

Analisa Perbandingan Perilaku Struktur Antara Dua Model Tower Jenis Piramid Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 Kv Terhadap Beban Angin

ZEFRIANTO ILHAMI

¹Fakultas Teknik, ²Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan
Jl. Muchtar Basri No. 3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara.

zefriantoi@gmail.com

ABSTRAK

Energi listrik yang disalurkan lewat saluran transmisi udara pada umumnya menggunakan kawat telanjang sehingga mengandalkan udara sebagai media isolasi antara kawat penghantar tersebut dengan benda sekelilingnya, dan untuk menyanggah/merentang kawat penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya, kawat-kawat penghantar tersebut dipasang pada suatu konstruksi bangunan yang kokoh, yang biasa disebut menara listrik, yang lebih dikenal dengan Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT). Tower transmisi umumnya dibangun didaerah alam terbuka seperti area hutan dan perbukitan. Masalah pada struktur tower transmisi SUTT sehingga membuat struktur roboh pada umumnya adalah akibat pengaruh dari alam seperti banjir, longsor, gempa dan angin kencang. Berdasarkan permasalahan yang umum terjadi pada tower transmisi pada tugas akhir ini dilakukan analisa dengan menggunakan Software, untuk membandingkan perilaku, perhitungan keamanan dimensi profil dan merencanakan sambungan pada dua model tower jenis piramid kapasitas 150 kV dengan tinggi struktur 30 m dan dua bentuk cross arm yang berbeda terhadap beban angin. Lokasi perencanaan adalah area perbukitan di Daerah Sumatera Utara dengan kecepatan angin maksimal 15m/s. Dari Hasil perhitungan keamanan dipakai profil baja siku dengan kualitas baja BJ-52 dan tujuh dimensi profil yang berbeda pada struktur. Profil terbesar digunakan di bagian kaki paling bawah dengan dimensi 150x150x15. Dari hasil analisa menggunakan software didapatkan nilai perbandingan untuk berat struktur tower bahwa tower T arm lebih ringan 5,2% atau 848,47 kg dibanding tower Y Arm. Hasil analisa software untuk beban angin dan kombinasi menunjukkan reaksi tumpuan tower T arm sebesar 29,181 Ton, dengan jarak perpindahan terbesar 4,722mm. Lebih kecil dibanding tower Y arm dengan reaksi tumpuan sebesar 32,59 Ton dan perpindahan terbesar 7,451mm. Sambungan yang dipakai pada kedua tower adalah sambungan baut tipe A325 diameter M16 sebanyak 6 buah pada masing-masing profil kaki tower.

Kata Kunci : Tower Transmisi, Struktur Baja, Beban Angin, Analisa Perbandingan Perilaku, Sambungan Baut.

Comparative Analysis of Structural Behavior Between Two Pyramid Type Tower Models High Voltage 150 Kv Against Wind Load

ABSTRACT

Electrical energy that is transmitted through air transmission lines generally uses bare wire so that it relies on air as an insulating medium between the conductor wire and its surroundings, and to refute/stretch the conducting wire at a height and distance that is safe for humans and the surrounding environment. These are installed on a solid building construction, which is usually called an electricity tower, which is better known as a High Voltage Air Line Tower (SUTT). Transmission towers are generally built in open areas such as forest areas and hills. The problem with the SUTT transmission tower structure that makes the structure collapse in general is the result of natural influences such as floods, landslides, earthquakes and strong winds. Based on the problems that commonly occur in transmission towers in this final project, an analysis using software is carried out, to compare behavior, calculate profile dimension safety and plan connections on two pyramidal tower models with a capacity of 150 kV with a structure height of 30 m and two different cross arm shapes. against wind loads. The planning location is a hilly area in the North Sumatra Region with a maximum wind speed of 15m/s. From the results of safety calculations used angled steel profiles with BJ-52 steel quality and seven different profile dimensions on the structure. The largest profile is used at the bottom of the leg with dimensions of 150x150x15. From the results of the analysis using the software obtained a comparative value for the weight of the tower structure that the T arm tower is 5.2% lighter or 848.47 kg than the Y Arm tower. The results of the software analysis for wind loads and combinations show the reaction of the support tower T arm of 29,181 tons, with the largest displacement distance of 4.722mm. Smaller than the Y arm tower with a pedestal reaction of 32.59 tons and the largest displacement of 7.451mm. The connection used on the two towers is a bolt connection type A325 diameter M16 as many as 6 pieces on each tower foot profile.

Keywords: *Transmission Tower, Steel Structure, Wind Load, Behavioral Comparative Analysis, Bolt Connection.*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan kepulauan yang luas. Seiring berjalannya waktu dan penambahan penduduk yang semakin pesat, pembangunan terus meluas hingga ke daerah-daerah terpencil .

Untuk mendukung pembangunan dan perekonomian di daerah terpencil sangat diperlukan pasokan energi listrik. Tidak semua tempat memiliki sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit untuk menghasilkan listrik. Itulah mengapa masih banyak daerah yang belum merasakan pasokan sumber daya listrik yang dapat dimanfaatkan untuk penerangan dan juga proses produksi yang melibatkan alat-alat elektronik dan alat-alat/mesin industri.

Salah satu upaya untuk meminimalkan kehilangan energi listrik saat penyaluran adalah dengan membangun tower Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) agar pendistribusian listrik dengan jarak yang jauh dapat terlaksana. Sehingga daerah-daerah terpencil yang sulit diakses seperti didaerah pegunungan, perbukitan, dan daerah jauh didalam hutan yang memiliki akses jalan sangat minim mendapatkan pasokan aliran energi listrik dari pembangkit energi listrik yang terletak didaerah lain.

