

Pengaruh Pergerakan Kaki *Tower* Terhadap Struktur *Tower* Transmisi Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (Sutet) 500KV

Shinta Rahmayanti¹⁾, Khairullah²⁾, Emi Maulani³⁾, Yovi Chandra⁴⁾, Herman Fithra⁵⁾
^{1, 2, 3, 4)} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Malikussaleh
Email: shinta.190110063@mhs.unimal.ac.id¹⁾, khairullah@unimal.ac.id²⁾
hfithra@unimal.ac.id⁵⁾

(Received: 11 Oktober 2023 / Revised: 28 Oktober 2023 / Accepted: 02 November 2023)

Abstrak

Tower Transmisi Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV secara geometri memiliki tinggi 20 m – 120 m, *tower* ini memiliki tinggi 65.3 m. Sehingga, memerlukan lahan luas dan terhindar dari gangguan untuk menjaga keamanan struktur. Penelitian ini untuk mengetahui tegangan (*stress*) dan deformasi pada *tower* akibat keadaan lingkungan. penelitian menggunakan metode elemen hingga, analisis menggunakan *software* STAAD.Pro V8i untuk melihat tegangan (*stress*) dan deformasi pada struktur apakah masih dalam kuat batas yang diizinkan berdasarkan peraturan BS 8100, SNI 1729-2020 dan AISC 360-10. Hasil analisis menunjukkan rata – rata kenaikan tegangan (*stress*) tertinggi berada di *leg B*, *right bracing* meningkat sebesar 263%, *main bracing* 696% dan *left bracing* 558%. *Displacement* maksimum terjadi di *leg B* node 750 sumbu x sebesar 2151.55 mm dan sumbu z 1149 mm. Perubahan tersebut menyebabkan gaya dalam dan rasio pada *member* meningkat, sehingga *tower* mengalami kegagalan struktur karena telah melewati batas izin berdasarkan peraturan BS 8100, SNI 1729-2020 dan AISC 360-10.

Kata kunci: *Deformasi*, *Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)*, *Tegangan*, *Tower Transmisi*, *STAAD.Pro V8i*.

Abstract

The 500 kV Extra High Voltage Air Line Transmission Tower (SUTET) geometrically has a height of 20 m – 120 m, This tower has a height of 65.3 m.. So, it requires a large area and avoids interference to maintain the safety of the structure. This research is to determine stress and deformation in the tower due to environmental conditions. research using the finite element method, analysis using STAAD.Pro V8i software to see whether stress and deformation in the structure are still within the permitted strength limits based on BS 8100, SNI 1729-2020 and AISC 360-10 regulations. The results of the analysis show that the highest average increase in stress was in leg B, right bracing increased by 263%, main bracing 696% and left bracing 558%. The maximum displacement occurs at leg B node 750, the x-axis is 2151.55 mm and the z-axis is 1149 mm. These changes caused the internal force and ratio of members to increase, so that the tower experienced structural failure because it had exceeded the permit limits based on BS 8100, SNI 1729-2020 and AISC 360-10 regulations.

Keywords: *Deformation*, *Extra High Voltage Air Duct (SUTET)*, *Voltage*, *Transmission Tower*, *STAAD.Pro V8i*.

1. Latar Belakang

Tower dibagi dalam beberapa spesifikasi sesuai dengan kegunaannya, yaitu BTS (*Base Transceiver Station*), *tower triangle*, dan *tower transmisi*. *Tower Transmisi Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV* sirkit ganda yang selanjutnya akan disingkat dan disebut SUTET. Ciri - ciri SUTET 500 kV sirkit ganda adalah pemakaian luas lahan lebih sedikit, terdiri dari satu *tower*, konstruksi SUTET cukup tinggi dan digunakan di daerah yang frekuensi petirnya rendah (Irawati dkk., 2009).

