

PERENCANAAN STRUKTUR MENARA LISTRIK TEGANGAN TINGGI

Tedy Ferdian¹, Yosafat Aji Pranata², Ronald Simatupang³

¹Alumnus Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

^{2,3}Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha

Jalan Suria Sumantri 65 Bandung, 40164, Jawa Barat

E-mail: tedyferdian@yahoo.co.id, yosafat.ap@gmail.com

Abstrak

Kebutuhan pasokan listrik di Indonesia khususnya di Provinsi Jawa Barat semakin hari semakin besar karena bertambahnya jumlah penduduk serta meningkatnya aktivitas sosial dan ekonomi. Kondisi ini memberikan dampak bahwa pemerintah memberikan pasokan listrik kepada masyarakat berupa sistem sumber listrik menggunakan konstruksi tower Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) dan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), yang mana mudah dirakit terutama didaerah pegunungan dan jauh dari jalan raya serta dengan biaya yang relatif lebih rendah. Tujuan penelitian ini adalah melakukan penelitian analitis yaitu kajian perencanaan struktur menara listrik tegangan tinggi. Metode penelitian untuk kontrol kekuatan tekan dan tarik pada elemen struktur menggunakan metode LRFD. Beban yang bekerja pada stuktur tower ini terdiri dari beban mati yang berupa berat sendiri menara, berat insulator, dan berat kabel. Beban angin dihitung berdasarkan TIA/EIA-222-F Standard (Structural Standards for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures). Studi kasus mengambil contoh model stuktur menara listrik tegangan tinggi yang didasarkan dari Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN). Ruang lingkup penelitian untuk membatasi kajian dalam tulisan ini adalah struktur menara terletak di Jawa Barat, material yang digunakan adalah baja, beban yang ditinjau adalah berat sendiri struktur, beban gravitasi, beban angin, dan momen guling. Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah bahwa hasil analisis memperlihatkan untuk model struktur menara listrik tegangan tinggi dengan bentang kabel berjarak 500 meter memenuhi persyaratan berdasarkan standar SPLN, kemudian hasil perencanaan dengan contoh studi kasus pada segmen T elevasi ± 3 meter pada sambungan antara batang leg tower 76-1 dan leg tower 80-1 dengan redudant 108-1, nilai gaya batang tekan output dari hasil analisis struktur adalah V_u sebesar 40,709 ton maka sesuai dengan perhitungan sambungan diperoleh jumlah baut 10 (sepuluh) buah berdiameter 16 mm dan 24 mm. Sedangkan deformasi maksimum tower adalah sebesar 184 mm.

