

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR TOWER TELEKOMUNIKASI TERHADAP RENCANA PENAMBAHAN KETINGGIAN

Purwo Subekti^{1}, Anton Arianto², Bambang Edison³, Taufik Kurniawan⁴,
Tengku Muhammad Ary⁵*

E-mail : purwos@upp.ac.id¹, bambang.edison@gmail.com², aariyantost@gmail.com³,
kurniawant572@gmail.com⁴, tengkumuhammadary60@gmail.com⁵

¹Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasir Pengaraian, ^{2,3}Program Studi Teknik Sipil
Universitas Pasir Pengaraian, ⁴Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman
Kabupaten Rokan Hulu, ⁵Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasir
Pengaraian

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan layanan telekomunikasi yang terus berkembang mendorong optimalisasi infrastruktur jaringan, salah satunya melalui penambahan ketinggian tower telekomunikasi eksisting untuk memperluas jangkauan sinyal dan meningkatkan kualitas layanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan dan kinerja struktur tower telekomunikasi dalam rangka persiapan penambahan ketinggian berdasarkan standar perencanaan yang berlaku. Objek penelitian adalah self supporting tower (SST) dengan tinggi awal 42 m yang direncanakan diperpanjang menjadi 52 m. Metode penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif melalui pemodelan dan analisis struktur menggunakan perangkat lunak analisis tower, dengan mempertimbangkan kombinasi beban mati, beban peralatan (antenna dan perangkat pendukung), serta beban angin sesuai standar ANSI/TIA-222-G (2009), Permen Kominfo No. 02 Tahun 2008, dan Permen Perhubungan No. 90 Tahun 2018. Parameter yang dianalisis meliputi rasio tegangan elemen struktur (member stress ratio), simpangan puncak (top displacement), rotasi puntir (twist), simpangan lateral (sway), serta kapasitas angkur dan base plate terhadap gaya tarik dan geser. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan ketinggian tower secara signifikan meningkatkan respons struktur, terutama pada gaya aksial tekan/tarik, momen lentur akibat beban angin, serta simpangan lateral di bagian puncak tower. Pada kondisi struktur extended tanpa perkuatan, beberapa parameter kinerja melampaui batas izin yang ditetapkan standar, khususnya pada elemen kaki bagian bawah dan sistem bracing kritis. Setelah dilakukan perkuatan struktural pada elemen-elemen tersebut, seluruh parameter utama kembali berada dalam batas aman sesuai ketentuan standar, sehingga rencana penambahan ketinggian dinyatakan layak secara teknis dan struktural.

Kata kunci: tower telekomunikasi, penambahan ketinggian, beban angin, analisis struktur, penguatan

ABSTRACT

The increasing demand for telecommunication services has driven the optimization of network infrastructure, including the height extension of existing telecommunication towers to improve signal coverage and service quality. This study aims to evaluate the structural strength and performance of a telecommunication tower in preparation for height extension based on applicable design standards. The object of the study is a self-supporting tower (SST) with an initial height of 42 m, planned to be extended to 52 m. A quantitative descriptive approach was employed through structural modeling and analysis using specialized tower analysis software. The analysis considered load combinations consisting of dead loads, equipment loads (antennas and supporting devices), and wind loads in accordance with ANSI/TIA-222-G (2009), Regulation of the Minister of Communication and Information No. 02/2008, and Regulation of the Minister of Transportation No. 90/2018. The evaluated parameters included member stress ratios, top displacement, twist, sway, as well as anchor bolt and base plate capacities under tensile and shear forces. The results indicate that the tower height extension significantly increases structural responses, particularly axial forces, bending moments due to wind loading, and lateral displacement at the tower top. Under the extended condition without structural reinforcement, several performance parameters exceeded the allowable limits specified by the standards, especially in the lower leg members and critical bracing system. After strengthening the critical structural elements, all primary performance parameters returned to acceptable safety limits. Therefore, the proposed tower height extension is technically feasible and structurally safe when appropriate reinforcement measures are implemented.