Untuk menunjang perkembangan perekonomian sebuah kota dan negara memerlukan pembangunan infrastruktur yang memadai, seperti pemerataan dan ketersediaan listrik. Energi listrik memiliki peran penting dalam kehidupan manusia, pertumbuhan penduduk yang pesat diiringi dengan meningkatnya konsumsi listrik mengharuskan kita mengambil langkah maksimal untuk memenuhi hal tersebut (Teknik dkk., 2019). Fungsi saluran transmisi adalah untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit – pembangkit utama ke pusat beban.

SUTET merupakan komponen sistem tenaga listrik yang berperan sangat penting dalam kestabilan tenaga listrik, tetapi saluran ini sangat rawan terhadap gangguan, baik internal maupun eksternal (Idris et al., 2021). Untuk membangun *tower*, tentu telah melewati banyak pertimbangan dan perencanaan, baik menentukan lokasi, lingkungan sekitar, keadaan angin dan gangguan sambaran petir di sekitar *tower*. Namun, seiring berjalannya waktu keadaan lingkungan dapat berubah dan dapat mengganggu keadaan struktur *tower*. Setelah dibangun, konstruksi *tower* juga memerlukan pengecekan. Seperti mengecek struktur *tower*, keadaan pondasi yang berpengaruh pada struktur *tower* dan lingkungan di sekitar *tower* untuk menghindari kerusakan dan robohnya *tower* tersebut. *Tower* dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu *leg extension*, *body extension* dan *commenportion* (Bangun, 2021).

Untuk memastikan keadaan struktur aman, struktur harus mampu memikul beban yang telah dirancang, yaitu tegangan (*stress*) dan deformasi yang terjadi pada struktur masih dalam kuat batas yang diizinkan. Jika tegangan dan deformasi pada struktur telah melewati kuat batas yang diizinkan, maka harus dilakukan evaluasi untuk meninjau seberapa besar tegangan dan deformasi yang terjadi, dan tindak lanjut yang harus dilakukan untuk struktur tersebut. Struktur dianalisis berdasarkan keadaan aktual, yaitu *Tower Transmisi SUTET 500 kV*.

Pada *tower transmisi 500 kV* ini memiliki kendala pada keadaan lingkungan sekitar yang menyebabkan pergerakan pada kaki *tower* yang berpengaruh pada struktur, akibat pergerakan tersebut tegangan (*stress*) dan deformasi pada *member-member* meningkat dan mengalami perubahan. Di lapangan, telah terjadi tekuk (*buckling*). Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan evaluasi terhadap *tower transmisi 500 kV* berdasarkan pergerakan kaki *tower* yang terjadi untuk mengetahui besarnya tegangan (*stress*) dan deformasi pada *member – member tower transmisi SUTET 500 kV*, menggunakan bantuan program *software STAAD.Pro V8i*.

2. Metode Penelitian

Tower transmisi atau Menara daya adalah struktur tinggi terbuat dari baja untuk mentransmisikan energi listrik ke pusat pengatur beban (LORENO, 2015). Dalam penelitian ini tahapan awal yang dilakukan adalah studi literatur, tahap kedua dilanjutkan mengumpulkan data - data dan informasi mengenai *tower*. Pemodelan struktur menggunakan *software* STAAD.Pro V8i dalam keadaan *perfect*. Kemudian *input* pembebanan, beban mati yaitu beban yang diasumsikan semua bahan yang secara permanen terikat dalam desain (AISC, 1989), berat menara sendiri, beban angin yaitu beban yang bekerja pada bagian bangunan yang disebabkan tekanan udara (BSN, 2020) dan beban kabel yang telah dikumpulkan ke dalam STAAD.Pro V8i. Struktur *tower* dianalisis berdasarkan pergeseran kaki *tower* yang di-*input* berdasarkan keadaan aktual, selanjutnya dibahas perubahan tegangan (*stress*) dan deformasi akibat pergerakan kaki *tower* terhadap struktur *tower*. Batas izin rasio pada struktur baja kurang dari satu (Ilhami dkk ., 2020).