Material utama struktur lattice tower SUTT adalah baja. Baja mempunyai daya tarik, lengkung dan tekan yang sangat besar, membuatnya menjadi bahan konstruksi yang sangat berharga. Namun dikarenakan baja memiliki berat volume yg cukup besar, sehingga pabrikasi elemen struktur pembentuk konstruksi tower yang

digunakan adalah baja dengan ukuran penampang yang relatif kecil atau langsing.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Terdahulu

Panduan pertama untuk desain menara transmisi baja dikeluarkan oleh American Society of Civil Engineers (ASCE). Kemudian setelah itu, Perkumpulan Insinyur Sipil Amerika membentuk sebuah komite untuk mengembangkan standar untuk desain struktur transmisi baja berkisi-kisi. Standar ini telah selesai pada tahun 1990 dan disetujui oleh Institut Standar Nasional Amerika (ANSI), pada bulan Desember 1991. Kemudian diterbitkan sebagai ANSI / ASCE 10 pada tahun 1992 dan dimutakhirkan pada tahun 1997. Berbagai upaya penting telah dilakukan untuk meningkatkan metode penentuan beban struktural pada struktur saluran transmisi. Panitia tugas tentang pemuatan struktural struktur transmisi listrik telah berkumpul, membahas dan mempresentasikan hasil dari upaya ini sebagai ASCE Manual No.74 pada tahun 1991.

Manual ini menyajikan pedoman dan prosedur terperinci untuk pengembangan struktur saluran transmisi. Selain ASCE, Institut Insinyur Listrik dan Elektronik (IEEE) telah menerbitkan beberapa publikasi mengenai rekomendasi dan peraturan keselamatan mereka agar memiliki landasan yang baik pada desain menara saluran transmisi baja. Transmisi impuls listrik pada jarak yang diperpanjang pertama kali ditunjukkan pada 14 Juli 1729 oleh fisikiawan Stephen Gray, untuk menunjukkan bahwa seseorang dapat mentransfer listrik dengan metode itu. Demonstrasi menggunakan tali penolong basah

yang ditanggihkan oleh benang sutra (pentingnya konduktor logam tidak dihargai pada waktu itu). Namun penggunaan praktis pertama dari saluran udara adalah dalam konteks telegrafi. Pada tahun 1873 sistem telegraf komersial eksperimental berjalan sejauh 13 mil (20 km).

Menara Transmisi

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 (Perusahaan Listrik Negara). Karena mudah dirakit terutama untuk pemasangan di daerah pegunungan dan jauh dari jalan raya, harganya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan penggunaan saluran bawah tanah serta pemeliharaannya yang mudah. Berdasarkan susunan/ konfigurasi penghantarnya dibedakan menjadi 3 (tiga) kelompok besar, yaitu:

1. Tiang delta (*delta tower*)
2. Tiang zig-zag (*zig-zag tower*)
3. Tiang piramida (*pyramid tower*)

Struktur Menara

Struktur rangka meliputi baja, yang dimana terdapat ukuran batang dan simpul hubung atau sambungan baut dari rangka batang baja dan komponen penunjang lainnya.

Baja adalah logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dengan beberapa elemen lainnya, termasuk karbon dan memiliki beragam bentuk dan ukuran sesuai dengan pengaplikasiannya. Dalam menara transmisi digunakan baja dengan profil siku. Adapun perhitungan yang didasarkan pada SNI 1729-2015, yang meliputi desain kekuatan tarik dan tekan dari baja yang digunakan nantinya dengan

perumusan sebagai berikut :

1. Desain kekuatan berdasarkan Desain Faktor Beban dan Ketahanan.

Desain yang sesuai dengan ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) memenuhi persyaratan spesifikasi ini bila kekuatan desain setiap komponen struktural sama atau melebihi kekuatan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban DFBK. Semua ketentuan Spesifikasi ini, kecuali untuk Pasal B3.4 ini, harus digunakan Pers. 2.1 dibawah ini:

$$R_u \leq \Phi R_n \quad (2.1)$$

Dimana:

R_u = kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBK

R_n = kekuatan nominal, disyaratkan dalam Bab B sampai K

Φ = faktor ketahanan, disyaratkan dalam Bab B sampai K

ΦR_n = kekuatan desain

2. Desain Kekuatan Berdasarkan Desain Kekuatan Izin

Desain yang sesuai dengan ketentuan Desain Kekuatan Izin (DKI) memenuhi persyaratan spesifikasi ini bila kekuatan izin dari setiap komponen struktur sama atau melebihi kekuatan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban DKI. Semua ketentuan spesifikasi ini, kecuali pasal B3.3, harus digunakan Pers. 2.2 dibawah ini:

$$R_a \leq R_n / \Omega_a \quad (2.2)$$

Di mana:

R_a = kekuatan perlu yang menggunakan kombinasi beban DKI

R_n = kekuatan nominal, disyaratkan dalam Bab B sampai K

Ω = faktor keamanan, disyaratkan dalam Bab B sampai K

R_n / Ω = kekuatan izin

3. Persyaratan Desain

Luas neto efektif dari komponen struktur tarik harus di tentukan sesuai dengan yang dijelaskan Menurut SNI 1729-2015 Pasal D3 sebagai berikut: Luas neto, A_n , dari komponen struktur adalah jumlah dari produk ketebalan dan lebar neto dari setiap elemen yang dihitung sebagai berikut: Dalam penghitungan luas neto untuk tarik dan geser, lebar lubang baut harus diambil sebesar 1/16 in. (2 mm) lebih besar dari dimensi nominal dari lubang.

