

BAB II

LANDASAN TEORI

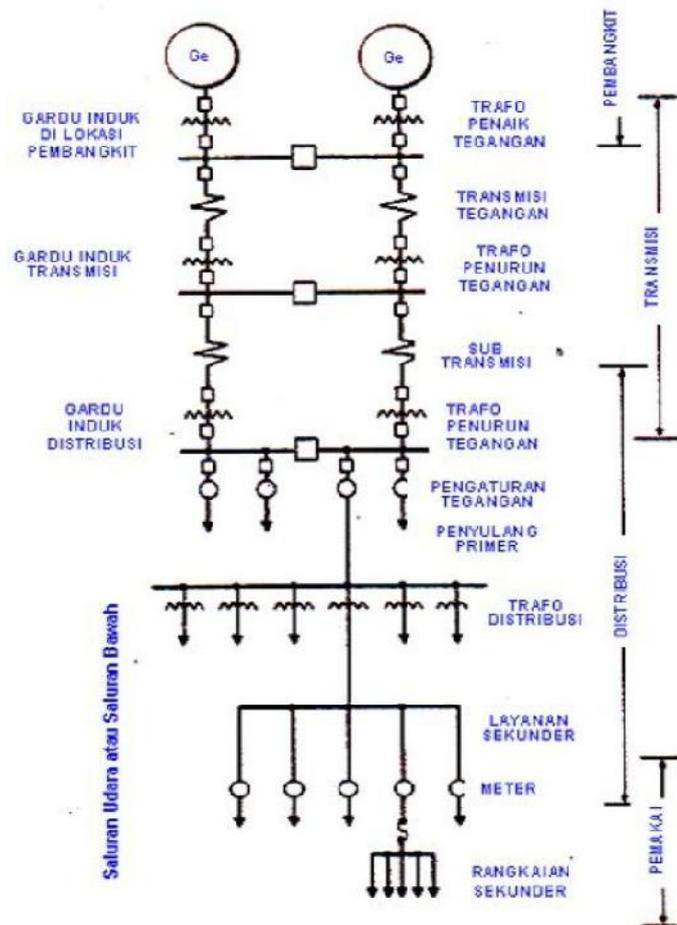
2.1. Kerangka Teori

2.1.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*bulk power source*) sampai ke konsumen, fungsi distribusi tenaga listrik adalah:

- 1) Pembagian atau menyalurkan tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan)
- 2) Merupakan sub sistem tenaga listrik yang berlangsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11 KV sampai 24 KV dinaikan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 KV, 154 KV, 220 KV, dan 500 KV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2 R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.



Sumber Gambar : <https://modalholong.wordpress.com/2011/01/12/sistem-distribusi-tenaga-listrik/>

Gambar 2.1. Konfigurasi Sistem Tenaga Listrik

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 KV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah yaitu 380/220 volt.¹ Selanjutnya disalurkan oleh

¹ Mitro, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, <https://modalholong.wordpress.com/2011/01/12/sistem-distribusi-tenaga-listrik/>, diakses 27 Januari 2015, jam 9.43 WIB

saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo step-up. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV,UHV,EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahalnya harga perlengkapan-perengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo-trafo step-down. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda

Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan seperti gambar 2.1 diatas:²

Daerah I : Bagian pembangkitan (Generator)

Daerah II : Bagian Penyaluran (*transmission*), bertegangan tinggi (HV,UHV,EHV)

² Mitro Sihombing, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, <https://modalholong.wordpress.com/2011/01/12/sistem-distribusi-tenaga-listrik/>, pada tanggal 15 January 2015 pukul 11.56 WIB

Daerah III : Bagian distribusi primer, bertegangan menengah (6 atau 20kV)

Daerah IV : Di dalam bangunan pada beban/konsumen), instalasi bertegangan rendah

Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa porsi materi sistem distribusi adalah daerah III dan IV, yang pada dasarnya dapat diklasifikasikan menurut beberapa cara, tergantung dari segi apa klasifikasi itu dibuat. Dengan demikian runag lingkup jaringan distribusi adalah:

- a) SUTM, terdiri dari : tiang dan peralatan kelengkapan, konduktor dan peralatan perlengkapannya, serta peralatan pengaman dan pemutus.
- b) SKTM, terdiri dari : kabel tanah, indoor dan outdoor termination dan lain-lain.
- c) Gardu trafo, terdiri dari : transformator, tiang, pondasi tiang, rangka tempat trafo, LV panel, pipa-pipa pelindung, arrester, kabel-kabel, transformator band, peralatan grounding, dan lain-lain
- d) SUTR dan SKTR, terdiri dari : sama dengan perlengkapan/material pada SUTM dan SKTM. Yang membedakan hanya dimensinya.

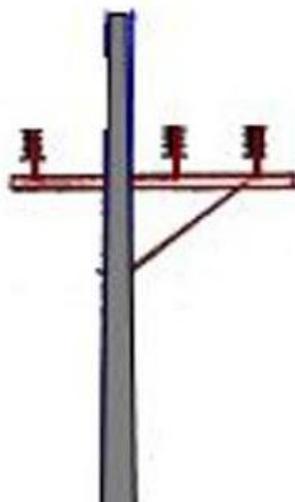
2.1.1.1 Klasifikasi Saluran Distribusi Tenaga Listrik

Secara umum, saluran tenaga listrik atau saluran distribusi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:³

- 1) Menurut nilai tegangannya:
 - a) Saluran distribusi primer, terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik skunder trafo substation (gardu induk) dengan titik primer trafo distribusi. Saluran ini bertegangan menengah 20kV. Jaringan listrik 70kv atau 150kV, jika langsung melayani pelanggan, bisa disebut jaringan distribusi
 - b) Saluran distribusi sekunder, terletak pada sisi skunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban
- 2) Menurut bentuk tegangannya :
 - a) Saluran distribusi DC (*Direct Current*) menggunakan sistem tegangan searah
 - b) Saluran distribusi AC (*Alternating Current*) menggunakan sistem tegangan bolak-balik
- 3) Menurut jenis/tipe konduktornya:
 - a) Saluran udara, dipasang pada udara terbuka dengan bantuan penyangga (tiang) dan pelengkapannya, dan dibedakan atas

³ Mitro Sihombing, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, <https://modalholong.wordpress.com/2011/01/12/sistem-distribusi-tenaga-listrik/>, pada tanggal 15 January 2015 pukul 11.56 WIB

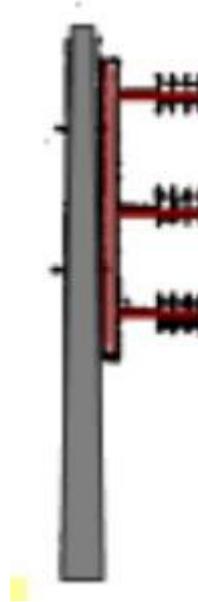
- a. Saluran kawat udara, bila konduktornya telanjang tanpa isolasi pembungkus.
 - b. Saluran kabel udara bila konduktornya terbungkus isolasi
- b) Saluran bawah tanah, dipasang didalam tanah dengan menggunakan kabel tanah (*ground cable*)
- c) Saluran bawah laut, dipasang di dasar laut dengan menggunakan kabel laut (*submarine cable*)
- 4) Menurut susunan (*konfigurasi*) salurannya:
- a) Saluran konfigurasi horizontal, bila saluran fasa terhadap fasa yang lain/ terhadap netral, atau saluran intip positif terhadap negatif (pada sistem DC) membentuk garis horizontal.



Sumber Gambar : <http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/12/sistem-distribusi-tenaga-listrik.html>

Gambar 2.2 saluran konfigurasi horizontal

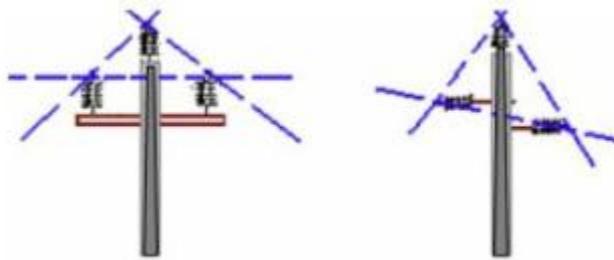
- b) Saluran konfigurasi vertikal, bila saluran-saluran tersebut membentuk garis vertikal.



Sumber Gambar : <http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/12/sistem-distribusi-tenaga-listrik.html>

Gambar 2.3 Saluran Konfigurasi Vertikal

- c) Saluran konfigurasi delta, bila kedudukan saluran satu sama lain membentuk suatu segitiga (delta)



Sumber Gambar : <http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/12/sistem-distribusi-tenaga-listrik.html>

Gambar 2.4 saluran konfigurasi Delta

5) Menurut susunan rangkaiannya

Dari uraian diatas telah disinggung bahwa sistem distribusi di bedakan menjadi dua yaitu sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder.

a) Jaringan sistem distribusi primer

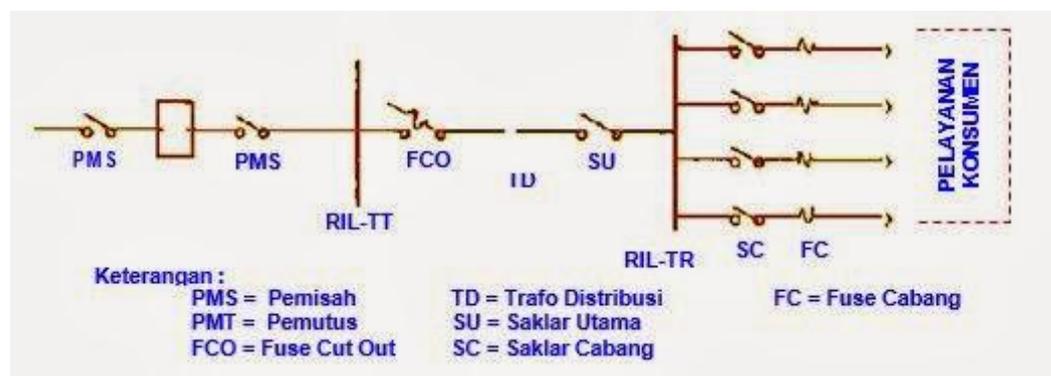
Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan di suplai tenaga listrik sampai ke pusat beban.

Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer, yaitu:

- a. Jaringan distribusi radial, dengan model: radial tipe pohon, radial dengan tie dan switch pemisah, radial dengan pusat beban dan radial dengan pembagian phase area.
 - b. Jaringan distribusi ring (loop), dengan model: bentuk open loop dan close loop.
 - c. Jaringan distribusi jaring-jaring (NET)
 - d. Jaringan distribusi spindle
 - e. Saluran radial interkoneksi
- b) Jaringan sistem distribusi sekunder

Sistem distribusi Transformator merupakan yang memegang peranan penting dalam system distribusi, transformator distribusi mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah. sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di konsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi. Sistem ini biasanya disebut sistem tenaga rendah yang langsung akan dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik dengan melalui peralatan-peralatan sebagai berikut:

- a. Papan pembagi pada trafo distribusi
- b. Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder)
- c. Saluran layanan pelanggan (SLP) ke konsumen/pemakai
- d. Alat pembatas dan pengukur daya (kWh meter) serta fuse atau pengaman pada pelanggan.



