

**JURNAL**  
**PERANCANGAN STRUKTUR MENARA TRANSMISI**  
**SALURAN UDARA TEGANGAN EKSTRA TINGGI**  
**KOMBINASI BEBAN 150 kV & 500 kV**

Salma ST Zakiah, Fatmawati Oemar, Sri Widayatie

**1.1. Latar Belakang**

Berdasarkan data Kementerian ESDM, konsumsi listrik di Indonesia tahun 2017 mencapai 1.012 Kilowatt per hour (KWH)/ kapita, naik 5,9% dari tahun sebelumnya, itu berarti tugas pemerintah ditahun ini untuk melaksanakan pembangunan dibidang kelistrikan harus ditingkatkan. Indonesia yang merupakan negara yang terdiri dari rangkaian beberapa pulau pun, menjadi tantangan sendiri pemerintah untuk memasok jaringan listrik hingga ke penjuru daerah. Memastikan bahwasannya listrik harus didapat secara merata dan menyebar hingga dapat dinikmati semua masyarakat.

Berangkat dari kondisi inilah, pemerintah pun mulai melaksanakan beberapa program pembangunan jaringan listrik dibeberapa daerah, salah satunya dalam bentuk pembangunan menara transmisi Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi atau yang lebih dikenal sebagai SUTET.

Berbekal pengetahuan tentang struktur baja dan kemampuan aplikasi analisis menara, penulis mencoba untuk mengaplikasikan ilmu yang telah dipelajari ini untuk melakukan perancangan menara transmisi SUTET dengan kombinasi beban 150 kV dan 500 kV. Besar harapan penulis dengan adanya tugas akhir ini dapat menambah pengetahuan lebih dalam tentang perancangan menara

**1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang terdapat dalam penulisan jurnal ini meliputi:

- a. Bagaimana menggambar *diagram clearance* untuk perencanaan *body* menara
- b. Bagaimana melakukan analisis struktur tower SUTET menggunakan aplikasi Ms. Tower dan mengeluarkan rasio kapasitas, berat menara, reaksi dan *displacement* yang terjadi
- c. Bagaimana mengecek sebagian rasio kapasitas penampang struktur baja menggunakan perhitungan manual

**1.1. Tujuan**

Tujuan penulisan jurnal ini meliputi;

- a. Menggambar *diagram clearance body* menara
- b. Melakukan analisis struktur tower SUTET menggunakan aplikasi Ms. Tower dan mengeluarkan rasio kapasitas, berat menara, reaksi dan *displacement* yang terjadi
- c. Mengetahui sebagian rasio kapasitas penampang struktur baja menggunakan perhitungan manual

**2.1. Tinjauan Pustaka**

❖ **Pengertian Menara Transmisi**

Menurut SNI 04-6918-2002, Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) merupakan saluran tenaga listrik yang menggunakan kawat telanjang (konduktor) diudara bertegangan nominal diatas 230 kV atau

mempunyai tegangan tertinggi untuk perlengkapan diatas 245 kV.

Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) adalah sarana di udara untuk menyalurkan tenaga listrik berskala besar dari Pembangkit ke pusat- pusat beban dengan menggunakan tegangan ekstra tinggi.

❖ **Jenis dan Fungsi Menara Transmisi**

Menurut fungsinya *tower* dibagi atas 7 macam yaitu.

1. *Dead end tower* yaitu tiang akhir yang berlokasi di dekat Gardu induk, tower ini hamper sepenuhnya menanggung gaya tarik
2. *Section tower* yaitu tiang penyekat antara sejumlah *tower* penyangga dengan sejumlah *tower* penyangga lainnya karena alasan kemudahan saat pembangunan (penarikan kawat), umumnya mempunyai sudut belokan yang kecil.
3. *Suspension tower* yaitu *tower* penyangga, *tower* ini hampir sepenuhnya menanggung gaya berat, umumnya tidak mempunyai sudut belokan
4. *Tension tower* yaitu *tower* penegang, *tower* ini menanggung gaya tarik yang lebih besar daripada gaya berat, umumnya mempunyai sudut belokan
5. *Transposition tower* yaitu *tower tension* yang digunakan sebagai tempat melakukan perubahan posisi kawat fasa guna memperbaiki impedansi transmisi.
6. *Gantry tower* yaitu *tower* berbentuk portal digunakan pada persilangan antara dua Saluran transmisi. Tiang ini dibangun di bawah Saluran transmisi existing.
7. *Combined tower* yaitu *tower* yang digunakan oleh dua buah saluran transmisi yang berbeda tegangan operasinya

Dibawah ini adalah tabel tipe tiang dan fungsinya.

