Beban tangga dan berat rak kabel., persyaratan
- d. menara dengan ketinggian lebih dari 15 meter harus ada tangga sebagai tempat istirahat sejenak dengan lebar bersih anak tangga 30,48 cm dan tinggi anak tangga 30,48 cm sampai dengan 40,64 cm.
- e. Beban bordes, sebagai persyaratan beban bordes sebagai tempat tempat istirahat sementara adalah 67 kg.



Gambar 2. Model *existing* stuktur menara 52 meter

Hasil rekapitulasi perhitungan beban mati pada menara dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi perhitungan beban mati

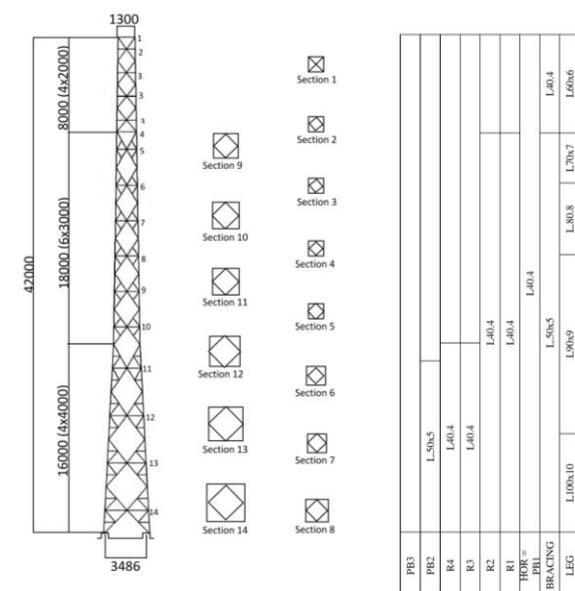
| Uraian beban | 42 meter (kg) | 52 meter (kg) | 72 meter (kg) |
|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| Profil struktur | 4,231.00 | 6,267.00 | 10,201.00 |
| Antena | 675.40 | 361.20 | 361.20 |
| Tangga | 284.90 | 284.90 | 284.90 |
| Rak kabel | 102.02 | 102.02 | 102.02 |
| Plat bordes | 69.63 | 69.63 | 69.63 |

2. *Beban Hidup*

Beban hidup yang diperhitungkan adalah pada saat pembangunan dan perawatan menara. Beban hidup yang disyaratkan adalah pada plat tangga 110 kg dan pada plat bordes 220 kg.

3. *Beban Angin*

Untuk beban angin yang digunakan, penulis membandingkan 2 data beban angin yaitu, beban angin yang disyaratkan standar EIA/TIA adalah 22,4 m/detik

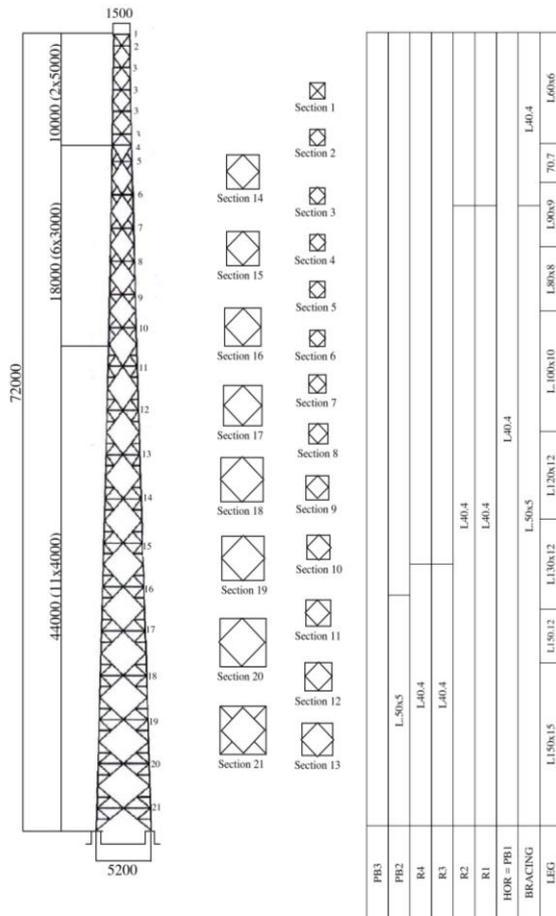


Gambar 1. Model *existing* stuktur menara 42 meter

1. *Beban mati*

- a. Berat sendiri menara (berat Sendiri profil)
- b. Beban antena pemancar, berat antena tergantung jenis dan jumlah antena yang terpasang.