Berdasarkan fungsinya tower terbagi menjadi tujuh yaitu *tension tower*, *suspension tower*, *section tower*, *transposition tower*, *gantry tower*, *combined tower* dan *dead and dead tower* (PT. PLN (Persero), 2019). Menara kisi (*lattice tower*) memiliki kondisi beban yang rumit dan interaksi *non linear* antara beberapa komponen struktural (C & Y, 2016). Beberapa penilaian yang dilakukan untuk membuat jalur transmisi adalah analisis kegagalan struktur dan pondasi akibat penuaan, pembebanan berlebih atau *shock loading* analisis dan pencegahan dan pengendalian korosi (Peter & Dimnik, 2019). Menurut (Kang dkk., 2007) pada tahun 1993 diketahui efek sambungan pada perilaku Menara transmisi juga sangat besar, dengan demikian tegangan sekunder meningkat secara signifikan sehingga dapat menyebabkan kegagalan pada kaki *tower*.

Tegangan normal bekerja tegak lurus terhadap potongan tampang melintang, apabila tegangan normal bekerja ke arah luar dari penampang maka disebut sebagai tegangan Tarik dengan tanda positif, sedangkan tegangan yang menuju potongan penampang disebut tegangan tekan dengan tanda negatif (Isworo, 2018). Elemen rangka batang mengalami deformasi, yaitu lendutan struktur rangkabatang akibat suatu beban tertentu adalah deformasi total seluruh elemen rangka. pada titik - titik pertemuannya akibat adanya gaya aksial pada masing - masing elemen rangka (Suharto et al., 2017). Akibat adanya *displacement* yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta L = \frac{F.L}{E.A} \quad (1)$$

Keterangan:

- F = Beban proporsional
- L = Panjang efektif elemen batang
- E = Modulus elastisitas elemen
- A = Luas Penampang elemen batang

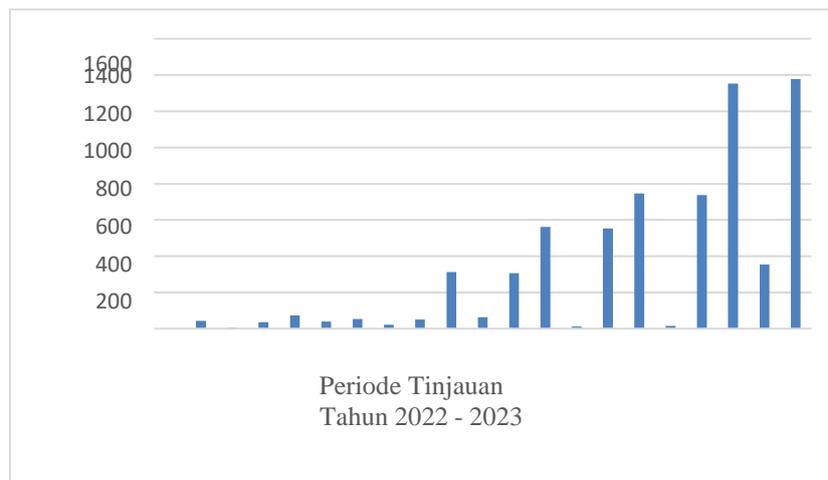
Ada banyak faktor yang menyebabkan kegagalan struktur, pada tower transmisi akurasi kegagalan struktur dapat diketahui melalui analisis nonlinear (Ramalingam, 2017).