Tabel 2.1 Tipe menara dan fungsinya

NO	Tipe Tiang	Notasi	Istilah asing	Fungsi
1	Penyangga	( D )	Draagmast	Menyangga konduktor, jalur saluran lurus
			Suspension tower	
			Angle susp. tower	
2	Penegang	( A )	Afspanmast	Menambat dan menahan tarikan konduktor dan 2 sisi seksi saluran (1 seksi ≤ 3 km, ≤ 12 gawang)
			Tension tower	
			Tension tower	
3	Ahir	( E )	Eindmast	Menahan tarikan konduktor, 1-sisi
			Dead-end tower	
4	Sudut	( H )	Hoekmast	Menahan tarikan konduktor dari 2 arah sudut
			Angle tower	
5	Cabang	( T )	Aftakmast	Pencabangan saluran
			Branch line tower	
6	Pelintasan Transportasi	( K ) (WA)	Kruisingen	Melintasi jalur fasilitas lain
			Transposition tower	

❖ **Perhitungan Struktur Baja Menurut SNI 1729-2015**  
**Komponen Struktur Tekan**

a. Panjang Efektif

Faktor panjang efektif,  $K$ , untuk perhitungan kelangsingan komponen struktur,  $KL/r$ , harus  $< 200$ .

Keterangan :

$L$  = panjang tanpa dibreising lateral dari komponen struktur (mm)

$r$  = radius girasi (mm)

b. Tekuk Lentur dari Komponen Struktur Tanpa Elemen Langsing

Komponen struktur tekan elemen nonlansing yaitu dimana rasio tebal terhadap lebar tidak melebihi batasan rasionya yang terdapat pada Tabel 2.7 harus memenuhi kekuatan tekan nominal yang berdasarkan keadaan batas dari tekuk lentur, yang dinyatakan sebagai berikut:

$$P_n = F_{cr} * A_g$$

dengan tegangan kritis,  $F_{cr}$ , ditentukan sebagai berikut:

$$\text{Bila } \frac{KL}{r} \leq 4,71 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ (atau } \frac{F_y}{F_e} \leq 2,25)$$

$$F_{cr} = [ 0,658 \frac{F_y}{F_e} ] * F_y \text{ (Pers. 2.4)}$$

$$\text{Bila } \frac{KL}{r} > 4,71 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ (atau } \frac{F_y}{F_e} > 2,25)$$

$$F_{cr} = [ 0,877 F_e ]$$

Keterangan:

$F_e$  = tegangan tekuk kritis elastis ditentukan sesuai dengan persamaan:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

c. Tekuk Torsi dan Tekuk Torsi-Lentur dari Komponen Struktur Tanpa Elemen Langsing

Tekuk torsi dan tekuk torsi-lentur ini diterapkan untuk semua komponen struktur simetris ganda tanpa elemen lansing, dengan elemen-elemen penampangnya mempunyai rasio lebar-tebal lebih kecil dari yang ditentukan di Tabel 2.2. maka kekuatan tekan nominal harus memenuhi:

$$P_n = F_{cr} * A_g$$

dengan tegangan kritis,  $F_{cr}$  ditentukan sebagai berikut:

$$F_{cr} = \left( \frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 * F_{cry} * F_{crz} * H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right]$$

dimana  $F_{cry}$  diambil sebagai persamaan 2.2 dan persamaan 2.3 untuk tekuk lentur pada sumbu  $y$  simetris dan  $\frac{KL}{r} = \frac{K_y L}{r_y}$  untuk komponen struktur tekan berbentuk

T, dan  $\frac{KL}{r} = \left(\frac{KL}{r}\right)_m$  untuk komponen struktur tekan siku ganda. Sebagai pengganti analisis yang lebih teliti, jika modulus tekuk melibatkan deformasi relatif yang menghasilkan gaya geser pada konektor antara setiap profil,  $\frac{KL}{r}$  yang diganti dengan  $\left(\frac{KL}{r}\right)_m$  ditentukan sebagai berikut:

- Untuk konektor menengah yang dibuat secara *snug-tight*:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_o^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2}$$

$$\text{dan } f_{crz} = \frac{GJ}{A_g * r_o^2}$$

$r_o$  adalah jari-jari girasi polar terhadap pusat geser

$$r_o^2 = \frac{I_x + I_y}{A} + x_o^2 + y_o^2$$

$$H = I - \left(\frac{x_o^2 + y_o^2}{r_o^2}\right)$$

$x_o, y_o$  adalah koordinat pusat geser terhadap titik berat,  $x_o = 0$  untuk siku ganda dan profil T (sumbu  $y$ -sumbu simetris)

