

**PELATIHAN
PEMBINAAN DAN SERTIFIKASI AHLI K3 LISTRIK**

**PERSYARATAN K3 PERENCANAAN INSTALASI
PERLENGKAPAN DAN PERALATAN LISTRIK DI
TRANSMISI TENAGA LISTRIK**

HARTOYO

085640929467

Hartoyo@uny.ac.id

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA



FRESH CONSULTANT

YOGYAKARTA 21 SEPTEMBER 2020





MENGAPA ENERGI LISTRIK

Dibanding dengan bentuk energi yang lain, listrik merupakan:

- bentuk energi yang praktis dan sederhana,
- mudah disalurkan pada jarak yang berjauhan,
- mudah didistribusikan untuk area yang luas,
- mudah diubah ke dalam bentuk energi lain,
- bersih (ramah lingkungan).



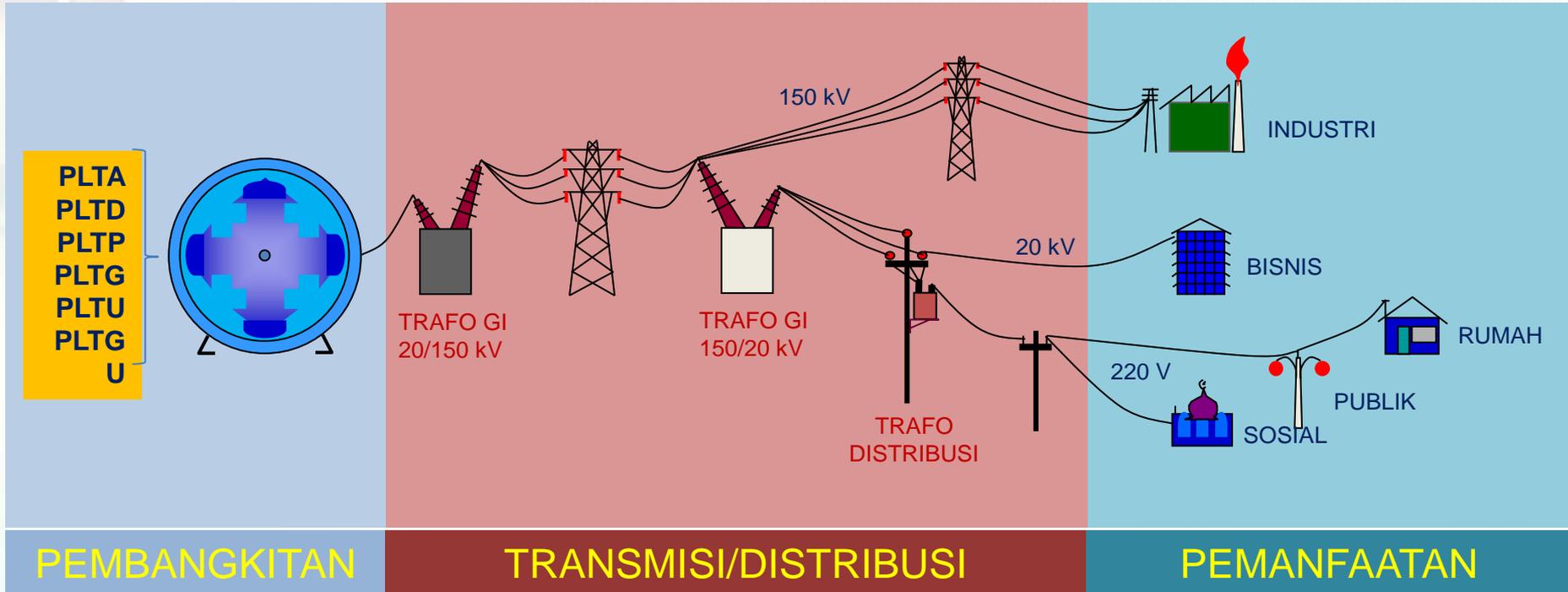


SISTEM TENAGA LISTRIK

- A. Pusat Pembangkit Listrik
- B. Saluran Transmisi
- C. Sistem Distribusi
- D. Pemanfaat