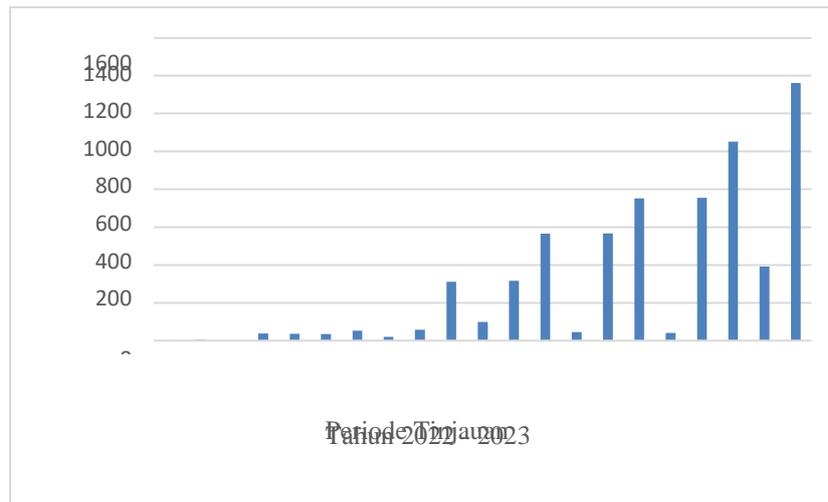
3. Hasil dan Pembahasan

Tower transmisi Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV mengalami pergerakan kaki yang mengakibatkan perubahan keadaan pada struktur *tower*. *Tower* dianalisis akibat pergerakan yang terjadi pada keadaan aktual di lapangan. Data yang diambil adalah dalam jangka waktu tujuh bulan, periode tinjauan diambil selama 7 bulan yaitu 16 november 2022 – 16 mei 2023 yang diambil pada tanggal 16 setiap bulannya dan di-input pada *software* STAAD.Pro V8i untuk melihat tegangan (*stress*) dan deformasi pada struktur. Hasil dari penelitian ini sesuai dengan masalah yang ingin dibahas yakni untuk mengetahui bagaimana tegangan (*stress*) dan deformasi yang terjadi pada *Tower* Transmisi 500 kV. Baja rentan terhadap tekuk (*buckling*) dan lemah terhadap beban siklik (Tampubolon, 2021).

3.1 Tegangan

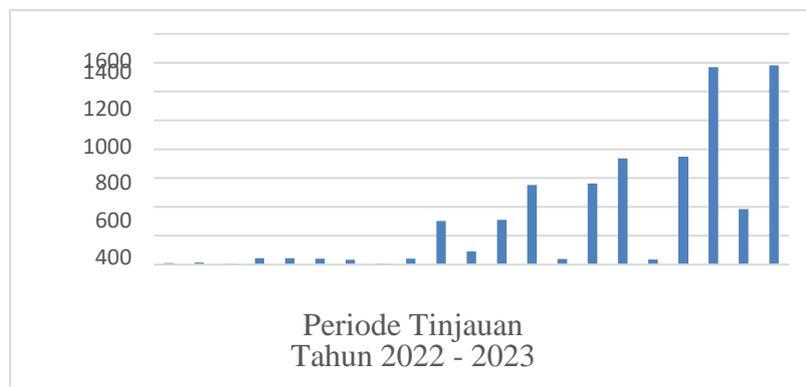
Tegangan (*stress*) yang terjadi pada *Tower* Transmisi SUTET 500 kV yang diperoleh dari hasil analisis STAAD.Pro V8i. Tegangan (*stress*) yang terjadi tidak boleh melebihi batas kuat tekan *ultimate* dan kuat tarik *yield* sesuai dengan mutu baja yang digunakan yaitu ASTM A572 Gr.50. *Output* tegangan (*stress*) pada setiap *leg* ditunjukkan pada Gambar 1 s/d Gambar 4.