**Tabel 2.1.** Rasio Tebal Terhadap Lebar Elemen Tekan Komponen Struktur yang Menahan Tekan Aksial

Kasus	Deskripsi elemen terhadap tebal	Rasio tebal terhadap lebar	Batasan rasio tebal terhadap lebar	contoh	
Elemen tanpa pengaku	1	Sayap dari profil I canai panas, pelat yang diproyeksikan dari profil I canai panas; kaki berdiri bebas dari sepasang siku disambung dengan kontak menerus, sayap dari kanal, dan sayap dari T	b/t	$0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	Sayap dari profil I tersusun dan pelat atau kaki siku yang diproyeksikan dari profil I tersusun	b/t	$0,64 * \sqrt{\frac{K_c E}{F_y}}$	
	3	Kaki dari siku tunggal, kaki dari siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tak diperkaku lainnya	b/t	$0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4	Stem dari T	b/t	$0,75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

**Tabel 2.2.** Rasio Tebal Terhadap Lebar Elemen Tekan Komponen Struktur yang Menahan Lentur

Kasus	Deskripsi elemen terhadap tebal	Rasio tebal terhadap lebar	Batasan rasio tebal lebar		contoh	
			$\lambda_p$ kompak	$\lambda_r$ nonkompak		
Elemen tanpa pengaku	5	Kaki dari siku tunggal	b/t	$0,54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0,91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

## Komponen Struktur Untuk Lentur

- a. T dan Siku Ganda yang Dibebani Dalam Bidang Simetris

Kekuatan lentur nominal,  $M_n$ , harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh (momen plastis), tekuk torsi-lateral dan tekuk lokal sayap, dan tekuk lokal dari badan T.

### 1. Pelelehan

$$M_n = M_p$$

Keterangan

(a) Untuk badan dalam tarik

$$M_p = F_y Z_x \leq 1,6 M_y$$

(b) Untuk badan dalam tekan

$$M_p = F_y Z_x \leq M_y$$

### 2. Tekuk Torsi Lateral

$$M_n = M_{cr} = \frac{\pi \sqrt{EI_y GJ}}{L_b} [B + \sqrt{1 + B^2}]$$

Dimana,

$$B = \pm 2.3 \left( \frac{d}{L_b} \right) \sqrt{\frac{I_y}{J}}$$

Tanda tambah untuk  $B$  diterapkan bila badan adalah dalam tarik dan tanda kurang diterapkan bila badan adalah dalam tekan. Jika ujung badan adalah dalam tekan dimanapun sepanjang panjang tanpa dibreising, nilai negatif dari  $B$  harus digunakan.

### 3. Tekuk Lokal Sayap T

❖ Untuk penampang dengan sayap kompak dalam tekan lentur, keadaan batas dari tekuk lokal sayap tidak diterapkan.

❖ Untuk penampang dengan sayap nonkompak dalam tekan lentur

$$M_n = M_p - (M_p - 0.7 F_y S_{xc})$$

$$\left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \leq 1.6 M_y$$

❖ Untuk penampang dengan sayap lansing dalam tekan lentur

$$M_n = \frac{0.7 E S_{xc}}{\left( \frac{b_f}{2t_f} \right)}$$

Keterangan:

$S_{xc}$  = modulus penampang elastis untuk sayap tekan ( $\text{mm}^3$ )

$\lambda$  =  $b_f / 2t_f$

$\lambda_{pf}$  =  $\lambda_p$ , batas kelangsingan untuk sayap kompak

$\lambda_{rf}$  =  $\lambda_r$ , batas kelangsingan untuk sayap nonkompak

Catatan: Untuk siku ganda dengan kaki-kaki sayap dalam tekan,  $M_n$  berdasarkan pada tekuk lokal adalah untuk menentukan penggunaan ketentuan Pasal F10.3 dengan  $b/t$  dari kaki-kaki sayap dan Persamaan F10-1 sebagai suatu batas atas.