(80,64 km/jam) dengan data beban angin yang didapatkan dari BMKG Kota Palembang, yaitu hasil analisis distribusi frekuensi menggunakan tiga metode (Metode Gumbel, Metode Log-Pearson III dan Metode Log Normal). Pembebanan angin pada menara dibedakan menjadi dua, yaitu pada struktur menara dan pada pada antenna.



Gambar 3. Model existing struktur menara 72 meter

4. Pembebanan angin pada struktur menara

Perhitungan beban angin pada struktur menara telekomunikasi berdasarkan EIA/TIA-222-F adalah sebagai berikut:

$$F = q_z \cdot G_H \cdot [(C_F \cdot A_E) + \sum (C_A \cdot A_A)] \quad (1)$$

Keterangan:

F = gaya angin horizontal (N)
 $q_z = \text{Tekanan kecepatan (Pa)}$
 $= 0,613 K_z \cdot V^2$ (2)

$K_z = \text{koefisien keterbukaan struktur}$
 $= \left(\frac{Z}{10}\right)^2$ dengan $1,00 \leq K_z \leq 2,58$ (3)

z = ketinggian di atas tanah sampai titik tengah yang ditinjau (m)
V = kecepatan dasar angin (m/s)

$G_H = \text{gust response factor}$
 $= 0,65 + \frac{0,60}{\left(\frac{h}{10}\right)^{1/7}}$ (4)

h = tinggi total struktur (m)
 $C_F = 4,0 e^2 - 5,9 e + 4,0$
 untuk penampang segiempat
 $= 3,4 e^2 - 4,7 e + 3,4$
 untuk penampang segitiga

e = rasio kepadatan
 $= \frac{A_F + A_R}{A_G}$ (5)

$C_A = \text{koefisien kekuatan perlengkapan menara diluar dari struktur menara}$

$A_A = \text{luas perlengkapan menara diluar dari struktur menara (m}^2\text{)}$

$A_E = \text{luas bagian yang terkena angin (m}^2\text{)}$
 $= D_F \cdot A_F + D_R \cdot A_R \cdot R_R$ (6)

$A_G = \text{luas kotor dari satu sisi menara (m}^2\text{)}$

$A_F = \text{luas terproyeksi dari komponen struktur datar pada satu penampang (m}^2\text{)}$

$A_R = \text{luas terproyeksi dari komponen struktur bulat pada penampang (m}^2\text{)}$

$R_R = \text{faktor reduksi untuk komponen struktur bundar}$
 $= 0,51e^2 + 0,57$ dengan $R_R \leq 1,0$ (7)

$D_F = \text{faktor arah angin untuk komponen datar tergantung dari arah angin dan bentuk kaki}$

$D_R = \text{faktor arah angin untuk komponen bulat tergantung dari arah angin dan bentuk kaki}$

Perhitungan dari gaya angin horizontal memerlukan nilai faktor angin D_F (flat) dan D_R (round) dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan untuk nilai koefisien C_A dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Faktor arah angin (EIA/TIA 222-F)

| m | Segiempat | | Segitiga | | |
|-------|-----------|-------------------------|----------|------------|------------------|
| | Normal | $\pm 45^\circ$ * | Normal | 60° | $\pm 90^\circ$ * |
| D_F | 1 | $1 + 0,75e$ (1,2max) | 1 | 0,80 | 0,85 |
| D_R | 1 | $1 + 0,75e$ (1,2max) | 1 | 1 | 1 |

*Diukur dari garis normal terhadap bidang permukaan

Tabel 3. Koefisien kekuatan perangkat menara telekomunikasi (EIA/TIA 222-F)

| Bentuk perangkat | Aspek rasio ≤ 7 | Aspek rasio ≥ 25 |
|------------------|----------------------|-----------------------|
| | C_A | C_A |
| Datar | 1,4 | 2,0 |
| Lengkung | 0,8 | 1,2 |

