



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Konsep Dasar Sistem Tenaga Listrik<sup>1</sup>

Suatu sistem tenaga listrik secara sederhana terdiri atas Sistem Pembangkit, Sistem Transmisi dan Gardu Induk, Sistem Distribusi, dan Sistem Sambungan Pelayanan. Sistem-sistem ini saling berkaitan dan membentuk suatu sistem tenaga listrik.

Sistem distribusi adalah sistem yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik kepada para pemanfaat. Sistem distribusi terbagi 2 bagian:

1. Sistem Distribusi Tegangan Menengah,
2. Sistem Distribusi Tegangan Rendah.

Sistem Distribusi Tegangan Menengah mempunyai tegangan kerja di atas 1 kV dan setinggi-tingginya 35 kV. Sistem Distribusi Tegangan Rendah mempunyai tegangan kerja setinggi-tingginya 1 kV.

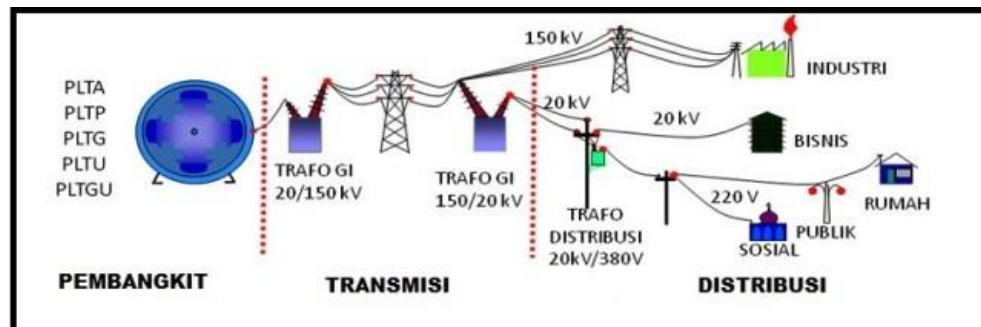
Jaringan distribusi Tegangan Menengah berawal dari Gardu Induk/Pusat Listrik pada sistem terpisah/isolated. Pada beberapa tempat berawal dari pembangkit listrik. Bentuk jaringan dapat berbentuk radial atau tertutup (radial open loop). Jaringan distribusi Tegangan Rendah berbentuk radial murni. Sambungan Tenaga Listrik adalah bagian paling hilir dari sistem distribusi tenaga listrik.

Pada Sambungan Tenaga Listrik tersambung Alat Pembatas dan Pengukur (APP) yang selanjutnya menyalurkan tenaga listrik kepada pemanfaat.

Konstruksi keempat sistem tersebut dapat berupa Saluran Udara atau Saluran Bawah Tanah disesuaikan dengan kebijakan manajemen, masalah kontinuitas pelayanan, jenis pelanggan, pada beban atas permintaan khusus dan masalah biaya investasi.

---

<sup>1</sup> PT PLN (Persero), *Buku 1 Kriteria Desain Enjinering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*, Jakarta, 2010, bab 4, hlm. 1.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik

## 2.2 Aspek Perencanaan Jaringan Distribusi<sup>1</sup>

Jaringan distribusi Tegangan Menengah saluran udara dipakai umumnya untuk daerah dengan jangkauan luas, daerah padat beban rendah atau daerah-daerah penyangga antara kota dan desa.

Biaya investasi Saluran Udara relatif murah, mudah dalam pembangunannya, mudah pada aspek pengoperasian, akan tetapi padat pemeliharaan. Tingkat kontinuitas rendah dengan konfigurasi sistem umumnya radial (Fishbone).

Jaringan distribusi Tegangan Menengah saluran bawah tanah dipakai umumnya untuk daerah padat beban tinggi (beban puncak lebih dari 2,5 MVA/km<sup>2</sup> dengan luas minimal 10 km<sup>2</sup>) dengan jangkauan terbatas. Biaya investasi mahal, sulit dalam pembangunan, mudah dalam pengoperasian dan pemeliharaan, tingkat kontinuitas tinggi.

Pada jaringan dengan saluran bawah tanah selalu direncanakan dalam bentuk “loop” guna menghindari pemadaman (black – out) akibat gangguan. Pada sistem distribusi Tegangan Rendah dan Sambungan Tenaga Listrik digunakan konfigurasi sistem radial murni. Hanya pada pelanggan-pelanggan tertentu diberikan pasokan alternatif jika terjadi pemadaman. Konstruksi jaringan umumnya saluran udara. Pemakaian saluran bawah tanah umumnya untuk kabel daya (kabel naik, optik kabel), pada daerah-daerah eksklusif atas

<sup>1</sup> PT PLN (Persero), *Buku 1 Kriteria Desain Enjinering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*, Jakarta, 2010, bab 4, hlm. 2.



permintaan khusus, pada daerah-daerah bisnis khusus serta atas dasar kebijakan perencanaan otoritas setempat.

### 2.3 Konfigurasi Jaringan<sup>1</sup>

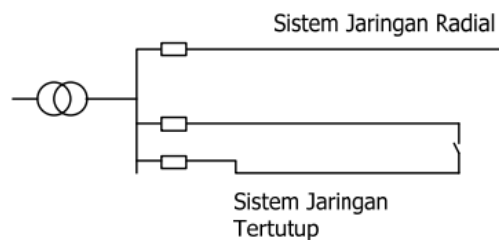
Secara umum konfigurasi suatu jaringan tenaga listrik hanya mempunyai 2 konsep konfigurasi:

#### A. Jaringan radial

Yaitu jaringan yang hanya mempunyai satu pasokan tenaga listrik, jika terjadi gangguan akan terjadi “black-out” atau padam pada bagian yang tidak dapat dipasok.

#### B. Jaringan bentuk tertutup

Yaitu jaringan yang mempunyai alternatif pasokan tenaga listrik jika terjadi gangguan. Sehingga bagian yang mengalami pemadaman (black-out) dapat dikurangi atau bahkan dihindari.



