

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen berupa pembangkitan, transmisi, gardu induk, distribusi dan beban yang saling berhubungan dan berkerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai kebutuhan. Secara garis besar Sistem Tenaga Listrik dapat digambarkan dengan skema di bawah ini (Suripto, 2016).



Gambar 2. 1 Proses Penyaluran Tenaga Listrik dari Pembangkit ke Konsumen

(Prativa, 2020)

#### 2.2 Saluran Udara Tegangan Tinggi

Saluran udara tegangan tinggi yang disingkat SUTT adalah saluran tenaga listrik yang menggunakan kawat telanjang (konduktor) di udara bertegangan nominal di atas 35 (tiga puluh lima) kilovolt sampai dengan 230 (dua ratus tiga

puluh) kilovolt sesuai dengan standar di bidang ketenagalistrikan (Listrik et al., 2021).

Saluran udara tegangan tinggi berfungsi untuk mengirimkan energi mengirimkan energi dari pusat pembangkit ke pusat beban. Pilihan jenis saluran udara tegangan tinggi sangat di tentukan oleh jumlah energi yang akan disalurkan dan jarak Panjang saluran transmisinya (Suripto, 2016).

### 2.3 Saluran Udara Tegangan Tinggi AC/DC

Menurut jenis arusnya dikenal sistem arus bolak-balik (AC = *Alternating Current*) dan sistem arus searah (DC = *Direct Current*). Di dalam sistem AC penaikan dan penurunan tegangan mudah dilakukan yaitu menggunakan transformator. Itulah sebabnya saluran transmisi di dunia Sebagian besar adalah saluran AC. Di dalam sistem AC ada sistem satu fasa dan sistem tiga fasa. Sistem tiga fasa mempunyai kelebihan dibandingkan dengan sistem satu fasa karena,

1. Daya salurnya lebih besar
2. Nilai sesaatnya (*instantaneous value*) konstan, dan
3. Mempunyai medan magnet putar.

Berhubung dengan keuntungan-keuntungannya, hamper semua seluruh penyaluran tenaga listrik di dunia dilakukan arus bolak-balik. Beberapa tahun terakhir ini penyaluran arus searah mulai dikembangkan di beberapa bagian dunia ini. Penyaluran DC mempunyai keuntungan karena misalnya isolatornya yang lebih sederhana, daya guna (*efficiency*) yang lebih tinggi (karena faktor dayanya satu) serta tidak adanya masalah stabilitas, sehingga dimungkinkan penyaluran jarak jauh. Tetapi persoalan ekonominya yang masih harus diperhitungkan.

Penyaluran tenaga listrik dengan sistem DC baru dapat dianggap ekonomis (dapat bersaing dengan Sisteama AC) bila jarak saluran udara lebih jauh, antara 400 sampai 600 km. atau untuk saluran bawah tanah lebih Panjang dari 50 km. Ini disebabkan karena biaya peralatan pengubah dari AC ke DC dan sebaliknya (*convert dan inverter equipment*) mahal (HUTAURUK, 1990)

#### 2.4 Tegangan Dengan Saluran Udara Tegangan Tinggi

Untuk daya yang sama, maka daya guna penyaluran akan naik oleh karena rugi-rugi transmisi turun, apabila tegangan transmisi ditinggikan. Namun, penginggian tegangan transmisi berarti juga menaikkan isolator dan biaya peralatan dan gardu induk. Oleh karena itu pemilihan tegangan transmisi dilakukan dengan memperhitungkan daya yang disalurkan, jumlah rangkaian, jarak penyaluran, keandalan (*reliability*), biaya untuk tegangan tertentu, serta tegangan-tegangan yang sekarang ada dan yang direncanakan. Kecuali itu, penentuan tegangan harus juga dilihat dari segi standarisasi peralatan yang ada. Penentuan tegangan merupakan bagian dari perancangan sistem secara keseluruhan.

Di Indonesia pemerintah telah menyarankan deretan tegangan tinggi sebagai berikut :

Tegangan Nominal (KV) : (30) – 66 – 150 – 220 – 380 – 500.

Tegangan Tertinggi untuk perlengkapan (KV) : (36) – 72,5 – 170 – 245 – 420 - 525. Tegangan nominal 30 KV hanya diperkenankan untuk daerah asuhan dimana tegangan distribusi 20 KV tidak dipergunakan. Penentuan di atas disesuaikan

dengan rekomendasi *International Electrotechnical Commission (IEC)* (HUTAURUK, 1990)

## 2.5 Saluran Udara tegangan Tinggi Ganda Fasa Tiga

Saluran udara tegangan tinggi ganda fasa tiga di bagi menjadi 2 berikut merupakan saluran udara tegangan tinggi ganda fasa tiga (HUTAURUK, 1990)

### 2.5.1 Reaktansi Induktif Saluran Ganda Fasa Tiga

Suatu saluran ganda fasa – tiga mempunyai dua konduktor parallel per fasa dan arus terbagi rata antara kedua konduktor, baik karena susunan konduktor yang simetris maupun karena transposisi. Konduktor *a* dan *d* dihubungkan parallel, demikian juga konduktor-konduktor *b* dan *e* dan konduktor *c* dan *f*



Gambar 2. 2 susunan konduktor dan suatu saluran ganda fasa-tiga (HUTAURUK, 1990)

Pada umumnya semua konduktor adalah identic dengan radius  $r_1$ , jadi

$$I_a = I_d$$

$$I_b = I_e$$

$$I_c = I_f$$

Bila saluran 1 jauh dari saluran 2 maka induktansi Bersama konduktor-konduktor dapat diabaikan. Tetapi pada umumnya kedua saluran itu di topang pada satu Menara, jadi jarak-jarak antara konduktor tidak besar, sehingga induktansi Bersama tidak diabaikan.

Untuk memperoleh hasil yang lebih teliti sebaiknya pengaruh dari induktansi Bersama itu diperhitungkan.

Untuk menghitung reaktansi induktip saluran ganda tersebut dapat juga digunakan metode GMR dan GMD (HUTAURUK, 1990).

$$X^1 = 0,14467 \log \frac{\text{GMD } \text{Ohm}}{\text{GMR } \text{km}} / \text{konduktor} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

$$\text{GMD} = \sqrt[12]{d_{12}d_{13}d_{15}d_{16}d_{23}d_{24}d_{26}d_{34}d_{35}d_{45}d_{46}d_{56}} \text{ meter} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\text{GMR} = \sqrt[6]{(r1')^3 d_{14} d_{25} d_{36}} \text{ meter} \dots \dots \dots (2.3)$$

Setelah GMD dan GMR diketahui baru bisa dicari reaktansinya  
(X)

Dimana:

XL : Reaktansi (ohm/km)

F : Frekuensi (Hz)

L : Induktansi (ohm)

GMD : Jarak rata-rata geometris (m)

GMR : Radius rata-rata geometris (m)

r1' : 0,7788 r

S : jarak antar konduktor dalam satu fasa (m)

### 2.5.2 Reaktansi Kapasitip Saluran Ganda Fasa-Tiga

Sama halnya dengan reaktansi induktip, konsepsi GMD dan GMR dapat juga digunakan untuk menghitung kapasitip dari saluran ganda fasa tiga (HUTAURUK, 1990)

### 2.6 Klasifikasi Saluran Udara Tegangan Tinggi

1. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) berkisar antara 70 – 150 KV
2. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) di atas 150 – 750 KV
3. Saluran Udara Tegangan Ultra Tinggi (SUTUT) di atas 750 KV

### 2.7 Klasifikasi Fungsinya dan Operasi

Berdasarkan fungsinya dalam operasi, Saluran transmisi sering diberi nama (HUTAURUK, 1990):

1. Transmisi : yang menyalurkan daya besar dari pusat-pusat pembangkit ke daerah beban atau antara dua atau lebih sistem, yang terakhir ini disebut sebagai saluran interkoneksi atau *tie-line*
2. Sub-transmisi : sub-transmisi ini biasanya adalah transmisi percabangan dari saluran yang tinggi ke saluran yang lebih rendah
3. Ditribusi : di Indonesia telah ditetapkan bahwa tegangan distribusi adalah 20 KV.