Kata kunci: Tower; SUTET; Pile Cap; Baja

Pendahuluan

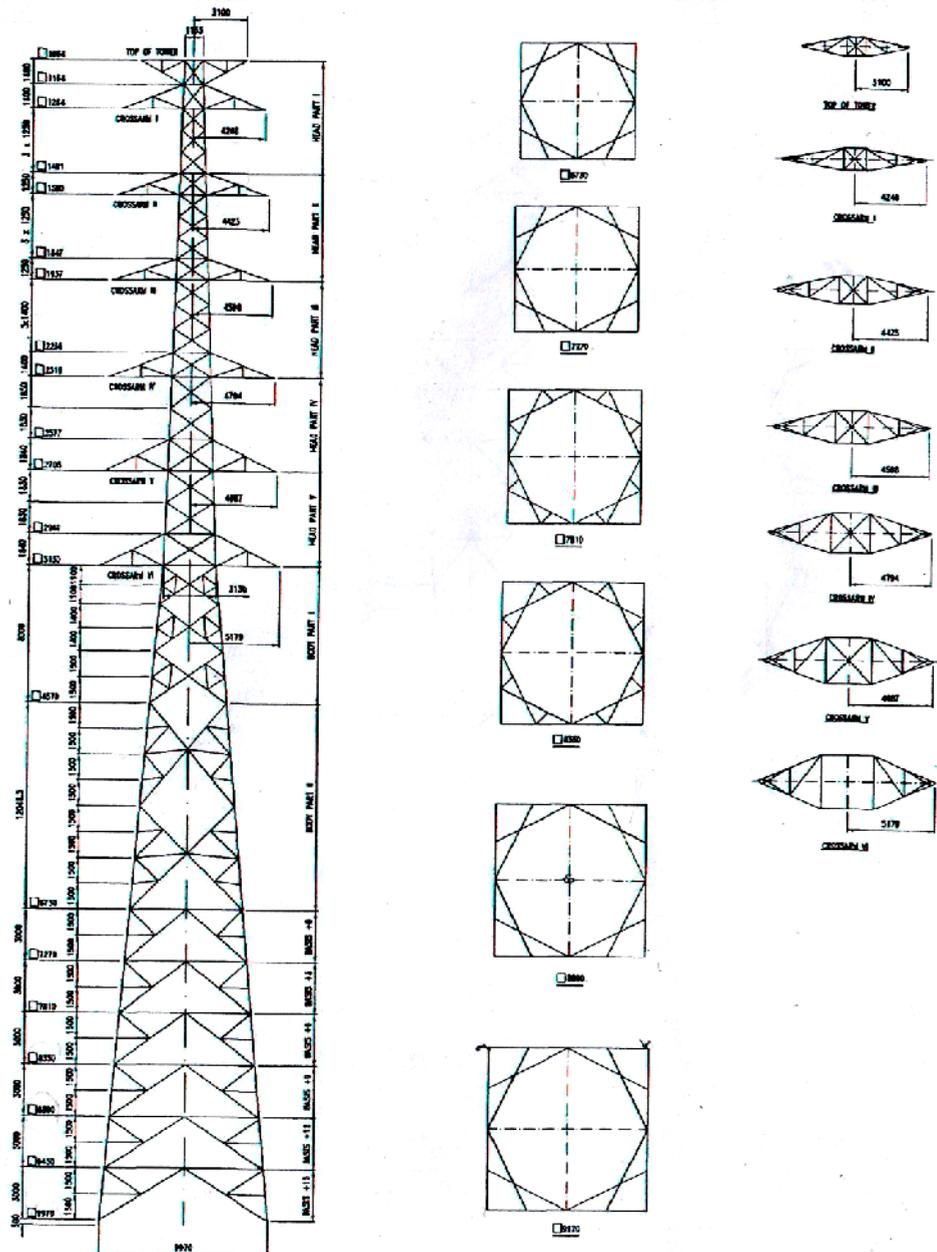
Di propinsi Jawa Barat terdapat beberapa sumber listrik yaitu antara lain PLTA Ubrug, PLTA Bengkok, PLTA Cibadak, PLTA Cikalong, PLTA Saguling, PLTA Cirata, PLTA Jatiluhur, PLTA Lamajan dan PLTA Lamajan. Rata-rata di Indonesia untuk membangun sistem sumber listrik menggunakan konstruksi tower besi baja merupakan jenis konstruksi saluran transmisi tegangan tinggi (SUTT) ataupun saluran transmisi tegangan ekstra tinggi (SUTET) yang paling banyak digunakan di jaringan PLN, karena mudah dirakit terutama untuk pemasangan didaerah pegunungan dan jauh dari jalan raya, harganya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan penggunaan saluran bawah tanah serta pemeliharaannya yang mudah.

Tower telekomunikasi adalah antenna pemancar sinyal (jaringan akses) untuk memberikan layanan kepada pelanggan di sekitar tower tersebut. Selain itu, penggunaan tower telekomunikasi juga berfungsi untuk menempatkan antenna pemancar sinyal transmisi (jaringan transport dengan menggunakan teknologi microwave) untuk menghubungkan pelanggan didaerah tersebut dengan sentral (BSC). Jadi bagian yang terpenting mengapa diperlukan pembangunan tower adalah untuk penempatan antenna - antenna tersebut, dimana dibutuhkan ketinggian tertentu untuk dipenuhinya syarat memancarkan dan menerima sinyal. Karena fungsi utama tower telekomunikasi adalah untuk menempatkan antenna sesuai dengan ketinggian yang disyaratkan, maka terdapat beberapa jenis tower.