Gambar 2.2 Konfigurasi Jaringan Distribusi Dasar

Berdasarkan kedua pola dasar tersebut, dibuat konfigurasi-konfigurasi jaringan sesuai dengan maksud perencanaannya sebagai berikut:

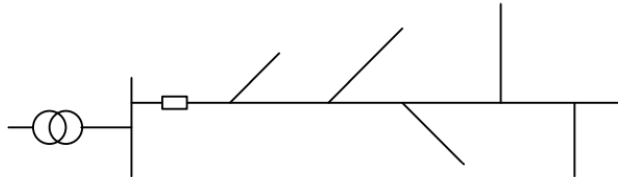
#### 1. Konfigurasi Tulang Ikan (Fish-Bone)

Konfigurasi fishbone ini adalah tipikal konfigurasi dari saluran udara Tegangan Menengah beroperasi radial. Pengurangan luas pemadaman dilakukan dengan mengisolasi bagian yang terkena

<sup>1</sup> PT PLN (Persero), *Buku 1 Kriteria Desain Enjinering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*, Jakarta, 2010, bab 4, hlm. 3.



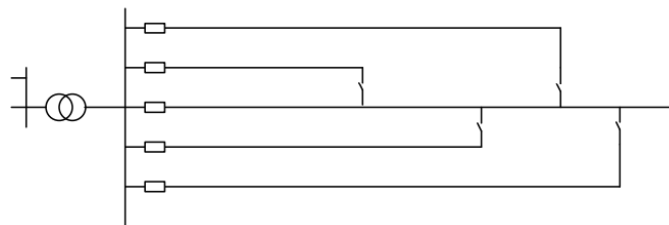
gangguan dengan memakai pemisah [Pole Top Switch (PTS), Air Break Switch (ABSW)] dengan koordinasi relai atau dengan system SCADA. Pemutus balik otomatis PBO (Automatic Recloser) dipasang pada saluran utama dan saklar seksi otomatis SSO (Automatic Sectionalizer) pada pencabangan.



Gambar 2.3 Konfigurasi Tulang Ikan (Fishbone)

## 2. Konfigurasi Kluster (Cluster / Leap Frog)

Konfigurasi saluran udara Tegangan Menengah yang sudah bertipikal sistem tertutup, namun beroperasi radial (Radial Open Loop). Saluran bagian tengah merupakan penyulang cadangan dengan luas penampang penghantar besar.



Gambar 2.4 Konfigurasi Kluster (Leap Frog)

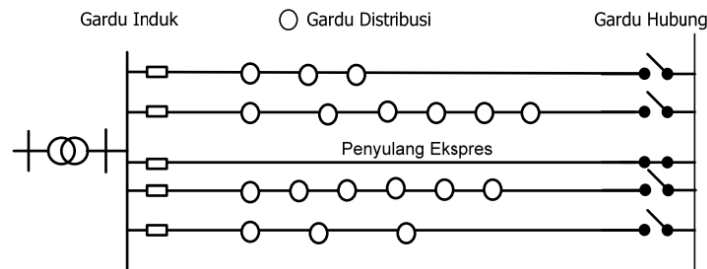
## 3. Konfigurasi Spindel (Spindle Configuration)

Konfigurasi spindel umumnya dipakai pada saluran kabel bawah tanah. Pada konfigurasi ini dikenal 2 jenis penyulang yaitu pengulang cadangan (standby atau express feeder) dan penyulang operasi (working feeder). Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai back-up supply jika terjadi gangguan pada penyulang operasi.

Untuk konfigurasi 2 penyulang, maka faktor pembebanan hanya 50%. Berdasarkan konsep Spindel jumlah penyulang pada 1 spindel



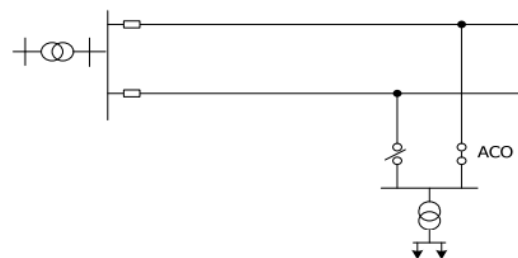
adalah 6 penyulang operasi dan 1 penyulang cadangan sehingga faktor pembebanan konfigurasi spindel penuh adalah 85 %. Ujung-ujung penyulang berakhir pada gardu yang disebut Gardu Hubung dengan kondisi penyulang operasi “NO” (Normally Open), kecuali penyulang cadangan dengan kondisi “NC” (Normally Close).



Gambar 2.5 Konfigurasi Spindel (Spindle Configuration)

#### 4. Konfigurasi Fork

Konfigurasi ini memungkinkan 1 (satu) Gardu Distribusi dipasok dari 2 penyulang berbeda dengan selang waktu pemadaman sangat singkat (Short Break Time). Jika penyulang operasi mengalami gangguan, dapat dipasok dari penyulang cadangan secara efektif dalam waktu sangat singkat dengan menggunakan fasilitas Automatic Change Over Switch (ACOS). Pencabangan dapat dilakukan dengan sadapan Tee- Off (TO) dari Saluran Udara atau dari Saluran Kabel tanah melalui Gardu Distribusi.



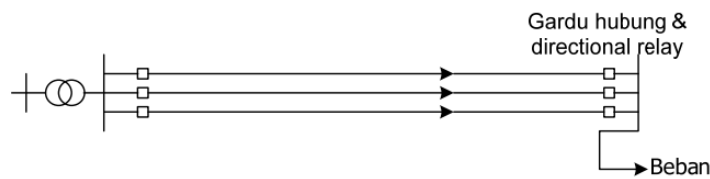
Gambar 2.6 Konfigurasi Fork



### 5. Konfigurasi Spotload (Parallel Spot Configuration)

Konfigurasi yang terdiri sejumlah penyulang beroperasi paralel dari sumber atau Gardu Induk yang berakhir pada Gardu Distribusi.

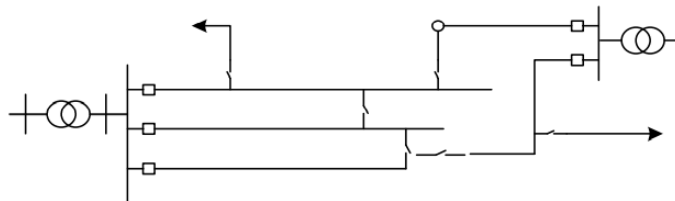
Konfigurasi ini dipakai jika beban pelanggan melebihi kemampuan hantar arus penghantar. Salah satu penyulang berfungsi sebagai penyulang cadangan, guna mempertahankan kontinuitas penyaluran. Sistem harus dilengkapi dengan rele arah (Directional Relay) pada Gardu Hilir (Gardu Hubung).