Keywords: *telecommunication tower, height extension, wind load, structural analysis, strengthening*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang semakin pesat mendorong meningkatnya kebutuhan akan kapasitas jaringan telekomunikasi. Peningkatan jumlah pengguna serta tuntutan kualitas layanan yang lebih tinggi menyebabkan operator telekomunikasi harus melakukan pengembangan infrastruktur jaringan secara berkelanjutan. Salah satu strategi yang diterapkan untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah penambahan ketinggian tower telekomunikasi eksisting sebagai alternatif yang lebih efisien dibandingkan dengan pembangunan tower baru. Meskipun demikian, penambahan ketinggian tower memiliki implikasi teknis yang signifikan terhadap kinerja dan keselamatan struktur.

Tower telekomunikasi merupakan struktur tinggi yang dominan dipengaruhi oleh beban lateral, terutama beban angin. Penambahan ketinggian tower dan pemasangan perangkat antena baru akan meningkatkan gaya dalam, simpangan lateral, serta respons dinamik struktur secara signifikan. Kondisi tersebut berpotensi menurunkan tingkat keamanan struktur apabila tidak disertai dengan evaluasi teknis yang memadai. Oleh karena itu, setiap modifikasi pada struktur tower eksisting wajib dilakukan kajian ulang berdasarkan standar perencanaan yang berlaku guna menjamin keselamatan dan keandalan struktur (SNI 1727, 2013). Perubahan geometri dan penambahan beban pada tower telekomunikasi menyebabkan peningkatan tegangan pada elemen struktur serta deformasi lateral yang lebih besar dibandingkan kondisi awal. Kemudian beban angin merupakan faktor dominan yang memengaruhi respons struktur tower setelah dilakukan penambahan antena (Sudarshan, 2025). Untuk itu pentingnya evaluasi ulang kapasitas elemen struktur eksisting sebelum dilakukan peninggian tower guna menghindari terjadinya kegagalan struktural (Vinotha *et al*, 2024). Selain itu, peningkatan ketinggian tower berpengaruh langsung terhadap peningkatan momen lentur dan gaya aksial pada elemen utama struktur (Kozak *et al*, 2025).

Di Kabupaten Rokan Hulu Provinsi Riau dokumen Persetujuan Bangunan Gedung (PBG) menjadi instrumen penting untuk memastikan bahwa perubahan bangunan memenuhi aspek keselamatan dan keandalan struktur. Seiring peningkatan jumlah penduduk dan pengguna jenis layanan tower telekomunikasi di Kabupaten Rokan Hulu, penambahan ketinggian tower menjadi solusi efektif untuk upaya pemenuhan layanan masyarakat terutama perluasan layanan jaringan internet. Gambar 2 (a) dan 2 (b) merupakan tower kondisi existing dengan tinggi 42 m dan rencana penambahan ketinggian 10 m di wilayah Rokan Hulu. Penelitian ini difokuskan pada analisis kekuatan tower telekomunikasi dalam rangka penambahan ketinggian dengan mengacu pada hasil analisis struktur dan ketentuan (Permen Kominfo No. 02, 2008; ANSI-TIA-222-G, 2009; Permen Hub No. 90, 2018). Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi teknis bagi perencana dan pengelola tower dalam melakukan modifikasi struktur secara aman dan andal.

2. KAJIAN PUSTAKA

Tower telekomunikasi merupakan struktur rangka baja yang berfungsi sebagai penopang antena dan berbagai perangkat pendukung sistem jaringan komunikasi. Struktur tersebut berperan penting dalam menjamin kestabilan dan kontinuitas layanan telekomunikasi, sehingga perencanaan dan evaluasi kekuatannya harus dilakukan secara cermat. Berdasarkan sistem penopangnya, tower telekomunikasi diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama, yaitu *guyed mast*, *monopole*, dan *self supporting tower* (SST). Jenis SST banyak digunakan pada instalasi jaringan modern karena memiliki kestabilan yang lebih baik, tidak memerlukan kabel penahan, serta lebih efisien dalam penggunaan lahan dibandingkan tipe lainnya (Alan, 2011; Mahmud *et al*, 2006).