4. Desain Batang.

a. Pembatasan Kelangsingan Komponen Struktur Tarik

Tidak ada batasan kelangsingan maksimum untuk komponen struktur dalam tarik. Untuk komponen struktur yang dirancang berdasarkan tarik, rasio kelangsingan L/r lebih baik tidak melebihi 300. Saran ini tidak berlaku pada batang atau gantungan dalam gaya tarik. (SNI 1729-2015 Pasal D).

b. Desain Kekuatan Tarik

Menurut (SNI 1729-2015 Pasal B4.3) desain yang sesuai dengan ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) memenuhi persyaratan spesifikasi bila kekuatan desain setiap komponen struktural sama atau melebihi kekuatan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban DFBK. Desain kekuatan tarik ditentukan menggunakan Pers. 2.3 dibawah ini:
 $R_u \leq \phi R_n$ (2.3)

Dimana :

R_u = Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBK

R_n = Kekuatan nominal, di syartkan dalam bab B sampai Bab K

ϕ = Factor ketahanan, di

syartkan dalam bab B sampai Bab K

ϕR_n = Kekuatan desain

Menurut (SNI 1729-2015 Pasal D2). Kekuatan tarik desain, $\Phi_t.P_n$, dan Kekuatan tarik tersedia, P_n/Ω_t , dari komponen struktur tarik, harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang netto.

Sambungan Baut

Dalam konstruksi baja, setiap bagian elemen dari strukturnya dihubungkan satu sama lain dengan menggunakan alat pengikat (fastener)/ penyambung.

Jenis-jenis alat pengikat yang sering digunakan adalah paku keling (rivet), baut (bolt), dan las (welded).

Baut Mutu Tinggi (High Strength Bolt)

Ada dua jenis baut mutu tinggi yang ditetapkan ASTM yaitu A325 dan A490. Baut A325 terbuat dari baja karbon sedang dengan kekuatan leleh (yield strength) dari 560 sampai dengan 630 MPa, sedangkan baut A490 terbuat dari baja alloy yang mempunyai kekuatan leleh mendekati 790 sampai dengan 900 MPa. (Catatan : tergantung juga ukuran diameter).

Ukuran diameter baut berkekuatan tinggi berkisar 1/2" sampai dengan 1 1/2" khusus baut A449 sampai dengan 3". Ukuran baut yang sering digunakan pada struktur bangunan adalah 3/4" dan 7/8", sedangkan untuk struktur jembatan 7/8" sampai dengan 1".

Baut kekuatan tinggi dikencangkan untuk menimbulkan tegangan tarik yang ditetapkan pada baut sehingga terjadi gaya jepit (clamping force) pada- sambungan. Oleh karena itu beban kerja

sesungguhnya dipikul oleh gaya gesekan antara pelat atau batang yang disambung. Gaya ini disebut Proof Load.

Baut yang digunakan dalam penelitian sambungan adalah baut mutu tinggi (High tension bolt) dengan jenis A325

1. Kekuatan Sambungan SNI 03-1729-2015. menyatakan, suatu baut yang memikul gaya terfaktor, R_u harus memenuhi syarat sesuai Pers. 2.15 berikut.
 $R_u \leq \phi R_n$ (2.15)

Dimana :

ϕ = faktor reduksi kekuatan = 0,75

R_n = kuat nominal baut.

Sesuai dengan cara bekerjanya baut maka baut dibedakan dalam dua type yaitu tipe friksi (friction type) dan tipe tumpu (bearing type).

2. Kuat geser nominal baut. Kuat geser nominal yang diberikan oleh satu buah baut yang mengalami geser pada penampangnya dapat dihitung menggunakan Pers. 2.17
 Dibawah ini:

$$R_n = m \cdot r_1 \cdot f_b u \cdot A_b \quad (2.17)$$

Dimana :

m = jumlah bidang geser

$r_1 = 0,5$ untuk bidang geser baut tak berulir. = $0,4$ untuk bidang geser berulir.

$f_b u$ = kuat tarik putus baut (MPa). A_b = luas bruto penampang tak berulir (mm^2).

3. Kuat tumpu nominal baut. Kuat tumpu tergantung pada kondisi terlemah antara baut dan pelat/batang yang disambung, dihitung dengan Pers. 2.18 berikut :

$$R_n = n \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \quad (2.18)$$

Dimana:

$n = 2,4$ berlaku untuk semua jenis lubang baut

= $2,0$ untuk lubang selot panjang

tegak lurus arah kerja gaya.

d_b = diameter baut bagian tidak berulir (mm).

t_p = tebal pelat/batang terkecil (mm).

f_u = tegangan tarik putus baut/pelat/batang (MPa).

4. Kuat tarik nominal baut Baut yang memikul gaya tarik, kuat nominalnya dihitung menggunakan Pers-2.19 berikut :

$$R_n = f_b u \cdot A_b \quad (2.19)$$

Dimana :

$f_b u$ = kuat tarik putus baut (MPa).

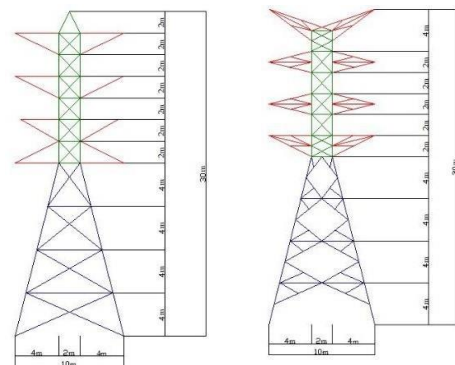
A_b = luas bruto penampang tak berulir (mm^2).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK) SNI 1727-2013 untuk pembebanan struktur dan SNI 1729-2015 tuntut persyaratan keamanan profil baja yang dipakai.