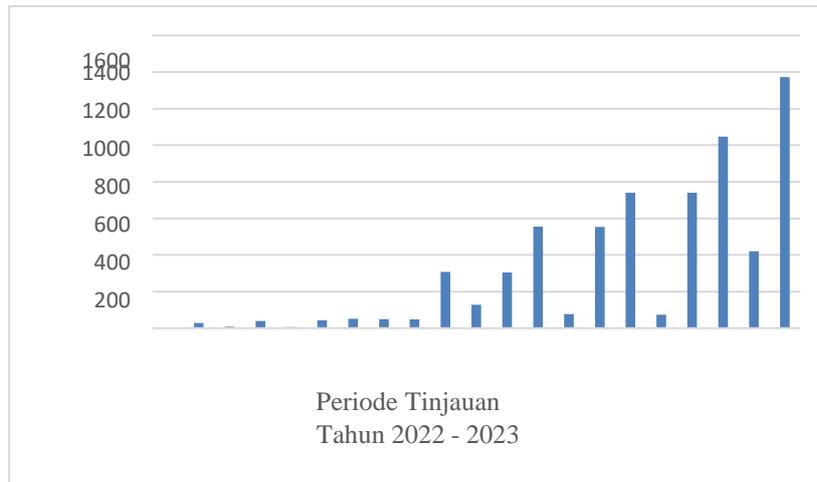
Gambar 2 Max stress leg B

Berdasarkan Gambar 2 peningkatan *stress* terjadi secara signifikan pada setiap *bracing*, peningkatan *stress* mulai besar pada *beam 1799 left bracing* sebesar 315.398 MPa dan terus meningkat hingga *stress* maksimum pada *beam 1799 left bracing* sebesar 1361.281 MPa. *Stress* terjadi karena *displacement* aktual yang terjadi pada kaki *tower* transmisi.



Gambar 3 Max stress leg C

Berdasarkan Gambar 3 diketahui peningkatan *stress* terjadi secara signifikan pada setiap *bracing*, peningkatan *stress* mulai besar pada *beam 1790 left bracing* sebesar 309.494 MPa dan terus meningkat hingga *stress* maksimum pada *beam 1688 left bracing* sebesar 1382.470 MPa.

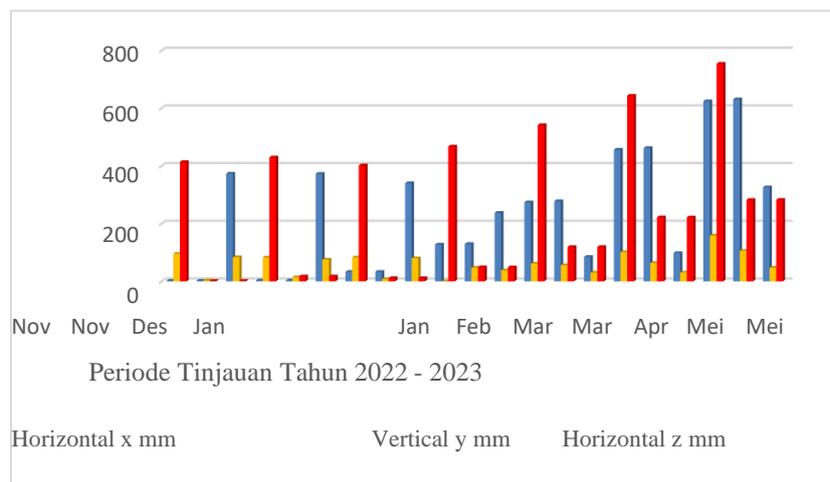


Gambar 4 Max stress leg D

Berdasarkan Gambar 4 diketahui peningkatan *stress* terjadi secara signifikan pada setiap *bracing*, peningkatan *stress* mulai besar pada *beam 1800 right bracing* sebesar 307.705 MPa dan terus meningkat hingga *stress* maksimum pada *beam 1717 left bracing* sebesar 1373.074 MPa.