Sebagai struktur tinggi dan ramping, tower telekomunikasi sangat dipengaruhi oleh beban lingkungan, khususnya beban angin. Beban utama yang bekerja pada tower meliputi beban mati (berat sendiri struktur), beban peralatan (antena, kabel, dan perangkat transmisi), serta beban angin. Di antara ketiga jenis beban tersebut, beban angin merupakan beban dominan yang sangat

menentukan perilaku struktur dan menjadi faktor kritis dalam desain maupun evaluasi kinerja tower (Holmes, 2015; Kareem, 2018). Selain itu, standar lain (ANSI-TIA-222-G, 2009) memberikan panduan mengenai metode perhitungan beban, kombinasi pembebanan, batas rasio tegangan yang diizinkan, serta kriteria simpangan maksimum struktur. Penerapan standar tersebut bertujuan untuk memastikan bahwa tower mampu menahan beban rencana tanpa mengalami kegagalan struktural maupun gangguan fungsi operasional.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan ketinggian tower berpengaruh langsung terhadap peningkatan momen lentur dan gaya aksial pada elemen kaki dan bracing (Nafsika *et al*, 2019; Sourav *et al*, 2025). Oleh karena itu, evaluasi ulang kapasitas elemen struktur dan sambungan menjadi langkah yang wajib dilakukan untuk memastikan keselamatan struktur pasca modifikasi (Permen Kominfo No. 02, 2008; ANSI-TIA-222-G, 2009; Ahmad *et al*, 2017; Permen Hub No. 90, 2018; Yau *et al*, 2020). Beban utama yang bekerja pada tower meliputi beban mati, beban peralatan, dan beban angin. Beban angin merupakan beban dominan yang sangat mempengaruhi desain dan evaluasi struktur tower. Standar yang digunakan (Permen Kominfo No. 02, 2008; ANSI-TIA-222-G, 2009; Permen Hub No. 90, 2018) memberikan panduan teknis terkait perhitungan beban, kombinasi pembebanan, serta kriteria batas rasio tegangan dan simpangan struktur. Analisis kekuatan struktur tower telekomunikasi menggunakan perangkat lunak MS Tower menjadi pendekatan yang efektif dalam mengevaluasi kelayakan teknis penambahan ketinggian (tower extension) maupun program retrofit dan strengthening. MS tower adalah perangkat lunak teknik khusus yang digunakan untuk pemodelan, analisis struktural, pengecekan kekuatan, dan perancangan menara baja, seperti menara telekomunikasi (monopole, lattice) dan menara transmisi tenaga listrik. Software ini memfasilitasi analisis beban angin, beban statis, dan desain komponen sesuai standar yang berlaku secara Internasional (Bentely, 2014). Pemodelan numerik berbasis elemen hingga memungkinkan evaluasi rasio tegangan elemen, dan interaksi antarbatang serta sistem bracing secara lebih akurat dibandingkan pendekatan manual konvensional (Young *et al*, 2025).

Penambahan ketinggian tower akan meningkatkan momen lentur dan gaya aksial pada elemen kaki dan bracing, sehingga diperlukan analisis ulang kapasitas elemen struktur dan sambungan. Apabila hasil evaluasi menunjukkan nilai mendekati atau melampaui batas izin, maka perkuatan struktur menjadi langkah yang harus dilakukan untuk menjamin keselamatan. Studi terbaru menunjukkan bahwa modifikasi geometri dan penambahan segmen tower tanpa perkuatan yang memadai dapat meningkatkan risiko overstress pada elemen kaki bagian bawah serta kegagalan buckling lokal (Tsavdaridis *et al*, 2020). Selain itu, analisis retrofit melalui penambahan bracing atau penguatan leg member terbukti efektif dalam menurunkan displacement dan meningkatkan faktor keamanan struktur (Ugur *et al*, 2020). Oleh karena itu, penggunaan MS Tower mendukung proses evaluasi struktural yang presisi, terstandar, dan berbasis kinerja dalam rangka penambahan ketinggian menara telekomunikasi.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif kuantitatif yang umum digunakan dalam evaluasi struktur tower telekomunikasi (Ahsan, 1987; Yau *et al*, 2020), dengan tahapan kegiatan penelitian disajikan pada Gambar 1. Data penelitian diperoleh dari dokumen penambahan ketinggian tower yang disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 2 model analisis struktur tower menggunakan perangkat lunak MS Tower.