Pada penelitian ini, dua model struktur *Tower* SUTT 150kV yang harus di analisis yaitu jenis *piramyd* dengan *cross arm* berbentuk Y dan T, kedua *Tower* direncanakan memiliki spesifikasi yang sama. Ketinggian yang direncanakan untuk kedua *Tower* yaitu 30m, lebar kakikaknya 10m. Dimensi Struktur masing-masing model struktur *Tower* tersebut dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut:

Gambar 3.2: *Tower Y arm* dan *Tower T arm*.



Letak Struktur direncanakan berada di daerah kabupaten Tapanuli Utara yang merupakan salah satu daerah Kabupaten di Provinsi Sumatera Utara, terletak di wilayah dataran tinggi Sumatera Utara dan berada pada ketinggian antara 300- 1500 meter di atas permukaan laut.

Data kecepatan angin yang diambil adalah data dari tahun 2010- 2019 dari Stasiun Meteorology FL Tobing, data kecepatan angin terbesar yaitu pada tahun 2019 dengan kecepatan 15 m/s = 42,5 Mph.

Beban angin pada Struktur tower yang ditinjau adalah beban angin arah x dan arah y. Perhitungan untuk besarnya beban angin dibuat secara otomatis oleh software dengan memasukkan data-data yang diperlukan sesuai peraturan yang digunakan dan jenis bangunan. Berikut ini data yang diperlukan dalam perhitungan beban angin untuk tower transmisi dengan menggunakan software :

- Jenis Struktur : Rangka batang struktur terbuka
- Sudut angin datang untuk angin arah X : 0°
- untuk angin arah Y : 90°
- Wind speed : 42,5 mph.
- Exposure : C
- Factor topografi (Kzt) : 1
- Faktor Arah angin (Kd) : 0,85
- Factor efek tiupan angina : 0,85
- Solid Ratio : 0,2

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berat Struktur

Tabel 4.1: Berat sendiri tower Y.

GroupName	Self Mass	Self Weight	Total MassX	Total MassY	Total MassZ
Text	kgf-s2/mm	Kgf	kgf-s2/mm	kgf-s2/mm	kgf-s2/mm
ALL	1.6621	16299.21	1.6621	1.6621	1.6621
Lower Body	0.2212	2168.93	0.2212	0.2212	0.2212
Upper Body	1.0451	10248.72	1.0451	1.0451	1.0451
CrossArm	0.3732	3659.45	0.3732	0.3732	0.3732

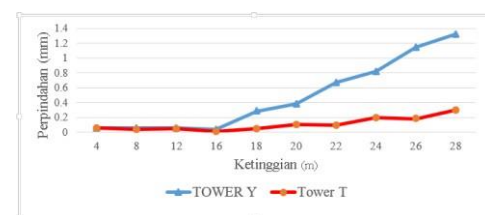
Tabel 4.2: Berat sendiri tower T.

GroupName	Self Mass	Self Weight	Total MassX	Total MassY	Total MassZ
Text	kgf-s2/mm	kgf	kgf-s2/mm	kg-s2/mm	kgf-s2/mm
ALL	1.5755	15450.74	1.5755	1.5755	1.5755
Lower Body	0.7782	7631.49	0.7782	0.7782	0.7782
Upper Body	0.1908	1871.57	0.1908	0.1908	0.1908
CrossArm	0.4616	4527.08	0.4616	0.4616	0.4616

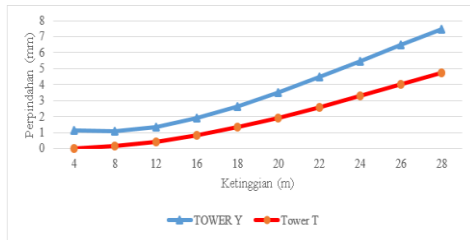
Perbandingan Perpindahan (*Displacement*)

Perbandingan perpindahan pada tower transmisi untuk beban Angin arah X dan arah Y, beban kombinasi 5 dan kombinasi 6 disajikan pada tabel 4.7 - 4.10 dan grafik perbandingan 4.1 - 4.8 dibawah ini: Tabel 4.3 : Perbandingan perpindahan pada kaki tower akibat kombinasi beban COMB-6.

Ketinggian	Tower Y		Tower T	
	Arah x (mm)	Arah y (mm)	Arah x (mm)	Arah y (mm)
4	0.055829	1.128333	0.0575	0.0074
8	0.054999	1.098419	0.0398	0.1578
12	0.054363	1.315545	0.0480	0.4051
16	0.042503	1.894741	0.0094	0.8435
18	0.285163	2.610463	0.0515	1.3254
20	0.386116	3.496449	0.1045	1.9248
22	0.674105	4.46354	0.0915	2.5877
24	0.816047	5.474712	0.1964	3.3070
26	1.149508	6.481883	0.1830	4.0056
28	1.317907	7.451187	0.2949	4.7219



Grafik 4.1 Perbandingan perpindahan arah x akibat comb-6



Grafik 4.2 Perbandingan perpindahan arah y akibat comb-6 **Kontrol Batang Tarik dan Tekan**

Syarat ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) harus memenuhi persyaratan spesifikasi kekuatan desain SNI 1729-2015.

Tabel 4.4: Rekapitulasi perhitungan kontrol batas leleh tarik dan runtuh Tarik tower Y Arm.