3.2 Deformasi

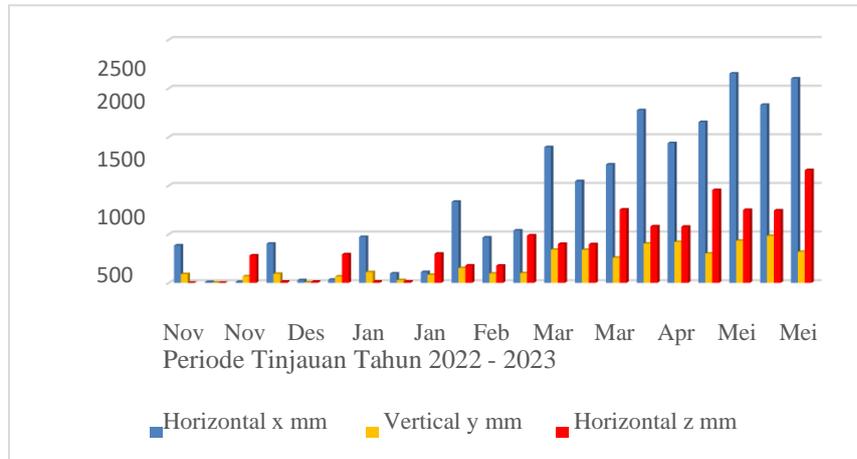
Perpindahan (*displacement*) pada struktur diperoleh dari hasil analisis STAAD.Pro V8i. *displacement* terjadi pada *leg tower*. Peningkatan yang terjadi secara signifikan berada pada sumbu kuat yaitu x dan z (Erinofiardi, 2012). *Output displacement* pada setiap *leg* ditunjukkan pada Gambar 5 s/d Gambar 8.



Gambar 5 Node displacement leg A

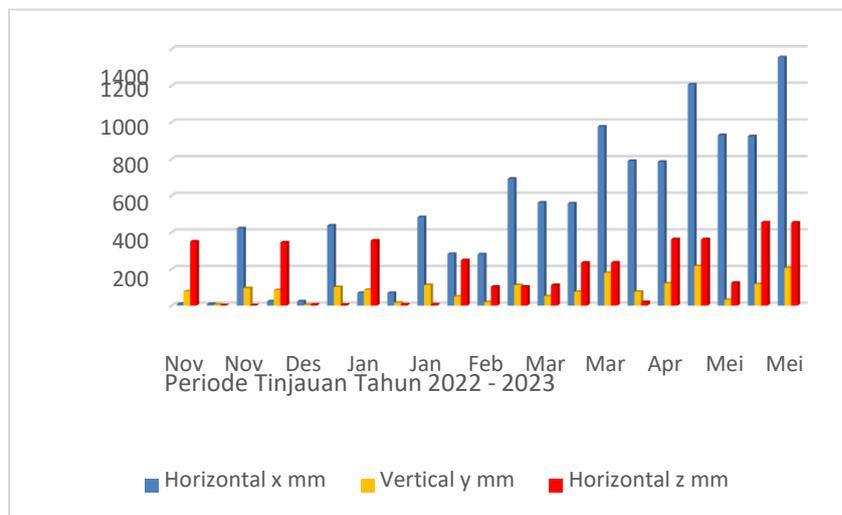
Node displacement yang ditinjau dalam penelitian ini terjadi pada *leg tower* transmisi. Berdasarkan Gambar 5, maka diketahui *displacement* maksimum terjadi

pada bulan mei, node 751 *left bracing* arah sumbu z sebesar 754.391 mm. Besarnya nilai *displacement* dipengaruhi oleh data *displacement* aktual.