Tujuan penelitian dalam tulisan ilmiah ini yaitu antara lain melakukan perencanaan struktur menara listrik tegangan tinggi terhadap beban angin dan menghitung sambungan baja antar batang struktur rangka menara listrik. Ruang lingkup penelitian untuk membatasi kajian dalam tulisan ini adalah struktur menara terletak di Jawa Barat, material yang digunakan adalah baja, beban yang ditinjau adalah berat sendiri struktur, beban gravitasi, beban angin, dan momen guling, perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah SAP2000, dan peraturan angin

yang digunakan adalah peraturan angin EIA (EIA 1996). Skematik bentuk dan model *tower* yang dibahas dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1.

Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 4 (empat) tahapan utama, yaitu Tahap pertama adalah studi literatur, dengan sumber dari buku, tulisan ilmiah, maupun sumber-sumber lain dari internet, Tahap kedua adalah mengumpulkan data beban angin dilokasi struktur menara berada, data struktur menara yang akan direncanakan, data tanah, Tahap ketiga adalah perencanaan struktur menara listrik dan perencanaan pondasi, dan Tahap keempat atau tahap terakhir adalah menyusun pembahasan dan kesimpulan.



Gambar 1. Skematik model *tower* yang ditinjau (Ferdian, 2012).

Tinjauan Literatur

Saluran udara tegangan tinggi (SUTT) dan saluran udara tegangan tinggi ekstra tinggi (SUTET) adalah sarana yang terbentang diudara untuk menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit kegardu induk (GI)gardu induk tegangan ekstra tinggi (GITET) atau dari GI/GITET lainnya yang disalurkan melalui konduktor yang direntangkan antara tiang–tiang (*tower*) melalui insulator–insulator dengan system tegangan tinggi (30 kV, 70kV, 150 kV) atau tegangan ekstra tinggi (275 kV, 500 kV).

Jenis SUTT, secara umum kriteria dasar desain konstruksi SUTT 70 kV dan 150 kV dengan tiang beton dan tiang baja dengan contoh pemakaian untuk beberapa jenis kawat penghantar ACSR. Sedangkan jenis SUTET, (saluran transmisi) yaitu isolasi udara dengan tegangan sistem 275 kV sampai dengan 500 kV. Terbuat dari profil, disusun sedemikian rupa sehingga merupakan suatu menara yang telah diperhitungkan kekuatannya disesuaikan dengan kebutuhannya

Beban yang terjadi pada konstruksi *tower* rangka baja SUTT dan SUTET digunakan untuk menentukan dimensi batang dan baut dari *tower* yang menentukan kekuatan *tower* pada kondisi rencana pembebanan normal dan abnormal. Jenis pembebanan yang diperhitungkan pada konstruksi *tower* SUTT dan *tower* SUTET adalah, beban permanen, beban acak dan beban khusus besarnya beban acak dan beban khusus yang ditentukan dalam standar digunakan untuk *tower* normal dan *tower* khusus dengan tarikan kerja maksimum tidak melampaui besaran yang ditentukan pada kriteria tarikan kerja maksimum kawat penghantar (SPLN, 1996).

Beban permanen dari suatu *tower* transmisi adalah berat sendiri *tower* dengan seluruh kelengkapannya, berat kawat penghantar dan kawat tanah, insulator berikut serta beban lainnya, jika ada, yang setiap saat selalu berada pada *tower* tersebut.

Beban acak yang diperhitungkan pada *tower* normal adalah beban yang ditimbulkan oleh angin yang mengenai permukaan *tower*, konduktor dan isolator. Besarnya beban angin tersebut mengacu pada internasional standard IEC 60826 namun tidak boleh kurang dari besaran tekanan angin minimum yang ditentukan dalam standar ini. Tekanan angin minimum pada satu sisi permukaan yang digunakan untuk menghitung beban kerja akibat angin pada konduktor. Insulator dan *tower* adalah sebagai berikut :

1. SUTT 66 kV dan 150 kV :
 - a. *Tower* : 180 kg/m²
 - b. Kawat : 40 kg/m²
 - c. Insulator : 60 kg/m²
2. SUTET 275 kV :
 - a. *Tower* : 235 kg/m²
 - b. Kawat : 71 kg/m²
 - c. Insulator : 95 kg/m²
3. SUTET 500 kV :
 - a. *Tower* : 245 kg/m²
 - b. Kawat : 73 kg/m²
 - c. Insulator : 107 kg/m²

Arah angin yang harus ditinjau dalam perhitungan desain *tower* rangka baja adalah arah angin paralel tegak lurus dan salah satu arah menyudut lainnya terhadap jalur transmisi.