### 4. Tekuk Lokal dari Badan T pada Tekan Lentur

$$M_n = F_{cr} S_x$$

Keterangan:

$S_x$  = Modulus penampang elastis ( $\text{mm}^3$ )

Tegangan kritis,  $F_{cr}$  ditentukan sebagai berikut :

❖ Bila  $\frac{d}{t_w} \leq 0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$F_{cr} = F_y$$

❖ Bila  $0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{d}{t_w} < 1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

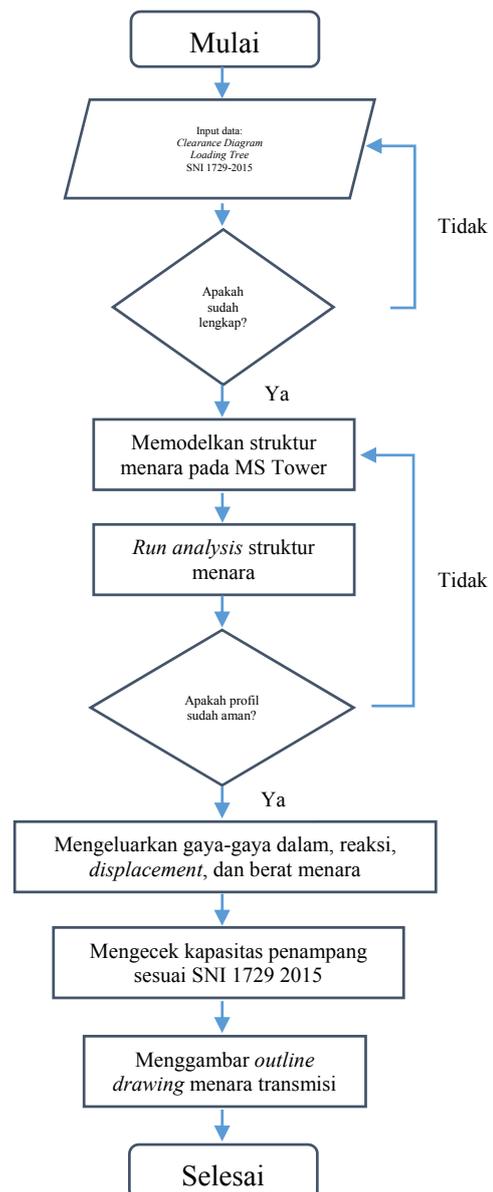
$$F_{cr} = \left[ 2.55 - 1.84 \frac{d}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right] F_y$$

❖ Bila  $\frac{d}{t_w} > 1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$F_{cr} = \frac{0.69E}{\left( \frac{d}{t_w} \right)^2}$$

Catatan: Untuk siku ganda dengan kaki-kaki badan dalam tekan,  $M_n$ , berdasarkan pada tekuk lokal yang menentukan penggunaan ketentuan Pasal F10.3 dengan  $b/t$  dari kaki-kaki badan dan Persamaan F10-1 sebagai suatu batas atas.

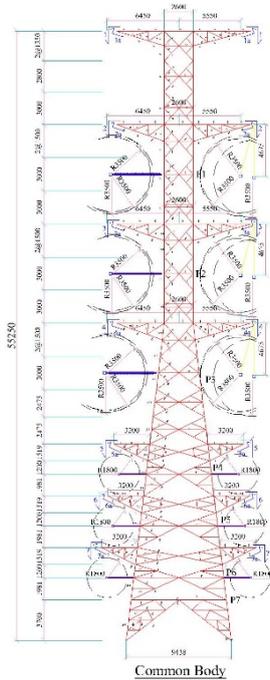
## 3.1. Metodologi Penelitian



4.1. Analisis dan Desain

❖ **Diagram Clearance untuk Dimensi Menara**

Diagram clearance merupakan gambar untuk menentukan dimensi menara berdasarkan data jarak antara cross arm yang disyaratkan, radius goyangan sudut pada isolator. Gambar diagram clearance sebagai mana terlihat pada Gambar 4.1 dibawah ini:



Gambar 4.1 Diagram clearance menara transmisi 500 kV+150 kV

Dimana, ketentuan yang telah ditetapkan adalah sebagai berikut:

a. General

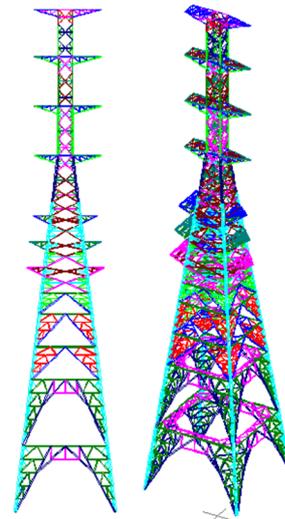
1. Design span (basic weight dan wind span), wind pressure dan loading combination menggunakan criteria tower 500 kV.
2. Maximum ultimate tension untuk konduktor sebesar 48,75 kN/konduktor dan untuk earthwire sebesar 26 kN/wire.

b. Tower Tension

1. Jarak vertikal antara lengan tower 500 kV disamakan dengan jarak untuk tower standar 500 kV yaitu 11500 mm.
2. Jarak antara conductor terbawah 500 kV dengan konduktor 150 kV teratas sebesar 8500 mm minimum.
3. Jarak antara lengan tower 150 kV terbawah dengan permukaan tanah untuk tower tension+15 adalah 50000 mm.