### 2.8 Komponen-komponen Utama Dari Saluran Udara Tegangan Tinggi

#### 2.8.1 Menara atau tower

Menara atau tiang transmisi adalah suatu bangunan penompang saluran transmisi yang dapat berupa menara baja, tiang baja, tiang beton bertulang tiang

kayu. Secara umum tipe atau jenis tower transmisi tegangan tinggi/ekstra tinggi yang lazim digunakan khususnya di Indonesia, adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Tipe Tower Berdasarkan Sudutnya (“BUKU SAKU SUPERVISOR PROYEK TRANSMISI SUTT/SUTET,” 2018)

No.	Tegangan Tinggi			Tegangan Extra Tinggi		
	single	double	sudut	single	double	sudut
1.	A	AA	0° - 3°	A	AA	0° - 2°
2.	B	BB	3° - 20°	B	BB	2° - 10°
3.	C	CC	20° - 60°	C	CC	10° - 30°
4.	D	DD	60° - 90°	D	DD	30° - 60°
5.	E	EE	>90°	E	EE	60° - 90°
6.	DR	DDR	>90°	F	FF	0° - 45°

Untuk lebih lengkapnya perlu diketahui pula bahwa dari bagian-bagian tower tersebut terdiri dari bahan-bahan atau bagian material, antara lain sebagai berikut :

1. Baja siku (dalam berbagai ukuran)
  - Baja siku utama (main member)
  - Baja siku sekunder (secondary member)
2. Plat (dalam berbagai bentuk dan ukuran)
  - Plat datar (flat plate)
  - Plat bersudut (bending plate)
  - Plat pengisi (fill plate)
3. Mur, baut dan ring besi

Berikut merupakan beberapa tiang atau tower berdasarkan fungsinya (“BUKU SAKU SUPERVISOR PROYEK TRANSMISI SUTT/SUTET,” 2018) :

1. Tiang penegang (*tension tower*)

Tiang penegang disamping menahan gaya berat juga menahan gaya berat juga menahan gaya tarik dari konduktor Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau Ekstra Tinggi (SUTET). Tiang penegang terdiri dari:

a. Tiang sudut (*angle tower*)

Tiang sudut adalah tiang penegang yang berfungsi menerima gaya tarik akibat perubahan arah Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau Ekstra Tinggi (SUTET)

b. Tiang akhir (*dead end tower*)

Tiang akhir adalah tiang penegang yang direncanakan sedemikian rupa hingga kuat untuk menahan gaya tarik konduktor-konduktor dari satu arah saja. Tiang akhir ditempatkan di ujung Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau Ekstra Tinggi (SUTET) yang akan masuk ke switch yard Gardu Induk.

2. Tiang penyangga (*suspension tower*)

Tiang penyangga untuk mendukung/menyangga dan harus kuat terhadap gaya berat dari peralatan listrik yang ada pada tiang tersebut.

3. Tiang penyekat (*section tower*)

Yaitu tiang penyekat antara sejumlah tower penyangga dengan sejumlah tower penyangga lainnya karena alasan kemudahan saat pembangunan (penarikan konduktor), umumnya mempunyai sudut belokan yang kecil.

4. Tiang transposisi

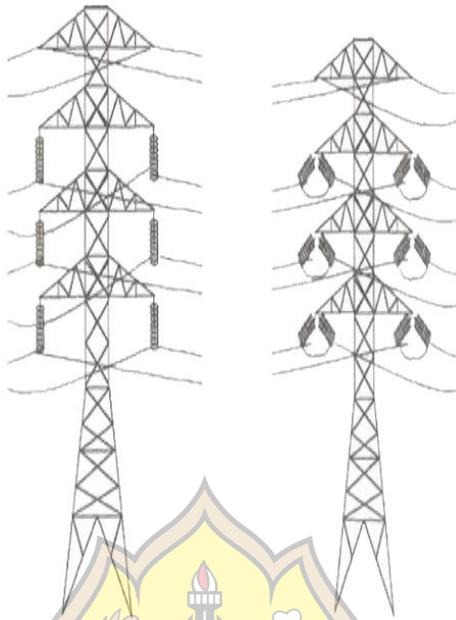
Adalah tiang penegang yang berfungsi sebagai tempat perpindahan letak susunan fasa konduktor-konduktor Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET).

5. Tiang portal (*gantry tower*)

Yaitu tower berbentuk portal digunakan pada persilangan antara dua saluran transmisi yang membutuhkan ketinggian yang lebih rendah untuk alasan tertentu (bandara, tiang *crossing*). Tiang ini dibangun di bawah saluran transmisi eksisting.

6. Tiang kombinasi (*combined tower*)

Yaitu tower yang digunakan oleh dua buah saluran transmisi yang berbeda tegangan operasinya.



Gambar 2. 3 Tower Suspension dan tower Tension

(“BUKU SAKU SUPERVISOR PROYEK TRANSMISI SUTT/SUTET,” 2018)

### 2.8.2 Isolator

Jenis isolator yang digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas. Menurut penggunaan dan konstruksinya dikenal tiga jenis isolator, yaitu : isolator jenis pasak, isolator jenis pos-saluran dan isolator gantung.

Isolator jenis pasak dan pos-saluran digunakan pada saluran transmisi dengan tegangan kerja relative rendah (kurang dari 22 – 33 KV), sedangkan isolator gantung dapat digandeng menjadi rentengan isolator yang jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan (Hutauruk, 1990 “Transmisi daya listrik”).

Fungsi isolator antara lain adalah :

1. mengisolasi antara tegangan kawat penghantar dengan tower penompang.

2. Menggantungkan kawat penghantar pada tower penompang.

Isolator gantung untuk saluran kadang berbentuk batang memanjang, atau kadang terdiri dari beberapa isolator pendek yang berbentuk seperti mangkok terbalik yang dirangkai memanjang. Jenis yang kedua lebih fleksibel, Panjang rangkaiannya disesuaikan dengan kekuatan isolasi yang diinginkan.

Watak isolator saluran transmisi :

1. Nilai kapasitansi :

Karena terdiri dari beberapa porselin yang diapit dua electrode

2. Tegangan lompat api :

Tegangan minimal yang menyebabkan lompatan bunga api antara kedua elektrode dibagian luar isolator (bila isolator basah/kotor)

3. Tegangan tembus :

Batas minimal tegangan yang menyebabkan arus bocor tertentu yang menembus bahan isolator (menunjukkan kekuatan dielektriknya) Nilai kapasitas isolator dipengaruhi oleh Panjang isolatornya, semakin Panjang isolator semakin kecil nilai kapasitasnya dan sebaliknya. Tegangan lompatan api suatu isolator bisa menurun bila isolator terkena kotoran missal debu atau sejenisnya, sehingga perlu dilakukan pembersihan isolator secara rutin, untuk menjaga agar isolator tetap aman dari lompatan api antar kedua ujungnya.