Tabel 1. Data umum tower

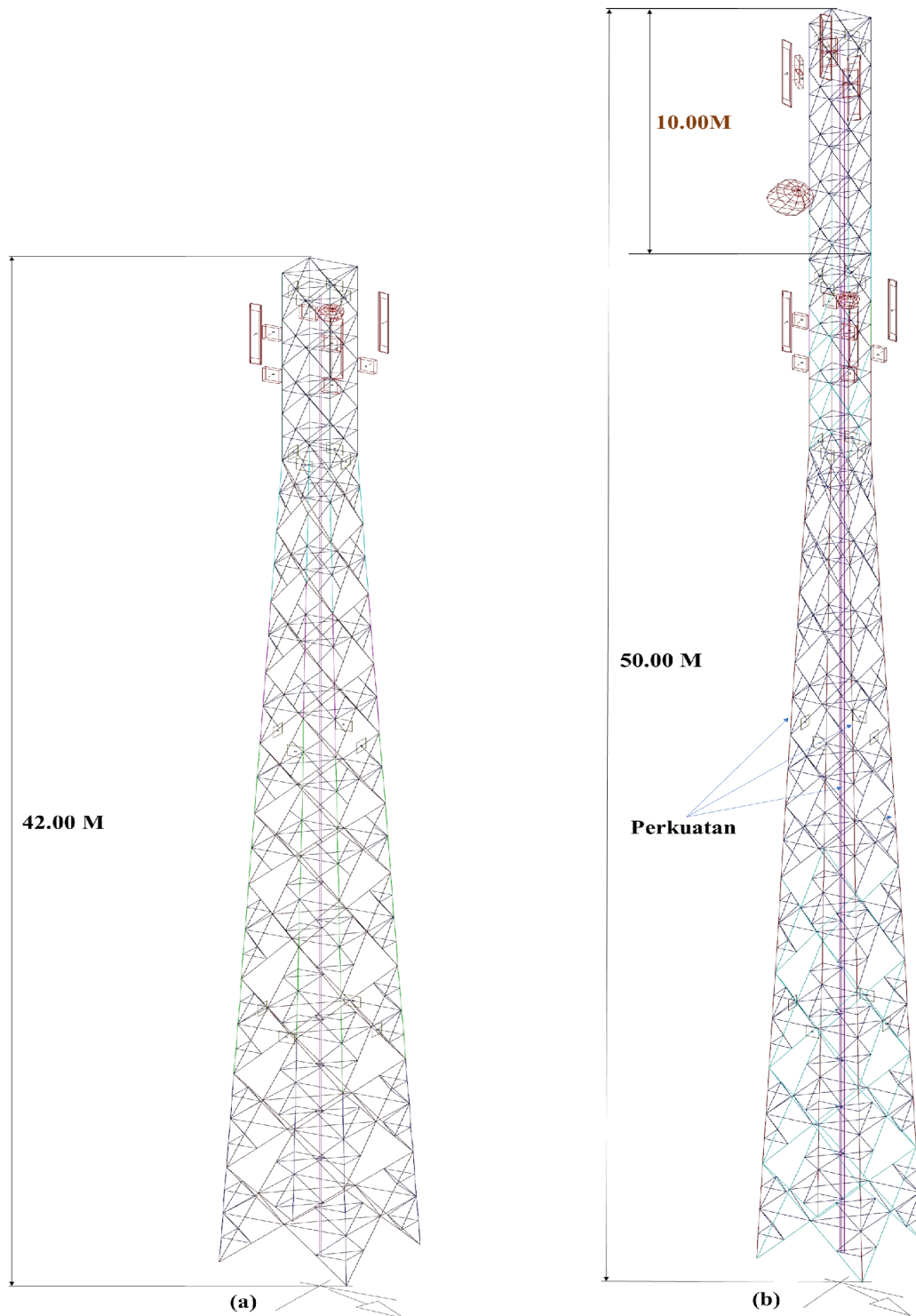
Data Umum Tower	Spesifikasi
Tipe Tower	SST-42M (Extend)
Tonase (Existing)	3013,71 Kg
Tinggi Tower Existing	42 m
Tinggi Tower Extend	50 m
Tonase (Extend)	4013,94 Kg