Sumber Gambar : <https://modalholong.wordpress.com/2011/01/12/sistem-distribusi-tenaga-listrik/>

Gambar 2.5 komponen Sistem Distribusi

2.1.1.2 Tegangan Sistem Distribusi Sekunder

Ada bermacam-macam sistem tegangan distribusi sekunder menurut standar; (1) EEI : Edison Electric Institut, (2) NEMA (National Electrical Manufactures Association). Pada dasar tidak berbeda dengan sistem distribusi DC, faktor utama yang perlu diperhatikan adalah besar tegangan yang diterima pada titik beban mendekati nilai nominal, sehingga peralatan/beban dapat

dioprasikan secara optimal⁴. Ditinjau dari cara pengawatannya, saluran distribusi AC dibedakan atas beberapamacam tipe dan cara pengawatan, ini bergantung pula pada jumlah fasanya yaitu:

- 1) Sistem satu fasa dua kawat 120 volt
- 2) Sistem satu fasa tiga kawat 120/240 volt
- 3) Sistem tiga fasa empat kawat 120/208 volt
- 4) Sistem tiga fasa empat kawat 120/240 volt
- 5) Sistem tiga fasa tiga kawat 240 volt
- 6) Sistem tiga fasa tiga kawat 480 volt
- 7) Sistem tiga fasa empat kawat 240/416 volt
- 8) Sistem tiga fasa empat kawat 265/460 volt
- 9) Sistem tiga fasa empat kawat 220/380 volt

Diagram rangkaian sisi skunder trafo distribusi terdiri dari:

1. Sistem distribusi satu fasa dengan dua kawat, tipe ini merupakan bentuk dasar yang penting sederhana, biasanya digunakan untuk melayani penyalur daya berkapasitas kecil dengan jarak pendek yaitu daerah perumahan dan perdesaan.
2. Sistem distribusi satu fasa dengan tiga kawat, pada tipe ini prinsipnya sama dengan sistem distribusi DC dengan tiga kawat yang dalam hal ini terdapat dua alternatif

⁴ Info Kita Bersama, *Mengenal Jaringan Distribusi Sekunder*, <http://infokitabersama123.blogspot.com/2013/12/mengenal-jaringan-distribusi-sekunder.html>, diakses 27 januari 2015, jam 9.57 WIB.

besar tegangan. Sebagai saluran netral disini dihubungkan pada tengah belitan (*center-tap*) sisi sekunder trafo, dan diketanahkan untuk tujuan pengamanan personil. Tipe ini untuk melayani penyalur daya berkapasitaas kecil dengan jarak pendek yaitu daerah perumahan dan pedesaan.

3. Sistem distribusi tiga fasa empat kawat tegangan 120/240 volt, tipe ini untuk melayani penyalur daya kapasitas sedang dengan jarak pendek yaitu daerah perumahan pedesaan dan perdagangan ringan dimana terdapat dengan beban 3 fasa.
4. Sistem distribusi tiga fasa empat kawat tegangan 120/208 volt.
5. Sistem distribusi tiga fasa dengan tiga kawat, tipe ini banyak dikembangkan secara ekstensif. Dalam hal ini rangkain tiga fasa sisi skunder trafo dapat diperoleh dalam bentuk rangkaian delta (segitiga) ataupun rangkaian wye (*star*/bintang). Diperoleh dua alternatif besar tegangan yang dalam pelaksanaan perlu diperhatikan adanya pembagian seimbang antara ketiga fasanya. Untuk rangkaian delta tegangannya bervariasi yaitu 240 volt dan 480 volt. Tipe ini dipakai untuk melayani beban-beban industri atau perdagangan.

6. Sistem distribusi tiga fasa dengan empat kawat, pada tipe ini sisi sekunder (*output*) trafo distribusi terhubung *star*, dimana saluran netral diambil dari titik bintangnya. Seperti halnya pada sistem tiga fasa yang lain, di sini perlu diperhatikan keseimbangan beban antara ketiga fasanya dan disini terdapat dua alternating besar tegangannya

Di Indonesia dalam hal ini PT. PLN menggunakan sistem tegangan 220/380 volt. Sedang pemakai listrik yang tidak menggunakan tenaga listrik dari PT. PLN menggunakan salah satu sistem diatas sesuai dengan standar yang ada. Pemakai listrik yang dimaksud umumnya mereka bergantung kepada negara pemberi pinjaman atau dalam rangka kerja sama, dimana semua peralatan listrik mulai dari pembangkit (generator set) hingga peralatan kerja (motor-motor listrik) disuplai dari negara pemberi pinjaman/kerja sama tersebut. Sebagai anggota IEC (*International Electrotechnical Commission*) indonesia telah mulai menyesuaikan sistem tegangan menjadi 220/380 volt saja, karena IEC sejak tahun 1967 sudah tidak mencantumkan lagi tegangan 127 volt.

2.1.2 Saluran Tegangan Rendah

Saluran Tegangan Rendah terdiri dari 3 (tiga) macam, yaitu Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR), Saluran Kabel Udara Tegangan rendah (SKUTR), dan Saluran Kabel Tanah Tegangan Rendah (SKTTR).

Jaringan tegangan rendah dipergunakan untuk memasok tenaga listrik ke pelanggan dengan daya 450 VA s/d 197,5 KVA. pasokan listriknya diperoleh dari gardu distribusi (gardu beton, cantol atau gardu portal).

Jaringan ini mempergunakan kabel lilit (*twisted cable*) berisolasi yang mempunyai tegangan isolasi maksimum 1000 V, jadi dalam hal ini kabel lilit TR tidak boleh dipergunakan untuk penghantar yang mempergunakan tegangan 20 KV.

Pemakaian kabel TR berisolasi, disebabkan banyaknya lintasan pohon yang dilalui oleh kabel tersebut, jadi dalam hal ini kalau tidak terisolasi banyak pepohonan yang akan ditebang. hal ini sangat merugikan bagi yang mempunyai pepohonan.

Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) dengan *LVTC* (*Low Voltage Twisted Cable*), saat ini sudah dikembangkan, hal ini untuk mempertinggi keandalan, faktor keamanan dan lain-lain. Untuk kabel *LVTC* ini pemasangannya⁵, 1) di bawah SUTM (*Underbuilt*) dan 2) khusus *LVTC* (JTR murni). Spesifikasi kabel *LVTC*. - *Accessories twisted cable* terdiri dari :

- 1) *Suspension assembly*
- 2) *Large angle assembly*
- 3) *Dead end assembly*
- 4) *Insulated tap connector* berbagai ukuran

⁵ Adi Nagara, *Jaringan Distribusi Tegangan Rendah*, <http://wasiatewonglistrik.blogspot.com/2013/07/jaringan-distribusi-tegangan-rendah.html>, diakses 27 januari 2015, jam 14.36 WIB.

- 5) *Insulated Nontension joint*
- 6) *Insulated tension joint.*
- 7) *Guy set / stay set SUTR*

Pemakaian *guy set* pada SUTR digunakan type ringan, pada *stay set* SUTR ini tidak mempergunakan *guy insulator*. Spesifikasi material *guy set* sesuai dengan gambar standar, sedang kawat baja galvanisnya sbb. :

- 1) Ultimate load : 17 kN
- 2) Penampang : 22 mm²
- 3) Material : baja

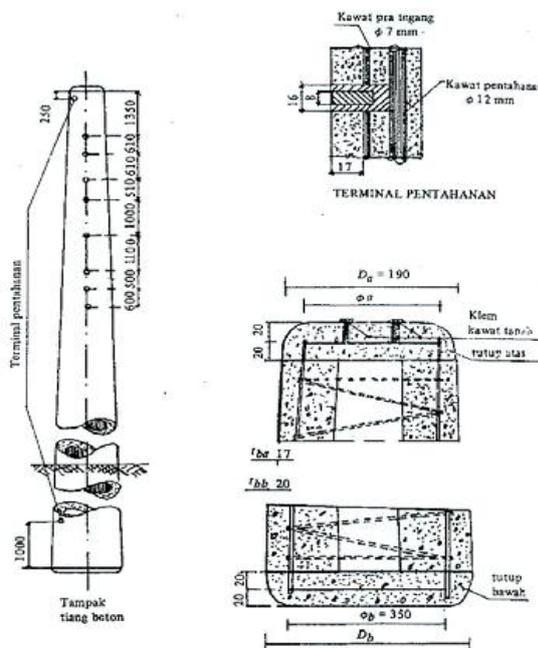
Dalam pemasangan Saluran Udara, konduktor harus ditarik tidak terlalu kencang dan juga tidak boleh terlalu kendur, agar konduktor tidak menderita kerusakan mekanis maupun kelelahan akibat tarikan dan ayunan, dilain pihak dicapai penghematan pemakaian konduktor. Dalam pemasangan kabel udara setelah tiang berdiri, sambil menggelar kabel dari haspel terlebih dahulu dipasang perlengkapan Bantu (*klem service*), pengikat, pemegang dan sebagainya. Untuk kabel penghantar berisolasi, bagian yang diikat pada pemegang di tiang adalah penghantar Nol, baik untuk dua kabel (sistem satu fasa) maupun empat kabel (sistem tiga fasa). Penarikan kabel dimulai dari salah satu tiang ujung, kemudian ditarik dengan alat penegang (*hand tracker*). Setelah tarikan dianggap cukup kuat, maka pada setiap tiang kabel Nol diikat dengan pemegang yang telah disiapkan.

Pada konstruksi jaringan tegangan rendah atau menengah harus diperhatikan lintasan yang akan dilewati saluran kabel, misalnya pada saat kabel udara melintasi jalan umum, kabel udara yang dipasang di bawah pekerjaan konstruksi, kabel udara melintasi sungai, dan lintasan- lintasan lain yang perlu perhatian sehubungan dengan keamanan kabel dan keselamatan mereka yang berada di sekitar kabel tersebut. Berikut ini adalah beberapa contoh bentuk saluran kabel udara yang melewati lokasi tersebut, dan ukuran-ukuran jarak aman terhadap lingkungan yang tercantum dapat digunakan sebagai acuan dalam melaksanakan tugas pemasangan kabel.

2.1.3 Tiang Saluran Tegangan Rendah

Pada umumnya tiang listrik yang sekarang digunakan pada SUTR terbuat dari beton bertulang dan tiang besi. Tiang kayu sudah jarang digunakan karena daya tahannya (umumnya) relatif pendek dan memerlukan pemeliharaan khusus. Sedang tiang besi jarang digunakan karena harganya *relative* mahal dibanding tiang beton, disamping itu juga memerlukan biaya pemeliharaan rutin. Dilihat dari fungsinya, tiang listrik dibedakan menjadi dua yaitu tiang pemikul dan tiang tarik. Tiang pemikul berfungsi untuk memikul konduktor dan isolator, sedang tiang tarik fungsinya untuk menarik konduktor. Sedang fungsi lainnya disesuaikan dengan kebutuhan sesuai dengan posisi sudut tarikan konduktor nya.