5. Pembebanan angin pada antenna

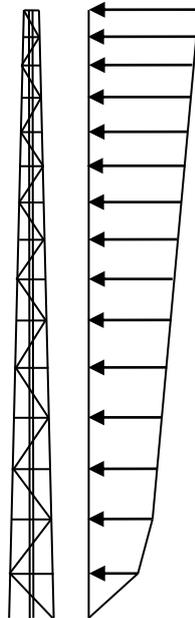
Perhitungan beban angin pada antenna menara telekomunikasi berdasarkan EIA/TIA-222-F adalah

sebagai berikut:

$$F = q_z \cdot A \quad (8)$$

Keterangan:

- F = gaya angin yang bekerja pada antenna (N)
 q_z = tekanan angin (Pa)
 A = luas permukaan antenna yang terkena angin (m²)



Gambar 4. Distribusi tekanan angin terhadap ketinggian menara (EIA/TIA 222-F)

6. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan mengacu pada SNI 1727-2013: Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain, berupa kombinasi beban antara beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Kombinasi beban angin dan beban gempa tidak digabungkan sehingga salah satu dari beban tersebut dapat diabaikan apabila lebih kecil dari beban lain.

- 1) 1,4 (DL1+DL2+DL3)
- 2) 0,9 (DL1+DL2+DL3)
- 3) 1,2 (DL1+DL2+DL3) + 1,0 LL
- 4) 1,2 (DL1+DL2+DL3) + 1,6 LL
- 5) 1,2 (DL1+DL2+DL3) + 1,0 LL + 1,0 (W1+W2+W6)
- 6) 1,2 (DL1+DL2+DL3) + 1,0 LL + 1,0 (W3+W4+W5)
- 7) 0,9 (DL1+DL2+DL3) + 1,0 (W1+W2+W6)
- 8) 0,9 (DL1+DL2+DL3) + 1,0 (W3+W4+W5)
- 9) 1,2 (DL1+DL2+DL3) + 0,5 (W1+W2+W6)
- 10) 1,2 (DL1+DL2+DL3) + 0,5 (W3+W4+W5)

dimana:

- DL1 = beban mati tangga
 DL2 = beban mati bordes
 DL3 = beban mati antenna
 LL = beban hidup

- W1 = beban angin di depan rangka arah 90°
 W2 = beban angin di belakang rangka arah 90°
 W3 = beban angin di depan rangka arah 45°
 W4 = beban angin di belakang rangka arah 45°
 W5 = beban angin pada antenna arah 45°
 W6 = beban angin pada antenna arah 90°

7. Analisis Model Struktur Menara

Persyaratan yang harus dipenuhi struktur menara telekomunikasi berdasarkan EIA/TIA-222-F adalah:

- a. Perpindahan (*displacement*) horizontal dibawah H/200 dengan H adalah tinggi tower.

$$\frac{H}{200} < \delta_{\max} \quad (9)$$

- b. Puntiran (*twist*) harus dibawah 0,5°

$$\theta_z = \arctan \left\{ \frac{U_{x(n-1)} - U_{x(n)}}{Z_{(n-1)} - Z_{(n)}} \right\} < 0,5^\circ \quad (10)$$

- c. Goyangan (*sway*) harus dibawah 0,5°

$$\theta_{X,Y} = \arctan \left\{ \frac{U_{x(n)} - U_{x(n-4)}}{Z_{(n)} - Z_{(n-4)}} \right\} < 0,5^\circ \quad (11)$$

- d. Rasio tegangan di bawah 1

8. Penambahan Antena

Beberapa persyaratan konfigurasi penambahan antenna pada model struktur menara yang memenuhi syarat batas berdasarkan aturan penyedia jasa telekomunikasi adalah sebagai berikut:

- a. Jenis antenna yang ditambahkan adalah jenis antenna *microwave* (parabola) dengan diameter 2 meter.
- b. Penambahan pemasangan antenna berada pada ketinggian 2/3 dari tinggi menara sampai puncak menara yang disesuaikan dengan posisi yang tersedia.
- c. Sudut yang digunakan oleh antenna yang ditambahkan adalah 45° dan 90°.
- d. Jumlah antenna yang ditambahkan adalah sampai dengan syarat batas kemampuan menara yang telah ditentukan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Analisis Distribusi Frekuensi