Tegangan tembus biasanya dipengaruhi oleh kualitas bahan isolator dan juga umur pemakaiannya. Semakin lama pemakaian, maka kualitas bahan isolator akan menurun sehingga dapat menurunkan nilai tegangan tembusnya.

Tabel 2. 2 karakteristik isolator 70 KV dan 150 KV  
(persero), 1996)

No	Uraian	Satuan	Isolator renteng (jenis bola sendi)		Isolator Batang panjang		Isolator tonggak	
			70 kV	150 kV	70 kV	150 kV	70 kV	150 kV
1.	Tegangan impuls denyar 50 % minimum (positif)	kV	440	775	345	845	330	780
2.	Tegangan denyar frekuensi kerja : - kering - basah	kV	245	485	210	485	200	475
		kV	155	335	150	370	180	435
3.	Ketahanan minimum tegangan frekuensi kerja	kV	140	325	132	325	145	382
4.	Kuat putus/patah minimum	kg	2,5 x Tms <sup>*)</sup>	2,5 x Tms <sup>*)</sup>	2,5 x Tms <sup>*)</sup>	2,5 x Tms <sup>*)</sup>	635 <sup>**)</sup>	635 <sup>**)</sup>

\*) Catatan : Contoh karakteristik isolator untuk tingkat polusi rendah (NGK Insulator Number 65

) Tms : Tarikan beban kerja maksimum

\*) Dipasang pengaman sebesar 1 x tarikan maksimum tiang beton

### 2.8.3 Kawat Konduktor

Dipergunakan kawat konduktor fase jenis ACSR (*Alumunium Conductor Steel Reinforced*) dan T-ACSR (termal ACSR). Spesifikasi teknis ACSR sesuai SPLN 41-7:1981 tentang Hantaran Alumunium Berpenguat Baja ((persero), 1996)

Konduktor dengan hantaran bahan alumunium lebih ringan daripada konduktor jenis tembaga, konektivitas dan kekuatan mekaniknya lebih rendah. Jenis-jenis konduktor alumunium antara lain (PT. PLN (Persero), 2019)

#### 1. Konduktor ACSR (*Alumunium Conductor Steel Reinforced*)

Konduktor jenis ini, bagian dalamnya berupa steel yang mempunyai kuat mekanik tinggi, sedangkan bagian luarnya berupa aluminium yang mempunyai konduktivitas tinggi. Sifat elektron lebih menyukai bagian luar

konduktor daripada bagian sebelah dalam konduktor, maka pada sebagian besar SUTT maupun SUTET menggunakan konduktor jenis ACSR. Untuk daerah yang udaranya mengandung kadar belerang tinggi dipakai jenis ACSR/AS, yaitu konduktor jenis ACSR yang konduktor steelnya dilapisi dengan aluminium



Gambar 2. 4 Konduktor ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) (*PT. PLN (Persero), 2019*).

Tabel 2. 3 Ukuran Hantaran Kawat Arus Kawat Penghantar ACSR (*(persero), 1996*)

Ukuran nominal (mm <sup>2</sup> )	Konstruksi [jumlah/diameter lilitan (bh/mm)]		Luas penampang (mm <sup>2</sup> )		Diameter luar (mm)	Berat kawat (kg/km)	Kuat tarik minimum (kg)	Kapasitas penyaluran arus (A) **)	Daya yang dapat disalurkan (MVA)		Tahanan listrik pada 20° C (Ohm/km)
	Al	ST	Al	St					70 kV *)	150 kV	
125/30	30/2,33	7/2,33	127,9	29,8	16,10	591	5.874	409	50	106	0,2295
150/25	26/2,73	7/2,12	149,9	24,2	17,10	605	5.634	447	54	116	0,1939
185/30	26/3,00	7/2,33	183,8	29,8	19,00	746	6.751	535	62	132	0,1571
210/35	26/3,20	7/2,49	209,1	34,1	20,30	850	7.638	590	67	143	0,1980
240/40	26/3,45	7/2,68	243,0	39,5	21,90	987	8.811	645	73	156	0,1183
265/35	24/3,74	7/2,49	263,7	34,1	22,40	1002	8.469	680	-	164	0,1094
300/50	26/3,08	7/3,00	304,3	49,5	24,50	1236	10.912	740	-	179	0,0949
340/30	48/3,00	7/2,33	339,3	29,8	25,00	1180	9.474	790	-	191	0,0951
385/33	48/3,20	7/2,49	366,0	34,1	26,70	1344	10.687	865	-	206	0,0743
430/40	43/3,45	7/2,68	448,7	39,5	28,70	1561	12.314	890	-	219	0,0544

Keterangan :

\*) Konstruksi SUTT 70 kV dibatasi menggunakan kawat penghantar ACSR dengan ukuran nominal maksimal 240 mm<sup>2</sup> (SPLN 15 : 1979).

\*\*) Suhu penghantar = 90° C

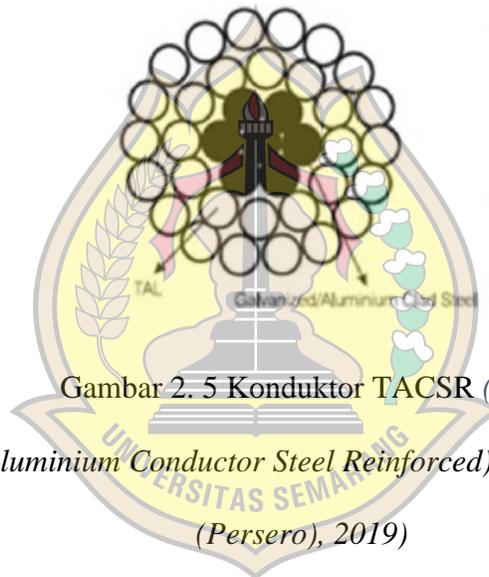
Suhu sekitar = 40° C

Kecapatan angin 0,5 m/det

Radiasi sinar matahari = 0,12 Watt/cm<sup>2</sup>

## 2. Konduktor jenis TACSR (*Thermal Aluminium Conductor Steel Reinforced*)

Pada saluran transmisi yang mempunyai kapasitas penyaluran /beban sistem tinggi maka dipasang konduktor jenis TACSR. Konduktor jenis ini mempunyai kapasitas lebih besar tetapi berat konduktor tidak mengalami perubahan yang banyak, tapi berpengaruh terhadap *sagging*.



Gambar 2. 5 Konduktor TACSR (*Thermal Aluminium Conductor Steel Reinforced*) (PT. PLN (Persero), 2019)

USM

Tabel 2. 4 Ukuran Hantaran Kawat Arus Kawat  
Penghantar TACSR ((persero), 1996)

Ukuran nominal (mm <sup>2</sup> )	Konstruksi [jumlah/diameter lilitan (bh/mm)]		Luas penampang (mm <sup>2</sup> )		Diameter luar (mm)	Berat kawat (kg/km)	Kuat tarik minimum (kg)	Kapasitas penyaluran arus (A) (**)	Daya yang dapat disalurkan (MVA)		Tahanan listrik pada 20° C (Ohm/km)
	Al	ST	Al	St					70 kV *	150 kV	
120	30/2,3	7/2,3	124,7	29,10	16,1	532,9	5.540	622	75	162	0,219
160	30/2,6	7/2,6	159,3	37,16	18,2	732,8	6.990	720	87	187	0,185
240	30/3,2	7/3,2	241,3	56,29	22,4	1110,0	10.210	930	113	242	0,123
330	26/4,1	7/3,1	326,8	52,84	25,3	1320,0	10.930	1135	-	295	0,090
410	26/4,5	7/3,5	413,4	67,35	28,5	1673,0	13.890	1325	-	344	0,071

\*) Konstruksi SUTT 70 kV dibatasi menggunakan kawat penghantar ACSR dengan ukuran nominal maksimal 240 mm<sup>2</sup> (SPLN 15 : 1979).