Objek penelitian ini adalah *self supporting tower* dengan tinggi awal 42 m yang kemudian direncanakan untuk diperpanjang menjadi 52 m guna mengakomodasi penambahan perangkat telekomunikasi. Perpanjangan tinggi struktur ini berimplikasi langsung terhadap peningkatan gaya dalam, respons dinamik, serta stabilitas global struktur. Pemodelan struktur tower dilakukan secara tiga dimensi menggunakan pendekatan elemen batang (*frame element*) dengan mempertimbangkan konfigurasi geometri aktual, sistem bracing, serta tipe sambungan antar elemen sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Properti material dimodelkan berdasarkan karakteristik baja struktural yang digunakan, termasuk modulus elastisitas, tegangan leleh, dan rasio Poisson. Pembebanan struktur meliputi beban mati (*self weight*), beban tambahan dari peralatan dan antena, serta beban angin yang dihitung sesuai ketentuan standar nasional dan internasional, yaitu Permen Kominfo No. 02 Tahun 2008, ANSI/TIA-222-G (2009), serta Permen Hub No. 90 Tahun 2018. Kombinasi pembebanan disusun untuk kondisi batas ultimit (*ultimate limit state*) dan batas layanan (*serviceability limit state*) guna memastikan keamanan dan kenyamanan operasional struktur (Holmes, 2015).



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Parameter kinerja yang dianalisis mencakup rasio tegangan pada elemen utama dan bracing, simpangan lateral maksimum di puncak tower, nilai *twist* (rotasi torsi), sway antar segmen, serta kapasitas angkur dan base plate terhadap gaya tarik dan geser. Hasil analisis numerik kemudian dibandingkan dengan kriteria batas izin yang ditetapkan dalam standar untuk menilai tingkat keamanan struktur eksisting setelah perpanjangan. Evaluasi ini juga menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan perkuatan atau modifikasi struktur guna menjamin keandalan dan keselamatan jangka panjang (Ahmad *et al*, 2017; Nafsika *et al*, 2019).



Gambar 2. (a). Tower kondisi Existing; (b). Tower kondisi Extend

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis struktur menunjukkan bahwa penambahan ketinggian tower memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan respons struktur. Semakin tinggi tower, semakin besar gaya internal yang bekerja pada elemen-elemen utama, khususnya gaya aksial dan momen lentur pada batang kaki serta sistem bracing. Kondisi tersebut terjadi karena bertambahnya luas bidang tangkap angin dan meningkatnya lengan momen akibat ketinggian struktur. Temuan sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa peningkatan tinggi struktur secara langsung berkontribusi terhadap bertambahnya beban lateral dan gaya dalam elemen struktur. Oleh karena

itu, setiap modifikasi ketinggian tower harus disertai dengan evaluasi ulang kapasitas elemen struktur untuk menjamin keselamatan dan kinerja struktur secara optimal. (Nafsika *et al*, 2019; Sourav *et al*, 2025).

Tabel 2. Hasil analisis struktur tower berdasarkan kondisi existing

Parameter Analisis	Kondisi Existing (42 m)	Kondisi Extended (52 m)	Kriteria Izin (TIA-222-G)	Keterangan
Rasio tegangan maksimum	0,76	0,94	< 1,00	Aman, mendekati batas
Displacement puncak (m)	0,07	0,15	< 0,21	Aman
Twist (derajat)	0,17	0,32	< 0,50	Aman
Sway (derajat)	0,31	0,59	< 0,50	Perlu perhatian
Kondisi angkur	Aman	Aman	< 1,00	Tidak perlu perkuatan
Kondisi base plate	Aman	Aman	< 1,00	Tidak perlu perkuatan

Berdasarkan hasil analisis yang disajikan pada Tabel 2, seluruh parameter kinerja struktur masih berada dalam batas aman sesuai dengan ketentuan standar (ANSI-TIA-222-G, 2009). Meskipun demikian, peningkatan nilai rasio tegangan dan simpangan lateral (*sway*) pada kondisi *extended* menunjukkan bahwa struktur bekerja semakin mendekati kapasitas maksimum yang diizinkan. Hal tersebut mengindikasikan adanya penurunan margin keamanan struktur akibat penambahan ketinggian tower. Temuan tersebut memperkuat rekomendasi perlunya tindakan perkuatan struktur, terutama pada elemen kaki dan sistem bracing bagian bawah yang menerima gaya internal terbesar. Rekomendasi tersebut sejalan dengan hasil penelitian terdahulu yang menekankan pentingnya peningkatan kapasitas elemen kritis untuk menjaga stabilitas dan keselamatan struktur secara keseluruhan (Yau *et al*, 2020; Ahmad *et al*, 2017).