Beban khusus yang dapat dipikul *tower* rangka baja selama umur pelayanannya adalah beban pada saat konstruksi/pemasangan, pemeliharaan serta untuk mencegah keruntuhan beruntun, beban pada saat konstruksi, pemasangan dan pemeliharaan dapat dikontrol pada saat pelaksanaan pekerjaan sehingga tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan yang diperhitungkan pada saat desain. Acuan yang digunakan dalam menentukan kriteria dan besarnya beban khusus adalah IEC 60826.

Pada desain *tower*, perhitungan beban harus dilakukan dengan meninjau kombinasi antara beban normal dan beban abnormal yang akan menentukan ukuran batang dan baut rangka baja *tower*. Beban normal yang diperhitungkan adalah beban vertikal, beban transversal dan beban longitudinal yang diakibatkan oleh beban permanen serta beban acak. Beban vertikal terdiri dari berat sendiri *tower*, berat konduktor, berat isolator, beban transversal berasal dari tekanan angin transversal pada badan *tower*, konduktor, isolator serta akibat sudut jalur transmisi. Sedangkan beban longitudinal berasal dari perbedaan tarikan pada seluruh kawat penghantar dan kawat tanah pada bentang yang bersebelahan.

Sedangkan beban abnormal yang diperhitungkan terdiri dari beban vertikal, beban transversal, beban longitudinal dan beban torsional yang diakibatkan oleh beban permanen, beban acak serta beban khusus. Beban vertikal terdiri dari berat sendiri *tower*, berat konduktor dan berat isolator. Beban transversal berasal dari tekanan angin transversal pada badan *tower*, konduktor, isolator serta akibat sudut jalur transmisi. Beban longitudinal berasal dari tarikan kawat penghantar putus sedangkan beban torsional terjadi diakibatkan oleh tarikan kawat penghantar putus pada satu sisi. Besarnya beban kerja akibat tarikan kawat adalah tarikan kerja kawat maksimum (*maximum working tension*/MWT) yang dihitung berdasarkan perhitungan andongan dan tarikan kawat (*sag-tension calculation*) pada rentang dasar dan kriteria sebagai berikut. Tarikan kerja pada saat kondisi harian (*everyday tension*/EDT) yaitu pada temperatur rata – rata harian dan tanpa tekanan angin tidak melampaui 20% dari kekuatan tarik batas (*ultimate Tensions Strength*/UTS) serta tarikan kerja maksimum (*maksimum working tension*/MWT) pada saat kondisi temperatur minimum dan tekanan angin maksimum tidak diperbolehkan melampaui 50 % dari kekuatan tarik batas.

Metoda analisis yang digunakan untuk menghitung gaya, deformasi dan tegangan pada model tiga dimensi struktur rangka baja adalah metoda analisis struktur yang bersifat elastik linier orde pertama (material elastik linier dan geometri linier) dengan menggunakan beban rencana terfaktor. Pada umumnya struktur *tower* rangka baja untuk saluran transmisi bersifat cukup kaku sehingga analisis elastik linier orde pertama cukup memadai, namun untuk struktur *tower* rangka baja yang sangat lentur atau yang struktur *tower* yang menggunakan kawat stuktur perlu ditinjau dengan menggunakan analisis elastik linier orde kedua.

Studi Kasus dan Pembahasan

Data struktur yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Fungsi Bangunan : *Tower* SUTET
- b. Jenis Struktur : Rangka Baja
- c. Tinggi : 67,5 m
- d. Lokasi : Bandung, Jawa Barat



Gambar 2. Skematik model 3D struktur menara (*tower*).

Sedangkan data material-material yang digunakan untuk merencanakan struktur menara (*tower*) yaitu baja Profil (BJ 41) dengan properti tegangan leleh f_y sebesar 410 MPa, berat per unit Volume (berat jenis) sebesar 7800 kg/m^3 , dan Modulus Elastisitas (E_s) sebesar 200000 MPa.