\*\*) Didasarkan kepada :

1. Subu penghantar = 150 °C
2. Subu penghantar sesaat = 180 °C
3. Subu sekitar 40 °C
4. Kecepatan angin 0,5/det

#### 2.8.4 Kawat Tanah

kawat tanah atau *ground wires* juga disebut sebagai kawat pelindung (*shield wires*) gunanya untuk melindungi kawat-kawat konduktor atau kawat fasa terhadap sambaran petir. Kawat tanah itu dipasang di atas kawat fasa. Kawat tanah umumnya dikaia kawat baja (*steel wires*) yang lebih murah, tetapi tidaklah jarang digunakan ACSR (HUTAURUK, 1990).

Jenis-jenis kawat yang digunakan :

1. Kawat tanah baja (*Ground Steel Wire/GSW*)

Terdiri dari liltan kawat baja dengan ukuran dan kuat tarik minimum.

Tabel 2. 5 ukuran dan kuat tarik minimum kawat tanah baja ((persero), 1996)

Ukuran Nominal (mm <sup>2</sup> )	Luas penampang (mm <sup>2</sup> )	Konstruksi [Jumlah/diameter lilitan (buah/mm)]	Diameter luar (mm)	Berat kawat (kg/km)	Kuat tarik minimum (kg)
38	37,16	7/2,6	7,8	294	3080
55	56,29	7/3,2	9,6	466	4660

## 2. Kawat tanah fiber optik (*Fiber Optic Overhead Wire/OPGW*)

Terdiri dari lilitan kawat alumunium atau kawat alumunium baja (*ACS = Aluminium Clad Steel Wire*) yang berintikan kawat alumunium yang berongga dua lebih di dalamnya untuk saluran kawat fiber optik. Fungsinya saluran fiber optik untuk telemetering, telekomunikasi dan teleproteksi.

### 2.9 Klasifikasi Konduktor ACSR dan TACSR

Konduktor ACSR jenis konduktor ini, bagian dalamnya berupa steel yang mempunyai kuat mekanik tinggi, sedangkan bagian luarnya berupa aluminium yang mempunyai konduktivitas tinggi.

Pada saluran transmisi yang mempunyai kapasitas penyaluran /beban sistem tinggi maka dipasang konduktor jenis TACSR. Konduktor jenis ini mempunyai kapasitas lebih besar tetapi berat konduktor tidak mengalami perubahan yang banyak, akan tetapi berpengaruh terhadap *sagging*.

Dari penjelasan diatas konduktor ACSR memiliki harga yang lebih terjangkau di bandingkan dengan konduktor TACSR tetapi dari segi spesifikasi dan sesuai kebutuhan biasanya rekondutor dilakukan karena penambahan tenaga listrik dari suatu daerah. Sedangkan konduktor jenis TACSR memiliki spesifikasi yang lebih

mumpuni daripada konduktor jenis ACSR. TACSR mempunyai kelemahan yakni sagging atau jarak konduktor dengan tanah / ruang bebas lebih rendah dibandingkan ACSR (PT. PLN (Persero), 2019).

## 2.10 Tahapan Rekonduktoring SUTT

### 2.10.1 Erection Tower

Erection tower adalah pekerjaan merangkai besi-besi bagian dari tower yang dimulai dari bawah keatas secara bertahap sehingga berbentuk satu set tower (“BUKU SAKU SUPERVISOR PROYEK TRANSMISI SUTT/SUTET,” 2018).

#### Peralatan Erection Tower

Dalam melaksanakan pekerjaan erection tower diperlukan peralatan untuk memudahkan pelaksanaan dilapangan, berikut ini adalah yang diperlukan :

#### 1. Peralatan Utama

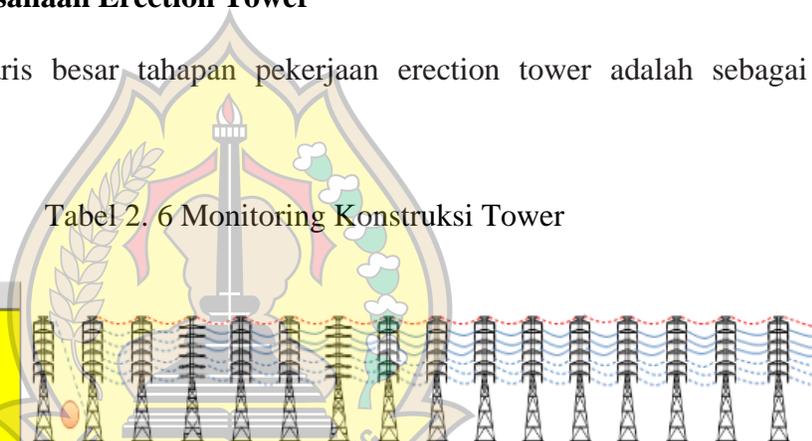
1. *Winch and bond*
2. *Bamboo derrick* (3 buah, Panjang 14 m dengan diikat menyatu setiap interval 0,75 m), dengan cara ikatan : salah satu ujung terdiri dari ujung besar 2 buah dan ujung kecil satu buah
3. *Spanners*
4. *Derrick guys*
5. *Stakes*
6. *Snatck blocks*

7. Nylon rope
  8. Pull lifts
9. Peralatan Bantu
1. Kunci tangent
  2. Kunci pas
  3. Hammer karet

### 2.10.2 Proses / Pelaksanaan Erection Tower

Secara garis besar tahapan pekerjaan erection tower adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 6 Monitoring Konstruksi Tower



NO.TOWER	17	18	19	20	21.A	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
TYPE TOWER	4AA6+3	4AA6+3	4AA6+3	4CC6+9	4AA6+6	4AA6+9	4CC6+6	4AA6+6	4AA6+9	4AA6+9	4AA6+9	4AA6+6	4AA6+6	4AA6+6	4AA6+6	4AA6+9		
MATERIAL TOWER (%)	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98		
MATERIAL ACCESSORIES (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
TYPE PONDASI	PC III	BP 4	BP 4	PCI	PCI	PC II	BP 5	BP 4	BP 5	BP 5	BP 5	BP 5						
PROGRES PONDASI	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
PEMBEBASAN TANAH (%)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
JARAK SPAN (m)		295	314.1	240.6	226.8	207.6	324.9	303.3	222	287.6	360.2	277.2	300	320	260	287.8	304.3	
ROW		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	100%	100%	100%
DESA	SRIOMBO BONANG		SRIOMBO				SENDANGSARI				DASUN		GEDONG MULYO					
KECAMATAN	LASEM																	

#### 1. Pekerjaan persiapan

1. Menyiapkan gambar referensi yang diperlukan

Gambar detail tower perbagian tower disiapkan terlebih dahulu, dalam hal ini pengawas dapat mengontrol kelengkapan gambar yang dipakai referensi.