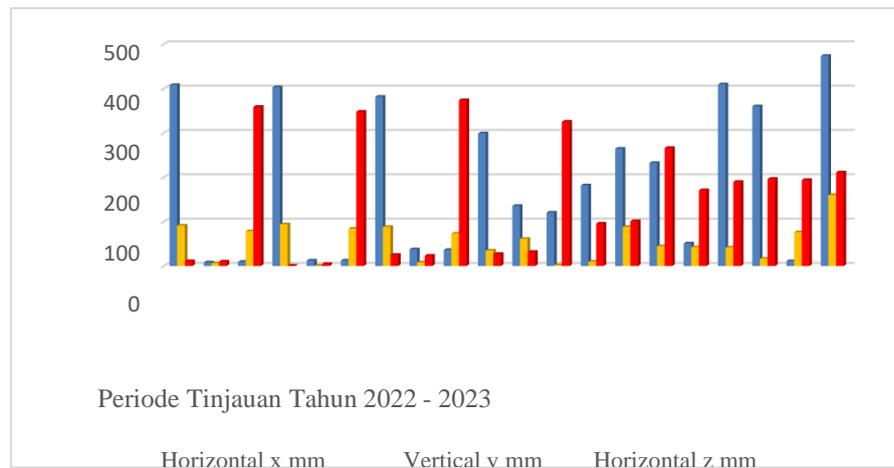
Gambar 6 *Node displacement leg B*

Node displacement yang ditinjau dalam penelitian ini terjadi pada *leg tower* transmisi. Berdasarkan Gambar 6, maka diketahui *displacement* maksimum terjadi pada bulan mei, node 750 *right bracing* arah sumbu x sebesar 2151 mm. Besarnya nilai *displacement* dipengaruhi oleh data *displacement* aktual.



Gambar 7 *Node displacement leg C*

Node displacement yang ditinjau dalam penelitian ini terjadi pada *leg tower* transmisi. Berdasarkan Gambar 7, maka diketahui *displacement* maksimum terjadi pada bulan mei, node 749 *right bracing* arah sumbu x sebesar 1354.608 mm. Besarnya nilai *displacement* dipengaruhi oleh data *displacement* aktual.



Gambar 8 Node displacement leg D

Node displacement yang ditinjau dalam penelitian ini terjadi pada *leg tower* transmisi. Berdasarkan Gambar 8, maka diketahui *displacement* maksimum terjadi pada bulan Mei, node 696 *right bracing* sumbu arah x sebesar 473.874 mm. Besarnya nilai *displacement* dipengaruhi oleh data *displacement* aktual.

Pemodelan dan analisis pada *tower* transmisi dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software* STAAD.Pro V8i. Hasil yang diperoleh dari analisis menunjukkan bahwa nilai tegangan (*stress*) dan *displacement* maksimum terjadi pada *leg B* dan kedua terbesar adalah *leg C*. Nilai tegangan maksimum pada *tower* transmisi meningkat secara signifikan pada *leg B right bracing* meningkat sebesar 263%, *main bracing* meningkat sebesar 696%, *left bracing* meningkat sebesar 558%. Nilai *displacement* maksimum terjadi pada *leg B* dengan nilai terbesar berada di *node 750* sumbu x sebesar 2151.55 mm, pada *node 746* sumbu z sebesar 1149 mm. Hal ini disebabkan oleh keadaan *leg* yang menghadap timbunan. Semakin besar tekanan pada pondasi menyebabkan pergerakan pada kaki *tower* semakin jauh dan mengalami perubahan tegangan (*stress*) dan deformasi.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan mengenai pengaruh pergerakan kaki *tower* transmisi, maka dapat diambil kesimpulan tegangan (*stress*) akibat *displacement* data aktual yang terjadi pada *Tower Transmisi SUTET 500 kV*, rata-rata kenaikan tertinggi berada pada *leg B right bracing* meningkat sebesar 263%, *main bracing* meningkat sebesar 696%, *left bracing* meningkat sebesar 558%. Pada bulan tertentu *member* telah mengalami putus *member*. Deformasi yang terjadi adalah *displacement*, *displacement* maksimum terjadi pada *leg B node 750* sumbu x sebesar 2151.55 mm dan *node 746* sumbu z sebesar 1149 mm. Tegangan (*stress*) dan *deformasi tower* telah melewati batas izin berdasarkan peraturan BS 8100 (British Standards, 1986), SNI 1729-2020 (Badan Standardisasi Nasional, 2020) dan AISC 360-10 (AISC, 1989).

4.2 Saran

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan berkaitan dengan pengaruh pergerakan kaki *Tower* Transmisi SUTET 500 kV, maka saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah penelitian selanjutnya diharapkan dapat memperhitungkan perilaku akibat beban gempa terhadap kestabilan struktur *tower* transmisi dan diharapkan dapat melakukan analisis optimasi desain untuk mencegah kegagalan struktur pada *Tower* Transmisi Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV.