❖ **Pemodelan Menara Transmisi**

Pemodelan menara transmisi di MS Tower terdiri dari 32 panel dengan rincian sebagaimana terlihat pada Tabel 4.1. Total tinggi menara ialah meter dengan 4 kaki yang memiliki lebar masing-masing 18 meter. Menara terdiri dari 4 sirkuit yaitu 2 sirkuit 500 kV dan 2 sirkuit 150 kV.

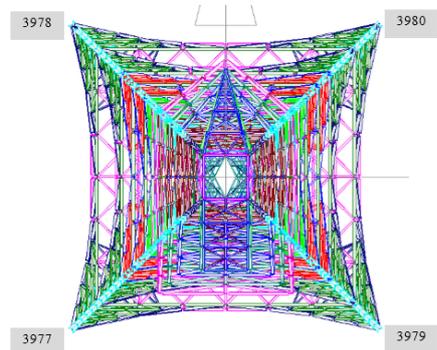


Gambar 4.2 Pemodelan menara transmisi 500 kV+150 kV

Tabel 4.1 Tabel detail antar panel

No Panel	Tinggi (meter)	Lebar bawah (meter)	No Panel	Tinggi (meter)	Lebar bawah (meter)
1	1.35	2.6	18	2.475	----
2	1.35	2.6	19	1.5189	----
3	2.8	2.6	20	1.2	----
4	3.0	2.6	21	1.981	----
5	1.5	2.6	22	1.5189	----
6	1.5	2.6	23	1.2	----
7	3	2.6	24	1.981	----
8	3	2.6	25	1.5189	----
9	3	2.6	26	1.2	----
10	1.5	2.6	27	1.981	----
11	3	2.6	28	3.7	----
12	3	2.6	29	6.0	----
13	1.5	2.6	30	6.0	----
14	1.5	----	31	12.0	----
15	1.5	----	32	12.0	18.0
16	1.5	----			
17	2.475	----			

❖ **Hasil Reaksi M.S Tower Akibat Beban Sendiri Menara**



Gambar 4.3 Nama node pada struktur menara

Nilai gaya-gaya dalam yang dikeluarkan program M.S Tower berdasarkan titik diatas sebagai mana tertulis pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Reaksi akibat beban sendiri menara

Case	Titik	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
300	3977	59.829	58.820	433.706	12.212	-11.443	-0.113
	3978	57.874	-58.839	418.579	-10.188	-10.925	-0.109
	3979	-59.846	58.871	434.759	12.322	12.066	0.072
	3980	-57.858	-58.852	418.574	-10.173	10.937	0.112

**Akibat Beban Kombinasi**

Beban kombinasi yang diaplikasikan terdiri dari beban kombinasi kondisi normal dan tidak seimbang (*unbalanced*).

- a) Beban kombinasi kondisi normal. Beban kombinasi kondisi kabel normal diasumsikan tidak ada kabel yang putus. Maka dipilih beban *normal vertical* → *transversal wind*. Sebagaimana tercantum pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Reaksi akibat beban kondisi normal

Case	Titik	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
1	3977	-681.955	1004.606	5485.785	74.272	151.443	34.615
	3978	740.968	1074.024	5927.043	64.285	167.231	35.516
	3979	535.631	-863.876	4387.143	105.404	126.941	35.698
	3980	-891.685	1209.053	7023.665	29.321	192.515	34.038

- b) Beban kombinasi tidak seimbang (*unbalanced*). Beban kombinasi kondisi tidak seimbang diasumsikan kabel terputus pada beberapa titik yang ditentukan, pada sirkuit ganda maupun tunggal. Kombinasi 1.32 DL+ 1.2 Transversal wind + 1.2 *Minimum vertical (Transversal wind)* → *Unbalance A+B+C+G*. Sebagaimana tercantum pada Tabel 4.4.