2. Memeriksa kondisi bagian bawah (*groundwork*)

1. Pondasi tower harus ditimbun ulang sebelum pekerjaan pendirian tower dimulai. Kabel *earthing* tower harus dipasang sesuai gambar.
2. Yakinkan bahwa tower earthing sudah dipasang sebelum erection (tahanan ground sudah diuji sebelum erection. Nilai tahanan maksimal 5 ohm)
3. Tower earthing dapat diukur sesudah erection dengan menggunakan format pengukuran (untuk *final check* tower / sebelum *energize*)

3 Mengangkut material tower dari Gudang lapangan ke lokasi tower.

Pengelompokan dan pengeluaran material tower disusun dan diurutkan sesuai dengan erection schedule. Pembongkaran bahan di lokasi tower harus diletakkan di atas kayu yang keras, untuk memudahkan pengangkatan dan menjaga bahan tetap bersih (bahan yang kotor harus dibersihkan atau disikat). Semua bahan dilapisi galvanis dan harus dijaga dari kerusakan, cacat atau tergores. Kerusakan yang terjadi harus segera dilaporkan.

Bahan harus digelar pada lahan sesuai dengan persyaratan pendirian tower. Jika terjadi kerusakan bahan harus ditangani secara khusus. Cacat dapat diperbaiki dengan "*Cold Galvanis Paint*" sesuai persetujuan pihak pemberi kerja. Bahan dengan kerusakan berat harus diganti.

Semua bahan harus diperiksa untuk mencocokkan dengan spesifikasi sebelum keluar Gudang.

4 Mobilitas peralatan dan personil (*grup erection*)

*Grup / crew* erection dan peralatan supaya efektif harus bertempat / ditempatkan di dekat lokasi tower untuk memudahkan dan kelancaran pekerjaan sekaligus pengamanan material dan peralatan.

## 2. Merangkai tower

1. Perakitan / merangkai besi tower dilakukan perbagian tower seperti *leg, body, common portion, cross arm* dan seterusnya.
2. Masing – masing bagian tower yang dirangkai terlebih dahulu adalah main member (besi siku utama) baru kemudian disusul dengan pemasangan secondary member
3. Bertahap dilakukan per bagian tower keatas dengan mengangka0t member dengan bantuan derek (*gane pole, roller crance, dan pull lift*)
4. Pada tanah yang tidak rata perlu dilakukan penambahan atau pengurangan tinggi permukaannya
  - Pengurangan leg ditandai : -1; -2; -3, dst
  - Penambahan leg ditandai : +1; +2; +3, dst
5. Pada saat pemasangan besi per bagian tower pada awalnya disarankan untuk baut tidak dikencangkan, setelah rangkaian bagian tower lengkap baru baut dikencangkan.
6. Untuk pemasangan *cross arm*, dipasang terlebih dahulu *cross arm* paling atas (*peak cross arm / earth wire cross arm*), selanjutnya dipasang *top cross arm, middle cross arm* dan selanjutnya tower *cross arm*.

7. Masing-masing cross arm terlebih dahulu dirangkai dibawah, baru kemudian diangkat ketasa dengan derek (*gane pole*, *roller crane*, dan *pull lift*) untuk disatukan dengan common part diposisinya.
  8. Pada tahap awal, derek dijalankan dengna manusia pada posisi di atas *chimney* salah satu *leg*. Labrang / skur dan tali kerekan dikencangkan bersamaan.
  9. Ujung labrang harus dikaitkan ke pasak seperti *molex anchor* (pasak ulir) atau *concrete block* (balok semen) dengan jarak yang aman dari derek. Foreman harus menentukan lokasi yang sesuai dan memeriksa apakah labrang serta pasak tersebut telah terpasang dengan aman. Kerekan harus dipatok ketanah menggunakan patok atau pasak ulir (*molex anchor*) yang kuat.
  10. Alat pengangkat (derek & *gone pole*) diangkat keatas sesuai dengan tahapan pemasangan bagian tower. Titik tumpu *gone pole* adalah menggunakan kawat sling yang dikaitkan ke *main member* / besi utama dan dipasangkan pula dengan *guy wire* (*sling*) juga dikaitkan ke main member.
  11. Kemiringan derek tidak boleh melebihi batas miring 15° kearah tegak. Sepertiga bagian derek masih didalam tower yang sudah didirikan. Hok (kail) pengangkat harus dilengkapi dengan lidah pengaman (*safety catch*).
  12. Disarankan untuk pemasangan *guy wire* pada keempat posisi sudut main member (besi utama) dari tower yang sudah dipasang.
  13. Pengawas membuat laporan harian terhadap progress erection tower.
3. Memeriksa kelengkapan
- Memeriksa semua bagian-bagian tower mengencangkan mur / baut.

1. Pemeriksaan dilakukan dengan mengencangkan baut-baut dan dimulai dari baut yang paling bawah terus sampai ke atas
2. Memastikan dengan *theodolite*, bahwa toleransi *verticality* tower telah memenuhi standard (cek kontrak tower ( 1 : 100 dari tinggi ))
3. Pemasangan baut sebaiknya menggunakan kunci momen / kunci torsi.
4. Baut yang digunakan kondisi *galvanize* masih baik dan baut masih tersisa ulir, sepanjang 5 mm
5. Setelah dipastikan semua baut-baut sudah kencang, supervisor harus menandatangani formular *post erection inspection*.

### 2.10.3 Stringging

Pekerjaan stringing yang dimaksud di sini adalah memasang konduktor dan kawat pentanahan (*groundwire* (GSW / OPGW)) pada transmisi tegangan tinggi yang meliputi pemasangan isolator set, penarikan konduktor, kawat pentanahan, pemasangan peralatan bantu (*accessories*). Dalam melakukan pengawasan pekerjaan ini supaya dapat berjalan dengan baik, maka perlu mengenal jenis / ragam peralatan yang dipasang dan peralatan yang digunakan untuk melakukan pekerjaan stringing.

Untuk menghitung Panjang konduktor fase dan kawat tanah sebenarnya dalam satu jarak rentang, digunakan rumus sebagai berikut ((persero), 1996):

$$L = \sqrt{H^2 + 4 \left(\frac{\sigma}{y}\right)^2 \sin^2 h^2 \left\{\frac{s}{\sigma}\right\}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$L$  = Panjang penghantar

$\sigma$  = Kuat Tarik konduktor per satuan luas penampang ( $N/mm^2$ )

$y$  = Berat konduktor per unit volume

$H$  = beda tinggi tiang (m)

$S$  = jarak rentang (m)

Jenis material yang dipasang

1. Kawat tanah (earth wire)

1. GSW

2. OPGW

2. Accessories kawat tanah

1 *Vibration damper*

2 *Suspension clamp*

3 *Tension clamp*

4. Joint GSW

5. Joint OPGW

3. Konduktor

1. *Aluminium Conductor Steel Reinforce (ACSR)*

2. *Thermis Aluminium Konduktor Steel Reinforce (TACSR)*

4. Accessories konduktor

1. *Vibration damper*

2. *Line spacer*

3. *Joint konduktor*



5. Isolator set
  1. Suspension isolator set
  2. Tension isolator set
  3. Jumper pilot isolator set

6. Fittings

1. *Sackle*
2. *Extension link*
3. *Tension clamp*
4. *Suspension clamp*
5. *Yoke plate*
6. *Arching horn*