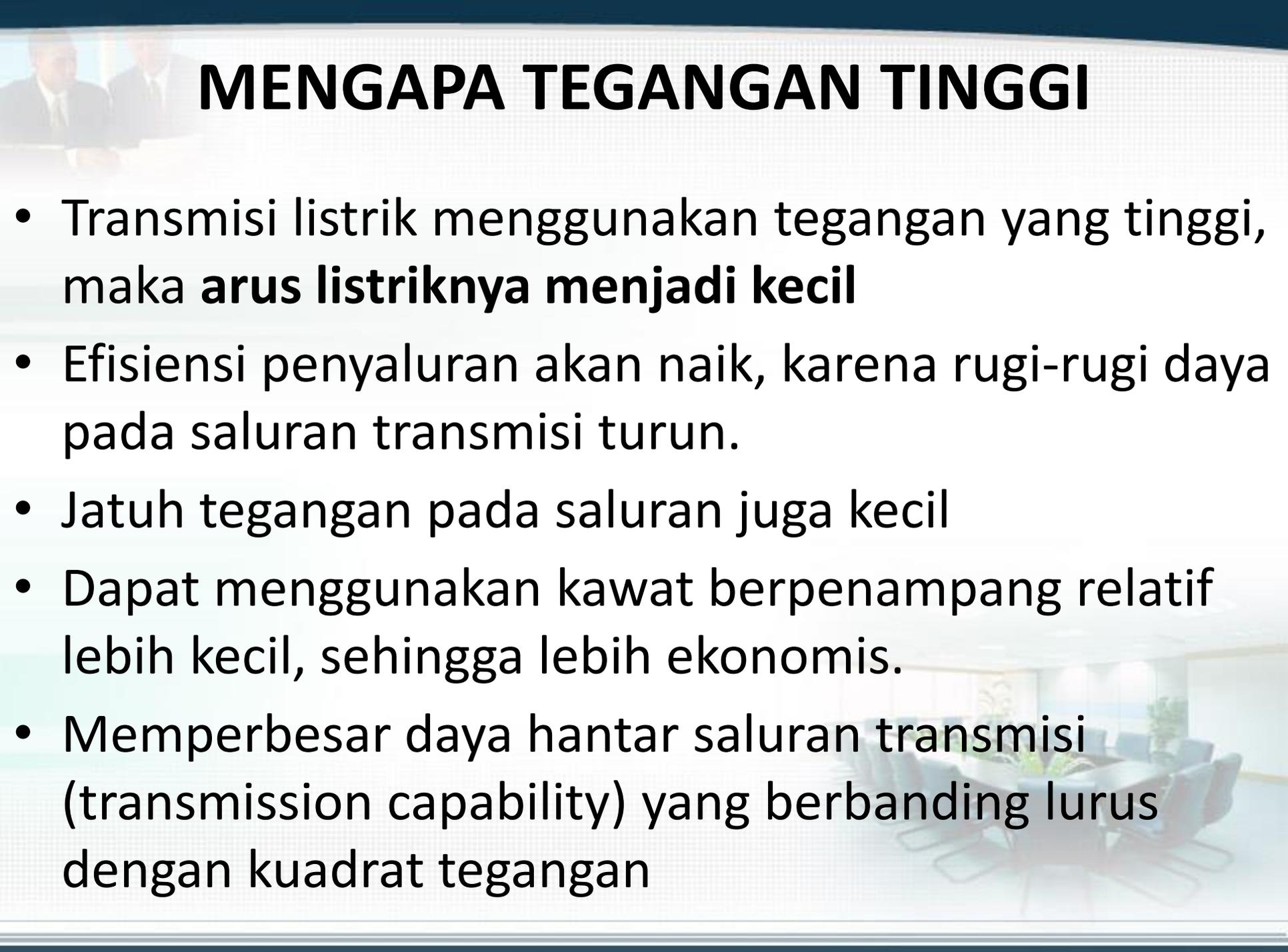


INSTALASI TENAGA LISTRIK



Instalasi tenaga listrik tenaga listrik terdiri atas:

1. Instalasi penyediaan tenaga listrik, meliputi
 - a. Instalasi pembangkit tenaga listrik;
 - b. Instalasi transmisi tenaga listrik; dan
 - c. Instalasi distribusi tenaga listrik.
2. Instalasi pemanfaatan tenaga listrik, meliputi:
 - a. Instalasi pemanfaatan tegangan tinggi;
 - b. Instalasi pemanfaatan tegangan menengah; dan
 - c. Instalasi pemanfaatan tegangan rendah.