Gambar 2.7 Konfigurasi Spotload (Parallel Spot Configuration)

### 6. Konfigurasi Jala-Jala (Grid, Mesh)

Konfigurasi jala-jala, memungkinkan pasokan tenaga listrik dari berbagai arah ke titik beban. Rumit dalam proses pengoperasian, umumnya dipakai pada daerah padat beban tinggi dan pelanggan-pelanggan pemakaian khusus.



Gambar 2.8 Konfigurasi Jala-jala (Grid, Mesh)

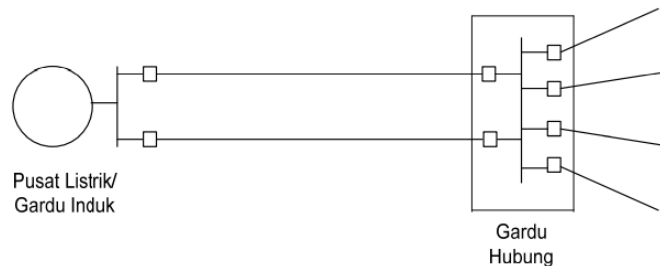
### 7. Konfigurasi lain-lain

Selain dari model konfigurasi jaringan yang umum dikenal sebagaimana diatas, terdapat beberapa model struktur jaringan yang dapat dipergunakan sebagai alternatif model model struktur jaringan.

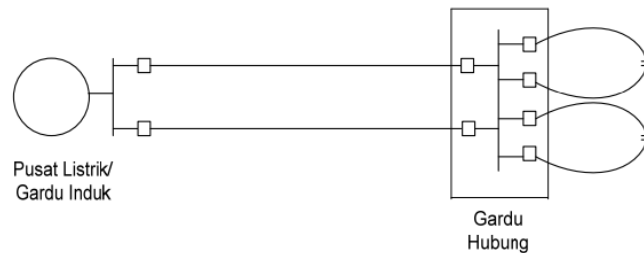


### Struktur Garpu dan Bunga

Struktur ini dipakai jika pusat beban berada jauh dari pusat listrik/Gardu Induk. Jaringan Tegangan Menengah (JTM) berfungsi sebagai pemasok, Gardu Hubung sebagai Gardu Pembagi, Pemutus Tenaga sebagai pengaman dengan rele proteksi gangguan fasa-fasa dan fasa-tanah pada JTM yang berawal dari Gardu Hubung.



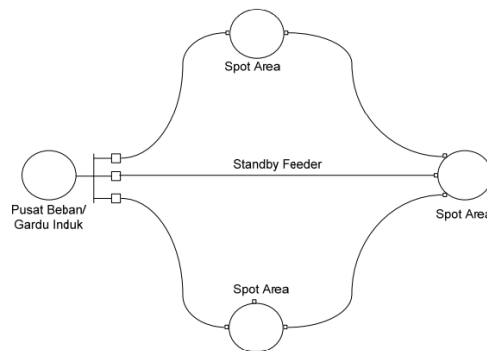
Gambar 2.9 Konfigurasi Struktur Garpu.



Gambar 2.10 Konfigurasi Struktur Bunga.

### Struktur Rantai

Struktur ini dipakai pada suatu kawasan yang luas dengan pusat-pusat beban yang berjauhan satu sama lain.



Gambar 2.11 Konfigurasi Struktur Rantai



#### 2.4 Konsep Perencanaan Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah<sup>1</sup>

Mengingat biaya investasi yang mahal dan keunggulannya dibandingkan dengan saluran udara Tegangan Menengah, Saluran Kabel tanah Tegangan Menengah (SKTM) dipakai pada hal-hal khusus:

1. Daerah padat beban tinggi,
2. Segi estetika,
3. Jenis pelanggan kritis,
4. Permintaan khusus.

Pada tingkat keadaan kontinuitas sedikitnya tingkat-3, Kabel tanah digunakan untuk pemakaian:

1. Kabel keluar (Opstik kabel dari pembangkit / GI ke tiang SUTM),
2. Kabel Tee-Off dari SUTM ke gardu beton,
3. Penyeberangan sungai, jalur kereta api.

Konfigurasi jaringan kabel tanah didesain dalam bentuk loop (Radial Open Loop), sebaiknya dengan sesama kabel tanah. Apabila “Loop” dengan hanya 1(satu) penyulang, maka pembebanan kabel hanya 50 %. Jika sistem memakai penyulang cadangan (Express Feeder) dapat dibebani 100% kapasitas kabel. Bentuk konfigurasi yang umum adalah:

1. Struktur spindel, minimal 2 penyulang berbeban dan 1 penyulang cadangan / tanpa beban,
2. Struktur Kluster,
3. Spotload untuk pelanggan dengan beban lebih besar daripada kapasitas kabel,
4. “Loop” antara 2 penyulang baik dari 1 sumber pembangkit atau dari sumber yang berbeda (Fork system).

Adanya masalah faktor perletakan (laying factor) akan mengurangi Kemampuan Hantar Arus kabel, sehingga penampang kabel sepanjang 300 meter (1 haspel) dari Gardu Induk dipilih setingkat lebih besar dari penampang kabel penyulang operasi.

---

<sup>1</sup> PT PLN (Persero), *Buku 1 Kriteria Desain Enjinereng Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*, Jakarta, 2010, bab 4, hlm. 20-21.





## 2.5 Konstruksi Saluran Tanah Tegangan Menengah (SKTM)<sup>2</sup>

Konstruksi SKTM ini adalah konstruksi yang aman dan andal untuk mendistribusikan tenaga listrik Tegangan Menengah, tetapi relatif lebih mahal untuk penyaluran daya yang sama. Keadaan ini dimungkinkan dengan konstruksi isolasi penghantar per Fase dan pelindung mekanis yang dipersyaratkan. Pada rentang biaya yang diperlukan, konstruksi ditanam langsung adalah termurah bila dibandingkan dengan penggunaan konduit atau bahkan tunneling (terowongan beton).