7. Peralatan stringing

Pengawas / supervisor mengontrol kondisi peralatan kerja dan peralatan keselamatan kerja, jika tidak layak untuk digunakan harus mengisntruksikan kepada pelaksanan untuk diganti yang kondisinya masih baik.peralatan untuk stringing trnasmisi tegangan tinggi, antara lain sebagai berikut :

1. *Winch / puller*
2. *Tensioner*
3. *Nylon rope*
4. *Pull-lift*
5. *Spanners*
6. *Pulling bonds*

7. *Running out blocks*
8. *Hydrolic press*
9. Alat komunikasi (HT) yang menjangkau area pekerjaan

#### 2.10.4 Penarikan Earth wire

Pekerjaan ini juga terdiri dari beberapa tahapan penarikan yaitu

1. Penarikan *nylon rope*, sebelum dilakukan penarikan *nylon rope* dipasang pada *running out / roll block* dengan 2 cara :
  1. Cara yang pertama, memasang secara manual, yaitu dengan tangan manusia
 

Pada tiap-tiap tower (posisi diatas) *stand by* 1 orang pekerja dan dibawah 1 orang pekerja, orang yang diatas bertugas mengangkat *nylon rope* ketasa kemudian dipasang / dikaitkan di *montage roll*, selanjutnya diturunkan Kembali untuk ditarik ke tower berikutnya oleh orang yang bertugas dibawahnya.
  2. Cara yang kedua, dengan menggunakan pesawat drone dimana pada tiap-tiap tower juga *stand by* 1 orang, yang bertugas menangkap *nylon rope* Ketika ditarik oleh pesawat drone yang kemudian *nylon rope* tersebut dikaitkan pada *montage roll*.
2. Setelah *nylon rope* terpasang, dimana pangkalnya berada di tensioner dan ujungnya terpasang pada posisi di *witch puller*, maka penarikan *nylon rope* sudah dapat dilakukan dengan kecepatan rendah (kurang lebih 5 s/d 10 km per jam)

- 3 Pada saat dilakukan penarikan tersebut, pangkal *nylon rope* sudah disambung dengan *pilot wire* pertama, sehingga pada saat berakhirnya penarikan *nylon rope* sekaligus menjadi awal penarikan *pilot wire* pertama.
- 4 Begitu pula pada saat penarikan *pilot wire* pertama, pada pangkal *pilot wire* pertama sudah disambung dengan GSW / OPGW dan *nylon rope / pilot wire* kedua (disesuaikan dengan kekuatan mesin puller yang kita gunakan). Sehingga pada waktu berakhirnya penarikan *pilot wire* pertama posisi ujung GSW / OPGW dan *nylon rope / pilot wire* pertama posisi ujung GSW / OPGW dan *nylon rope / pilot wire* kedua sudah di lokasi *winch puller*, yang berarti GSW / OPGW dan *pilot wire* kedua sudah terbentang sepanjang 1 section penarikan (kurang lebih 10 s/d 15 tower)
- 5 Pada penarikan awal dari GSW / OPGW yang sudah terbentang sepanjang 1 section dalam kondisi kendor diperkirakan 4 meter diatas tanah.
- 6 Untuk penarikan GSW / OPGW yang kedua dipastikan posisi *pilot wire* kedua sudah pada posisi *traface* yang berikutnya.
- 7 Dengan cara/metode yang sama seperti pada butir 2 s/d 5 diulang Kembali samapai menyelesaikan satu section sebelum berlanjut pada section berikutnya.

#### **2.10.5 Pemasangan isolator**

1. Material siap dilokasi tower, yaitu isolator disc dan fitting kemudian keduanya dirangkai sehingga berbentuk isolator

2. Rangkaian isolator terdiri dari 2 jenis yaitu suspension isolator set dan tension isolator set.
3. Isolator set diangkat dengan bantuan derek untuk dipasang (dicantolkan) pada cross arm phasa paling atas (*upper cross arm*), selanjutnya dilakukan hal yang sama isolator set dipasang pada *middle cross arm* dan *lower cross arm*.
4. Pada saat pemasangan isolator set di *upper, middle dan lower cross arm*, masing-masing diikuti pemasangan *running out block/roll block/montage roll*. Di tension tower, *running out block* telah digantung langsung dibawah titik cross arm dari landing plate.
5. Pengawas / supervisor mengawasi dan mengontrol pekerjaan pada 1 s/d 4 tersebut diatas :
  1. Pemasangan sudah benar sesuai dengan gambar referensi
  2. Disc isolator nya dalam kondisi baik dan bersih dari kotoran lumpur, tidak ada yang retak, gumpil dll.
  3. Fitting dalam keadaan baik, tidak ada yang cacat, galvanizenya dalam kondisi baik (tidak luka / terbuka / terkelupas).
  4. Posisi sackle yang dicantilkan ke *cross arm tower* sudah benar (posisi baut/mur sudah benar).

#### **2.10.6 penarikan Konduktor**

Pekerjaan ini juga terdiri dari beberapa tahapan penarikan yang kurang lebih sama dengan pekerjaan ground wire yaitu

1. penarikan *nylon rope*, sebelum dilakukan penarikan *nylon rope* dipasang pada *running out block/ roll block* dengan 2 cara :
  1. cara yang pertama, memasang secara manual, yaitu dengan tenaga manusia. Pada tiap-tiap tower (posisi diatas) *stand by* 1 orang pekerja dan dibawah 1 orang pekerja, orang yang diatas bertugas mengangkat *nylon rope* keatas kemudian dipasang/dikaitkan di *montage roll*, selanjutnya diturunkan Kembali untuk ditarik ke tower berikutnya oleh orang yang bertugas dibawah.
  2. Cara yang kedua, dengan menggunakan pesawat drone dimana pada tiap tower juga *stand by* 1 orang, yang bertugas menangkap *nylon rope* Ketika ditarik oleh pesawat drone yang kemudian *nylon rope* tersebut dikaitkan pada *montage roll*.
  3. Setelah *nylon rope* terpasang, dimana pangkalnya berada di tensioner dan ujungnya terpasang pada posisi di *winch puller*, maka penarikan *nylon rope* sudah dapat dilakukan dengan kecepatan rendah (kurang lebih 5 s/d 10 km per jam)
  4. Pada saat dilakukan penarikan tersebut diatas, pangkal *nylon rope* sudah disambung dengan *pilot wire* pertama, sehingga pada saat berakhirnya penarikan *nylon rope* sekaligus menjadi awal penarikan *pilot wire* pertama.
  5. Begitu pula pada saat start penarikan *pilot wire* pertama, pada pangkal *pilot wire* pertamasudah disambungkan dengan konduktor dan *nylon rope/pilot wire* kedua sudah di lokasi *winch puller*, yang berarti

konduktor dan pilot wire kedua sudah terbentang sepanjang 1 section penarikan (kurang lebih 10 s/d 15 tower)

6. Pada penarikan awal dari konduktor yang sudah terbentang sepanjang 1 section dalam kondisi kendur diperkirakan 4 meter diatas tanah.
7. Untuk penarikan konduktor yang kedua dipastikan posisi *pilot wire* kedua sudah pada posisi *traface* yang berikutnya sampai dengan semua phasa terpasang.
8. Dengan cara / metode yang sama seperti pada butir 2 s/d 5 diulang Kembali sampai menyelesaikan satu section sebelum berlanjut pada section berikutnya.