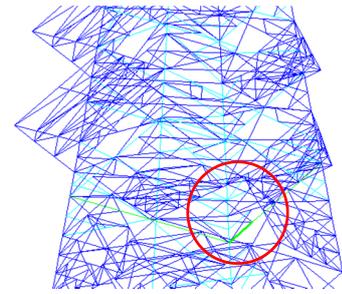
Tabel 4.4 Reaksi akibat beban kombinasi tidak seimbang

Case	Titik	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
44	3.977	-768.282	1038.549	5964.863	41.262	148.137	29.457
	3.978	606.293	-883.999	4625.934	85.493	105.085	29.771
	3.979	397.321	-780.554	3494.527	154.631	117.119	41.340
	3.980	-870.362	1245.708	7084.871	49.376	216.844	40.237

❖ **Analisis Batang Tarik dan Tekan**

Analisis batang tarik dan tekan diambil dari member *leg, horizontal, cross arm* dan *bracing* dipilih berdasarkan rasio tertinggi pada MS.Tower di masing-masing *member* untuk mengontrol kekuatan penampang gaya aksial dan momen lentur.

- Analisis Batang Tarik (*Member 5853*)



Gambar 4.1 Member 5853 pada MS Tower

**Batang Horizontal**

Nilai rasio pada MS Tower = 0.96

*Nodes 2509 – 4127*

Penampang *double siku DAE70x70x7*

*Case 42: 45° Wind Unbalanced A+B+C+G*

Gaya-gaya dalam hasil analisis MS Tower :

Tabel 4.5 Gaya-gaya dalam pada member 5853

Point	Offset m	Axial kN	Shear-y kN	Shear-z kN	Torque kNm	Moment-y kNm	Moment-x kNm
1	0	37.797	0.327	0.041	-0.004	0.04	0.316
2	0.4	37.797	0.327	0.041	-0.004	0.024	0.184
3	0.81	37.797	0.327	0.041	-0.004	0.007	0.052
4	1.21	37.797	0.327	0.041	-0.004	-0.01	-0.08
5	1.62	37.797	0.327	0.041	-0.004	-0.026	-0.212
6	2.02	37.797	0.327	0.041	-0.004	-0.043	-0.344

**Desain Batang 5853** 45

Member 5853: Nodes 2509 - 4127 Section 70: DAE70x70x7

Case 42: 45° Wind Unbalanced A+B+C+G

Point	Offset	Axial	Shear-y	Shear-z	Torque	Moment-y	Moment-x
m	kN	kN	kN	kN	kNm	kNm	kNm
6	2.02	37.797	0.327	0.041	-0.004	-0.043	-0.344

**Section Properties DAE70x70x7**

Diketahui :

- Ag : 18.592 cm<sup>2</sup>
- L : 2.022 m
- r : 0.021 m
- Fy : 250 Mpa
- Fu : 330 Mpa
- Zx : 16.70 cm<sup>3</sup>
- Ix : 83.899 cm<sup>4</sup>
- Iy : 193.347 cm<sup>4</sup>
- Lb : 2022 mm
- J : 3.183 cm<sup>4</sup>
- d : 20 mm
- E : 200000 Mpa
- g : 9 mm
- b : 70 mm
- t : 7 mm
- Sx/Sy : 31.041 cm<sup>3</sup>
- Zy : 25.953 cm<sup>3</sup>

**Gambar 5.8 Section properties penampang 70x70x7**

**a). Kontrol Kekuatan Penampang**

**Pembatasan Kelangsingan**  
 Pada SNI 1729-2015 tidak ada batas kelangsingan maksimum untuk komponen struktur dalam tarik. Akan tetapi, dalam buku Perencanaan Struktur Baja dengan metode LRFD karangan Agus Setiawan ditulis rasio kelangsingan maksimum bernilai 300 untuk batang tarik sekunder dan 240 untuk batang tarik utama.

**1. Mencari rasio kelangsingan** Cek :

$$\lambda = \frac{L}{r} = \frac{2.022}{0.021} = 96.29 \leq 300 \quad \text{Ok}$$

**2. Kekuatan Tarik**  
 - Untuk leleh tarik pada penampang bruto

$$\phi_t = 0.9 \quad P_n = A_g \times F_y = 0.9 \times 250 \times 1859 = 418320 \text{ N} = 418.320 \text{ kN}$$

Syarat batang aman :

$$P_u \leq \phi_t \times P_n$$

$37.797 \leq 0.9 \times 418.320$   
 $37.797 \leq 376.488$  kN

Cek : **Ok** 46

- Untuk keruntuhan tarik pada penampang netto

Asumsi:  
 $A_n = 85\% A_g = 1580.32$  mm<sup>2</sup> U = 0.8  
 Untuk siku tunggal dan ganda