Bahan baku pembuatan tiang beton untuk tiang tegangan menengah dan tegangan rendah adalah sama, hanya dimensinya yang berbeda.



Sumber Gambar : <http://electro.tneutron.com/2015/02/tiang-saluran-tegangan-rendah.html>

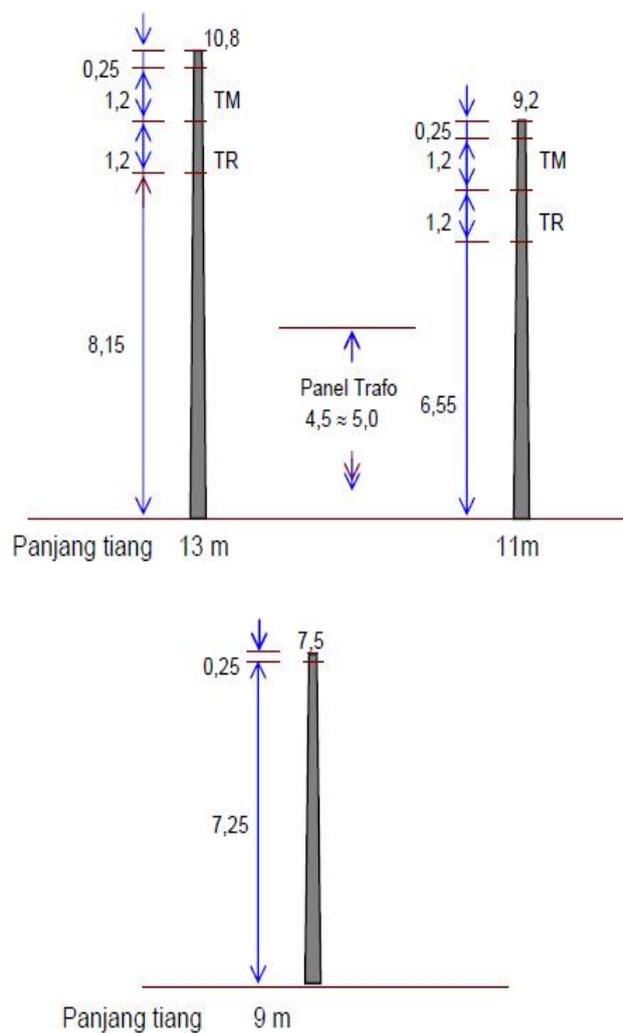
Gambar 2.6 Konstruksi Tiang Beton

Tiang beton untuk saluran tegangan menengah dan tegangan rendah dipilih berdasarkan spesifikasi sebagai berikut⁶ :

Tabel 2.1 Memilih Panjang Tiang

No	Tegangan	Rangkaian	Panjang Tiang (M)	Type (daN)	Span Maksimum
1	Menengah	Tunggal	11	350	80
			13	350	120
2	Menengah	Ganda	11	350	50
			13	350	60
3	Menengah	Tunggal	9	100	40
			9	200	60

⁶ Ketut rudi, *Melihat Tiang Beton*, <http://cvaristonkupang.com/2013/03/01/melihat-tiang-beton/>, diakses 27 januari 2015, jam 14.00 WIB



Sumber Gambar : <http://wasiatewonglistrik.blogspot.com/2013/07/jaringan-distribusi-tegangan-rendah.html>

Gambar 2.7 Jarak aman yang diperlukan untuk menentukan panjang tiang

Pada jaringan tegangan rendah yang menggunakan tiang bersama dengan jaringan tegangan menengah maka jarak gawang (Span) harus di jaga agar tidak lebih dari 60 meter. Di dalam menentukan panjang tiang beberapa faktor yang harus dipertimbangkan adalah;

1. Jarak aman antara saluran tegangan menengah dan tegangan rendah.

2. Posisi trafo tiang.
3. Tinggi rendahnya trafo dengan penyangga dua tiang.

Gambar 2.3 menunjukkan jarak aman yang diperlukan untuk menentukan panjang tiang. Pada gambar tersebut diperlihatkan bahwa panjang tiang minimum untuk tegangan menengah 11 meter (9,2 meter diatas tanah) dan untuk tegangan rendah 9 meter (7,5 meter diatas tanah).⁷

Berikut spesifikasi tiang yang biasa digunakan untuk saluran udara tegangan rendah dengan kabel Twisted :

- a) Jenis tiang : Tiang beton bulat dan tiang beton H
- b) Panjang total : 9 meter dan 11 meter
- c) Beban kerja : 200, 350, 500, 800 dan

Penanaman tiang dilakukan pada kedalaman 1/6 kali panjang tiang. Pada tempat-tempat tertentu, yaitu ditempat dimana tiang-tiang ada kemungkinan ditabrak oleh kendaraan berat, maka digunakan peralatan pelindung atau pondasi.

Pemilihan jenis tiang untuk SUTR tentu memperhatikan kondisi geografis, faktor lingkungan, faktor konstruksi, dan penampang hantaran. Ada 3 (tiga) tipe tiang yang harus diperhitungkan kekuatan tariknya yaitu tiang awal/akhir, tiang tengah, tiang sudut pada jaringan listrik.

⁷ Adi negara, *Jaaringan Distribusi Tegangan rendah*,
<http://wasiatewonglistrik.blogspot.com/2013/07/jaringan-distribusi-tegangan-rendah.html>,
pada tanggal 15 january 2015 pukul 13.36 WIB

Menurut Standar Konstruksi Jaring Distribusi Jawa Barat, penggunaan tiang beton untuk SUTR dengan penghantar TIC sebagai berikut :

Tabel 2.2 Batas Minimum Penggunaan Tiang Beton Pada Jaring SUTR – TIC Khusus

Jumlah Jaringan SUTR - TIC	Gawang (SPAN)	50 m	Penggunaan Khusus	
SIRKIT TUNGGAL	3x70 + 54, 6 + 2x16	9/ 200	9/ 200	9/200
	3x50 + 54, 6 + 2x16			
	3x35 + 54, 6 + 2x16			
	3x70 + 54, 6 + 1x16			
	3x50 + 54, 6 + 1x16			
	3x35 + 54, 6 + 1x16			
	3x70 + 54, 6			
	3x50 + 54, 6			
	3x35 + 54, 6			

2.1.4 Kontruksi Saluran Udara Tegangan Rendah

1. Konstruksi Dead End (ED), yaitu konstruksi memakai klem jepit jenis strain clamp dengan atau tanpa jangkaputar (span skrup–turn buckle). Konstruksi ini dipakai pada tiang awal, tiang ujung, tiang seksi, dan tiang sudut dengan lintasan lebih besar dari 30°.
2. Konstruksi Adjustable Dead End (ADE)
 - a) Konstruksi ini adalah varian dari konstruksi *Dead End* dengan kelengkapan tambahan turn buckle/span schrof.
 - b) Konstruksi Dead End dipakai pada tiang awal dan konstruksi *Adjustable Dead End* pada tiang ujung lainnya.
 - c) Ikatan konstruksi DE dan ADE pada tiang awal dan ujung memakai stainless steel atau baut M 50 *galvanised*.

3. Konstruksi Suspension , yaitu konstruksi memakai klem jepit tipe gantung/suspension clamp.
 - a) Konstruksi suspension digunakan pada tiang tengah.
 - b) Bentuknya adalah sedemikian rupa sehingga dapat dipakai untuk sudut lintasan saluran.
 - c) Ikatan konstruksi ini (*pole bracket*) dapat memakai stainless steel strip atau memakai baut M 50 galvanis pada lubang – lubang konstruksi di ujung tiang.
4. Konstruksi *Dead End* pada Tiang Ujung
 - a) Konstruksi *Dead End* pada tiang ujung dilengkapi dengan pipa PVC, sebagai pelindung mekanis ujung–ujung penghantar (*Bundle end constructions*)
 - b) Insulating TIP digunakan sebagai pelindung elektris.
5. Konstruksi Pembumian

Sesuai dengan prinsip pembumian TN–C (PNP–Pentanahan Netral Pembumian), penghantar netral dibumikan tiap 200 meter (ketentuan PUIL) atau \pm tiap 5 gawang.
6. Terminasi
 - a) Sambungan kabel daya dari gardu ke pelanggan disambung menggunakan saluran udara dengan memakai *Compression Bimetal Joint Sleeve* (jika kabel dengan penghantar jenis tembaga)

- b) Plastik heatshrink dipakai sebagai pelindung elektris dan pelumas/grease sebagai pelindung terhadap udara lembab.

7. Sambungan dan Sadapan (Joint dan Tap)

- a) Sambungan antara kabel Twisted (TIC) memakai joint sleeve (*junction sleeve*) terbuat dari alumunium murni.
- b) Pengencangan sambungan memakai *hydraulic compression*. Sebelum dikencangkan/dipres, bagian dalam selongsong joint sleeve harus dilapisi pelumas/grease (gemuk).
- c) Bagian inti penghantar sebelum dimasukan ke dalam selongsong harus disikat dengan sikat kawat dulu.
- d) Untuk konstruksi sadapan, dipakai konektor type H. Isolasi kabel harus dikupas dan permukaan intu kabel harus disikat kawat. Selanjutnya konektor ditutup selubung/heatshrink. Setelah dipanaskan, kemudian dipress dengan *hydraulic compression*.

1. Topang Tarik (*Guy Wire/Trek Schor*)

Pemakaian Guy Wire (Trek Schor) dipakai pada posisi tiang–tiang sudut, tiang awal dan tiang akhir, sehingga dapat menghemat biaya pemakaian tiang yang mempunyai kekuatan besar.

Terdapat tiga jenis konstruksi *guy wire* :

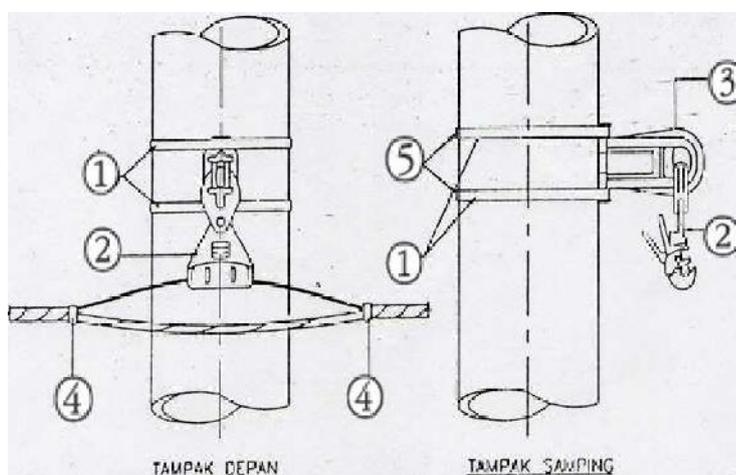
- *Down Guy Wire*, yaitu *guy wire* yang langsung mengarah ke bumi.

- *Horizontal Guy Wire*, yaitu dengan konstruksi tiang penopang baru kemudian ke bumi.
- *Interpole Guy Wire*, yaitu konstruksi guy wire antara tiang ujung dari tiang akhir saluran yang berbeda.