Penggunaan Saluran Kabel bawah tanah Tegangan Menengah (SKTM) sebagai jaringan utama pendistribusian tenaga listrik adalah sebagai upaya utama peningkatan kualitas pendistribusian. Dibandingkan dengan SUTM, penggunaan SKTM akan memperkecil resiko kegagalan operasi akibat faktor eksternal / meningkatkan keamanan ketenagalistrikan. Secara garis besar, termasuk dalam kelompok SKTM adalah:

1. SKTM bawah tanah – underground MV Cable,
2. SKTM laut – Submarine MV Cable.

Selain lebih aman, penggunaan SKTM lebih mahal untuk penyaluran daya yang sama sebagai akibat konstruksi isolasi penuh penghantar per Fase dan pelindung mekanis yang dipersyaratkan sesuai keamanan ketenagalistrikan. Penerapan instalasi SKTM seringkali tidak dapat lepas dari instalasi Saluran Udara Tegangan Menengah sebagai satu kesatuan sistem distribusi sehingga masalah transisi konstruksi diantaranya tetap harus dijadikan perhatian. Adapun pemilihan jenis konstruksi SKTM adalah sebagai berikut:

---

<sup>2</sup> PT PLN (Persero), *Buku 5 Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*, Jakarta, 2010, bab 4, hlm. 3-7.

Tabel 2.1 Pemilihan Jenis Konstruksi SKTM

No.	Subjek	Tanam Langsung	Saluran Pipa	Terowongan
1	Waktu pengerjaan	Singkat	Lama	Lebih lama
2	Biaya	Murah	Mahal	Mahal sekali
3	Kemudahan konstruksi	Mudah	Sulit	Lebih sulit
4	Penggantian kabel	Sulit	Mudah	Sangat mudah
5	Resiko kerusakan	Tinggi	Rendah	Sangat kecil
6	Kemampuan penyaluran daya	Kurang	Baik	Paling baik
7	Instalasi penyambungan	Agak mudah	Sulit	Mudah

Pemilihan jenis konstruksi ini harus sesuai dengan kemampuan financial perusahaan dan kebutuhan. Untuk perolehan biaya perusahaan lebih murah, penerapan terowongan dapat saja bersama utilitas prasarana lain dibawah koordinasi PEMDA. Dengan pertimbangan optimasi biaya perusahaan, pada pedoman standar konstruksi SKTM ini diutamakan sistem tanam langsung untuk diterapkan di PT PLN Persero.

## 2.6 Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Menengah di Atas 8 MVA-60 MVA<sup>3</sup>

### A. Tegangan Instalasi Pelanggan

Tegangan yang diperkenankan pada instalasi pelanggan adalah sama dengan tegangan nominal (20 kV)  $\pm$  5% berdasarkan perhitungan dan atau pengukuran.

<sup>3</sup> PT PLN (Persero), *SPLN 56-3-1:1996 Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Menengah di Atas 8 MVA s/d 60 MVA*, Jakarta, 1996, hlm. 3-13



## B. Jumlah Sirkit dan Pemilihan Jenis/Ukuran Penghantar

1. Jumlah sirkit ditentukan dan besarnya beban dibagi KTD penghantar. Pemilihan jenis/ukuran penghantar dilakukan berdasarkan pertimbangan ekonomis dan kemudahan pemasangan. Karena kesukaran mendapatkan jalur bebas (ROW) maka sedapat mungkin dipilih jumlah sirkit yang paling sedikit (minimum).
2. Pada kondisi/keadaan khusus bila keandalan yang dikehendaki lebih tinggi, maka jumlah sirkit yang berdasar pada point A di atas ditambah satu sirkit cadangan dengan jenis dan ukunn penghantar yang sama.
3. Perhitungan di atas berdasarkan asumsi bahwa untuk pelanggan 8 MVA s/d 60 MVA dilayani oleh SKTM tersendiri, terpisah dari SKTM lainnya.
4. Pada penentuan jumlah sirkit juga perlu dipertimbangkan kesukaran jalur bebas ROW). Dengan adanya kesukaran dalam perbaikan/pemeliharaan bila terjadi gangguan maka harus dihindari pemasangan kabel yang bertumpuk (sirkit kedua di atas sirkit pertama), kecuali bila dibangun terowongan khusus untuk itu. Jadi bila ada masalah jumlah sirkit yang melebihi jalur bebas yang ada sebaiknya dipilih jenis dan ukuran penghantar yang lebih besar untuk mengurangi jumlah sirkit.

## C. Jenis Penghantar

1. Kabel tanah berinti tunggal, berisolasi XLPE, berpelindung tembaga, serta berselubung thermoplastik yang dipasang sejajar/segitiga sesuai SPLN 43-5.
2. Kabel tanah berinti tiga bersolasi XLPE berpelindung tembaga atau berpenghantar konsentris berperisai baja serta berselubung thermoplastik sesuai SPLN 43-5.

#### D. Ukuran Penghantar Minimum

Ukuran penghantar minimum yang diperkenankan adalah 240 mm<sup>2</sup> untuk penghantar aluminium maupun tembaga.

#### E. Kuat Hantar Arus (KHA)

1. KHA terus menerus kabel tanah berinti tunggal, berisolasi XLPE berpelingtung tembaga serta berselubung thermoplastik yang dipasang sejajar/segitiga.
2. KHA terus menerus kabel tanah berinti tiga, berisolasi XLPE, berpelingtung tembaga atau berpelingtung konsentris, berperisai baja serta berselubung thermoplastik.

Tabel 2.2 KHA terus-menerus kabel tanah berinti tunggal, berisolasi XLPE, berpelingtung pita tembaga, berselubung PVC

Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	KHA Terus-Menerus (A)			
	Dipasang Sejajar		Dipasang Segitiga	
	Al	Cu	Al	Cu
3 x 1 x 240	329	410	303	385
3 x 1 x 300	368	435	342	435
3 x 1 x 400	408	494	387	489

Tabel 2.3 KHA terus-menerus kabel tanah berinti tiga, berisolasi XLPE

Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	KHA Terus-Menerus (A)	
	Al	Cu
3 x 1 x 240	358	474
3 x 1 x 300	398	533

#### F. Kemampuan Transfer Daya (KTD)

1. KTD terus menerus kabel tanah berinti tunggal, berisolasi XLPE, berpelingtung tembaga atau berpelingtung konsentris, berpensai baja serta berselubung thermoplastik.



2. KTD terus menerus kabel tanah berinti tiga, berisolasi XLPE, berpelingtung tembaga atau berpelinghantar konsentris berperisai baja serta berselubung thermoplastik.