Tabel 4. Hasil analisis distribusi frekuensi

| Metode yang dipakai | Kecepatan angin maksimum (m/s) |
|---------------------|--------------------------------|
| Gumbel | 16,303 |
| Log-Pearson III | 13,425 |
| Log-Normal | 13,781 |

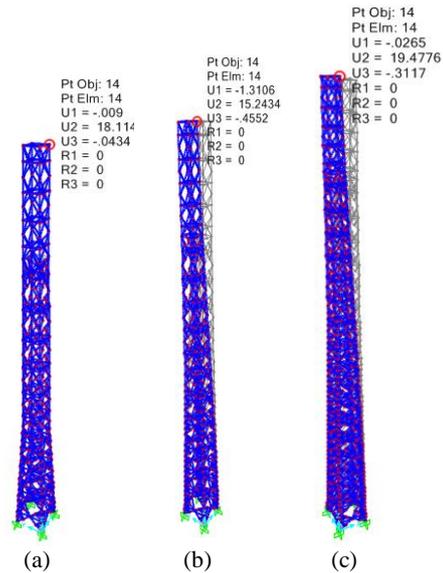
Data yang digunakan diperoleh dari BMKG Kota Palembang berupa data kecepatan angin maksimum dan rata-rata kecepatan angin bulanan selama lima

tahun. Setelah dilakukan perhitungan dan analisis menggunakan tiga metode (Metode Gumbel, Metode Log-Pearson III dan Metode Log Normal) didapatkan kecepatan angin maksimum pada Tabel 4.

Dari hasil Tabel 4 di atas didapatkan kecepatan angin maksimum menggunakan metode Gumbel adalah 16,303 m/s. Berdasarkan EIA/TIA-222-F bahwa kecepatan minimum angin untuk menjadi beban angin pada struktur menara telekomunikasi adalah lebih besar atau sama dengan 22,4 m/s (50 Mph) maka dalam penelitian ini digunakan kecepatan angin minimum yaitu, 22,4 m/s.

B. Hasil Analisis Existing Struktur Menara

Perhitungan *existing* struktur menara dalam penelitian ini menggunakan bantuan program analisis struktur. Hasil perhitungan deformasi dari tiga *existing* struktur menara dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Deformasi *existing* menara (a) 42 m, (b) 52 m dan (c) 72 m

Tabel 5. Rekapitulasi hasil analisis existing struktur menara

| Menara (m) | Perpindahan (Displacement) | | Puntiran (Twist) | | Goyangan (Sway) | | | Rasio tegangan (Stress ratio) | | Keterangan |
|---------------|-------------------------------|------------|---------------------|------------|--------------------|------------|------------|----------------------------------|------------|----------------|
| | δ_{max} | batas izin | θ_z | batas izin | θ_x | θ_y | batas izin | hitungan | batas izin | |
| | (cm) | (cm) | derajat | derajat | derajat | derajat | derajat | | | |
| 42 | 18,114 | 21 | 0,121 | 0,5 | 0,129 | 0,321 | 0,5 | 0,449 | 1 | Memenuhi |
| 52 | 15,243 | 26 | 0,059 | 0,5 | 0,064 | 0,199 | 0,5 | 1,271 | 1 | Tidak memenuhi |
| 72 | 19,478 | 36 | 0,066 | 0,5 | 0,071 | 0,199 | 0,5 | 0,773 | 1 | Memenuhi |

Tabel 5 menampilkan rekapitulasi hasil analisis *existing* struktur menara, dimana menara dengan tinggi 42 meter dan 72 meter memenuhi empat syarat batas yang telah disyaratkan EIA/TIA-222-F. Untuk menara dengan tinggi 52 meter ada satu syarat batas yang tidak memenuhi yaitu rasio tegangan diatas 1. Setelah dilihat dari output program yang terdapat pada Tabel 6, ternyata elemen menara yang tidak memenuhi syarat batas itu adalah tipe *bracing* yang menggunakan profil siku L50x50x5 pada kombinasi pembebanan 5.