Struktur rangka di analisis dengan menggunakan perangkat lunak bantu SAP2000 Nonlinear. Reaksi perletakan pada struktur berupa sendi dengan beban-beban yang dipikulnya adalah beban isolator, kabel dan kolom. Pemodelan *tower* SUTET dimodelkan dengan mengacu pada beberapa model *tower* milik PLN Persero dengan standart ketinggiannya setinggi 67,5 meter dan pemodelan dalam bentuk 3D. Hasil pemodelan selengkapnya ditampilkan pada Gambar 2.

Beban mati tambahan yang bekerja pada struktur menara memiliki rincian yaitu Instalasi *Tower* SUTET (500 kV):

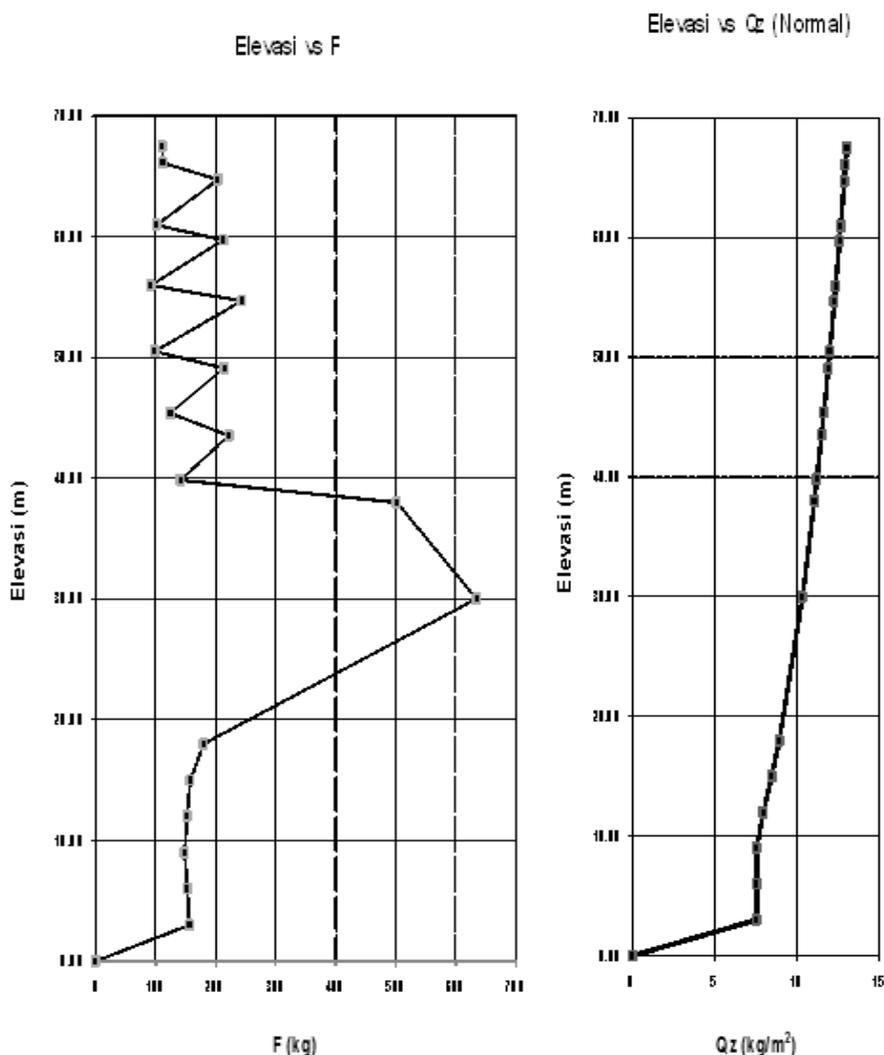
- a. Berat Kabel = 4700 kg/m²
- b. Berat Insulator = 33 kg/m²

Jenis suspensi insulator yang akan digunakan dalam perancangan menara SUTET 500 kV ini adalah CS7-165-EE-372-A. Kapasitas insulator ini mampu mencakup 500 kV. Untuk letak dan instalasi pemasangan insulator pada tubuh menara (*tower*) biasanya terletak pada ketinggian antara 38 meter hingga 70 meter.