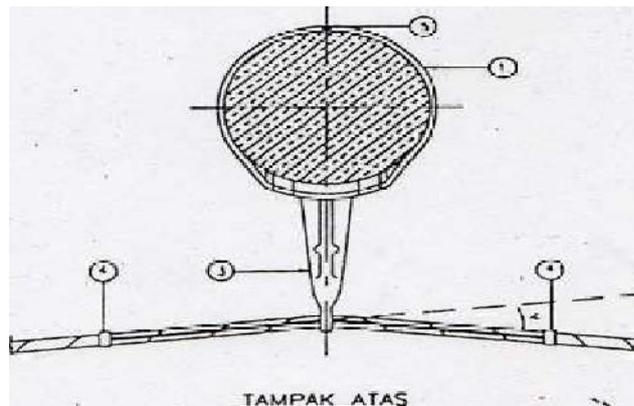
2.1.5 Jenis – jenis Kontruksi Tiang

2.1.5.1 Konstruksi Tiang Penyangga (*Suspension*)

Konstruksi tiang merupakan konstruksi saluran kabel udara tegangan rendah (SKUTR) yang menggunakan *suspension small angle assembly* (penggantung untuk tiang sangga/tumpu).⁸ Untuk posisi lurus atau sudut kecil (0° - 45°) dengan memasang kabel Twisted tanpa PJU.



⁸ Yantek bansel, *Standarisasi konstruksi jaringan distribusi tegangan rendah*, <https://yantekbansel.wordpress.com/2012/07/11/standarisasi-konstruksi-jaringan-distribusi-tegangan-rendah-part-1/>, pada tanggal 15 January 2015 pukul 12.06 WIB



Sumber Gambar : <http://wasiatewonglistrik.blogspot.com/2013/07/jaringan-distribusi-tegangan-rendah.html>

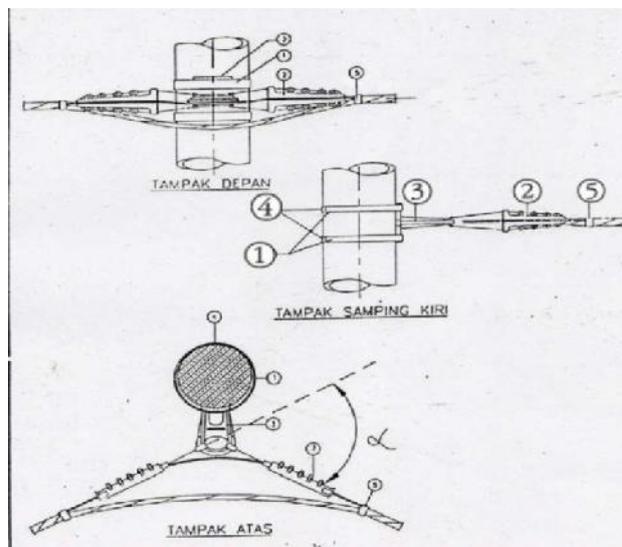
Gambar 2.8 Tiang penyangga (suspension)

Keterangan:

1. Stanless steel strap
2. Suspension clamo
3. Pole bracket
4. Plastic strap
5. Stopping buckle

2.1.5.2 Konstruksi Tiang Sudut

kontruksi tiang sudut merupakan kontruksi pemasangan SKUTR dengan sudut kurang dari 45° , dengan menggunakan *large angle assembly* (penggantung untuk tiang belokan/sudut) . tiang ini termasuk tiang sudut yang merupakan tiang yang dipasang pada saluran listrik, dimana pada tiang tersebut arah penghantar membelok dan arah gaya tarik kawat horizontal.



Sumber Gambar : <http://wasiatewonglistrik.blogspot.com/2013/07/jaringan-distribusi-tegangan-rendah.html>

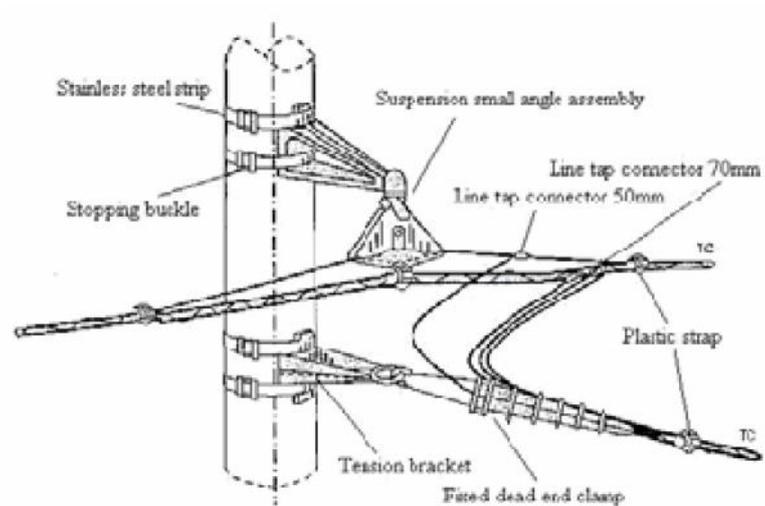
Gambar 2.9 Tiang Sudut

Keterangan :

1. Stainless Steel Strap
2. Strain Clamp
3. Pole Bracket
4. Stopping Buckle
5. Plastic Strap

2.1.5.3 Konstruksi Tiang Percabangan

Konstruksi tiang percabangan merupakan konstruksi pemasangan SKUTR pada tiang percabangan, yang menggunakan *Suspension small angle assambly* dan *fixed dead-end assambly* untuk mengaitkan kabel. Untuk posisi tiang pada sudut kecil (0° - 45°) dengan memasang kabel Twisted



Sumber Gambar : <https://yantekbansel.wordpress.com/2012/07/11/standarisasi-kontruksi-jaringan-distribusi-tegangan-rendah-part-1/>,

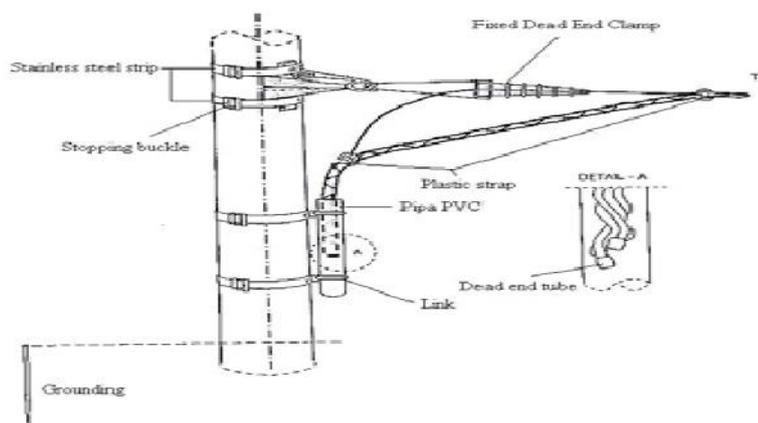
Gambar 2.10 Tiang Satu Percabangan

Keterangan :

1. Stainless Steel Strap
2. Suspension Clamp
3. Pole Bracket
4. Plastic Strap
5. Stopping Buckle
6. Connector
7. Strain Clamp
8. Turn Buckle Light

2.1.5.4 Konstruksi Tiang Awal/ Akhir

kontruksi tiang awal/akhir merupakan kontruksi pemasangan SKUTR untuk tiang akhir atau tiang awal dengan *treck schoor*. Pengait kabel digunakan *fixed dead-end clamp complete plastic strip* (peralatan untuk penarik pada tiang awal/akhir lengkap dengan *plastic strap*). Untuk posisi lurus dengan memasang kabel Twisted⁹.



Sumber Gambar : <https://yantekbansel.wordpress.com/2012/07/11/standarisasi-kontruksi-jaringan-distribusi-tegangan-rendah-part-1/>,

Gambar 2.11 Tiang Akhir/Awal

Keterangan:

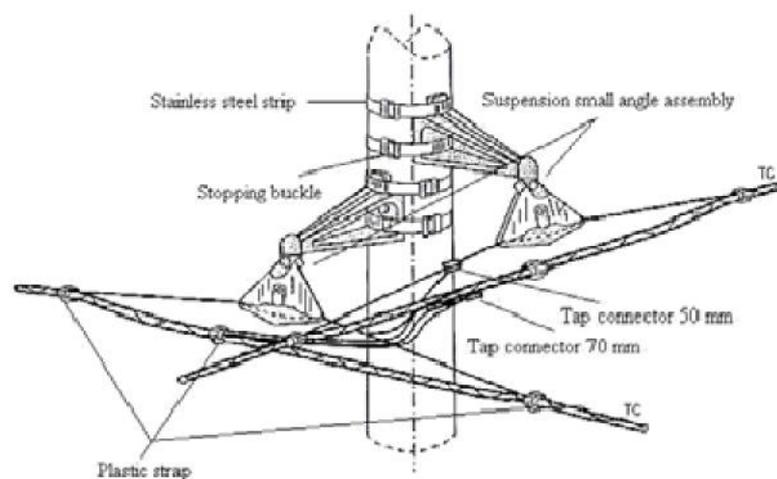
1. Stainless steel strip
2. Stopping buckle
3. Fixed dead end clamp
4. Plastic strap

⁹ Yantek Bansel, *Standarisasi Kontruksi jaringan Distribusi Tegangan Rendah #Part-1*, <https://yantekbansel.wordpress.com/2012/07/11/standarisasi-kontruksi-jaringan-distribusi-tegangan-rendah-part-1/>, diakses 27 januari 2015, jam 10.06 WIB.

5. Pipa PVC
6. Link
7. Dead end tube

2.1.5.5 Kontruksi Tiang Penyangga

Kontruksi merupakan kontruksi pemasangan SKUTR sebagai tiang penyangga pada persimpangan (silang). Kedua saluran dikaitkan pada *suspension small angle assembly*.¹⁰



Sumber Gambar : <https://yantekbansel.wordpress.com/2012/07/11/standarisasi-kontruksi-jaringan-distribusi-tegangan-rendah-part-1/>,

Gambar 2.12 Kontruksi tiang penyangga

Keterangan :

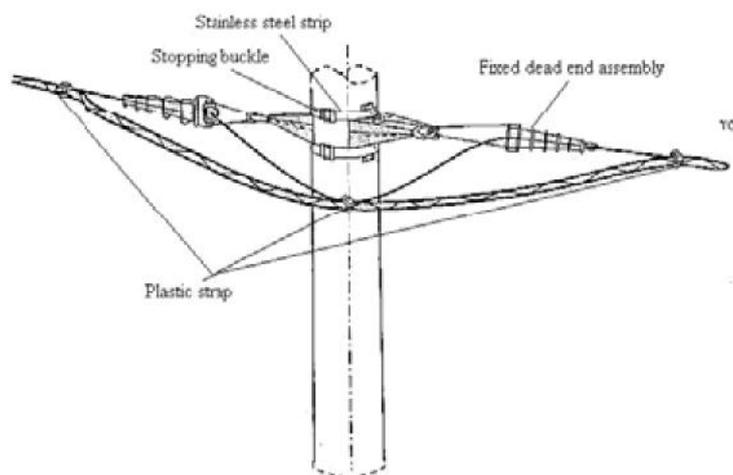
1. Stainless steel strip
2. Suspension Small angle assembly

¹⁰ Yantek Bansel, *Standarisasi Kontruksi jaringan Distribusi Tegangan Rendah #Part-1*, <https://yantekbansel.wordpress.com/2012/07/11/standarisasi-kontruksi-jaringan-distribusi-tegangan-rendah-part-1/>, diakses 27 januari 2015, jam 10.06 WIB.