Tabel 2.4 KTD kabel tanah berinti tunggal, berisolasi XLPE, berpelingtung pita tembaga, berselubung PVC

Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	KTD Pada 20 kV (MVA)			
	Dipasang Sejajar		Dipasang Segitiga	
	Al	Cu	Al	Cu
3 x 1 x 240	11,4	14,2	10,5	13,3
3 x 1 x 300	12,7	15,8	11,8	15,1
3 x 1 x 400	14,1	17,1	13,4	16,9

Tabel 2.5 KTD kabel tanah berinti tiga, berisolasi XLPE

Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	KTD Pada 20 kV (MVA)	
	Al	Cu
3 x 1 x 240	12,4	16,4
3 x 1 x 300	13,8	18,5

#### G. Panjang Maksimum Penghantar

Panjang maksimum penghantar dengan KHA sesuai Tabel 2.2 dan 2.3 di atas dan jatuh tegangan pada beban terkonsentrasi sebesar 5% dan tegangan nominal dapat dilihat masing-masing pada Tabel 2.6 dan Tabel 2.7.

Tabel 2.6 Panjang maksimum kabel tanah berinti tunggal, berisolasi XLPE, berpelindung pita tembaga, berselubung PVC, berbeban diujung, jatuh tegangan maksimum 5%

Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Panjang Maksimum Kabel (km)			
	Dipasang Sejajar		Dipasang Segitiga	
	Al	Cu	Al	Cu
3 x 1 x 240	6,3	6,5	8	8,6
3 x 1 x 300	6,4	6,5	8,3	8,7
3 x 1 x 400	6,6	6,7	8,6	8,9

Tabel 2.7 Panjang maksimum kabel tanah berinti tiga, berisolasi XLPE, berpelindung pita tembaga, berselubung PVC, berbeban di ujung dan jatuh tegangan maksimum 5%

Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Panjang Maksimum Kabel (km)	
	Al	Cu
3 x 1 x 240	8,5	9,2
3 x 1 x 300	8,8	9,4

Angka pada Tabel 2.6 dan 2.7 diperoleh dengan dasar perhitungan sebagai berikut:

1. Temperatur maksimum kabel 70°C
2. Faktor daya 0,85
3. Tegangan operasi 20 kV

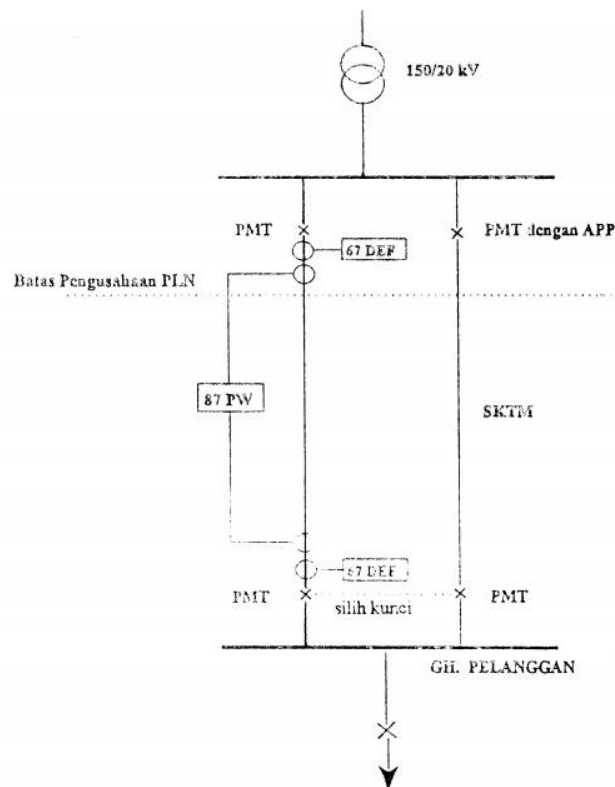
#### H. Konfigurasi Jaringan

##### 1. Tipe I

Tipe I untuk pelanggan dengan daya 8 s/d 60 MVA, dimana dalam keadaan normal pelanggan di suplai dengan satu penyulang Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM) dan disediakan satu penyulang SKTM cadangan dengan PMT di GI tetap masuk (dan PMT di GH silih kunci satu sama lain antara



penyulang utama dan penyulang cadang), pengukuran (APP) di GI-PLN, PMT di GH dilengkapi dengan fasilitas kendali jauh (remote control) dan rele arah serta rele diferensial (dengan pilot wire).



Gambar 2.12 Sistem sambungan tegangan menengah tipe I

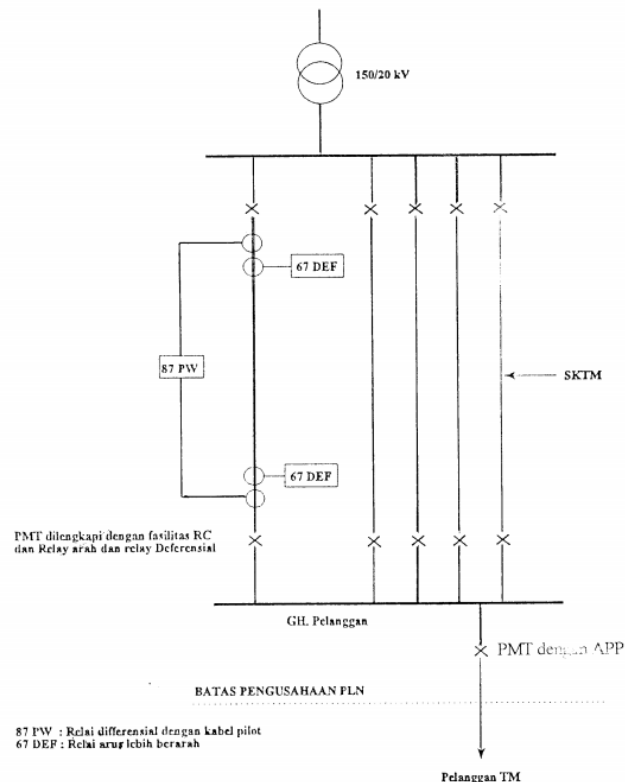
Keterangan:

- a. Pada keadaan normal hanya satu penyulang yang memikul beban, dan penyulang lain stand by (PMT di GI tetap masuk, PMT di GH silih kunci satu sama lain).
- b. Pengukuran di Gardu Induk,
- c. Penyulang 2 idem penyulang 1.

## 2. Tipe II

Tipe II untuk pelanggan dengan daya 8 s/d 60 MVA, dimana pada keadaan normal beberapa penyulang SKTM beroperasi paralel, pengukuran (APP) di GH dan GH pelanggan

dilengkapi dengan SCADA, pada PMT di GH dilengkapi dengan rele arah gangguan tanah; perlu diberikan catatan bahwa bila memungkinkan dapat dipasang kawat pilot dan rele diferensial, dan bila memungkinkan dapat dipasang satu penyulang cadangan.