Profil	Dimensi profil (mm)	No frame	L (mm)	Ag (mm ²)	An (mm ²)	Fy (MPa)	Fu (MPa)	X (mm)
L1	150x150x15	7	4242,64	2339	1554.8	360	520	42.5
L2	70x70x7	365	6633.25	827	466.7	360	520	19.7
L3	140x140x13	484	4062,02	2093	1309.3	360	520	39.2
L4	80x80x8	121	2000	994	634.3	360	520	22.6
L5	80x80x10	55	2000	1005	500.7	360	520	23.4
L6	55x55x6	197	2828.43	559	379.0	360	520	15.6
L7	100x100x10	19	4242,64	1323	1042.8	360	520	28.2

Tabel 4.5: Lanjutan.

Profil	U	Ae (mm ²)	Pn Leleh (kg)	Pn Runtuh (kg)	φPn Leleh (kg)	φPn Runtuh (Kg)	Pu (Kg)	Status
L1	0.433	674	85856.6	35725.4	77271	26794.1	2224.2	Aman
L2	0.590	275	30348.06	14590.41	27313.2	10942.8	540.01	Aman
L3	0.477	1309	76843.22	69424.8	69158.9	52068	528.5	Aman
L4	0.529	634	36499.82	33632.88	32849.8	25224.7	363.5	Aman
L5	0.513	501	36883.84	26551.94	33195.5	19914	1985.4	Aman
L6	0.675	379	20521.3	20097.27	18469.1	15073	434.5	Aman
L7	0.624	1043	48559.58	55294.55	43703.6	41470.9	2129.8	Aman

Tabel 4.6: Rekapitulasi perhitungan kontrol kekuatan tekan tower y Arm.

Prof il	Dimensi profil (mm)	No frame	L (mm)	L section (mm)	k	R (mm)	Fy (MPa)	$\frac{KL}{r}$ (mm)
L1	150x150x15	4	4242,64	2121.32	1	46.17	360	45.946
L2	70 x 70 x 7	260	2236,07	1118.03	1	21.55	360	51.886
L3	140x14x13	17	4062,02	2031.01	1	43.23	360	46.982
L4	80 x 80 x 8	48	2000	500	1	24.62	360	20.306
L5	80 x 80 x 10	52	2000	1000	1	24.36	360	41.057
L6	55 x 55 x 6	293	2236,07	1118.03	1	16.86	360	66.309
L7	100x100x10	16	4242,64	2121.32	1	30.78	360	68.919

Tabel 4.7: Lanjutan

Profil	Q	$\frac{Q \cdot Fy}{Fe}$	Fcr (MPa)	Pn Leleh (kg)	φRn (kg)	Ru (kg)	Status
L1	1	0.385	306.37	73066.41	65759.77	10879.2	Aman
L2	1	0.491	293.065	24705.43	22234.89	510.16	Aman
L3	1	0.403	304.125	64916.59	58424.93	758.45	Aman
L4	1	0.075	348.835	35367.79	31831.01	1967.13	Aman
L5	1	0.308	316.491	32426.17	29183.56	5791.6	Aman
L6	1	0.803	257.271	14665.34	13198.81	978.06	Aman
L7	1	0.867	250.424	33779.14	30401.22	9685.21	Aman

Tabel 4.8: Rekapitulasi perhitungan kontrol batas leleh tarik dan runtuh tarik tower T arm.

Profil	Dimensi profil (mm)	No frame	L (mm)	Ag (mm ²)	An (mm ²)	Fy (MPa)	Fu (MPa)	X (mm)
L1	150x150x15	7	4242,64	2339	1554.79	360	520	42.5
L2	70x70x7	314	4898.98	827	466.702	360	520	19.7
L3	140x140x13	45	5099.02	2093	1309.26	360	520	39.2
L4	80x80x8	142	4000	994	634.281	360	520	22.6
L5	80x80x10	154	2000	1005	500.741	360	520	23.4
L6	55x55x6	56	2828.43	559	379.013	360	520	15.6
L7	100x100x10	276	4472.14	1323	1042.8	360	520	28.2

Tabel 4.9: Rekapitulasi perhitungan batas leleh Tarik dan runtuh Tarik Tower T arm lanjutan.

Profil	U	Ae (mm ²)	Pn Leleh (kg)	Pn Runtuh (kg)	φPn Leleh (kg)	φPn Runtuh (kg)	Pu (kg)	Status
L1	0.433	674	85856.62	35725.44	77271	26794.1	1977.97	Aman
L2	0.590	275	30348.06	14590.41	27313.2	10942.8	434.52	Aman
L3	0.477	1309	76843.22	69423.98	69158.9	52068	562.59	Aman
L4	0.529	634	36499.82	33632.88	32849.8	25224.7	1208.36	Aman
L5	0.513	501	36883.84	26551.94	33195.5	19914	1508.14	Aman
L6	0.675	379	20521.26	20097.27	18469.1	15073	396.18	Aman
L7	0.624	1043	48559.58	55294.55	43703.6	41470.9	993.19	Aman

Tabel 4.10: Rekapitulasi perhitungan kontrol kekuatan tekan Tower T Arm.