Tabel 3. Hasil analisis struktur tower berdasarkan kondisi extended

Parameter Analisis	Existing (42 m)	Extended /Proposed (52 m)	Setelah Strengthening	Kriteria Izin (TIA-222-G)	Keterangan
Rasio tegangan maksimum	0,762	2,366	0,794	< 1,00	Perlu perkuatan
Displacement puncak (m)	0,074	0,259	0,150	< 0,21	Aman setelah perkuatan
Twist (derajat)	0,175	0,538	0,320	< 0,50	Aman setelah perkuatan
Sway (derajat)	0,312	0,533	0,592	< 0,50	Perlu evaluasi lanjutan
Anchor bolt	Aman	Aman	Aman	< 1,00	Tidak perlu perkuatan
Base plate	Aman	Aman	Aman	< 1,00	Tidak perlu perkuatan

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 3, pada kondisi *extended* tanpa perkuatan, beberapa parameter kinerja struktur telah melampaui batas izin yang ditetapkan oleh standar, khususnya pada nilai rasio tegangan maksimum dan respons lateral (*sway*). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa struktur tidak lagi memiliki margin keamanan yang memadai untuk menahan kombinasi pembebanan yang bekerja. Setelah dilakukan tindakan *strengthening* pada elemen-elemen kritis, terjadi penurunan signifikan pada nilai rasio tegangan dan simpangan lateral. Seluruh parameter utama kembali berada dalam rentang yang dapat diterima sesuai dengan ketentuan standar yang berlaku. Hasil tersebut membuktikan bahwa perkuatan struktur efektif dalam meningkatkan kapasitas dan kinerja tower setelah penambahan ketinggian (ANSI-TIA-222-G, 2009), meskipun nilai *sway* masih memerlukan perhatian pada tahap operasional.

Tabel 4. Ringkasan hasil analisis struktur tower (existing vs extended)

Parameter Analisis	Kondisi Existing (42 m)	Kondisi Extended (52 m)	Kriteria Izin (TIA-222-G)	Keterangan
Rasio tegangan maksimum	0,76	0,94	< 1,00	Aman, mendekati batas
Displacement puncak (m)	0,07	0,15	< 0,21	Aman
Twist (derajat)	0,17	0,32	< 0,50	Aman
Sway (derajat)	0,31	0,59	< 0,50	Perlu perhatian
Kondisi angkur	Aman	Aman	< 1,00	Tidak perlu perkuatan
Kondisi base plate	Aman	Aman	< 1,00	Tidak perlu perkuatan

Kemudian berdasarkan hasil analisis struktur tower existing vs extended yang disajikan pada Tabel 4, penambahan ketinggian tower terbukti menyebabkan peningkatan respons struktur yang cukup signifikan, terutama pada nilai rasio tegangan dan simpangan lateral (sway). Meskipun seluruh parameter kinerja struktur masih berada dalam batas yang diizinkan menurut standar (ANSI-TIA-222-G, 2009), nilai rasio tegangan pada kondisi extended menunjukkan kecenderungan mendekati batas kritis. Hal tersebut mengindikasikan berkurangnya margin keamanan struktur akibat peningkatan beban dan efek ketinggian. Oleh karena itu, diperlukan tindakan perkuatan pada elemen-elemen struktur tertentu, khususnya pada elemen kaki dan sistem bracing bagian bawah yang menerima gaya internal terbesar, guna menjamin stabilitas dan keselamatan struktur secara berkelanjutan.

Berdasarkan hasil analisis struktur juga memperlihatkan bahwa penambahan ketinggian tower telekomunikasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan respons struktur, terutama pada elemen kaki dan sistem bracing di bagian bawah tower. Kondisi tersebut terjadi karena bertambahnya tinggi struktur menyebabkan peningkatan luas bidang tangkap angin serta bertambahnya lengan momen akibat beban lateral yang bekerja. Akibatnya, gaya aksial dan momen lentur yang diterima oleh elemen-elemen utama struktur mengalami peningkatan dibandingkan dengan kondisi tower sebelum dilakukan penambahan ketinggian.