Gambar 2.13 Sistem sambungan tegangan menengah tipe II

Keterangan:

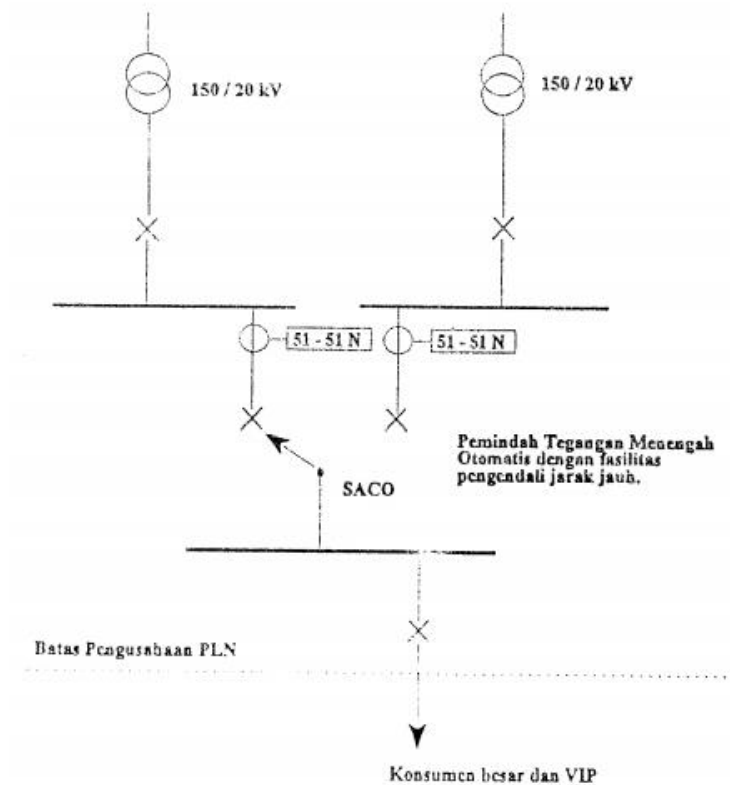
- Dalam operasi normal beberapa penyulang beroperasi parallel mensuplai beban,
- Pada sistem spot tersebut harus memenuhi tingkat kriteria keandalan yang telah disepakati Bersama,
- Pengukuran di GH,
- Penyulang lain idem dengan penyulang 1.





### 3. Tipe III

Tipe III, (Tie-line, SKTM) untuk pelanggan besar & sangat penting/VIP, dimana pelanggan disuplai dari dua (2) buah GI dengan pulau operasi (Island operation) yang berbeda dan pada sel 20 kv incoming ke GH dari dua buah GI tersebut dilengkapi dengan SACO (Semi Automatic Change Over).



Gambar 2.14 Sistem sambungan tegangan menengah tipe III

Keterangan:

- Suplai dari dua buah GI dengan pulau operasi yang berbeda (Island Operation),
- Pada saluran 20 kV incoming ke GH dari dua buah GI tersebut dilengkapi dengan SACO (Semi Automatic Change Over).

## 2.7 Sinkronisasi Jaringan

Sinkronisasi adalah suatu cara untuk menghubungkan dua sumber atau beban Arus Bolak-Balik (AC). Sumber AC tersebut antara lain generator dan beban adalah transformer yang akan digabungkan atau diparalel dengan tujuan untuk meningkatkan keandalan dan kapasitas sistem tenaga listrik.

Proses sinkronisasi jaringan listrik memiliki persyaratan yang harus dipenuhi sebelum dioperasikan. Berikut merupakan syarat-syarat yang harus dipenuhi:

- A. Persamaan Frekuensi ( $f_1 = f_2 = f_3 = f_n$ )

Pada saat melakukan paralel jaringan listrik frekuensi pada jaringan-jaringan tersebut harus sama “Match”. Pada umumnya frekuensi yang digunakan di Indonesia adalah sebesar 50 Hz sebagai indikator kerja dalam kondisi normal, sesuai dengan standar internasional.

- B. Persamaan Tegangan ( $U_1 = U_2 = U_3 = U_N$ )

Parameter selanjutnya yang harus dipenuhi adalah persamaan tegangan. Pada proses sinkronisasi, tegangan pada setiap jaringan yang akan diparalelkan harus sama. Oleh karena itu, sebelum melakukan paralel jaringan (sinkronisasi jaringan) kita harus mengetahui besarnya tegangan pada tiap jaringan yang akan diparalelkan.

- C. Persamaan Sudut Fasa ( $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi_n$ )

Persamaan sudut fasa menjadi persyaratan yang harus dipenuhi dalam mengoperasikan jaringan secara paralel. Sudut fasa (perbedaan fasa) adalah persegeran sudut antara satu sirkuit dengan sirkuit listrik yang lain untuk fasa yang sama.

- D. Persamaan Urutan Fasa ( $RST_1 = RST_2 = RST_3 = RST_n$ )

Urutan fasa pada masing-masing jaringan juga harus sama, agar proses sinkronisasi jaringan dapat dilakukan.



## 2.8 Keandalan Kontinuitas Penyaluran<sup>1</sup>

Tingkat Keandalan kontinuitas penyaluran bagi pemanfaat tenaga listrik adalah berapa lama padam yang terjadi dan berapa banyak waktu yang diperlukan untuk memulihkan penyaluran kembali tenaga listrik. Secara ideal tingkat keandalan kontinuitas penyaluran dibagi atas 5 tingkat:

Tingkat-1: Pemadaman dalam orde beberapa jam. Umumnya terjadi pada sistem saluran udara dengan konfigurasi radial.

Tingkat-2: Pemadaman dalam orde kurang dari 1 jam. Mengisolasi penyebab gangguan dan pemulihan penyaluran kurang dari 1 jam. Umumnya pada sistem dengan pasokan penyulang cadangan atau sistem loop.

Tingkat-3: Pemadaman dalam orde beberapa menit. Umumnya pada sistem yang mempunyai sistem SCADA.

Tingkat-4: Pemadaman dalam orde detik. Umumnya pada sistem dengan fasilitas automatic switching pada sistem fork.