Beban angin yang ditinjau adalah elemen angin untuk segmen T pada elevasi ± 0.00 → ± 3.00 meter akan dijadikan acuan untuk contoh urutan perhitungan beban angin, dan kecepatan angin dipakai kecepatan operasional 40 km/jam (11,11 m/sec.), dimana:

- a. Lebar antara kaki bawah *tower* = 9,97 meter
- b. Lebar kaki antara kaki *tower* elevasi = 9,45 meter
- c. Tinggi elemen yang ditinjau = 3,00 meter

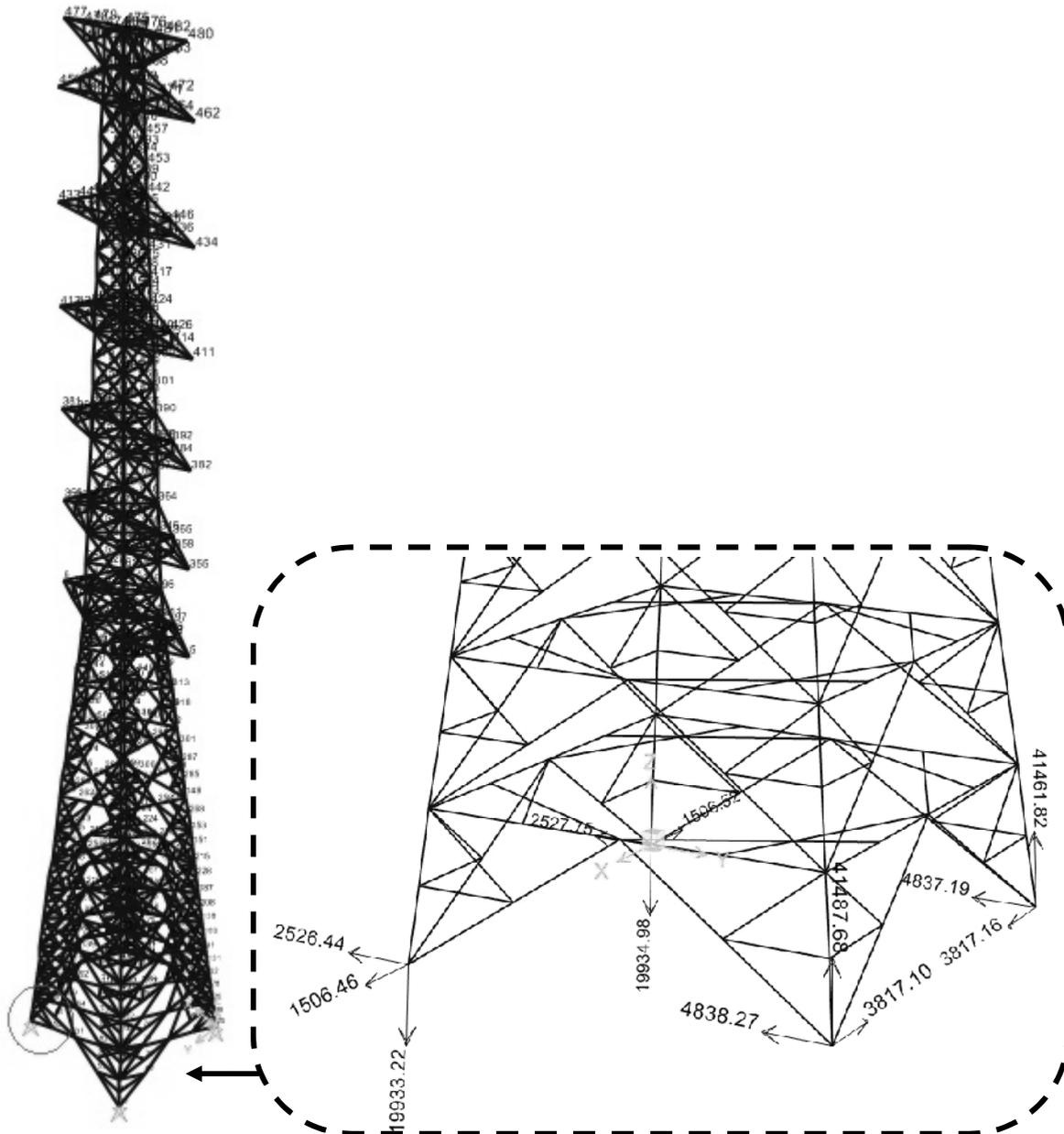
Beban angin dihitung berdasarkan peraturan TIA/EIA-222-F Standard (Structural Standards for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures). Hasil perhitungan yaitu diagram distribusi tekanan angin selengkapnya ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram hubungan elevasi dengan F (kg) tekanan angin.