3. Stopping buckle
4. Tap connector 50 mm
5. Tap connector 70 mm
6. Plastic strap

2.1.5.6 Kontruksi Tiang Penegang

Kontruksi tiang penegang merupakan kontruksi pemasangan SKUTR pada tiang penegang. Kabel dikaitkan pada *fixed dead-end assembly*. Tiang penegang/tiang tarik adalah tiang yang dipasang pada saluran listrik yang lurus dimana gaya tarik kawat pekerja terhadap tiang dari dua arah yang berlawanan.



Sumber Gambar :

<https://yantekbansel.wordpress.com/2012/07/11/standarisasi-kontruksi-jaringan-distribusi-tegangan-rendah-part-1/>

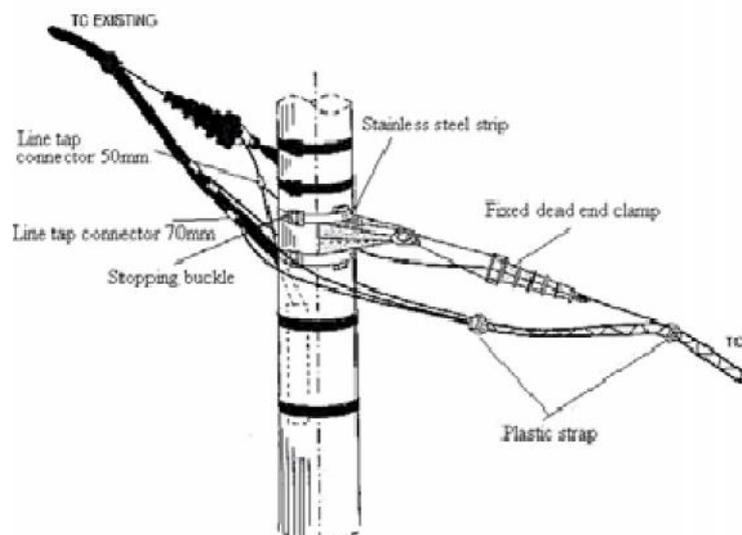
Gambar 2.13 kontruksi tiang penegang

Keterangan:

1. Stainless steel strip
2. Stopping buckle
3. Plastic strap
4. Fixed dead end assembly

2.1.5.7 Kontruksi Tiang Existing

Kontruksi tiang existing ini merupakan penyambung SKUTR dengan existing dengan menggunakan *fixed dead-end assembly*.



Sumber Gambar :

<https://yantekbansel.wordpress.com/2012/07/11/standarisasi-kontruksi-jaringan-distribusi-tegangan-rendah-part-1/>

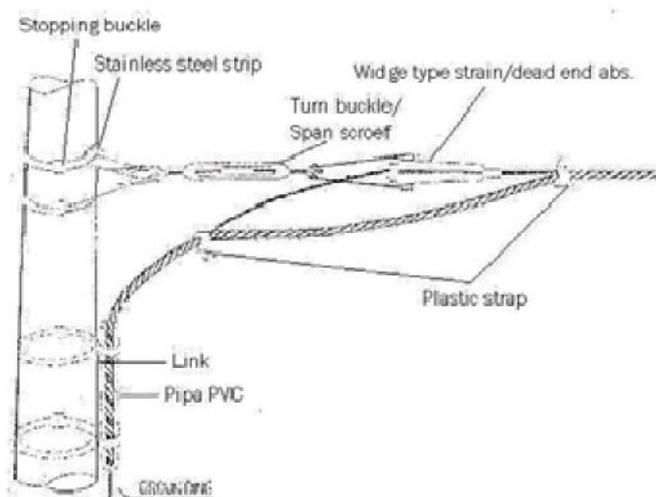
Gambar 2.14 kontruksi tiang existing

Keterangan :

1. Stainless steel strip
2. Fixed dead end clamp
3. Plastic strap
4. Stopping buckle
5. Line tap connector 70 mm
6. Line tap connector 50 mm
7. TC existing

2.1.5.8 Kontruksi Tiang Ajustable

Merupakan kontruksi pemasangan SKUTR pada tiang awal atau akhir dengan menggunakan adjustable.



Sumber Gambar :

<https://yantekbansel.wordpress.com/2012/07/11/standarisasi-kontruksi-jaringan-distribusi-tegangan-rendah-part-1/>

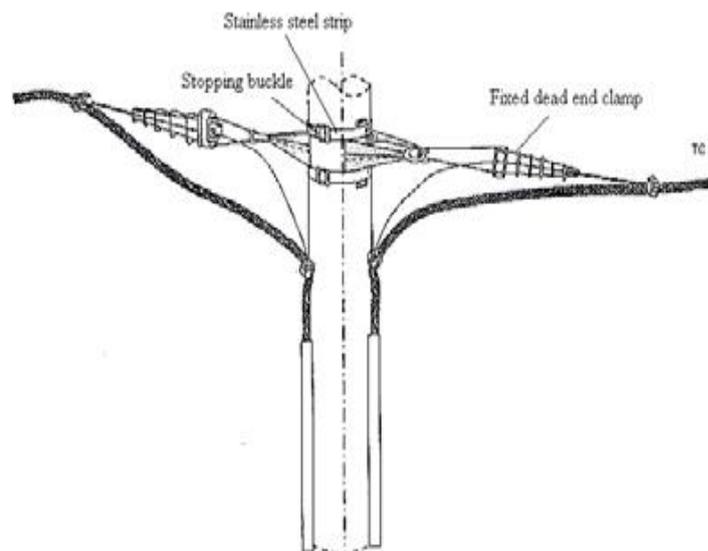
Gambar 2.15 Kontruksi tiang adjustable

Keterangan:

1. Stainless steel strip
2. Stopping buckle
3. Fixed dead end clamp
4. Plastic strap
5. Pipa PVC
6. Link
7. Dead end tube

2.1.5.9 Kontruksi Tiang Trafo Tiang Satu Jurusan

Kontruksi merupakan kontruksi pemasangan SKTUR pada trafo tiang, dengan menggunakan *fixed dead-end clamp* untuk mengikat kabel.



Sumber Gambar : <https://yantekbansel.wordpress.com/2012/07/11/standarisasi-kontruksi-jaringan-distribusi-tegangan-rendah-part-1/>,

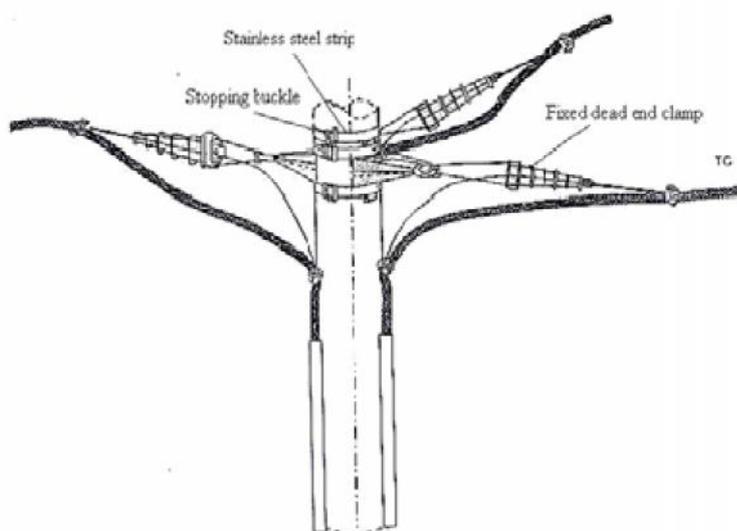
Gambar 2.16 Kontruksi Tiang Trafo Satu Jurusan

Keterangan:

1. Stainless steel strip
2. Stopping buckle
3. Fixed dead end clamp

2.1.5.10 Kontruksi Tiang Trafo Tiang Tiga Jurusan

Kontruksi ini merupakan kontruksi pemasangan SKUTR pada trafo tiang untuk tiga jurusan. Pengikat kabel digunakan *fixed dead-end clamp*.



Sumber Gambar : <https://yantekbansel.wordpress.com/2012/07/11/standarisasi-kontruksi-jaringan-distribusi-tegangan-rendah-part-1/>,
Gambar 2.17 Kontruksi Tiang Trafo Tiga Jurusan

Keterangan:

1. Stainless steel strip
2. Stopping buckle
3. Fixed dead end clamp

2.1.6 Jenis – Jenis Sambungan Pada Sambungan Tegangan rendah

A. Tap konektor

Tap konektor jenis kedap air dengan ukuran 6-25 mm² dengan tegangan kerja 231/400 volt, tap konektorkedap air sambungan rumah dengan bahan dasar alumunium.



Sumber Gambar : <http://multilima.indonetwork.co.id/3063640>

Gambar 2.18 tap konekor

kelemahan tap konektor :

- 1) Gigi penjepit kabel atau gigi penerus kabel sering tumpul
- 2) Gigi penjepit karatan atau kotor sehingga timbul kerugian (rugi daya)
- 3) Baut atas *connector* akan patah apabila dikencangkan, sehingga jika ada gangguan sulit dibuka/diperbaiki
- 4) Penjepit *connector* kurang kuat, karena pemasangan secara manual dengan menggunakan kunci pas

B. Compression Connector Alumunium (CCOA)

Compression connector alumunium konektor jenis ini digunakan untuk menyambung kabel alumunium pada jaringan konduktor alumunium dengan menggunakan sistem tekan. Terbuat dari bahan alumunium bermutu tinggi dengan kemurnian minimal 99,8%.

Ukuran mulai dari 10-16/10-16 sampai dengan 150-240/150-240.



Sumber Gambar : <http://gelombanglistrik.indonetwork.net/prod>
Gambar 2.19 *Compression Connector Alumunium (CCOA)*

Tabel 2.3 Ukuran *compression connector*

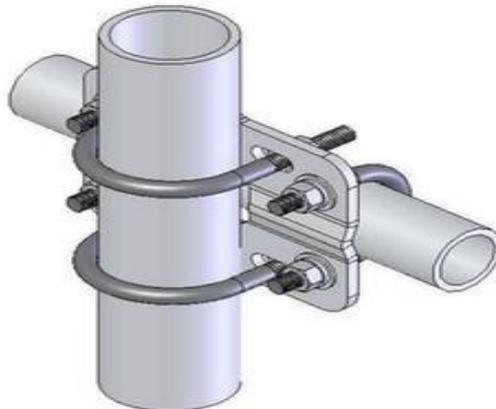
TYPE	DIMENSIONS(mm)				
	TNGG (A)	LBR (B)	PNJG (L)	MLBNG (D.1)	MLBNG (D.2)
10-16 / 10-16	22,5	11,5	30	5,5	6,0
25-35 / 10-16	26,0	14,0	30	8,0	6,0
50-70 / 10-16	32,0	18,5	35	11,0	6,0
16-35 / 16-35	30,0	15,0	35	8,0	8,5
35-70 / 16-35	37,0	21,0	40	11,0	12,0
35-70 / 35-70	41,0	21,0	45	11,0	12,0
70-50 / 35-70	51,0	28,0	55	16,0	12,0
150-240 / 35-70	65,0	36,0	60	20,5	12,0
70-150 / 70-150	60,0	30,0	60	16,0	17,0
150-240 / 70-150	71,0	38,5	65	20,5	17,0
150-240 / 150-240	75,0	38,5	70	20,5	22,0

2.1.7 Perlengkapan Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)

2.1.7.1 Pole Bracket

Pole bracket merupakan komponen saluran udara pada tiang.