Tabel 6. Elemen output program yang tidak memenuhi syarat batas rasio tegangan.

| Tipe | Profil | Kombinasi | Rasio |
|----------------|--------------|--|-------|
| <i>Bracing</i> | L 50.50.5 | 1,2 (DL1+DL2+DL3) + LL + 1 (W1+W2+W6) | 1,271 |

C. Hasil Analisis Struktur Menara Setelah Penambahan Antena

Langkah selanjutnya adalah menganalisis menara 42 meter dan 72 meter dengan penambahan antenna jenis *microwave* (MW) atau parabola dengan diameter

2 meter pertahap sampai batas izin atau syarat batas seperti tahapan pertama. Konfigurasi antenna disesuaikan dengan persyaratan yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Setelah dilakukan proses perhitungan dengan cara *trial and error*, maka didapatkan jumlah dan konfigurasi penambahan antenna parabola yang paling maksimum adalah 10 buah untuk menara 42 meter dan 18 buah untuk menara 72 meter.

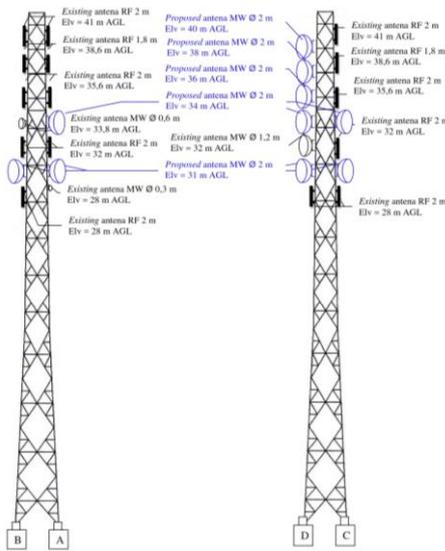
Tabel 7. Jumlah Penambahan antenna

| Menara | Konfigurasi antenna | | Jumlah |
|--------|---------------------|--------------|--------|
| | Tipe | Diameter (m) | |
| 42 | MW | 2 | 10 |
| 72 | MW | 2 | 18 |

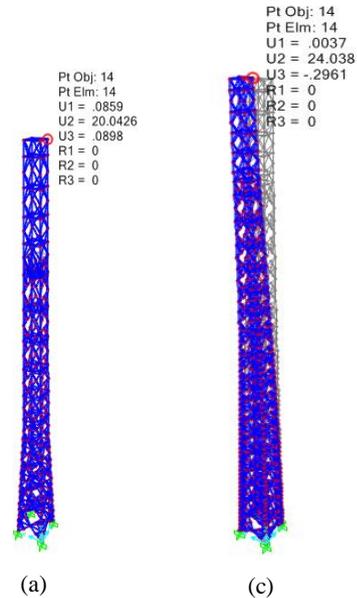
Untuk melihat lebih detail jumlah dan konfigurasi penambahan antenna tersebut dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Tabel 8. Rekapitulasi hasil analisis struktur menara dengan penambahan antenna

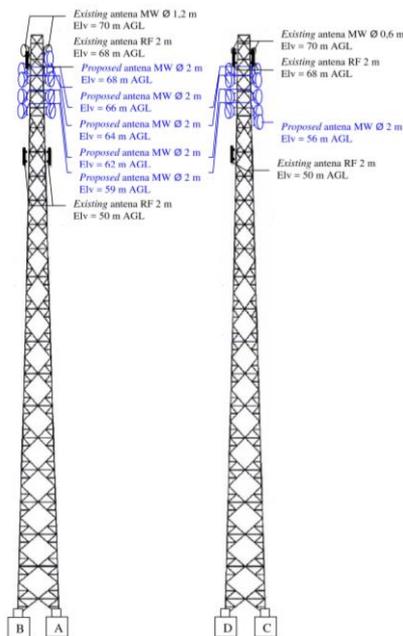
| Menara (m) | Perpindahan (Displacement) | | Puntiran (Twist) | | Goyangan (Sway) | | | Rasio tegangan (Stress ratio) | | Keterangan |
|---------------|-------------------------------|------------|---------------------|------------|--------------------|------------|------------|----------------------------------|------------|------------|
| | δ_{max} | batas izin | θ_z | batas izin | θ_x | θ_y | batas izin | hitungan | batas izin | |
| | (cm) | (cm) | derajat | derajat | derajat | derajat | derajat | | | |
| 42 | 20,043 | 21 | 0,195 | 0,5 | 0,203 | 0,364 | 0,5 | 0,947 | 1 | Memenuhi |
| 72 | 24,038 | 36 | 0,136 | 0,5 | 0,146 | 0,262 | 0,5 | 0,982 | 1 | Memenuhi |



Gambar 6. Konfigurasi penambahan antenna menara 42 m



Gambar 8. Deformasi struktur menara dengan penambahan antenna parabola (a) 42 m dan (c) 72 m



Gambar 7. Konfigurasi penambahan antenna menara 72 m

Hasil perhitungan deformasi dari dua struktur menara dengan penambahan antenna parabola dapat dilihat pada Gambar 8.