$$\begin{aligned}
 F &= qz \times GH \times [(CF \times AE) + (\Sigma CA \times AA)] \\
 &= 7.567926965 \times 1.102 \times [(3.355180902 \times 3.771434384) + (2 \times 30)] \\
 &= 156.2410388 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

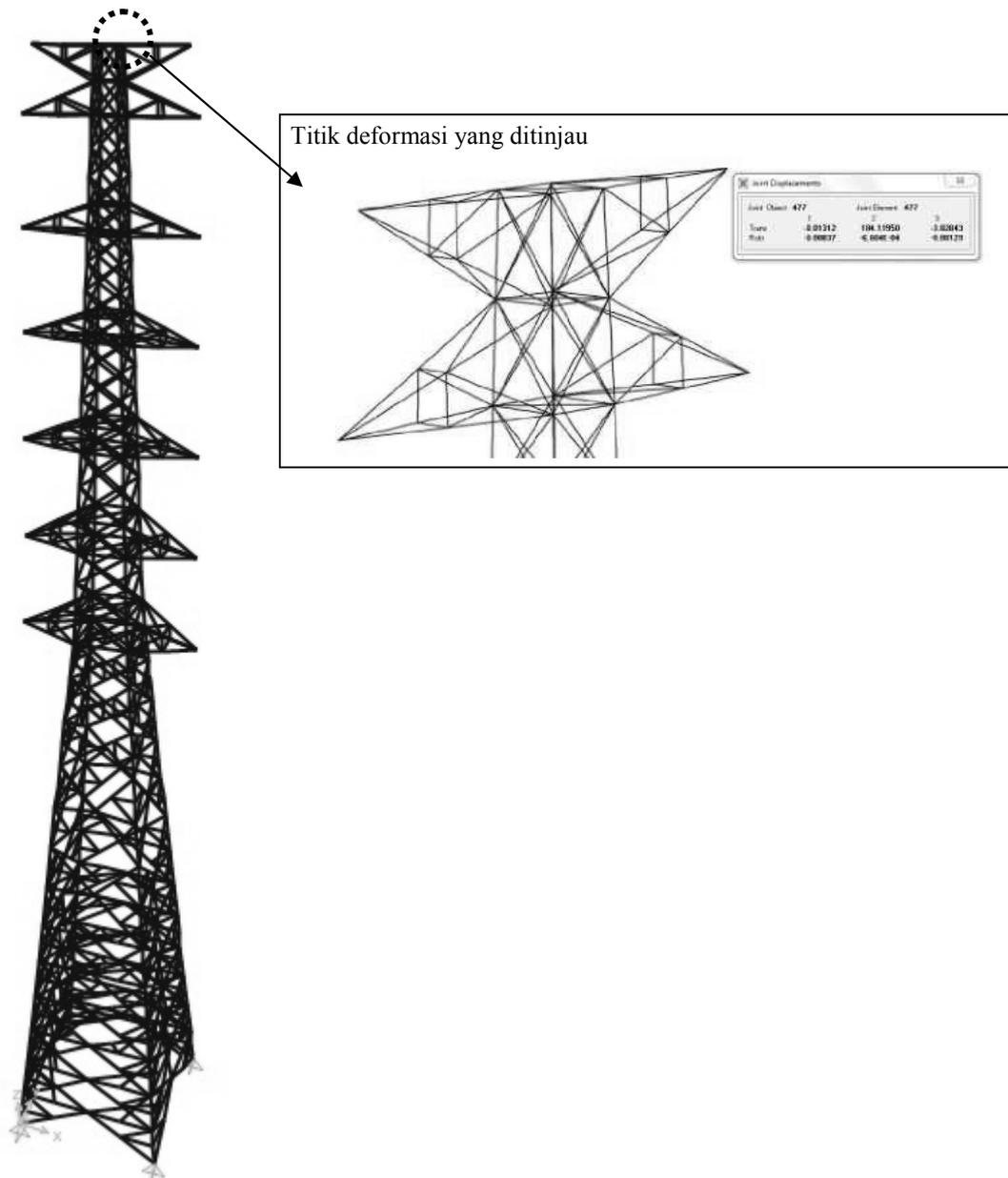
Hasil analisis berupa reaksi-reaksi tumpuan selengkapnya ditampilkan pada Gambar 4.