Terbuat dari alumunium alloy atau baja galvanis. Dua jenis pemakaian pole bracket untuk tiang ujung (awal, akhir) tiang sudut dengan sudut lintas diatas 30^0 tiang siku 90^0 dan untuk tiang tengah dengan sudut lintasan 30^0 .



Sumber Gambar : <https://www.campbellsci.com/cm210>

Gambar 2.20 Pole Bracket

Pole bracket merupakan komponen saluran udara pada tiang. Terbuat dari aluminium alloy atau baja galvanis. Dua jenis pemakaian pole bracket untuk tiang ujung (awal, akhir) tiang sudut dengan sudut lintas diatas 30° tiang siku 90° dan untuk tiang tengah dengan sudut lintasan 30° . Kedua pole bracket ini berbeda pada panjangnya. Beban maksimum yang ditahan oleh pole adalah :

- a) F 500 daN arah vertikal (ke bawah).
- b) F 1000 daN arah horizontal.
- c) F antara 200 daN dan 500 daN arah longitudinal

2.1.7.2 Strain Clamp

Di tiang-tiang yang menahan beban tarikan netral dari Twisted dipakai strain clamp, misalnya tiang ujung atau sudut-sudut belok besar di atas 30° .



Sumber Gambar :

http://www.diytrade.com/china/pd/5190113/PA2000_strain_clamp.html

Gambar 2.21 Strain Clamp

Strain clamp digunakan untuk menjepit penghantar netral kabel twisted pada :

- a) Tiang awal/akhir
- b) Tiang sudut lintas 30°
- c) Tiang seksi (untuk pergantian besarnya penampang saluran)

Bagian dari strain clamp adalah :

- a) Strain clamp terbuat dari aluminium alloy
- b) Klem jepit terbuat dari plastik keras
- c) Kawat baja galvanis untuk mengandung strain clamp pada pole bracket

2.1.7.3 Pengikat

Untuk pengikat pole bracket ke tiang dipakai stainless steel strap yang dipasang dengan memakai stopping buckle.

2.1.7.4 Link

Link (ling) adalah besi bulat diameter 6 mm galvanis berbentuk segiempat ukuran 3x3 cm dan 3x6 cm. Fungsi link adalah untuk memperkuat ikatan stainless steel pada tiang, umumnya ikatan kabel, pipa galvanis pada tiang. Dipasang untuk pemisah antara tiang dengan pipa (P.V.C) yang keduanya pada keadaan terikat oleh stainless steel strap.

2.1.7.5 Turn Buckle

Dipakai pada tiang ujung penarikan.



Sumber Gambar : <http://www.beyondrigging.com/2014/03/what-is-turnbuckle/>

Gambar 2.22 *Turn Buckle*

2.1.7.6 Suspension Clamp

Dipakai pada tiang yang jaringannya lurus atau pada sudut maksimal 45° .



Sumber Gambar :

<http://www.ecvv.com/product/1736645.html>

Gambar 2.23 *Suspension Clamp*

Suspension clamp atau klem gantung berfungsi untuk mengikat penghantar netral kabel twisted. Suspension sendiri digantung pada pole bracket tiang tengah. Suspension clam terbuat dari bahan aluminium alloy. Penghantar netral diletakkan pada suspension, kemudian dijepit oleh klem jepitnya (locker). Suspension clam dapat dipakai untuk sudut lintasan sampai dengan 30° .

2.1.7.7 TIC (*Twisted Insulated Cable*)

Konfigurasi jaringan kabel secara umum adalah radial, hanya pada kasus dipergunakan sistem tertutup (*loop*). Saluran udara tegangan rendah memakai penghantar jenis kabel/kabel pipin (NFAAX-T) dengan penampang berukuran luas penampang 35 mm², 50 mm², dan 70 mm² serta penghantar tidak berisolasi *all aluminium conductor* (ACC) dengan penampang 25 mm², 35 mm² dan 50 mm².

Kabel udara yang digunakan JTR merupakan kabel inti tunggal yang berbentuk konduktor dipipin bulat, instalasi kabel ini sedemikian rupa sehingga hantaran kabel membentuk kabel pipin dimana beberapa kabel berinti tunggal saling dililitkan sehingga saling membentuk suatu kelompok kabel yang disebut dengan kabel *twisted*.

Kabel *twisted* dipasang pada tiang saluran distribusi sekunder dengan peralatan kira-kira 20 cm dibawah puncak tiang dengan kabel netral sebagai penyangganya, sehingga dengan demikian beban kabel *twisted* dipikul oleh kabel netral tersebut. Kabel pipin yang digunakan pada proyek kelistrikan terdiri atas enam buah kabel berinti tunggal dengan perincian sebagai berikut:

- 1) Kabel utama, terdiri dari atas tiga kabel fasa (R,S,T) dan satu kabel netra.
- 2) Dua kabel lainnya untuk hantaran lampu penerangan jalan.



Sumber Gambar : <http://pratamalistrik.indonetwork.net/2424540/kabel-twisted-nfa2x.htm>

Gambar 2.24 kabel TIC

Untuk mengetahui lebih lanjut tentang ukuran kabel twisted dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.4 Ukuran Kabel Twisted

e	P Penghantar		KHA (A)	Resistansi Penghantar pada 20°C (ohm/km)		Reaktansi pada F=50Hz (ohm/km)
	Jenis	Ukuran		Fasa	Netral	
Kabel Twisted a	h	3x25+1x50 mm ²	125	0,867	0,581	0,3790
	g	3x50+1x50 mm ²	154	0,641	0,581	0,3678
	f	3x70+1x50mm ²	196	0,443	0,581	0,3572
	e	3x95+1x50 mm ²	242	0,308	0,581	0,3449

ntar jaringan sekunder menggunakan kabel twisted, dimana kabel ini mempunyaikeuntungan antara lain:

1. Tidak memerlukan banyak peralatan
2. Penghantar tidak terpisah-pisah sehingga menjadi satu bagian
3. Keamanan lebih terjamin sehingga sulit untuk di sadap
4. Pelaksanaan pemasangan lebih sederhana dan relatif mudah
5. Aman terhadap cuaca
6. Aman terhadap gangguan ranting-ranting pohon

Bahan isolasi kabel twisted di buat dari bahan jenis polyethelin yaitu XLPE, beberapa sifat isolasi XLPE yaitu:

1. Ketahanan temperatur tinggi
2. Kekuatan mekanis besar
3. Umur relatif lebih lama
4. Bersifat elastis/tidak mudah retak
5. Kerapatan jenis kecil
6. Tahan terhadap air, minyak, dan zat-zat kimia yang sering terdapat di alam

Dasar-dasar pemilihan “ukuran” kabel meliputi pertimbangan-pertimbangan tentang¹¹

1. Temperatur kerja aman konduktornya
2. Efek termal pada isolasi kabelnya
3. Efek panas yang dihasilkan pada bahan yang mengelilinginya

¹¹ A.J Watkins dan R.K Parton, *Perhitungan Instalasi Listrik edisi 2*, (Jakarta: Erlangga) h.87

4. Efek termal pada resistansi konduktornya
5. Efek teganganjatuh pada operasi dan nilai keluaran beban yang dihubungkan.

Khusus pada kabel twisted tegangan rendah terdapat tanda fasa sebagai berikut :

- 1) Garis/strip satu = fasa R
- 2) Garis/strip dua = fasa S
- 3) Garis/strip tiga = fasa T

2.1.7.8 Cable Joint

Perlengkapan ini biasanya dipakai hanya karena ketidakcocokan antara panjang kabel dalam drum dengan jarak antara tiang.

2.1.7.9 Penumian

Kabel tanah yang mempunyai perisai baja (misalnya NYFGBY) pada bagian terminasi di PHB/ gardu harus dibumikan. Penghantar memakai kabel anyam dihubung langsung dengan sistem penumian gardu atau PHB.

2.1.7.10 Pondasi

Pondasi pada tiang memakai campuran pasir batu..

2.1.7.11 Tang Press Hidrolik

Pada pemasangannya dibutuhkan alat bantu yaitu tang pres hidrolik.



Sumber Gambar : <http://www.indotrading.com/product/tang-press-hidrolik-p100722.aspx>

Gambar 2.25 Tang Press Hidrolik

2.1.7.12 Stay Rod (Angket Tanah)

Stay rod dipakai pada konstruksi guy (topang kaki) sebagai pemegang kawat tarik ke tanah. Stay rod dilengkapi dengan stay block, stay rod terbuat dari baja solid μ 24-24 daN/ mm².

Tabel 2.5 klasifikasi Stay Rod (Angket Tanah)

Klasifikasi	Panjang	Diameter	Stay Block
Light-L	2,2 m	12 mm ²	50x50x2 cm
Medium-M	2,5 m	22 mm ²	60x60x6 cm

2.1.7.13 Terminating Clam (U-Clamp)

Terminating clamp, U-clamp atau schackle clamp terbuat dari baja galvanis ST-57 berbentuk U



Sumber Gambar : http://pipe_clamp.china-direct-buy.com/v/4/product_detail/7362795/U_type_pipe_clamp.html

Gambar 2.26 U - Clamp

2.1.7.14 Pipa Galvanis

Pipa galvanis sebagai pelindung penghantar pembumian dan pelindung kawat tarik pada ikatan stay rod konstruksi guy wire. Ukuran yang dipakai pada umumnya adalah pipa dengan diameter 2 inchi.