Tabel 8 menampilkan rekapitulasi hasil analisis struktur menara dengan penambahan antenna parabola memenuhi empat syarat batas yang telah disyaratkan EIA/TIA-222-F, dimana menara 42 meter dapat ditambah maksimum 10 antenna dan menara 72 meter dapat ditambah maksimum 18 antenna.

IV. KESIMPULAN

Dari kedua hasil analisis di atas maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis kekuatan *existing* struktur atas tiga menara BTS tipe SST kaki empat dengan tinggi 42 meter, 52 meter dan 72 meter didapat bahwa menara 42 meter dan menara 72 meter memenuhi empat syarat batas kekuatan berdasarkan standar EIA/TIA-222-F. Sedangkan menara 52 meter ada satu syarat tidak memenuhi, yaitu rasio tegangan salah satu elemen bernilai 1,271 melebihi nilai 1 yang sudah disyaratkan.
2. Dari hasil analisis kekuatan struktur atas dua menara BTS tipe SST kaki empat dengan penambahan antenna parabola diameter 2 meter didapat bahwa jumlah antenna yang maksimum bisa ditambahkan ke menara 42 meter adalah 10 buah dan untuk menara 72 meter adalah 18 buah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada PT. Dayamitra Telekomunikasi sebagai pemilik menara penyedia jasa telekomunikasi dan kepada BMKG Kota Palembang.

DAFTAR PUSTAKA

AISC, 2010, “ANSI/AISC 360-10: Specification for Structural Steel Buildings”, AISC, Chicago, Illinois.

Amiri, G.G.; Barkhordari, M.A.; & Massah, S.R., 2004, “Seismic Behavior of 4-Legged Self-Supporting Telecommunication Towers”, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 215.

Badan Standarisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Pelaksanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, Standar Nasional Indonesia*, 03-1729-2002.

Badan Standarisasi Nasional, 2013, *Standar Nasional Indonesia Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, Standar Nasional Indonesia*, 03-1727-2013.

Badan Standarisasi Nasional, 2015, *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, Standar Nasional Indonesia*, 03-1729-2015.

BMKG, 2015, Data Kecepatan Angin, Palembang.

Dewobroto, W., 2015, *Struktur Baja*, Lumina Press, Jakarta.

Effendi, M.K.; & Subagio, T., 2006, “Pengaruh Beban Angin terhadap Struktur *RoofTop* Tower Telepon Seluler”. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol.3, No.2, hlm. 69-76.

Engineering Department of EIA, 1996, *Structural Standards for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures (TIA/EIA-222-F)*, USA.

Rajasekharan, J.; & Vijaya, S., 2014. “Analysis of Telecommunication Tower Subjected To Seismic and Wind Loading”. *Internasional Journal of Advancement in Engineering Technology, Management & Applied Science*, Vol.1, No.2, hlm .68-79.

Siddesha, H., 2010, “Wind Analysis of Microwave Antenna Towers”. *Internasional Journal of Applied Engineering Research, Dindigul*, Vol.1, No.3, hlm.574-584.

Sony, A.; Wahyuni, E.; & Soewardojo, 2012, “Studi Perbandingan Tower BTS Tipe SST Kaki 4, SST Kaki 3, dan Monopole dengan Ketinggian 40 m yang Paling Efisien.”, *Jurnal Teknik Pomits*, Vol.1, No.1, hlm. 1-5.

Sumargo; Djihad, A.; Setiawan, I.; & Mulyadi, D. A., 2008, “Analisa Respon Struktur Menara Pemancar Tipe Monopole 120 M Akibat Beban Angin Rencana dengan Periode Ulang 10 Tahunan di Stasiun Badan Meteorologi dan Geofisika Semarang”, *Dinamika Teknik Sipil*, Vol.8 No.1, hlm. 72-81.