Daftar Kepustakaan

- AISC. (1989). Frames and Other Structures. *Specification for Structural Steel Buildings (Allowable Stress Design and Plastic Design)*, 136–138. <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/manual/15th-ed-ref-list/specification-for-structural-steel-buildings-allowable-stress-design-and-plastic-design.pdf>
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). Penetapan Standar Nasional Indonesia 1727: 2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur. *Badan Standardisasi Nasional 1727:2020*, 8, 1–336.
- Bangun, J. (2021). Inovasi Pemakaian Digital RFID (Radio Frequency Identification) Dalam Pengadaan Baja Tower Transmisi 500 KV. (Studi Kasus Pekerjaan Proyek Transmisi 500 kV Aur Duri – Muaraenim Paket.3). *Jurnal Insinyur Profesional*, 1(1). <https://doi.org/10.24114/v1i1.26713>
- British Standards. (1986). *BS 8100-1:1986 - Lattice Towers and Masts. 1*.
- BSN. (2020). Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. *Badan Standardisasi Nasional 1727:2020*, 8, 1– 336.
- C, L., & Y, O. (2016). Structural Analysis of Lattice Steel Transmission Towers: A Review. *Journal of Steel Structures & Construction*, 2(1), 1–11. <https://doi.org/10.4172/2472-0437.1000114>
- Erinofiardi, H. (2012). Analisa Defleksi Struktur Tower Transmisi Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 3(2), 362–371.
- Idris, A. R., Usman, U., & Suyono, W. (2021). Analisis Pengaruh Pemasangan Counterpoise pada Tower Transmisi Saluran Udara Tegangan Tinggi 70 kV Line Mandai-Pangkep. *Seminar Nasional Teknik Elektro Dan Informatika (SNTEI)*, September, 104–109.
- Ilhami, Z., Studi, P., Sipil, T., Teknik, F., Muhammadiyah, U., & Utara, S. (2020). Analisa Perbandingan Perilaku Struktur Antara Dua Model Tower Jenis Piramid Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV.

- Irawati, I., Cahyo, H. N., Retnara, I. W., & Guntur. (2009). Peran Jaringan Energi Kelistrikan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) dalam Pembangunan Perkotaan Berkelanjutan. *Seminar Nasional Perencanaan Wilayah Dan Kota ITS*, 978, 73–94.
- Isworo, F. (2018). Mekanika Kekuatan Material I (Hmkk319). *Buku Ajar*, 19–22.
- Kang, W., Albermani, F., Kitipornchai, S., & Lam, H. F. (2007). *Modeling and Analysis of Lattice Towers with More Accurate Models. Advanced Steel Construction*, 3(2), 565–582.
- LORENO, D. C. (2015). Alat Pengukur Listrik Tegangan Tinggi. September.
- Peter, Z., & Dimnik, C. (2019). *5/4/2019 Transmission Line Assessment & Field Inspections of Line Components*. 4–6.
- PT. PLN (Persero). (2019). Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi (SUTT/SUTET).
- Ramalingam, R. (2017). *Failure Analysis of Lattice Tower Like Structures. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 80(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/80/1/012024>
- Suharto, S., Budio, S. P., & Arifi, E. (2017). Pengaruh Pengencangan Baut Terhadap Lendutan pada Model Jembatan Rangka Baja. *Neliti.Com*.
- Tampubolon, S. P. (2021). *Struktur Baja-I*. 1–165.
- Teknik, F., Islam, U., Muhammad, K., Al, A., & Banjarmasin, B. (2019). Perencanaan Penerapan Transposition Tower Untuk Mengantisipasi Ketidakseimbangan Impedansi Transmisi Sutt 150 Kv Gardu Induk Pltu Sampit – Gardu Induk Kuala Pembuang.