Profil	Dimensi profil (mm)	No frame	L (mm)	L section (mm)	k	r (mm)	Fy (MPa)	$\frac{KL}{r}$ (mm)
L1	150x150 x 15	4	4242,64	2121.32	1	46.16	360	45.946
L2	70x70x7	260	2236,07	2449.49	1	21.54	360	113.676
L3	140x140x 13	17	4062,02	2549.51	1	43.22	360	58.976
L4	80x80x8	48	2000	500	1	24.62	360	20.306
L5	80x80x10	52	2000	1000	1	24.35	360	41.057
L6	55x55x6	293	2236,07	1414.21	1	16.86	360	83.875
L7	100x100 x10	16	4242,64	2236	1	30.77	360	72.645

Tabel 4.11: Rekapitulasi Perhitungan kontrol kekuatan tekan T Arm lanjutan.

Profil	Q	$\frac{Q \cdot Fy}{Fe}$	Fcr (MPa)	Pn Leleh (kg)	φRn (kg)	P Tekan (kg)	Status
L1	1	0.385	306.37	73066.41	65759.77	8928.94	Aman
L2	1	2.359	134.114	11305.85	10175.27	475.72	Aman
L3	1	0.635	275.981	58908.99	53018.09	2033.11	Aman
L4	1	0.075	348.835	35367.79	31831.01	676.14	Aman
L5	1	0.308	316.491	32426.17	29183.56	4400.81	Aman
L6	1	1.284	210.302	11987.94	10789.14	959.66	Aman
L7	1	0.963	240.532	32444.80	29200.32	1036.95	Aman

Perhitungan Sambungan Baut
Tabel 4.12: Rekapitulasi Perhitungan Sambungan Baut *Tower Y Arm*.

No batang	Ag (mm ²)	D baut (mm)	tp (mm)	s (mm)	S1 (mm)	D lubang (mm)
4	2250	16	7	50	40	18
10	2250	16	7	50	40	18
7	2250	16	7	50	40	18
1	2250	16	7	50	40	18

Tabel 4.13: Rekapitulasi Perhitungan Sambungan Baut *Tower Y Arm lanjutan*.

Profil	Luas baut (mm ²)	Fu baut (MPa)	Periksa kekuatan pelat		Periksa kekuatan baut		N baut
			Leleh	fraktur	Geser	tumpu	
4	200.96	585	72.9	66.69	3.6	22.91	6
10	200.96	585	72.9	66.69	3.6	22.91	6
7	200.96	585	72.9	66.69	3.6	22.91	6
1	200.96	585	72.9	66.69	3.6	22.91	6

Tabel 4.14: Rekapitulasi Perhitungan sambungan baut *Tower Y Arm lanjutan*.

Profil	Periksa keruntuhan geser blok		0.6 Fu Anv (ton)	Fu .Ant (Ton)	Tu (Ton)	Nnt (Ton)	Status
	Anv (mm ²)	Ant (mm ²)					
4	2850	930	88.92	48.36	10.88	132.13	Aman
10	2850	930	88.92	48.36	10.8	132.13	Aman
7	2850	930	88.92	48.36	10.34	132.13	Aman
1	2850	930	88.92	48.36	7.07	132.13	Aman

Tabel 4.15: Rekapitulasi Perhitungan Sambungan Baut *Tower T Arm*.

No batang	Ag (mm ²)	D baut (mm)	tp (mm)	s (mm)	S1 (mm)	D lubang (mm)
4	2250	16	7	50	40	18
10	2250	16	7	50	40	18
7	2250	16	7	50	40	18
1	2250	16	7	50	40	18

Tabel 4.16: Rekapitulasi Perhitungan

Profil	Luas baut (mm ²)	Fu baut (MPa)	Periksa kekuatan pelat		Periksa kekuatan baut		n baut
			Leleh	fraktur	Geser	Tumpu	
4	200.96	585	72.9	66.69	3.6	22.91	6
10	200.96	585	72.9	66.69	3.6	22.91	6
7	200.96	585	72.9	66.69	3.6	22.91	6
1	200.96	585	72.9	66.69	3.6	22.91	6

Tabel 4.17 Rekapitulasi Perhitungan Sambungan Baut *Tower T Arm lanjutan*.

Profil	Periksa keruntuhan geser blok		0.6 Fu Anv (ton)	Fu .Ant (Ton)	Tu (Ton)	Ø.Rb _s (Ton)	status
	Anv (mm ²)	Ant (mm ²)					
4	2850	930	88.92	48.36	8.92	132.13	Aman
10	2850	930	88.92	48.36	8.88	132.13	Aman
7	2850	930	88.92	48.36	8.43	132.13	Aman
1	2850	930	88.92	48.36	5.47	132.13	Aman

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan keamanan menggunakan metode DFBK (Desain Faktor Beban dan Ketahanan) SNI-1729 2015 dan hasil dari output *Software* pada tabel *steel design* yang ditunjukkan dengan angka ratio kurang dari 1, kedua *tower* dalam kategori aman.

Kedua model menggunakan tujuh dimensi profil baja siku yang sama. Dimensi profil terbesar yaitu 150x150x15 dipakai pada bagian kaki *tower* dengan sambungan baut mutu tinggi A325 diameter 16mm (M16) sebanyak 6 buah. *Tower T arm* lebih ekonomis dibanding *tower Y arm* dimana berat *tower T arm* lebih ringan 848,47 kg atau 5,2% dibanding *tower Y Arm*.

Tower T arm lebih kaku dalam menahan beban angin dan beban kombinasi dibandingkan dengan *tower Y arm*. Dimana perpindahan paling besar terjadi pada pembebanan comb-6 (1,2 D+ 1 W arah y + L) yaitu 7.451 mm pada *joint no.73 tower Y arm* dan 4.722 mm pada *joint no.41 tower T arm*.