#### **2.10.7 Jointing Konduktor dan Ground Wire**

Penyambungan permanen pada drum site

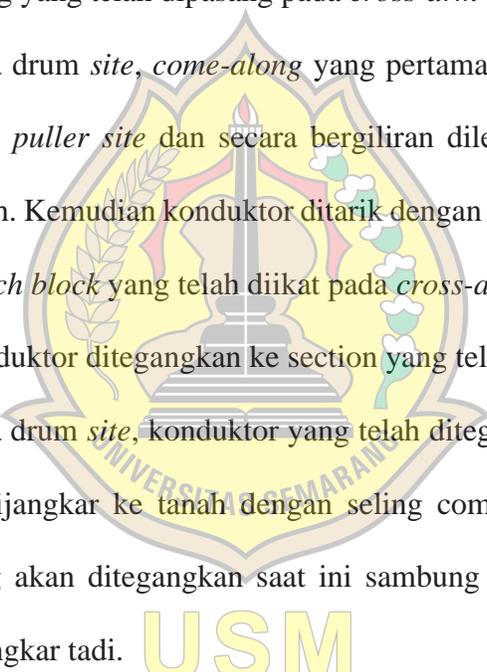
1. Bila seluruh konduktor telah ditarik habis satu drum, maka ujung drum harus disambungkan ke ujung konduktor teratas pada drum berikutnya. Biasanya konduktor-konduktor disambung pertama kali secara temporer dibelakang tensioner maka sambungan tersebut diganti dengan compression joint permanen.
2. Penyambungan permanen pada drum site dilaksanakan dengan cara sebagai berikut :
3. Bila seluruh Panjang konduktor ditarik keluar dari drum maka operasi penarikan kawat dihentikan

4. Dengan menggunakan sebuah *come-along* maka konduktor yang terdapat diantara ujung tower dengan tensioner dikiat dengan jangkar pada base dari tensioner. Tegangan tarik konduktor dipindahkan kesling *come-along* dengan menggulungnya dengan *winch* atau *lever hoist* yang telah dipasang untuk mengontrol tegangan *come-along*.
5. Konduktor diturunkan ke tanah pada sapan dimana sambungan permanen akan ditempatkan.
6. *Come-along* dipasang pada konduktor pada kedua sisi sambungan.
7. Masing-masing *come-along* ditarik ke tengah dengan menggunakan *lever block* yang dijangkar ke tanah.
8. Sambungan sementara diganti, dipindahkan dan konduktor disambungkan permanen dengan *joint sleeve* yang dipress dengan hydraulic compressor.
9. Rope yang mengikat konduktor dan *come-along* dikendorkan dan konduktor secara otomatis akan terangkat.

#### **2.10.8 Penegang Sementara**

Setelah konduktor habis ditarik untuk keseluruhan stringing section maka konduktor ditegangkan sementara dengan tegangan 80% s/d 90% dari tegangan sagging yang telah direncanakan.

1. Konduktor ditegangkan pada 1 stringing section
2. Penegangan sementara dari puller site.
3. Pada tower *section di drum site*, tension clamp dipasang ke ujung konduktor yang telah dipasang pada *cross-arm* tower.

4. Pada *puller site*, konduktor ditarik dengan stringing car sampai pada tegangan yang diinginkan. Kemudian konduktor dijangkar sementara ke tanah dengan menggunakan *come-along*.
5. Penegangan sementara dari drum site.
  1. Pada tower section *puller site*, tension clamp dipasang ke ujung konduktor yang telah di potong dan dirangkai ke tension isolator string yang telah dipasang pada *cross-arm* tower.
  2. Pada drum *site*, *come-along* yang pertama dipasang pada konduktor pada *puller site* dan secara bergiliran dilewatkan ke *hand-witch* di tanah. Kemudian konduktor ditarik dengan seling *come-along* melalui *snatch block* yang telah diikat pada *cross-arm* dan *tower leg*.
  3. Konduktor ditegangkan ke section yang telah ditegangkan sementara
  4. Pada drum *site*, konduktor yang telah ditegangkan sementara (kasus-a) dijangkar ke tanah dengan seling *come-along*, maka konduktor yang akan ditegangkan saat ini sambung ke konduktor yang tekah dijangkar tadi.  USM
  5. Konduktor ditarik dari *puller site*, sementara itu *come-along* pada drum *site* dilepas dari konduktornya dengan maksud memindahkan tegangan konduktor pada stringing section sebelumnya ke konduktor pada stringing section saat ini.

### 2.10.9 Sagging & Clamping

Pekerjaan pada tahap ini adalah yang menentukan berhasil atau tidaknya pelaksanaan stringing transmisi tegangan tinggi, pekerjaan ini memerlukan ketelitian, kecermatan dan kehati-hatian.

Dokumen referensi yang digunakan adalah erection *sag schedule* dan alat bantu pengukur elevasi (*theodolite*) serta alat ukur pengukuran suhu (*thermometer*). Sagging konduktor tidak boleh dilaksanakan pada kondisi berangin kencang karena dapat mengakibatkan terangkatnya konduktor akibat besarnya tekanan angin pada konduktor.

#### 1. Susunan sagging winch

Pengaturan tegangan konduktor dengan ukuran besar biasanya dilaksanakan dengan menggunakan sagging *winch* yang dipasang kaki section tower. Konduktor ditegangkan dengan *come-along* yang dihubungkan ke bagian atas tension isolator string dengan wire rope langsung atau melalui kombinasi pulling block yang disusun diantara *come-along* dan isolator string. *Wire rope* diarahkan ke *winch* melalui *snatch block* yang ditempatkan di tower.

#### 1. Pemasangan *come-along*

*Come-along* dipasang pada konduktor dengan posisi  $\pm 3$  meter didepan tension clamp ketika konduktor ditegangkan pada sagging yang benar. Setelah *come-along* dipasang, maka *pulling block* dihubungkan ke *come-along* (jika ukuran konduktor lebih besar lebih

baik gunakan *counter-weight* untuk mencegah rotasi *come-along* akibat gaya puntir yang timbul dari operasi penarikan kawat).

## 2. Sambungan *wire rope*

*Wire rope* dikencangkan ke bagian atas tension isolator string yang telah dipasang di tower, dilewatkan melalui block yang telah dipasang di tower, dilewatkan melalui block yang dipasang pada *come-along* dan ditarik ke cross-arm dan diarahkan ke *winch* melalui block yang dipasang di tower. Single isolator string maka clamp isolator *replace* dapat digunakan untuk mengencangkan *wire rope* ke insulator string. Untuk double insulator string maka *wire rope* dikencangkan ke yoke dari *double* insulator string. Snatch block diikatkan pada bagian atas dan bagian bawah *cross-arm* sedemikian rupa sehingga *wire rope* dapat lewat melalui main member *cross-arm* dan tower *body*. Snatch block ditempatkan pada posisi sedemikian rupa sehingga tower member tidak mengalami kelebihan beban akibat penarikan *wire rope*.

## 3. Pemasangan Sagging Winch

1. Untuk pengaturan sagging tension konduktor, maka *portable hand winch* atau *engine-driver winch* dapat digunakan.
2. *Winch* harus memiliki kapasitas gulungan dan kekuatan yang cukup untuk operasi sagging.
3. *Winch* harus dipasang pada lokasi sedemikian rupa sehingga aman untuk orang bekerja di tower maupun tanah.

4. *Portable hand winch* yang dipasang pada *main post* harus dilapisi dengan material pengaman sehingga tidak merusak *member tower*.