Tingkat-5: Sistem tanpa pemadaman. Keadaan dimana selalu ada pasokan tenaga listrik, misalnya pada sistem spotload, transformator yang bekerja paralel.

Keputusan untuk mendesain sistem jaringan berdasarkan tingkat keandalan penyaluran tersebut adalah faktor utama yang mendasari memilih suatu bentuk konfigurasi sistem jaringan distribusi dengan memperhatikan aspek pelayanan teknis, jenis pelanggan dan biaya. Pada prinsipnya dengan tidak memperhatikan bentuk konfigurasi jaringan, desain suatu sistem jaringan adalah sisi hulu mempunyai tingkat kontinuitas yang lebih tinggi dari sisi hilir. Lama waktu pemulihan penyaluran dapat dipersingkat dengan mengurangi akibat dari penyebab gangguan, misalnya pemakaian PBO, SSO, penghantar berisolasi, tree guard atau menambahkan sistem SCADA.

---

<sup>1</sup> PT PLN (Persero), *Buku 1 Kriteria Desain Enjinering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*, Jakarta, 2010, bab 4, hlm. 8.

## 2.9 Daya Listrik<sup>4</sup>

Ada beberapa jenis daya listrik yang akan dibahas pada sub-bab ini, yaitu:

### A. Daya Semu

Daya semu adalah daya yang melewati suatu saluran penghantar yang ada pada jaringan transmisi maupun jaringan distribusi. Dimana untuk daya semu ini dibentuk oleh besaran tegangan yang dikalikan dengan besaran arus.

Untuk 1 phasa yaitu :

$$S = V \times I \dots\dots\dots(2.1)$$

Untuk 3 phasa yaitu :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$$S = \text{Daya semu (VA)}$$

$$V = \text{Tegangan yang ada (V)}$$

$$I = \text{Besaran arus yang mengalir (A)}$$

### B. Daya Aktif

Daya aktif atau disebut juga dengan daya nyata adalah daya yang dipakai untuk menggerakkan berbagai macam peralatan mekanik. Daya aktif ini merupakan pembentuk dari besaran tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya.

Untuk 1 phasa :

$$P = V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots(2.3)$$

Untuk 3 phasa :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

---

<sup>4</sup> Ir. Wahyudi Sarimun.N.MT, *Buku Saku Pelayanan Teknik (Yantek)*, Geramond, Jakarta, 2011, hlm. 25.



- $P$  = Daya aktif (watt)  
 $V$  = Tegangan yang ada (V)  
 $I$  = Besar arus yang mengalir (A)  
 $\cos \varphi$  = Faktor daya

### C. Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan daya yang hilang atau selisih daya semu yang masuk pada saluran dengan daya aktif yang terpakai pada daya mekanis dan daya panas.

Untuk 1 phasa :

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \dots \dots \dots (2.5)$$

Untuk 3 phasa :

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

- $P$  = Daya aktif (watt)  
 $V$  = Tegangan yang ada (V)  
 $I$  = Besar arus yang mengalir (A)  
 $\sin \varphi$  = Faktor daya

## 2.10 Kubikel Tegangan Menengah<sup>5</sup>

Kubikel Tegangan Menengah adalah seperangkat peralatan listrik yang dipasang pada Gardu Induk dan Gardu Distribusi/Gardu Hubung yang berfungsi sebagai pembagi, pemutus, penghubung, pengontrol dan pengaman sistem penyaluran tenaga listrik tegangan menengah.

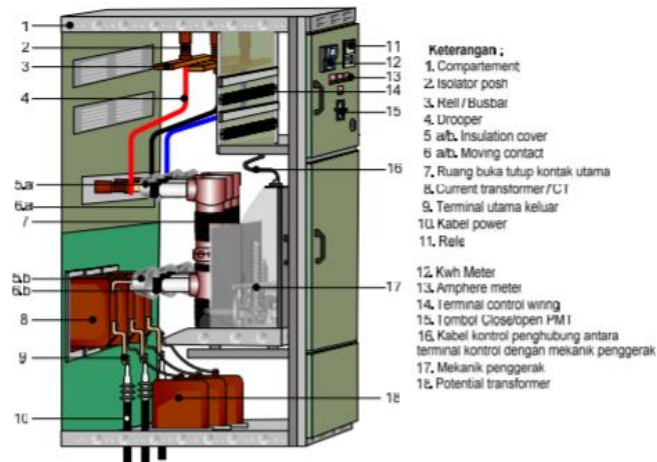


Gambar 2.15 Kubikel Tegangan Menengah

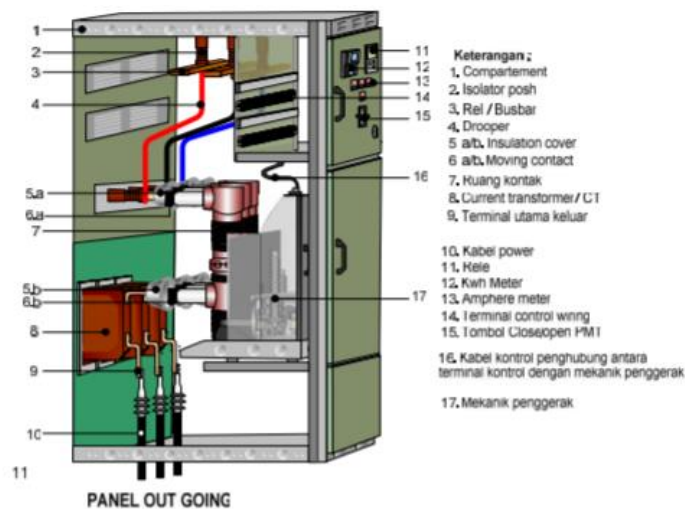
<sup>5</sup> Nur Pamudji, *Buku Pedoman Kubikel Tegangan Menengah*, Jakarta, 2014, hlm. 1.



Bagian – bagian Kubikel dapat dijelaskan seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.16 Bagian-Bagian Kubikel Incoming



Gambar 2.17 Bagian-Bagian Kubikel Outgoing

Berdasarkan fungsi/penempatannya, Kubikel Tegangan Menengah di Gardu Induk antara lain:

1. Kubikel Incoming

Berfungsi sebagai penghubung dari sisi sekunder trafo daya ke rel tegangan menengah.

2. Kubikel Outgoing

Berfungsi sebagai penghubung / penyalur dari rel ke beban.