DAFTAR PUSTAKA

BUKU

- Dianastya, Andhika Nandiwardhana. (2019) *Desain Dan Evaluasi Perkuatan Tower SUTT 46 Purwodadi-Kedungombo Dengan Penambahan Pondasi Bored Pile Untuk Mengantisipasi Penurunan*, Universitas Gajah Mada.
- Gunawan, Rudy.(2006) *Tabel Profil Konstruksi Baja*. Kanisius, Yogyakarta.
- Gupta, Aman.(2016) *Analysis and Economical Design of Transmission Line Towers of Different Configuration*, University of Delhi.
- Mohammed, Omran Elbashir.(2005) *Structural Behavior of Power Transmission Towers*, Sudan University of Science and Technology.
- Pratama , M.Ikhsan. (2017) *Analisa Perencanaan Menara Saluran Udara Tegangan Tinggi Tegangan 150 KV Jenis Dead End Tower Tipe DDR2*, Universitas Sriwijaya.

JURNAL

- Abdollahzadeh, G., Mohammadgholipour, A., & Omerian, E. (2018). Seismic evaluation of steel moment frames under Mainshock–aftershock sequence designed by elastic design and PBD methods. *Journal of Earthquake Engineering*, 1-24.
- Amiri, S., & Bojórquez, E. (2019). Residual displacement ratios of structures under mainshock-aftershock sequences. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 121, 179-193
- ANSI, A. (2005). *AISC 358–05 prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications*. American Institute of Steel Construction Inc., Chicago..
- Adam, M., Harahap, P., & Nasution, M. R. (2019). Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc.
- Adam, M., Harahap, P., & Nasution, M. R. (2019). Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc.
- Adam, M. (2020). Unjuk Kerja Generator Clok Sinyal Low Pass Filter, Pam Multiplexing Pada Rangkaian Percobaan Pulse Code Mudulation (PCM) Aplikasi pada Laboratorium Dasar Sistem Telekomunikasi. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 2(2), 51-57.
- Adam, M. (2019, October). Pemanfaat Mikrokontroller Atmega8 Sebagai Pengaman Pintu Menggunakan Metode Sidik Jari (Fingerprint). In *Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan (Vol. 1, No. 1, pp. 279-289)*.
- Adam, M., & Prabowo, A. (2019). Analisa Penambahan Trafo Sisi Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jutah Tegangan Pada Trafo BI 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etab 12.6. 0. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 1(2), 62-69.
- Affandi, A., Umurani, K., & Siregar, C. A. P. (2020). Perancangan Mesin Pengaduk Bumbu Kriuk Ubi Untuk Peningkatan Produksi Industri Rumah Tangga Di Desa Sidodadi Ramunia Kecamatan Beringin. *IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT*, 2(2), 123-128.
- Anwar, M. J., & Widodo, E. (2017). Karakterisasi Laju Korosi Baja ST 40 Berlapis Polyester Putty dalam Lingkungan Air Payau. 2(2), 69–76.
- Asfiati, S., & Mutiara, D. T. (2021). STUDI KESELAMATAN DAN KEAMANAN TRANSPORTASI DI PERLINTASAN SEBIDANG ANTARA JALAN REL DENGAN JALAN UMUM (Studi Kasus Perlintasan Kereta Api Di Jalan Padang, Bantan Timur, Kecamatan Medan Tembung). *PROGRESS IN CIVIL ENGINEERING JOURNAL*,

- 1(2).
- Affandi, A., Umurani, K., & Siregar, C. A. P. (2020). Perancangan Mesin Pengaduk Bumbu Kripi Ubi Untuk Peningkatan Produksi Industri Rumah Tangga Di Desa Sidodadi Ramunia Kecamatan Beringin. *IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT*, 2(2), 123-128.
- Ariani, R., & Riza, F. V. (2019, October). Peningkatan Derajat Kesehatan Melalui Sosialisasi Perilaku Hidup Bersih Dan Sehat Sejak Dini. In *Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan* (Vol. 1, No. 1, pp. 319-322).
- Azis, Z., Panggabean, S., & Sumardi, H. (2021). EFEKTIVITAS REALISTIC MATHEMATICS EDUCATION TERHADAP HASIL BELAJAR MATEMATIKA SISWA SMP NEGERI 1 PAHAE JAE. *Journal Mathematics Education Sigma [JMES]*, 2(1), 19-24.
- Azmi, N., Budi, T., & Muttaqin, A. (2019). Studi Kuat Geser Beton Mutu Tinggi dengan Variasi Jenis Superplasticizer Menggunakan Bahan Tambah Abu Cangkang Sawit. 1(2), 71–77.
- Badan Standarisasi Nasional (2012) Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Bhagat, S., Wijeyewickrema, A. C., & Subedi, N. (2018). Influence of Near-Fault Ground Motions with Fling-Step and Forward-Directivity Characteristics on Seismic Response of Base-Isolated Buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 1-20.
- Damanik, W. S., Pasaribu, F. I., Lubis, S., & Siregar, C. A. (2021). Pengujian Modul Solar Charger Control (SCC) Pada Teknologi Pembuangan Sampah Pintar. RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): *Jurnal Teknik Elektro*, 3(2), 89-93.
- Eftekhari, G., & Nouri, G. (2018). Seismic Performance Assessment of High-Rise Buildings with Different Lateral Load Resisting Systems Under Near-Field Earthquakes with Fling Step. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 42(4), 361-370.
- Elkady, A., & Lignos, D. G. (2015). Effect of gravity framing on the overstrength and collapse capacity of steel frame buildings with perimeter special moment frames. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 44(8), 1289-1307.
- Elim, I., Saerang, D. P. E., & Manongga, C. L. (2014). Efektivitas Pajak Penerangan Jalan Dan Kontribusinya Terhadap Pendapatan Asli Daerah Di Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Riset Ekonomi, Manajemen, Bisnis Dan Akuntansi*, 2(2), 1318–1326
- Faisal, A. (2019). Perilaku Nonlinear Struktur Gedung Baja Dengan Bentuk Denah L, T Dan U Akibat Gempa. *Progress In Civil Engineering Journal*, 1(1), 63-73.
- Febriana, A., & Wibowo, A. (2016). Analisis Pushover Untuk Performance Based Design (Studi Kasus n Gedung B Program Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1(2), PP-676.
- Francisco, A. R. L. (2013). 濟無NoTitle No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gunawan, S., Hasan, H., & Lubis, R. D. W. (2020). Pemanfaatan Adsorben dari Tongkol Jagung sebagai Karbon Aktif untuk Mengurangi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 38-47.
- Lubis, S., Damanik, W. S., & Siregar, M. A. (2021, January). DESIGN OF