$A_e = U \times A_n = 0.8 \times 1580.32 = 1264.256$  mm<sup>2</sup>

$\theta_t = 0.75$   
 $P_n = \theta_t \times F_u \times U \times A_n = 0.75 \times 330 \times 0.8 \times 1580.32 = 312903.36$  N = 312.903 kN

Syarat batang aman :  
 $\frac{P_u}{\phi_t P_n} \leq 1$   
 $\frac{37.797}{312.903} \leq 1$  kN Cek : **Ok**

Dari hasil perhitungan diatas terhadap gaya aksial tarik didapatkan bahwa penampang aman terhadap gaya aksial tarik yang bekerja pada struktur

**b). Desain Komponen Struktur untuk Lentur**

Dalam SNI 1729-2015 hal 109 disebutkan bahwa kekuatan lentur nominal Mn, harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh (momen plastis), tekuk torsi-lateral dan tekuk lokal sayap, dan tekuk lokal dari badan T (Bab T dan Siku Ganda yang dibebani dalam bidang simetris).

Ket: Perhitungan menurut SNI hal 96 adalah Pelelehan, Tekuk Torsi Lateral dan Tekuk Sayap Lokal (Untuk Siku Ganda T)

**Mencari Kuat Nominal dari Momen Lentur Penampang**

**1. Pelelehan**

$M_n = M_p$  Mp= momen leleh disumbu lentur

- Untuk badan dalam tarik Terhadap sumbu kuat lentur

$M_p = F_y \times Z_x \leq 1.6 \times M_y$   
 $= 250 \times 16701 \leq 1.6 \times F_y \times S_x$   
 $= 4175250$  Nmm  $\leq 1.6 \times 250 \times 31041$   
 $= 4.17525$  kNm  $\leq 12416400$  Nmm  
 $\leq 12.416$  kNm

Cek : **Ok**

$M_p = F_y \times Z_y \leq 1.6 \times M_y$   
 $= 250 \times 25953 \leq 1.6 \times F_y \times S_y$   
 $= 6488250$  Nmm  $\leq 1.6 \times 250 \times 31041$   
 $= 6.488$  kNm  $\leq 12416400$  Nmm  
 $\leq 12.416$  kNm

47

Diambil nilai terkecil, menjadi :  
 $M_n = M_p = 4175250$  Nmm = 4.175 kNm  
 Cek : **Ok**

**2. Tekuk Torsi-Lateral**

$M_n = M_{cr} = \pi \times \sqrt{\frac{E I_y \times G \times J}{L_b}} \times \left( B + \sqrt{1 + B^2} \right)$

dimana, Ket: Tanda plus untuk batang tarik

$B = \pm 2.3 \times \left( \frac{d}{L_b} \right) \times \sqrt{\frac{I_y}{J}}$   
 $B = + 2.3 \times \left( \frac{20}{2022} \right) \times \sqrt{\frac{1933470}{31830}} = 0.18$  mm

$M_n = M_{cr} = \frac{\pi \times \sqrt{E I_y \times G \times J}}{L_b} \times \left( B + \sqrt{1 + B^2} \right)$   
 $= \frac{\pi \times \sqrt{200000 \times 1933470 \times 76923.077 \times 31830}}{2022} \times \left( 0.18 + \sqrt{1 + 0.18^2} \right)$   
 $= 8480100.155$  Nmm = 8.480 kNm

Maka, diambil nilai Mn terkecil yaitu **4.175** kNm  
 Syarat balok aman :  $M_u \leq \phi_t M_n$   
 $0.043 \leq 3.758$  kNm Cek : **Ok**

dimana,  
 $\mu =$  Poisson's ratio = 0.3 J = Momen Inersia Puntir  
 $G =$  Modulus Gelincir  
 $G = \frac{E}{2 \times (1 + \mu)} = \frac{200000}{2 \times (1 + 0.3)} = 76923.077$  N/mm<sup>2</sup>

**3. Tekuk Lokal Sayap**

a. Menkategorikan Penampang Kompak/Tidak Kompak/Lansing

$\lambda_p = 0.5 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.5 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} = 12.728$

rasio tebal terhadap lebar :  
 $\frac{b}{t} = \frac{70}{7} = 10$

Cek : **Penampang kompak**

\* Dalam penampang kompak, keadaan batas dari tekuk lokal kaki tidak diterapkan.

Komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial harus direncanakan memenuhi ketentuan sebagai berikut : 48

Untuk  $\frac{P_u}{\phi_t P_n} \geq 0.2$  maka,  $\frac{P_u}{\phi_t P_n} + \frac{8}{9} \times \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1$

Untuk  $\frac{P_u}{\phi_t P_n} \leq 0.2$  maka,  $\frac{P_u}{2\phi_t P_n} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1$

Karena nilai  $\frac{P_u}{\phi_t P_n} = 0.121 \leq 0.2$

Maka,  
 $\frac{P_u}{2\phi_t P_n} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1$   
 $\frac{37797}{625806.720} + \left( \frac{344000}{3757725} + \frac{43000}{5839425} \right) \leq 1$   
 $0.060 + (0.092 + 0.007) = 0.159 \leq 1$

Cek : **Penampang dapat digunakan**

**❖ Tabel Hasil Output MS.Tower dan Perhitungan Manual**

		Keterangan	
<b>Tinggi Menara</b>	91.25 m		
<b>Lebar Atas</b>	2.6 m		
<b>Lebar Bawah</b>	18 m		
<b>Berat Menara</b>	173865.22 kg	173.865 ton	
<b>Displacement</b>			
Arah x	0.484 m	Persyaratan:	<b>Memenuhi</b>
Arah y	0.749 m	d ≤ h/120	<b>Memenuhi</b>
Arah z	0.035 m	d ≤ 0.760 m	<b>Memenuhi</b>
<b>Rasio Kapasitas</b>			
<b>Nama Batang</b>	<b>Rasio MS Tower</b>	<b>Rasio pada Perhitungan</b>	<b>Keterangan</b>
<i>Leg – Member 5225</i> (dipilih berdasarkan kaki terbawah)	0.78	0.826	Persyaratan: Rasio ≤ 1 <b>Memenuhi</b>
<i>Horizontal – Member 5853</i> (dipilih berdasarkan tarik terbesar profil DAE)	0.96	0.159	Persyaratan: Rasio ≤ 1 <b>Memenuhi</b>
<i>Horizontal – Member 5876</i> (dipilih tekan terbesar)	0.96	0.046	Persyaratan: Rasio ≤ 1 <b>Memenuhi</b>
<i>Bracing – Member 5311</i> (dipilih berdasarkan tekan terbesar pada panel paling bawah)	0.86	0.69	Persyaratan: Rasio ≤ 1 <b>Memenuhi</b>

**5.1. Kesimpulan**

- Hasil perencanaan menara transmisi dengan beban kombinasi 500 kV dan 150 Kv dengan 4 sirkuit didapat tinggi menara yaitu 91.25 m dengan lebar atas 2.6 m dan lebar bawah 18 m berdasarkan gambar diagram clearance yang telah dibuat.

- b. Berat menara berdasarkan data MS Tower yaitu 173865.22 kg atau 173.865 ton. Reaksi akibat beban sendiri menara yaitu FX (beban aksial) sebesar 418.574 ton. Nilai *displacement* memenuhi persyaratan  $d \leq h/120$  yaitu 0.749 m.
- c. Salah satu rasio hasil MS Tower pada member 5853 yaitu pada bagian *horizontal member* sebesar 0.96 dan hasil perhitungan manual sebesar 0.159, dengan persyaratan rasio  $\leq 1$  maka penampang tersebut memenuhi dan aman untuk digunakan.

## 5.2. Saran

Nilai rasio kapasitas berdasarkan data MS Tower dibandingkan dengan perhitungan manual pada batang *leg, barcing, dan cross arm* tidak berbeda jauh. Akan tetapi, pada batang *horizontal* nilai rasio dari MS Tower dan perhitungan manual memiliki perbedaan yang cukup jauh, ditinjau dari hasil gaya aksial tekan dan tarik pada MS Tower dibandingkan kapasitas penampang memiliki yang jauh, akan tetapi kedua nilai rasio masih dalam batas aman, sehingga profil tersebut masih dapat digunakan.

Perlu dilakukan peninjauan lebih jauh terhadap analisis dari MS.Tower pada batang *horizontal* yang memiliki rasio terbesar dengan hasil gaya aksial yang kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

Aslimeri,dkk. (2008). *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 2* Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Arismunandar, A. & Kuwahara, S (2004). *Teknik Tenaga Listrik Jilid II:Saluran Transmisi* Jakarta: Pradnya Paramita

Anwar, Salimul (2018). *Perancangan Menara Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV Muara Tawar Bekasi Menggunakan Peranti Lunak Ms. Tower*. Jakarta: Universitas Mercubuana

<https://dokumen.tips/documents/menara-transmisi.html>. Diakses pada 3 Januari 2019 pukul 15.00 WIB

Fang, S.J.; Roy, S. dan Kramer, J. (1999). *“Transmission Structures” Structural Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC Press LLC