MENGAPA TEGANGAN TINGGI

- Transmisi listrik menggunakan tegangan yang tinggi, maka **arus listriknya menjadi kecil**
- Efisiensi penyaluran akan naik, karena rugi-rugi daya pada saluran transmisi turun.
- Jatuh tegangan pada saluran juga kecil
- Dapat menggunakan kawat berpenampang relatif lebih kecil, sehingga lebih ekonomis.
- Memperbesar daya hantar saluran transmisi (transmission capability) yang berbanding lurus dengan kuadrat tegangan

- 
- Energi listrik atau daya listrik yang hilang pada kawat transmisi jarak jauh dapat dihitung dengan persamaan energi dan daya listrik sebagai berikut:

$$W = I^2 \times R \times t \quad \text{dan} \quad P = I^2 \times R$$

dimana :

- W = energi listrik (joule)
- I = kuat arus listrik (ampere)
- R = hambatan (ohm)
- t = waktu
- P = daya listrik (watt)



- Contoh: Daya listrik 2 MW ditransmisikan sampai jarak tertentu melalui kabel berhambatan 0,01 ohm. Hitung daya listrik yang hilang oleh transmisi tersebut, jika:
 - a. menggunakan tegangan 200 Volt,
 - b. menggunakan tegangan 400 kiloVolt ?

- Penyelesaian:

Diketahui: $P = 2 \text{ MW} = 2 \cdot 10^6 \text{ watt}$

$R = 0,01 \text{ ohm}$

Ditanyakan: a. P_{hilang} pada tegangan 200 Volt = ?

b. P_{hilang} pada tegangan $V = 4 \cdot 10^5 \text{ volt} = \dots\dots\dots ?$



- Jawab

a. Faktor daya dianggap 1:

$$I = P/V = 2 \cdot 10^6 / 200 = 10 \text{ kA}$$

$$\text{Rugi Daya} = I^2 \cdot R = 100.000.000 / 0,01 = 1 \text{ MW}$$

b. Faktor Daya dianggap 1:

$$I = P/V = 2 \cdot 10^6 / 400 \text{ kv} = 5 \text{ A}$$

$$\text{Rugi Daya} = I^2 \cdot R = 25 \cdot 0,01 = 0,25 \text{ W}$$



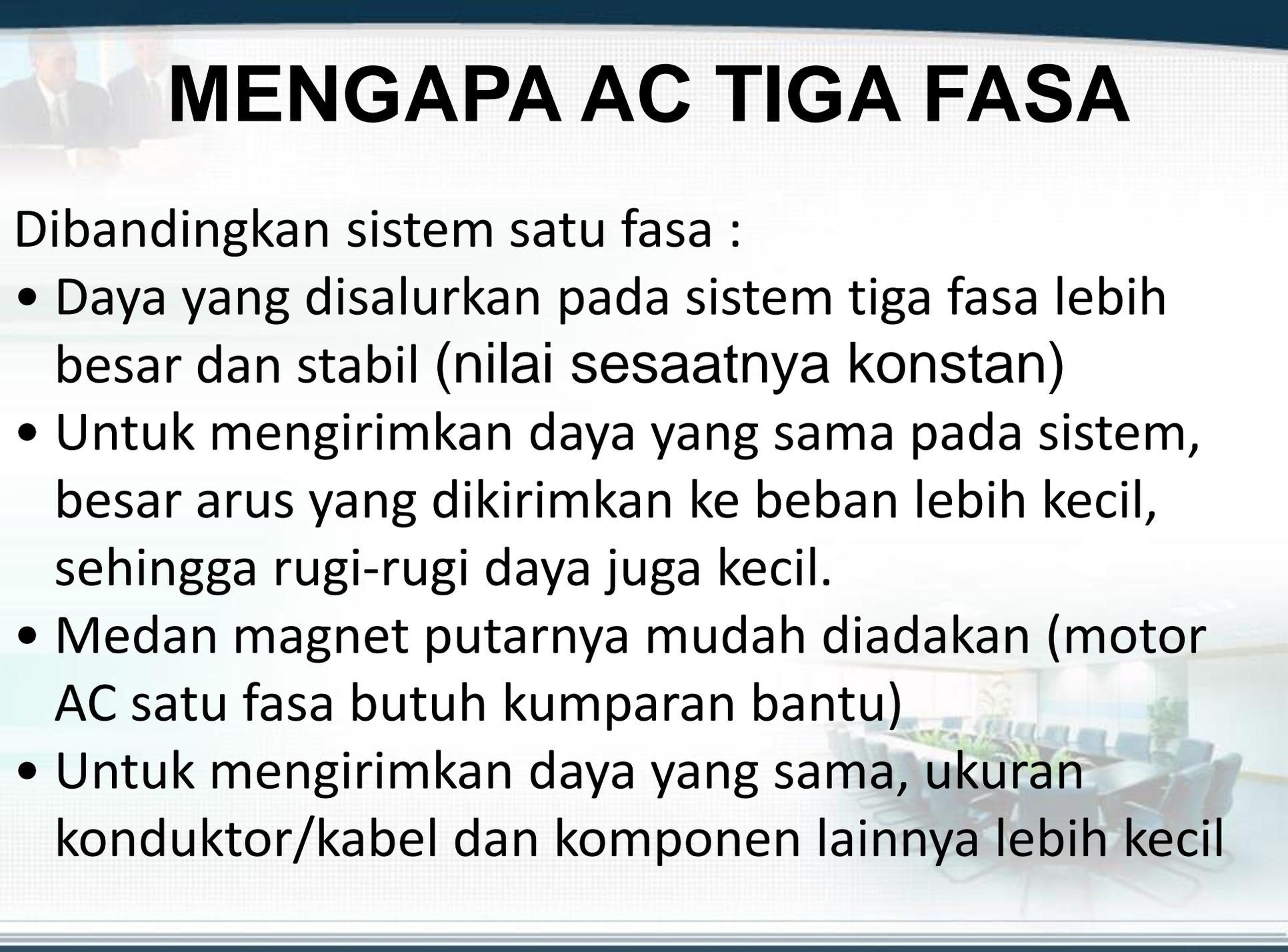


MENGAPA LISTRIK AC

- Dibandingkan dengan sistem DC, dalam sistem AC penaikan dan penurunan tegangan mudah dilakukan, dengan menggunakan transformator
- **Transformator** hanya dapat bekerja untuk tegangan AC, tidak bisa untuk tegangan DC
- Pada **sistem DC**, biaya peralatan konverter AC ke DC dan sebaliknya **mahal**

Keuntungan sistem DC :

- Isolasi lebih sederhana
 - Efisiensi lebih tinggi, karena faktor dayanya satu
 - Tidak ada masalah stabilitas
- 



MENGAPA AC TIGA FASA

Dibandingkan sistem satu fasa :

- Daya yang disalurkan pada sistem tiga fasa lebih besar dan stabil (nilai sesaatnya konstan)
- Untuk mengirimkan daya yang sama pada sistem, besar arus yang dikirimkan ke beban lebih kecil, sehingga rugi-rugi daya juga kecil.
- Medan magnet putarnya mudah diadakan (motor AC satu fasa butuh kumparan bantu)
- Untuk mengirimkan daya yang sama, ukuran konduktor/kabel dan komponen lainnya lebih kecil