- QIBLAT DIRECTION USING HMC 5883L SENSOR. In Proceeding International Seminar of Islamic Studies (Vol. 2, No. 1, pp. 178-184).
- Lubis, S., Pasaribu, F. I., Harahap, P., Damanik, W. S., Siregar, R. S., Siregar, M. A., ... & Batubara, S. S. (2020). Pelatihan Penggunaan Sensor HMC 5883L Sebagai Petunjuk Arah Kiblat Sumatera Utara. IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT, 2(2), 229-237.
- Lubis, S. (2018). Analisa Tegangan Keluaran Alternator Mobil Sebagai Pembangkit Energi Listrik Alternatif. RELE: Rekayasa Elektrikal dan Energi Jurnal Teknik Elektro <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RELE>.
- Lubis, S. (2019). Analisis Pengaruh Besar Gesekan Terhadap Tegangan Thermal Pada Sepatu Rem Mobil Ketebalan 8 mm Menggunakan Perangkat Lunak Msc. Nastran V. 9. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 2(1), 44-53.
- Lubis, S. (2019). Analisis Pengaruh Besar Gesekan Terhadap Tegangan Thermal Pada Sepatu Rem Mobil Ketebalan 2 mm Menggunakan Perangkat Lunak Msc. Nastran V. 9. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 2(2), 104-114.
- Lubis, S., Siregar, I., & Siregar, A. M. (2020). Karakteristik Unjuk Kerja 2 Pompa Sentrifugal Dengan Susunan Seri Sebagai Turbin Pat. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 3(2), 85-92.
- Lubis, S., Siregar, C. A., Siregar, I., & Hasibuan, E. S. (2020). Kajian Eksperimen Deffoormasi Tekanan Pada Struktur Sarang Lebah Dengan Variasi Ukuran Hexagonal Yang Diuji Secara Statis. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 3(1), 01-10.
- Lubis, S., Siregar, A. M., Siregar, C. A., & Siregar, I. (2021). Kajian Eksperimen Kemampuan Penyerapan Energi Pada Struktur Sarang Lebah Yang Diuji Secara Statis. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 4(1), 64-72.
- Lubis, R. D. W., Syam, B., & Gunawan, S. (2020). Simulasi Respon Mekanik Komposit Busa Polimer Diperkuat Serat Tkks Dengan Variasi Konsentrasi Al₂O₃. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 3(1), 29-37.
- Ngantung, N. M. (2015). Analisis Peran Pajak Penerangan Jalan Umum Terhadap Pendapatan Asli Daerah Kota Tomohon the. 4(3), 32-43.
- Siregar, M. A., & Riawansyah, R. (2018). Simulasi Perpindahan Panas Pada Heater Injection Molding Menggunakan Software Solidworks. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 1(1), 39-46.
- Purnawati, D. (2012). Formulasi Kebijakan Pengalokasian Anggaran (Earmarked) Pajak Penerangan Jalan Untuk Penerangan Jalan Umum Di Kota Depok (Earmarked) Pajak Penerangan Jalan Untuk. Kelistrikan, A., Penerangan, L., & Umum, J. (2015). D INAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin KAWASAN PERKANTORAN KABUPATEN KONAWA SELATAN. 7(1), 33-40.
- Risdiara, S., Rangkuti, C., Teknik, J., Fakultas, M., Industri, T., Trisakti, U., & Savonius, T. (2018). MENGGUNAKAN SUMBER DAYA LISTRIK KOMBINASI DARI SOLAR. 357-362.
- S, Harry Sudibyo; W, Amelinda Arum; Nugraha, Gde Dharma; Wibisono, G. (2015). Rancang Bangun Sistem Lampu Jalan Pintar Nirkabel Berbasis Teknologi Zigbee. Tesla, 17, 45-51. Retrieved from <http://journal.untar.ac.id/index.php/tesla/article/view/271>
- Sihombing, D. T. (2013). Menggunakan Teknologi Tenaga Surya. 118-

123.

Widodo, A. (2016). Kajian Manajemen Optimalisasi Penerangan Jalan Umum Kota Semarang. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 18(2), 87–96. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v18i2.7476>

Vitri, G., & Herman, H. (2019). Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Material Tambahan Beton. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 6(2), 78–87. <https://doi.org/10.21063/JTS.2019.V602.06>

Sitorus, L. R. (2018). Analisis Kuat Tekan Terhadap Umur Beton dengan Menggunakan Admixture Superplasticizer Viscocrete-3115 N.

WEBSITE

Jacob, A. (2014) Sambungan Baut (online). <http://zacoeb.lecture.ub.ac.id>, diakses 21 Juni 2020.