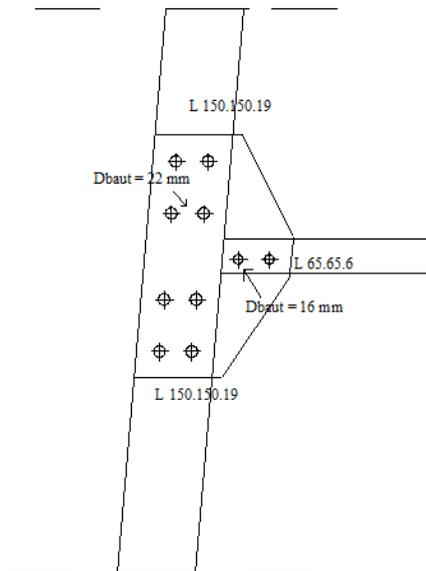
Gambar 4. Hasil analisis: reaksi tumpuan.

Hasil analisis yaitu pola deformasi struktur akibat beban gravitasi dan lateral, dari kombinasi beban paling maksimum selengkapnya ditampilkan pada Gambar 7, yaitu deformasi pada titik nodal paling atas pada elevasi +67,5 meter adalah sebesar 184 mm.

Kemudian hasil perhitungan kekuatan sambungan, yaitu dengan mengambil salah satu contoh yaitu pada sambungan bagian sambungan antara *leg tower 76-1* dan *leg tower 80-1* dengan *redundant 108-1* selengkapnya ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Skematik pola deformasi maksimum pada ujung atas (elevasi +67,5 meter) struktur menara (*tower*) yaitu sebesar 184 mm.



Gambar 6. Sambungan antara *leg tower* 76-1 dan *leg tower* 80-1 dengan *redundant* 108-1

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah bahwa hasil analisis memperlihatkan untuk model struktur menara listrik tegangan tinggi dengan bentang kabel berjarak 500 meter memenuhi persyaratan berdasarkan standar SPLN, kemudian hasil perencanaan dengan contoh studi kasus pada segmen T elevasi ± 3 meter pada sambungan antara batang *leg tower* 76-1 dan *leg tower* 80-1 dengan *redundant* 108-1, nilai gaya batang tekan output dari hasil analisis struktur (dengan perangkat lunak SAP2000) adalah $V_u = 40,709$ ton maka sesuai dengan perhitungan sambungan diperoleh jumlah baut 10 (sepuluh) buah berdiameter 16 mm dan 24 mm. Sedangkan deformasi maksimum tower adalah sebesar 184 mm.

Daftar Pustaka

- Badan Standardisasi Nasional, (2002), *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (SNI 2847-2002)*, BSN, Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk bangunan gedung (SNI 03-1729-2002)*, Badan Standardisasi Nasional, Bandung.
- Ferdian, T., (2012), *Analisis dan Desain Perencanaan Struktur Menara Listrik Tegangan Tinggi*, Tugas Akhir (Tidak Dipublikasikan), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha.
- Setiawan, A., (2008), *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*, Semarang : Penerbit Erlangga.
- Standar Perusahaan Listrik Negara, 1996, *Konstruksi Saluran Udara Tegangan Tinggi 70 kV dan 150 kV dengan tiang beton / baja (SPLN 121:1996)*, P.T Perusahaan Listrik Negara (PERSERO), Jakarta.
- TIA/EIA Standard, (1996), *Struktural for steel antenna Towers and Antenna Supporting Structures (TIA/EIA-222-F)*, American National Standard, America.