#### 2.10.10 Pemasangan Tension Clamp

Tension clamp (*compressor type*) dipasang pada ujung konduktor dan dipasang pada tension isolator string dengan cara sebagai berikut:

1. Konduktor antara *come-along* dan isolator set ditandai pada titik yang akan menjadi bagian atas isolator hardware.
2. Konduktor dipotong persis pada posisi yang telah ditandai untuk tension clamp.
3. Tension clamp dipasang pada ujung konduktor dengan menggunakan *hydraulic compressor*.
4. Konduktor ditarik ke arah tower dengan *winch* sedemikian rupa sehingga tension clamp dapat dipasangkan pada isolator string
5. Setelah tension clamp dipasang pada isolator string, konduktor digulung ulang dengan *winch*.
6. *Come-along* kemudian dibuka setelah seluruh tegangan konduktor dipindahkan ke tension isolator.

#### 2.10.11 Pemasangan Jumper

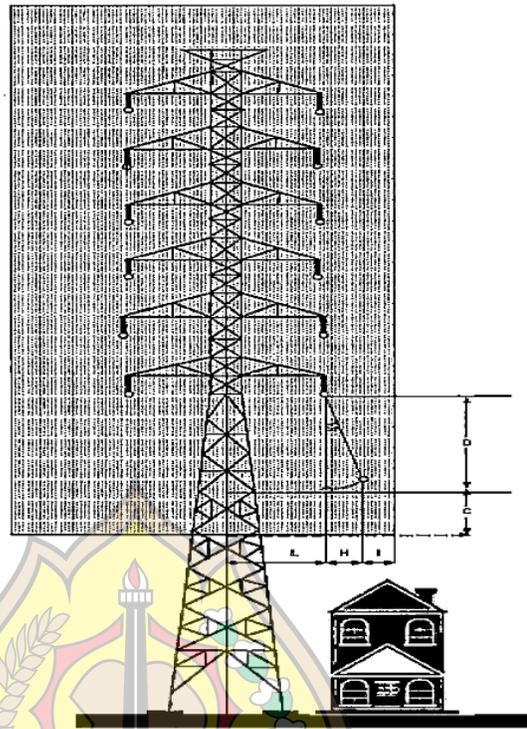
Pekerjaan pemasangan jumper ini dilaksanakan pada tower tension dan tower transposisi. Sebagai tindak lanjut proses sagging dan clamping pada kedua sisi tension tower, maka jumper dipasang diantara tension clamp pada kedua sisi tower. Jumper dipasang dengan maksud untuk mendapatkan

jarak bebas yang cukup antar tower member dengan konduktor. Panjang jumper pada setiap tower ditentukan dengan pengukuran langsung menggunakan jumper buatan dalam bentuk busur. Jumper socket dari tension clamp dipasang pada kedua ujung dari jumper konduktor dengan menggunakan *hydraulic* press sesuai instruksi pabrikan. Jumper disambung ke tension clamp pada kedua sisi, kemudian diketatkan socket dengan baut. Jumper pada setiap phase harus dibentuk sama/identik. Jumper dari *twin* konduktor harus diatur pada level yang sama dan ditempatkan seragam dengan jumper *spacer*.

#### **2.10.12 Ruang Bebas dan Jarak Minimum**

Ruang bebas adalah ruang yang dibatasi oleh bidang vertical dan horizontal di sekeliling dan di sepanjang konduktor transmisi tenaga listrik dimana tidak boleh ada benda di dalamnya demi keselamatan manusia, makhluk hidup, dan operasi benda lainnya serta keamanan operasi jaringan transmisi tenaga listrik (Listrik et al., 2021).

USM



Gambar 2. 6 Ruang Bebas SUTT (*Listrik et al., 2021*)

Keterangan mengenai ruang bebas diatur di dalam peraturan Menteri pertambangan dan energi tentang ruang bebas SUTT dan SUTET. Di peraturan itu, diatur jarak minimum titik tertinggi bangunan atau pohon terhadap titik terendah dari kawat pengantar jaringan transmisi. Nilai jarak bebas minimum tiap objek bisa dilihat pada tabel berikut (Danida, 2007):

Tabel 2. 7 Ruang Bebas SUTT ((persero), 1996)

No.	Uraian	Jarak bebas minimum (m)	
		70 kV	150 kV
1	Lapangan terbuka	6,5	7,5
2	Lalu lintas jalan/jalan raya	8,0	9,0
3	SUTT, SUTM, SUTR, saluran telepon, antena radio, TV dan kereta gantung	3,0	4,0
4	Di atas bangunan tanpa atap tahan api	12,5	13,5
5	Di atas bangunan dengan atap tahan api	3,5	4,5
6	Pepohonan, hutan, perkebunan	3,5	4,5
7	Lapangan olah raga	12,5	13,5
8	Rel KA biasa	8,0	9,0
9	Jembatan besi, rangka besi penahan penghantar, kereta rel listrik	3,0	4,0
10	Titik tertinggi tiang kapal pada kedudukan air pasang tertinggi pada lalu lintas air.	3,0	4,0

## 2.11 Definisi Daya Karakteristik

Daya karakteristik ialah daya beban maksimum yang dapat ditransmisikan bila tegangan ujung beban dan tegangan ujung kirim sama dan dibebani dengan karakteristik (HUTAURUK, 1990).

### 2.11.1 Rugi-rugi Tegangan

Impedansi pada saluran transmisi jarak pendek yaitu kurang dari 80 km, sehingga kapasitansinya sangat kecil dan bisa diabaikan. Rumus impedansinya adalah:

$$Z = R + jX \dots\dots\dots(2,5)$$

Dengan:

Z : impedansi

R : Tahanan (ohm)

jX : Reaktansi

R total:

$$R \text{ total} = R \cdot l \dots\dots\dots(2.6)$$

Faktor Daya ( $\cos \theta$ )

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dengan:

P : Daya aktif (watt)

Q : Daya reaktif (VAR)

S : Daya semu (VA)

Tegangan sisi terima (VR)

$$V_{R(LN)} = \frac{V_R}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (2.9)$$

Tegangan sisi kirim (VS)

$$V_{S(LN)} = V_{R(LN)} + (Z \cdot I_R (\cos \varphi)) \dots \dots \dots (2.10)$$

Drop tegangan

$$V_{R(LN)} = |V_{S(LN)}| - |V_{R(LN)}| \dots \dots \dots (2.11)$$

Drop tegangan dalam persen

$$V_{R(\%)} = \frac{|V_S| - |V_R|}{|V_R|} \times 100\% \dots \dots \dots (2.12)$$

Dengan:

VS : Tegangan sisi kirim (KV)

VR : Tegangan sisi terima (KV)

### 2.11.2 Efisiensi Saluran Udara Tegangan Tinggi

Daya yang diterima beban setelah melewati saluran transmisi selalu kecil dibandingkan daya yang dikirim, karena ada daya yang hilang pada saluran (Suripto, 2016).

Efisiensi transmisi (HUTAURUK, 1990)

$$\eta = \frac{P_r}{P_s} \times 100\% \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan

$P_r$  = Daya yang diterima (KV)

$P_s$  = Daya yang dikirim (KV)

$\eta$  = Daya guna (efisiensi)

efisiensi pada saluran transmisi nilainya selalu lebih kecil dari 100% yang berarti daya yang dikirimkan tidak seluruhnya bisa diterima oleh beban karena pasti ada yang hilang pada saluran transmisi (Suripto, 2016)