Berdasarkan hasil evaluasi, nilai rasio tegangan maksimum pada sebagian besar elemen struktur masih berada di bawah batas izin yang ditetapkan oleh standar perencanaan struktur, yaitu kurang dari 1,0. Namun demikian, beberapa elemen tertentu menunjukkan nilai rasio tegangan yang mendekati batas kritis. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya penurunan margin keamanan struktur akibat peningkatan beban dan perubahan geometri tower. Oleh karena itu, direkomendasikan dilakukan tindakan perkuatan (*strengthening*) pada elemen-elemen yang bekerja mendekati kapasitas maksimum, khususnya pada elemen kaki dan sistem bracing bagian bawah yang menerima gaya internal terbesar.

Selain itu, hasil analisis menunjukkan bahwa nilai simpangan puncak (*displacement*), *sway*, dan *twist* yang terjadi pada kondisi setelah penambahan ketinggian masih berada dalam batas kriteria layanan (*serviceability limit state*) sesuai dengan ketentuan standar yang berlaku. Hal tersebut menandakan bahwa secara umum perilaku struktur masih memenuhi persyaratan kinerja dalam aspek kenyamanan dan stabilitas global. Evaluasi terhadap komponen fondasi, khususnya angkur dan base plate, juga menunjukkan bahwa kapasitas keduanya masih mencukupi untuk menahan gaya yang bekerja dan tidak memerlukan perkuatan tambahan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa penambahan ketinggian tower telekomunikasi secara struktural masih dapat diterima, dengan catatan dilakukan perkuatan pada elemen-elemen tertentu yang mengalami peningkatan respons signifikan. Lebih lanjut, hasil penelitian ini menegaskan pentingnya analisis struktur yang komprehensif dan berbasis standar dalam setiap rencana modifikasi tower telekomunikasi. Analisis yang detail tidak hanya diperlukan untuk memastikan pemenuhan persyaratan teknis, tetapi juga untuk menjaga keandalan dan keselamatan struktur dalam jangka panjang, sehingga risiko kegagalan struktural dapat diminimalkan dan operasional tower tetap berlangsung secara aman dan berkelanjutan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis struktur tower telekomunikasi dengan kondisi existing setinggi 42 m dan rencana penambahan ketinggian menjadi 52 m, dapat disimpulkan bahwa penambahan ketinggian tower memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan respons struktur, khususnya pada nilai gaya aksial, momen lentur, dan simpangan lateral. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pada kondisi extended tanpa perkuatan, beberapa parameter kinerja struktur melampaui batas izin yang ditetapkan oleh standar, terutama pada rasio tegangan maksimum dan sway. Namun, setelah dilakukan tindakan perkuatan (*strengthening*) pada elemen-elemen kritis, terutama pada elemen kaki dan sistem bracing bagian bawah, seluruh parameter utama kembali berada dalam batas aman. Evaluasi terhadap kapasitas angkur dan base plate menunjukkan bahwa keduanya masih memenuhi persyaratan dan tidak memerlukan perkuatan tambahan. Dengan demikian, penambahan ketinggian tower dapat dilakukan secara struktural dengan aman apabila disertai analisis teknis yang komprehensif serta penerapan perkuatan pada elemen struktur yang membutuhkan peningkatan kapasitas.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Dinas Perumahan dan Kawasan Pemukiman Kabupaten Rokan Hulu Provinsi Riau atas semua dukungan fasilitas data dan informasi terkait obyek penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M., Yakni, I., & Merantia, L. (2017). Analisis Kekuatan Menara BTS Tipe SST Kaki Empat Terhadap Penambahan Antena Parabola (Studi Kasus Menara BTS di Kabupaten Ogan Ilir). *Jurnal Rekayasa Struktur*, 381-387. <https://bit.ly/3Ly48Z5>.
- Ahsan, K. (1987). Wind effects on structures: a probabilistic viewpoint. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 166-200. [https://doi.org/10.1016/0266-8920\(87\)90009-9](https://doi.org/10.1016/0266-8920(87)90009-9).
- Alan, W. (2011). *Steel Structures Design*. Washington, DC 20001-2070: McGraw-Hill.
file:///D:/Downloads/Steel_Structures_Design.pdf.
- ANSI-TIA-222-G. (2009). *Structural standard for antenna supporting structures and antennas*. New York: American National Standards Institute.