2.1.8 Sambungan Saluran Udara Tegangan Rendah

Berikut ketentuan untuk sambungan pada jaringan listrik tegangan rendah :

- 1) Badan konektor yang terbuat dari bahan aluminium campuran dengan kadar aluminium minimum 97,28%, silikon 0,2–0,6 % dan magnesium 0,45–0,9 % untuk bagian kontak atau badan konektor yang terbuat dari tembaga, kadar tembaga minimum 99,9 %.
- 2) Gemuk/kompon harus terbuat dari bahan berkarakteristik sebagai berikut:
 - a) Tidak bereaksi dengan aluminium dan seng
 - b) Titik leleh (dropping point) tidak boleh kurang dari 100°C
 - c) Kestabilannya tidak berubah oleh pengaruh udara dan tidak teroksidasi
 - d) Jika gemuk mengandung bahan yang mudah menguap, penguapannya tidak mengakibatkan terjadinya retak pada lapisan permukaan logam pelindung (protective film)
 - e) Pada uji daur-panas, berkurangnya berat contoh uji tidak boleh lebih dari 5 %
 - f) Kelekatan (daya lekat) lapisan gemuk harus baik, sehingga permukaan aluminium tidak kusam atau buram
 - g) Bagian-bagian konektor harus tidak berkarat dan tidak cacat, seperti permukaan tidak retak dan cacat lain yang dapat mempengaruhi fungsi konektor dalam pemakaiannya. Pada konektor harus terbaca jelas tandatanda pengenal atau penandaan sesuai dengan

persyaratan pada standar ini. Penandaan harus huruf timbul (*embossing*) untuk jenis konektor yang dibuat dengan cara pengecoran, dan cetak tempa untuk yang dibuat dengan cara ekstrusi.

Penyambungan pada SUTR dengan penghantar TIC, menurut ketentuan PLN sekarang digunakan CCOA (*Compression Connector Alumunium*). Sebelum digunakan CCOA, untuk sambungan pada SUTR digunakan tap connector. Namun karena tap connector banyak kelemahan, maka penyambungan digantikan dengan CCOA. Berikut kelemahan tap connector :

- 1) Gigi penjepit kabel atau gigi penerus kabel sering tumpul.
- 2) Gigi penjepit karatan atau kotor sehingga timbul kerugian (rugi daya).
- 3) Baut atas connector akan patah apabila dikencangkan, sehingga jika ada gangguan sulit dibuka/ diperbaiki.
- 4) Penjepit connector kurang kuat, karena pemasangan secara manual dengan menggunakan kunci pas.

Untuk lebih meningkatkan mutu pelayanan, maka PLN menentukan CCOA menjadi alat titik sambung pada SUTR dengan penghantar TIC. CCOA ini terbuat dari bahan alumunium dengan bentuk oval persegi, dengan dua lubang pada bagian dalamnya, dan berbagai macam ukuran diameter sesuai dengan keperluan untuk sambungan kabel.

2.1.9 Gangguan Pada Saluran Udara Tegangan Rendah

2.1.9.1 Gangguan Hilang Pembangkit

Dalam beroperasi, pembangkit tenaga listrik tidak bisa dipisahkan dari sub sistem tenaga listrik yang lain yaitu penyaluran (transmisi), distribusi dan pelelangan, karena pembangkit tenaga listrik merupakan salah satu sub sistem dari sistem tenaga listrik.

suatu sistem tenaga listrik yang sangat luas cakupan areanya, menyebabkan timbulnya gangguan tidak bisa dihindari. salah satu sub sistem yang kemungkinan mengalami gangguan, adalah pembangkit tenaga listrik. bentuk gangguan tersebut adalah hilangnya daya atau pasokan daya pada pembangkit atau biasa disebut hilangnya pembangkit.

secara garis besar, gangguan hilangnya pembangkit diakibatkan oleh dua hal, yaitu yang bersifat internal dan gangguan yang bersifat eksternal.

1. Gangguan internal yaitu yang diakibatkan oleh pembangkit itu sendiri, misalnya : kerusakan/gangguan pada penggerak mula (*prime over*) dan kerusakan/gangguan pada generator, atau komponen lain yang ada di pembangkit.
2. gangguan eksternal yaitu gangguan yang berasal dan diakibatkan dari luar pembangkit, misalnya : gangguan

hubung singkat pada jaringan. hal ini akan menyebabkan sistem proteksi (*relay* atau *circuit breaker*) bekerja dan memisahkan suatu pembangkitan dari sistem yang lainnya atau terlepas dari sistem tersebut melampaui *spinning reserve system*, maka terjadi penurunan frekuensi terus menerus. hal ini harus segera diatasi, karena akan menyebabkan *trip* pada unit pembangkitan yang lain, sehingga berakibat lebih fatal yaitu sistem mengalami padam total (*collapse*).

2.1.9.2 Gangguan hubung singkat

Gangguan hubung singkat pada jaringan listrik, dapat terjadi antara fasa dengan fasa (2 fasa atau 3 fasa) dan gangguan antara fasa ke tanah. timbulnya gangguan bisa bersifat temporer (*non persistent*) dan gangguan yang bersifat permanent (*persistent*).

gangguan yang bersifat temporer, timbulnya gangguan bersifat sementara, sehingga tidak memerlukan tindakan. Gangguan tersebut akan hilang dengan sendirinya dan jaringan listrik akan bekerja normal kembali. Jenis gangguan ini ialah : timbulnya *flashover* antara penghantar dan tanah (tiang, *traverse* atau kawat tanah) karena sambaran petir, *flashover* dengan pohon-pohon, dan lain sebagainya.

Gangguan yang permanen (*persistant*), yaitu gangguan yang bersifat tetap. Agar jaringan dapat berfungsi kembali, maka perlu dilaksanakan perbaikan dengan cara menghilangkan gangguan tersebut. Gangguan ini akan menyebabkan terjadinya pemadaman tetap pada jaringan listrik dan pada titik gangguan akan terjadi kerusakan yang permanen, contoh : menurunnya kemampuan isolasi padat atau minyak trafo. Disini akan menyebabkan kerusakan permanen pada trafo, sehingga untuk dapat beroperasi kembali harus dilakukan perbaikan.

beberapa, penyebab yang mengakibatkan terjadinya gangguan hubung singkat, antara lain:

1. terjadinya angin kencang, sehingga menimbulkan gesekan pohon dengan jaringan listrik.
2. kesadaran masyarakat yang kurang, misalnya bermain layang-layang dengan menggunakan benang yang bisa dilalui aliran listrik. ini sangat berbahaya jika benang tersebut mengenai jaringan listrik.
3. kualitas peralatan atau material yang kurang baik, misalnya : pada JTR yang memakai *twisted cable* dengan mutu yang kurang baik, sehingga isolasinya mempunyai tegangan tembus yang rendah, mudah

mengelupas dan tidak tahan panas. hal ini juga akan menyebabkan hubung singkat antar fasa.

4. pemasangan jaringan yang kurang baik misalnya : pemasangan konektor pada JTR yang memakai TC, apabila pemasangan kurang baik akan menyebabkan timbulnya bunga api dan akan menyebabkan kerusakan fasa yang lainnya. Akibatnya akan terjadi hubung singkat.
5. terjadinya hujan, adanya sambaran petir, karena terkena galian (kabel tanah), umur jaringan (kabel tanah) sudah tua yang mengakibatkan pengelupasan isolasi dan menyebabkan hubungan singkat dan sebagainya.

Gangguan hubung singkat dapat menyebabkan peralatan listrik dapat rusak

1. Secara Thermis

Thermis atau pemanasan berlebih pada peralatan listrik yang dilalui oleh arus gangguan dapat merusak peralatan listrik. Dimana kerusakan akibat arus gangguan tergantung pada besar dan lamanya arus gangguan, hal ini dapat dilihat pada persamaan dibawah ini.

- a.
$$\text{Panas} = \int_0^t I^2 R. dt \text{ (joule)}$$

- b.
$$\text{Konstanta panas} = I^2.t(\text{amp}^2 \text{ detik})$$

Dimana :

I = arus gangguan (amp)

R = tahanan penghantar/konduktor(Ohm)

t = waktu lamanya arus gangguan(detik)

Panas ini , akan menaikkan suhu penghantar yang dilalui oleh arus gangguan. Jika terlalu lama, suhu penghantar akan terlalu tinggi sehingga menyebabkan rusaknya isolasi atau mempercepat penuaan. Tetapi material listrik juga mempunyai kemampuan arus yang dapat merusak atau menghancurkan selain isolasi juga penghantar tersebut. Hal ini dapat dibuktikan dengan mempergunakan persamaan diatas.

Misalnya : *Nertal Grounding Resistance* (NGR) yang terpasang pada gardu induk sisi 20 kV = 40 ohm, kemudian arusnya = 300 amp dan waktu(t) = 10 detik. Dengan mempergunakan persamaan diatas dapat diperoleh, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Panas} &= 300^2 \cdot 10(\text{amp}^2 \text{ detik}) \\ &= 9.10^5 (\text{amp}^2 \text{ detik}) \end{aligned}$$

Dari penjelasan diatas, artinya NGR akan rusak dalam jangka waktu 10 detik dengan arus 300 amp.

2. Secara Mekanis

Mekanis atau gaya tarik-menarik/tolak-menolak pada penghantar fasa yang tergantung karena adanya frekuensi listrik yang dapat menimbulkan frekuensi mekanis. Dimana arus gangguan hubungan singkat yang terjadi, dapat menimbulkan gaya tarik-menarik atau tolak-menolak pada penghantar yang dilalui arus gangguan tersebut. Misalnya material busbar pada kubikel, *switchgear* atau belitan pada trafo tenaga material ini harus memiliki kekuatan secara mekanis sehingga tahan terhadap gaya-gaya tersebut.

2.1.9.3 Gangguan Beban Lebih

Dalam suatu sistem tenaga listrik, yang dimaksud gangguan beban lebih adalah pelayanan kepada pelanggan listrik yang melebihi kemampuan sistem tenaga listrik yang ada, misalnya :trafo distribusi dengan kapasitas daya terpasang 100 KVA, akan tetapi melayani pelanggan lebih besar dari kapasitasnya. hal ini menyebabkan trafo bekerja pada kondisi abnormal. beban lebih akan menyebabkan arus yang mengalir pada jaringan listrik menjadi besar, selanjutnya menimbulkan panas yang berlebihan, yang akhirnya akan menyebabkan umur hidup (*life time*) peralatan dan material pada jaringan

listrik menjadi pendek atau mempercepat proses penuaan dan kerusakan. Yang dimaksud gangguan tegangan lebih ialah besarnya tegangan yang ada pada jaringan listrik melebihi tegangan nominal, yang diakibatkan oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. Adanya penurunan beban atau hilangnya beban pada jaringan, yang disebabkan oleh *switching* karena gangguan atau disebabkan karena manuver.
2. Terjadinya gangguan pada pengaturan tegangan otomatis/*automatic voltage regulator* (AVR) pada generator atau pada *on load tap changer transformer*.
3. Putaran yang sangat cepat (*over speed*) pada generator yang diakibatkan karena kehilangan beban.
4. Terjadinya surja hubung (*switch surge*), yaitu berupa hubung singkat akibat bekerjanya *circuit breaker*, sehingga menimbulkan tegangan transient yang tinggi. hal ini sering terjadi pada sistem jaringan tegangan ekstra tinggi.

Gangguan tegangan lebih akan merusak isolasi, dan akibatnya akan merusak peralatan karena *insulation break down* (hubung singkat) atau setidaknya akan mempercepat proses penuaan peralatan dan memperpendek umur peralatan.

sebenarnya kondisi abnormal ini kurang tepat jika disebut sebagai gangguan. akan tetapi kondisi abnormal ini jika berlangsung terus menerus akan menyebabkan peralatan cepat rusak, umur peralatan pendek dan membahayakan sistem.