3. Kubikel Pemakaian Sendiri (Trafo PS)  
Berfungsi sebagai penghubung dari rel ke beban pemakaian sendiri GI.
4. Kubikel Kopel (Bus Kopling)  
Berfungsi sebagai penghubung antara rel 1 dengan rel 2.
5. Kubikel PT  
Berfungsi sebagai sarana pengukuran dan pengaman.
6. Kubikel Bus Riser / Bus Tie (Interface)  
Berfungsi sebagai penghubung antar Kubikel.
7. Kubikel PT Rel yang dilengkapi dengan Lightning Arrester (LA)  
Kubikel jenis ini terpasang pada Gardu Induk di Jawa Timur, yang berfungsi sebagai inputan tegangan (open delta) untuk rele proteksi (Directional Ground Relay). Pada Kubikel ini dilengkapi dengan Lightning Arrester (LA) yang berfungsi sebagai pengaman tegangan lebih akibat dari surja petir dan surja hubung.

### **2.11 Layanan Premium**

Layanan Premium PLN merupakan layanan terbuka dan bisa diakses oleh semua pelanggan baik bertegangan tinggi, menengah, atau rendah. Pelanggan yang tinggal di perumahan, golongan bisnis, maupun industri dapat menikmati layanan tersebut. Tapi, untuk tegangan rendah, minimal daya listriknya 1.300 VA khusus pelanggan bisnis jika ingin mendaftar Layanan Premium PLN. Layanan premium ini juga merupakan layanan yang mengedepankan jaminan kualitas pasokan listrik kepada pelanggan (konsumen), berbagai manfaat dan keistimewaan diperoleh bila menjadi pelanggan premium, diantaranya tingkat keandalan lebih tinggi dibanding layanan regular. Tentunya harga per-kWhnya tidak sama dengan pelanggan regular. Adapun keuntungan dari Layanan Premium adalah sebagai berikut:

1. Jaringan listrik dipasok dari dua sumber listrik dengan sistem Automatic Change Over (ACO) sebagai alat pemindah sumber listrik otomatis apabila terjadi gangguan padam pada sumber listrik utama,



2. Akses khusus berupa layanan informasi oleh marketing executive baik teknis maupun non-teknis dengan lebih cepat,
3. Pasokan listrik dijamin keandalan dan stabil.

Untuk memberikan kepuasan pelanggan khususnya dalam tingkat keandalan jaringan listrik, PLN menyediakan pilihan layanan khusus bagi pelanggan yang memerlukan berupa:

Tabel 2.8 Jenis Layanan Premium

No.	Uraian	Premium Bronze	Premium Silver	Premium Gold	Premium Platinum
1	Load Curtallment (Pengurangan Daya Sementara bila Sistem PLN Krisis)	Urutan Terakhir	Tidak	Urutan Terakhir	Tidak
2	Kemungkinan UFR (Kemungkinan Padam Bila Sistem PLN Kritis)	Urutan Terakhir	Tidak	Urutan Terakhir	Tidak
3	Paralel Pembangkit Milik Pelanggan	Tidak	Tidak	100%	100%
4	Pengurangan Tagihan Bila Terjadi Pemadaman	Ya	Ya	Ya	Ya
5	Pengurangan Tagihan Bila Terjadi Pengurangan Daya	Tidak	Ya	Tidak	Ya
6	Harga Layanan (Rp/Kwh) di atas Tarif Reguler	30	55	105	130
7	Jam Nyala Minimum (Jam)	110	110	235	200



**A. Premium Bronze**

1. Pelanggan dikenakan pengurangan daya sementara bila sistem PLN krisis pada urutan terakhir,
2. Pelanggan dipadamkan bila sistem PLN krisis (tidak dipasang UFR pada penyulang) namun pada urutan terakhir,
3. Apabila pelanggan memiliki pembangkit sendiri maka pelanggan tidak diizinkan untuk melakukan parallel ke sistem PLN,
4. Apabila terjadi pengurangan daya maka pelanggan tidak mendapat pengurangan tagihan,
5. Harga yang ditetapkan sebesar tariff reguler + Rp. 30,
6. Pelanggan dikenakan Jam Nyala minimum sebesar 110 jam untuk setiap bulannya.

**B. Premium Silver**

1. Pelanggan tidak dikenakan pengurangan daya sementara bila sistem PLN krisis,
2. Pelanggan tidak dipadamkan bila sistem PLN krisis (tidak dipasang UFR pada penyulang),
3. Apabila pelanggan memiliki pembangkit sendiri maka pelanggan tidak diizinkan untuk melakukan parallel ke sistem PLN,
4. Apabila terjadi pengurangan daya maka pelanggan akan mendapatkan pengurangan tagihan sebesar 10% dari 40 Jam Nyala,
5. Harga yang ditetapkan sebesar tariff reguler + Rp. 55,
6. Pelanggan dikenakan Jam Nyala minimum sebesar 110 jam untuk setiap bulannya.

**C. Premium Gold**

1. Pelanggan dikenakan pengurangan daya sementara bila sistem PLN krisis pada urutan terakhir,



2. Pelanggan dipadamkan bila sistem PLN krisis (tidak dipasang UFR pada penyulang) namun pada urutan terakhir,
3. Apabila pelanggan memiliki pembangkit sendiri maka pelanggan diizinkan untuk melakukan parallel ke sistem PLN 100% dari daya pembangkit yang dimiliki,
4. Apabila terjadi pengurangan daya maka pelanggan tidak mendapatkan pengurangan tagihan,
5. Harga yang ditetapkan sebesar tariff reguler + Rp. 105,
6. Pelanggan dikenakan Jam Nyala minimum sebesar 235 jam untuk setiap bulannya.

#### D. Premium Platinum

1. Pelanggan tidak dikenakan pengurangan daya sementara bila sistem PLN krisis,
2. Pelanggan tidak dipadamkan bila sistem PLN krisis (tidak dipasang UFR pada penyulang),
3. Apabila pelanggan memiliki pembangkit sendiri maka pelanggan diizinkan untuk melakukan parallel ke sistem PLN 100% dari daya pembangkit yang dimiliki,
4. Apabila terjadi pengurangan daya maka pelanggan akan mendapatkan pengurangan tagihan sebesar 10% dari 40 Jam Nyala,
5. Harga yang ditetapkan sebesar tariff reguler + Rp. 130,
6. Pelanggan dikenakan Jam Nyala minimum sebesar 200 jam untuk setiap bulannya.