file:///D:/Downloads/Structural_Standard_for_Antenna_Supporti.pdf.
- Bentley, 2014. MStower Specialty Software for Steel Tower Analysis and Design.
<https://www.inas.ro/files/docs/bentley/opentower/bentley-mstower.pdf>
- Holmes, J. D. (2015). *Wind loading of structures (3rd ed.)*. Boca Raton: FL: CRC Press.
file:///D:/Downloads/Wind_Loading_of_Structures_This_page_int-1.pdf.
- Kareem, A. (2018). Wind effects on structures: a probabilistic viewpoint. 04018045.
[https://doi.org/10.1016/0266-8920\(87\)90009-9](https://doi.org/10.1016/0266-8920(87)90009-9).
- Kozak, O., Andrii, V., & Andriy, A. (2025). Practical Design of Lattice Cell Towers on Compact Foundations in Mountainous Terrain . *Eng*, 6, 269. <https://doi.org/10.3390/eng6100269>.
- Mahmud, K. E., & Triono, S. (2006). Pengaruh Beban Angin Terhadap Struktur Roof Top over Telepon Seluler. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 69-76.
file:///D:/Downloads/Pengaruh_Beban_Angin_Terdapat_Struktur_R.pdf.
- Nafsika, S., Efthymios, K., & Charalampos, B. (2019). Structural analysis and optimal design of steel lattice wind turbine towers. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings* (ss. 564-579). Emerald Insight. <https://doi.org/10.1680/jstbu.18.00074>.
- Permen Hub No. 90. (2018). *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 90 Tahun 2018 Tentang Norma, Standar, Prosedur, dan Kriteria Perizinan Berusaha Terintegrasi Secara Elektronik Sektor Perhubungan di Bidang Udara*. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
<https://peraturan.bpk.go.id/Details/104439/permenhub-no-90-tahun-2018>.
- Permen Kominfo No. 02. (2008). *Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor: 02 Tahun 2008, Tentang Pedoman Pembangunan dan Penggunaan Menara Bersama Telekomunikasi*. Kementerian Komunikasi dan Informasi Republik Indonesia.
<https://peraturan.bpk.go.id/Details/159668/permenkominfo-no-2permkominfo32008-tahun-2008>.
- SNI 1727. (2013). *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain*. Badan Standardisasi Nasional, BSN.
file:///D:/Downloads/SNI_1727_Tahun_2013_Tentang_Beban_Minimu.pdf.
- Sourav, C., Humayan, K., Debanjan, D., & Udoyan, G. (2025). A Review of High-Rise Building Systems: Structural, Environmental and Technological Perspectives; Souvik, Sharma; Biman, Mukherjee. *International Journal of Enhanced Research in Science, Technology & Engineering*, 140-143.
https://erpublications.com/uploaded_files/download/s-c-h-k-d-d-u-g-prof-s-s-prof-dr-b-m_pQBcP.pdf.
- Sudarshan, C. K. (2025). Structural analysis of telecommunications towers: Report content and its importance to the industry and public. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, 153-162.
- Tsavdaridis, K.D, Nicolaou, A., Mistry, A.D., & Efthymiou, E. (2020). Topology optimisation of lattice telecommunication tower and performance-based design considering wind and ice loads. *Structures*, 27, 2379-2399. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.08.010>
https://journalwjaets.com/sites/default/files/fulltext_pdf/WJAETS-2025-0196.pdf.
- Uğur, A., & Loai, M (2020). Evaluation of Seismic Performance of Steel Lattice Transmission Towers. *Civil Engineering Journal*, 16, 10.
<https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091600>
- Vinotha, J. J., Nisha., Sobicka., & Anandavalli. (2024). A Comparative Study Of Telecommunication Tower Subjected To Static Analysis With Different Member Cross Section. *National Conference on*

- Structural and Geotechnical Engineering (NCSGE 2024)* (ss. 1333, 012001). Jamshedpur, India: IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1333/1/012001>.
- Yau., Sulaiman., Balogun., & Hashim, A. (2020). Optimization and Design of Telecommunication Tower Subjected to Dynamic and Static Loading. *Bayero Journal Of Engineering And Technology*, 115–123.
<file:///D:/Downloads/Optimization And Design Of Telecommunication Tower-1.pdf>.
- Yuan F., & Mark, G. S. (2025). Probabilistic analysis of wind-induced failures of transmission tower-line systems. *Structure and Infrastructure Engineering*, 11-12, 2101-2114
<https://doi.org/10.1080/15732479.2025.2554724>