Sebenarnya timbulnya gangguan beban lebih ini, khususnya terhadap pasok daya ke pelanggan, bisa dieliminir oleh pihak PLN dengan cara : pembebanan pada tiap-tiap trafo harus diinventarisir dan dimonitor dengan seksama, sehingga pembebanannya tidak melebihi kapasitas trafo.

beberapa penyebab yang mengakibatkan timbulnya gangguan beban lebih ialah :

1. Semakin meningkatnya permintaan energi listrik dari pelanggan, sehingga memaksa trafo dan saluran dengan beban maksimum, bahkan mungkin lebih besar dari kemampuannya. hal ini disebabkan :
 - a. Jumlah volume jaringan listrik yang terbatas dan kurang bisa mengimbangi jumlah pelanggan.
 - b. Kurangnya pengertian dan ketidaktahuan masyarakat pelanggan listrik terhadap masalah kelistrikan. contoh : pada suatu daerah tertentu terhadap sambungan listrik ke pelanggan dengan kondisi beban trafo dan jaringan yang telah maksimum. Ada calon pelanggan lain yang berdekatan dengan pelanggan PLN tersebut, ingin sekali

untuk bisa disambungkan aliran listrik ke rumahnya. Akhirnya dengan sangat terpaksa PLN melayani, sehingga beban trafo dan jaringan di daerah tersebut mmenjadi lebih (*over load*).

- c. terjadinya *losses* daya pada jaringan dan trafo, yang diakibatkan oleh berbagai hal, sehingga trafo beserta jaringannya tidak bisa bekerja pada beban penuh.
2. Adanya *manuver* atau perubahan aliran beban di jaringan, setelah timbulnya gangguan.
3. Adanya pemakaian energi listrik yang di luar kontrol dan catatan PLN atau tanpa sepengetahuan PLN, sehingga PLN sulit mendeteksi beban trafo dan jaringan yang ada. Hal ini akan menyebabkan timbulnya gangguan beban lebih.

2.1.9.4 Gangguan Instabilitas

Yang dimaksud gangguan instabilitas adalah gangguan ketidakstabilan pada sistem (jaringan) listrik. Gangguan ini diakibatkan adanya hubungan singkat dan kehilangan pembangkit, yang selanjutnya akan menimbulkan ayunan daya (*power swing*). efek yang lebih besar akibat adanya ayunan daya ini adalah mengganggu sistem interkoneksi jaringan dan menyebabkan unit-unit pembangkit lepas sinkron (*out of synchronism*), sehingga *relay* pengaman salah kerja dan

menyebabkan timbulnya gangguan yang lebih luas. Untuk mengantisipasi agar gangguan instabilitas tidak terjadi, ada beberapa cara yaitu : kontruksi jaringan harus baik, sistem proteksi harus andal, pengoprasian dan pemeliharaan harus baik dan benar.

2.1.9.5 Gangguan Karena Kontruksi Jaringan Yang Kurang Baik

Yang dimaksud sistem jaringan di sini adalah mulai dari pembangkitan, penyaluran distribusi sampai dengan instalasi listrik pelanggan. Sedangkan yang dimaksud gangguan kontruksi jaringan adalah gangguan yang terjadi akibat kondisi jaringan yang tidak memenuhi ketentuan dan *standard* teknik. disini ingin ditekankan bahwa sistem jaringan sangat menentukan tingkat keberhasilan dan keandalan sistem tenaga listrik. Beberapa hal yang mengakibatkan gangguan sistem jaringan, adalah :

1. Perencanaan yang kurang baik misalnya : tidak mempertimbangkan keseimbangan antara *supply and demand* (daya yang tersedia dan kebutuhan beban pelanggan), *design* kontruksi yang kurang tepat, dan lain sebagainya.

2. Peralatan dan meterial yang dipasang mempunyai *standart* teknik yang rendah (*under quality*).
3. Pemasangan yang kurang baik, yang diakibatkan kesadaran pelaksana pekerjaan yang rendah dan pengawasan dari pihak *owner* yang kurang ketat.
4. pengoprasian dan pemeliharaan yang kurang baik, kegagalan kerja sistem proteksi (peralatan pengaman) dan penuaan pada, peralatan/material jaringan.

hal tersebut di atas akan menyebabkan timbulnya berbagai gangguan pada jaringan listrik.

2.1.9.6 Pencurian Daya

Denga bertambahnya konsumen, orang-orang yang Mengganggu daya dan merusak peralatan catu telah bertambah. Elemen-elemen yang kurang baik memanfaatkan ketidakmampuan perusahaan listrik harus selalu waspada setiap saat. Terpisah dari keuntungan materi dengan cara mengurani tagihan listrik, konsumen secara tidak langsung untung dengan mencuri energi. Departemen pajak meninjau penggunaan energi yang dipakai berproduksi dalam industri seperti misalnya penggilingan padi, penggilingan gandum, pesta perkawinan dan sebagainya. Konsumen listrik yang rendah langsung dipakai sebagai indeks kurangnya produksi. Jadi ada kecenderungan kuat pada konsumen-konsumen tertentu mencuri

daya listrik. Bagaimanapun juga pada saat daya diputus atau dibatasi, konsumen yang mencuri telah diketahui alasan-alasannya.¹²

2.1.9.7 Losses

Losses atau yang kita kenal sebagai rugi-rugi merupakan kerugian energy listrik/hilangnya energy listrik yang bisa berasal dari sisi teknis maupun Non teknis. losses yang berasal dari sisi teknis dapat timbul dari berbagai sebab, salah satunya disebabkan dari kualitas daya hantar listrik. Semakin bagus kualitas daya hantar listrik maka semakin rendah losses yang terjadi. Sedangkan losses non teknis umumnya diakibatkan pohon-pohon yang menempel di jaringan maupun dari sisi pelanggan yaitu rumah yang tidak standar/abnormal (pencurian). losses merupakan salah satu penyebab kerugian yang dialami oleh PLN.

Untuk itu PT.PLN (Persero) menekankan untuk setiap wilayah angka losses dibawah losses nasional sebesar 8 %. Jika terjadi penurunan losses maka berdampak pada peningkatan pendapatan penjualan listrik. Setiap penurunan losses 1 % sampai dengan 2 % akan meningkatkan pendapatan PLN antara 0.7 triliun–1,4 triliun rupiah. Guna menekan losses sebesar 1 persen bukan perkara mudah, dibutuhkan perbaikan jaringan dari sisi teknis kemudian menekan angka pencurian listrik melalui Tim P2TL yang sudah dibentuk.

¹² A S Pabla dan Ir Abdul Hadi, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, (Jakarta: Erlangga, 1994) h.136

Mengatasi losses jaringan dan penekanan tingkat gangguan yang bersifat teknis dan non teknis dapat dilakukan dengan melaksanakan program perbaikan (rehabilitas) jaringan dengan cara sesuai dan prosedur yang telah ditetapkan.

Salah satu dari penyebab adanya losses adalah adanya konektor sambungan atau jamperan yang kurang kencang / loss kontak Untuk menurunkan losses dari bidang teknik yaitu dengan penggantian LLC (*life Line Connecor*) ke CCO (*Compression Connector*) pada jaringan tegangan rendah dan sambungan rumah.

2.1.10 Jatuh Tegangan (*drop voltage*)

Panjang sebuah jaringan tegangan rendah (JTR) dapat didesain dengan mempertimbangkan jatuh tegangan (*drop voltage*).

Drop tegangan adalah perbedaan tegangan antara tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Jatuh tegangan selalu terjadi pada jaringan , baik pada pelanggan maupun perusahaan listrik. Jatuh tegangan pada saluran transmisi adalah selisih antara tegangan pada sisi kirim (*sending end*) dan tegangan pada sisi terima (*receive end*). Dengan semakin besar pula perbedaan nilai tegangan yang ada pada sisi kirim dengan yang ada sisi terima. Apabila perbedaan nilai tegangan tersebut melebihi standar yang ditentukan, maka mutu penyaluran tersebut rendah. didalam saluran transmisi persoalan tegangan sangat penting, baik dalam keadaan oprasional maupun dalam perencanaan sehingga

harus selalu diperhatikan tegangan pada setiap titik saluran. Maka pemilihan penghantar (penampang penghantar) untuk tegangan mencegah harus diperhatikan. Berdasarkan dari SPLN 1: 1978, dimana ditentukan bahwa variasi tegangan pelayanan, sebagian aibat jatuh tegangan, karena adanya perubahan beban, maksimum +5% dan minimum -10% dari tegangan nominalnya.¹³

Besarnya rugi tegangan pada saluran transmisi tersebut, diukur pada titik yang paling jauh (ujung).

Drop tegangan pada saluran adalah:

$$\Delta V = V_{\text{send}} - V_{\text{receive}}$$

Keterangan:

ΔV = Tegangan jatuh (volt)

V_s = Tegangan sumber (volt)

V_r = Tegangan pada sisi penerima (volt)

Besarnya persentase *drop* tegangan pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan

$$\% \text{ Drop Voltage} = \frac{Dv}{V_{\text{send}}} \times 100\%$$

Keterangan :

% drop voltage = Persentase tegangan jatuh (drop voltage)

V_s = Tegangan sumber (Volt)

¹³ SPLN 1, *tegangan-tegangan Standar*, (Jakarta; Standar PT.PLN Persero, 1978) h.6

Dari persamaan terlihat bahwa nilai *drop* tegangan ditentukan oleh besarnya tegangan yang dikirim serta besar tegangan yang diterima. Beberapa faktor lain yang mempengaruhi besarnya tegangan jatuh yaitu : teknis, materi dan lingkungan.

2.2 Kerangka Berpikir

Penelitian dalam analisis perbandingan sambungan kabel *tab connector* dan *ccoa* pada sistem tegangan rendah yang didasari pada penggunaan sambungan listrik cadangan ketika sumber listrik yang berasal dari PT PLN mengalami *losses* dan tidak stabilnya arus listrik.

Ketika dihadapi dengan keadaan *losses*nya, tidak stabilnya arus listrik, tidak seimbangya beban listrik pada sambungan *tab connector*, maka sambungan *tap connector* yang ada di sambungan–sambungan tiang rumah akan di rekonektorisasi dengan sambungan bimetal.

Rekonektorisasi pada sambungan *tab connector* dapat mengurangi/menekan rugi–rugi proses pengiriman listrik yang hilang, *losses* seminimal mungkin, ketidak stabilnya arus listrik, tidak seimbangya beban listrik yang di pakai oleh konsumen (pelanggan) adalah dengan cara rekonektorisasi sambungan kabel *tab connector* bimetal yang ada di sambungan tiang dan sambungan kabel rumah.

Karena semakin banyak jumlah sambungan rumah yang ada pada jaringan distribusi suatu gardu maka akan memperbanyak jumlah sambungan yang dipakai. Dalam pengoperasiannya sambungan jenis tap konektor memiliki tegangan jatuh yang cukup besar dibandingkan jenis sambungan *ccoa*. Untuk mengurangi/menekan rugi-rugi proses pengiriman listrik yang hilang, diperlukan perencanaan yang pasti tentang jumlah perbandingan antara jenis sambungan tap konektor serta sambungan *ccoa*.