Klasifikasi Saluran Transmisi

- **Berdasar Media Penyalurannya :**

1. Saluran Udara (Overhead Lines)
2. Saluran Kabel Tanah (Underground Cable)

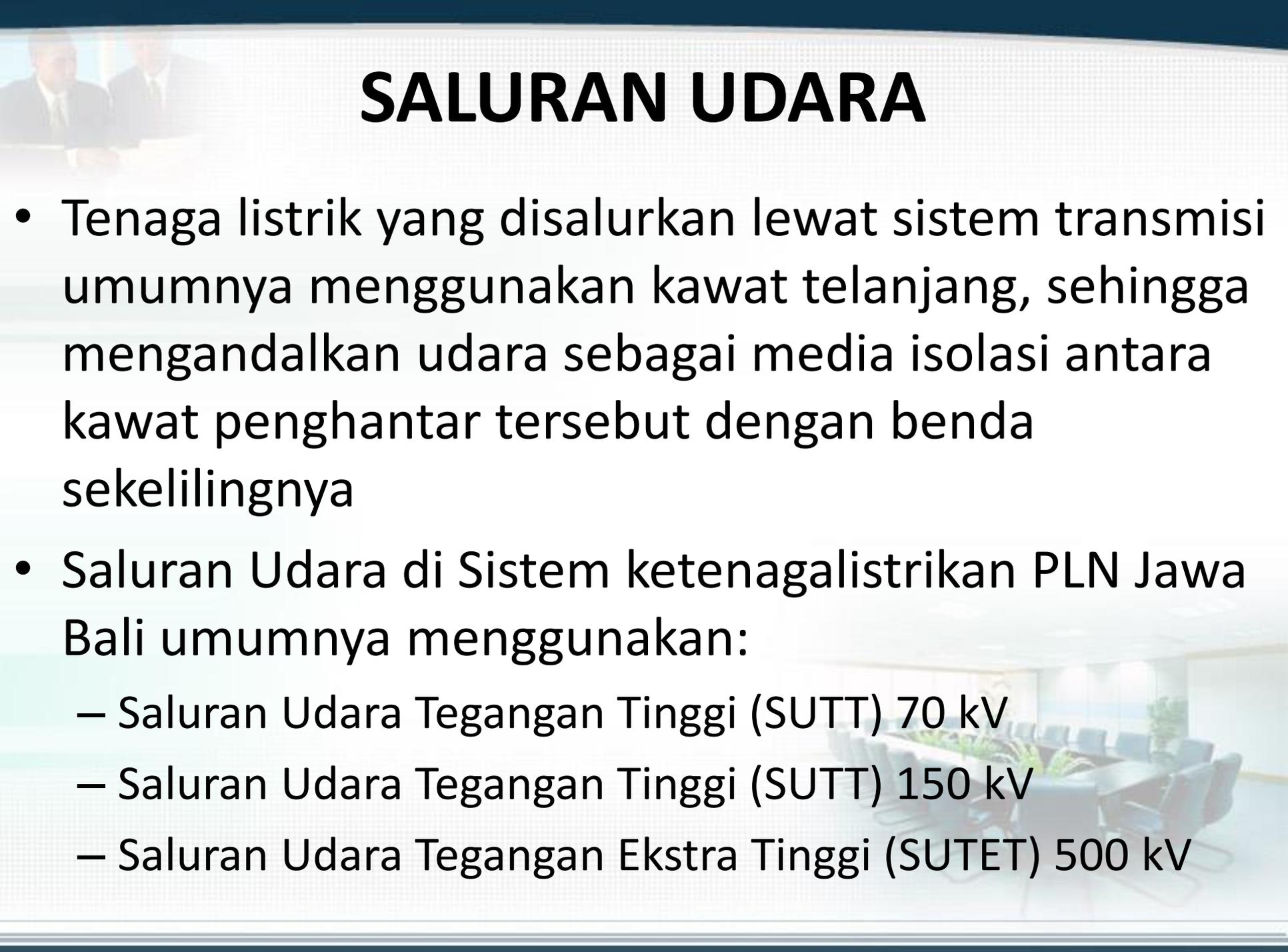
- **Berdasarkan Tegangan Kerjanya :**

1. Saluran Tegangan Tinggi (SUTT & SKTT)
saluran tenaga listrik yang bertegangan nominal diatas 35 kV sampai dengan 230 kV
2. Saluran Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) saluran tenaga listrik yang bertegangan nominal diatas 230 kV.



SALURAN UDARA

- Pemasangan SUTT/SUTET sudah melalui proses rancang bangun yang aman bagi lingkungan serta sesuai dengan standar keamanan internasional, diantaranya:
 - Ketinggian kawat penghantar
 - Penampang kawat penghantar
 - Daya isolasi
 - Medan listrik dan medan magnet
 - Desis corona
- 



SALURAN UDARA

- Tenaga listrik yang disalurkan lewat sistem transmisi umumnya menggunakan kawat telanjang, sehingga mengandalkan udara sebagai media isolasi antara kawat penghantar tersebut dengan benda sekelilingnya
- Saluran Udara di Sistem ketenagalistrikan PLN Jawa Bali umumnya menggunakan:
 - Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 70 kV
 - Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV
 - Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV

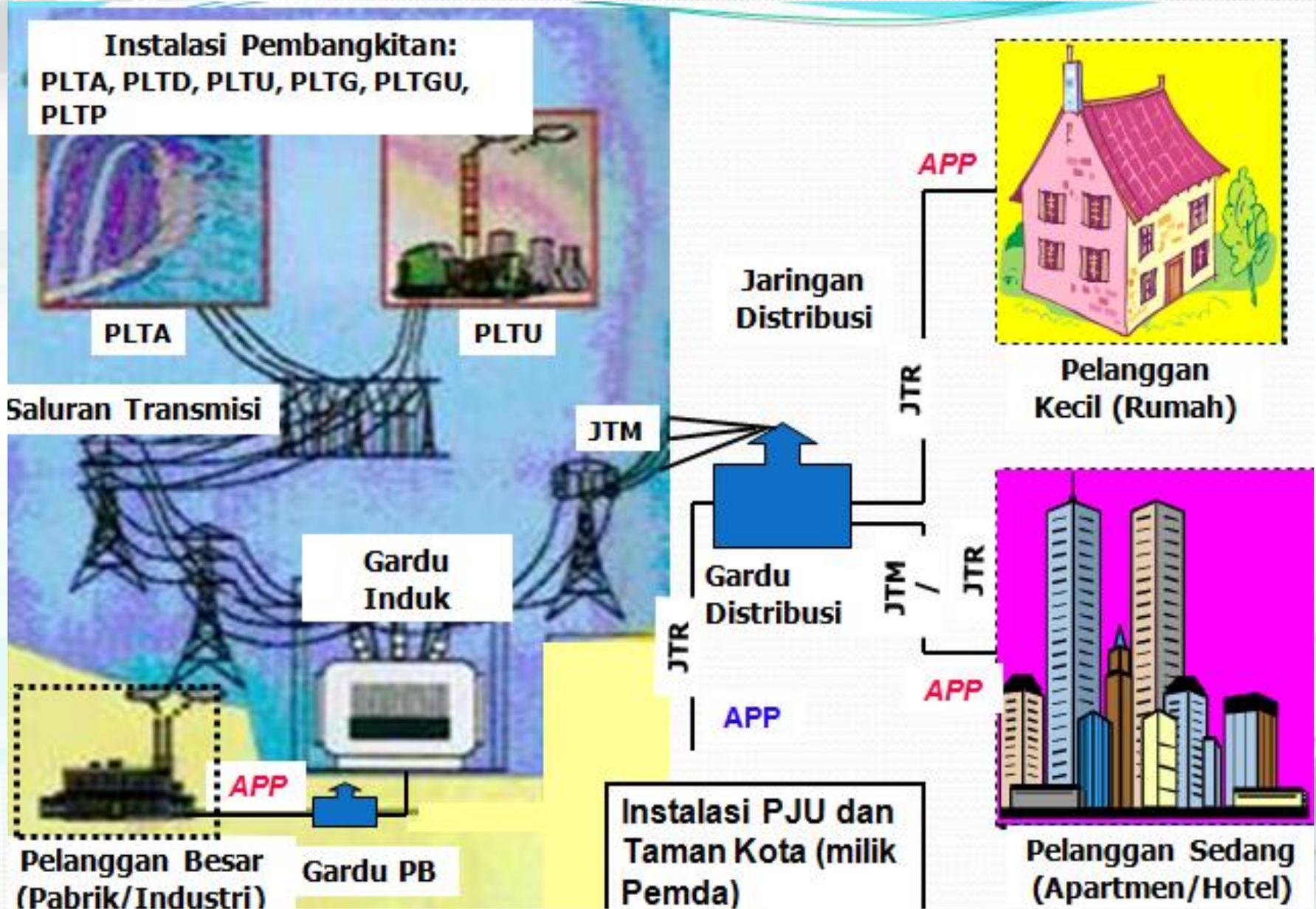


SUTT 70 KV & 150 KV

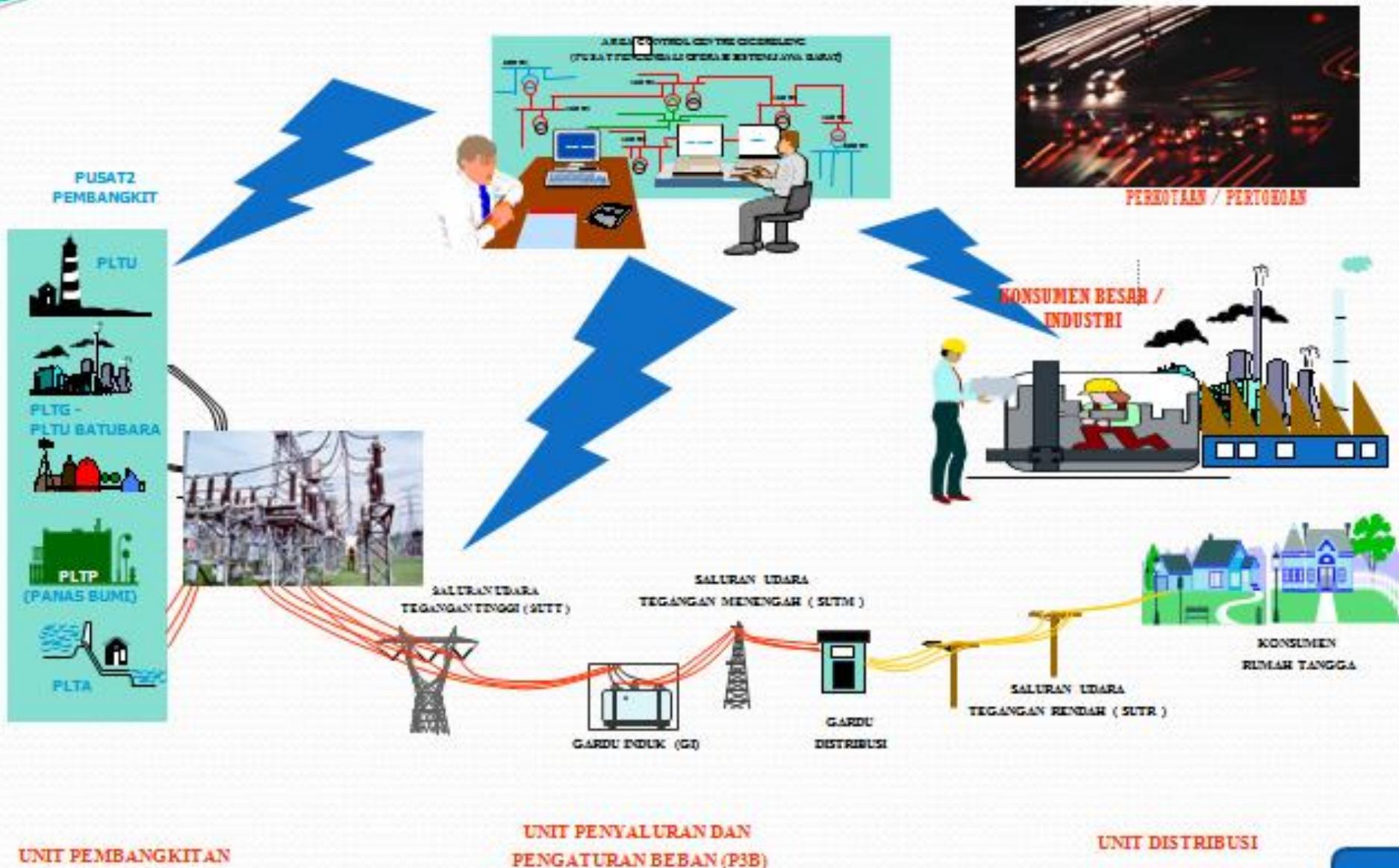


SUTET 500 KV

INSTALASI KETENAGALISTRIKAN



BAGAN PENGATURAN & PENYAMPAIAN SISTEM TENAGA LISTRIK KEPADA KONSUMEN



KLASIFIKASI KOMPETENSI TENAGA TEKNIK KETENAGALISTRIKAN

Jenis
Pekerjaan

1. Konsultasi,
2. Pembangunan & Pemasangan,
3. Pemeriksaan & Pengujian,
4. Pemeliharaan,
5. Pengoperasian,
6. Pendidikan & Pelatihan.

Bidang

Kit

Tran

Dis

Man

Sub
Bidang

PLTU/G/GU
/P/A/MH/D/
N/EBT

TET, TT, GI

TM, TR

TT, TM, TR

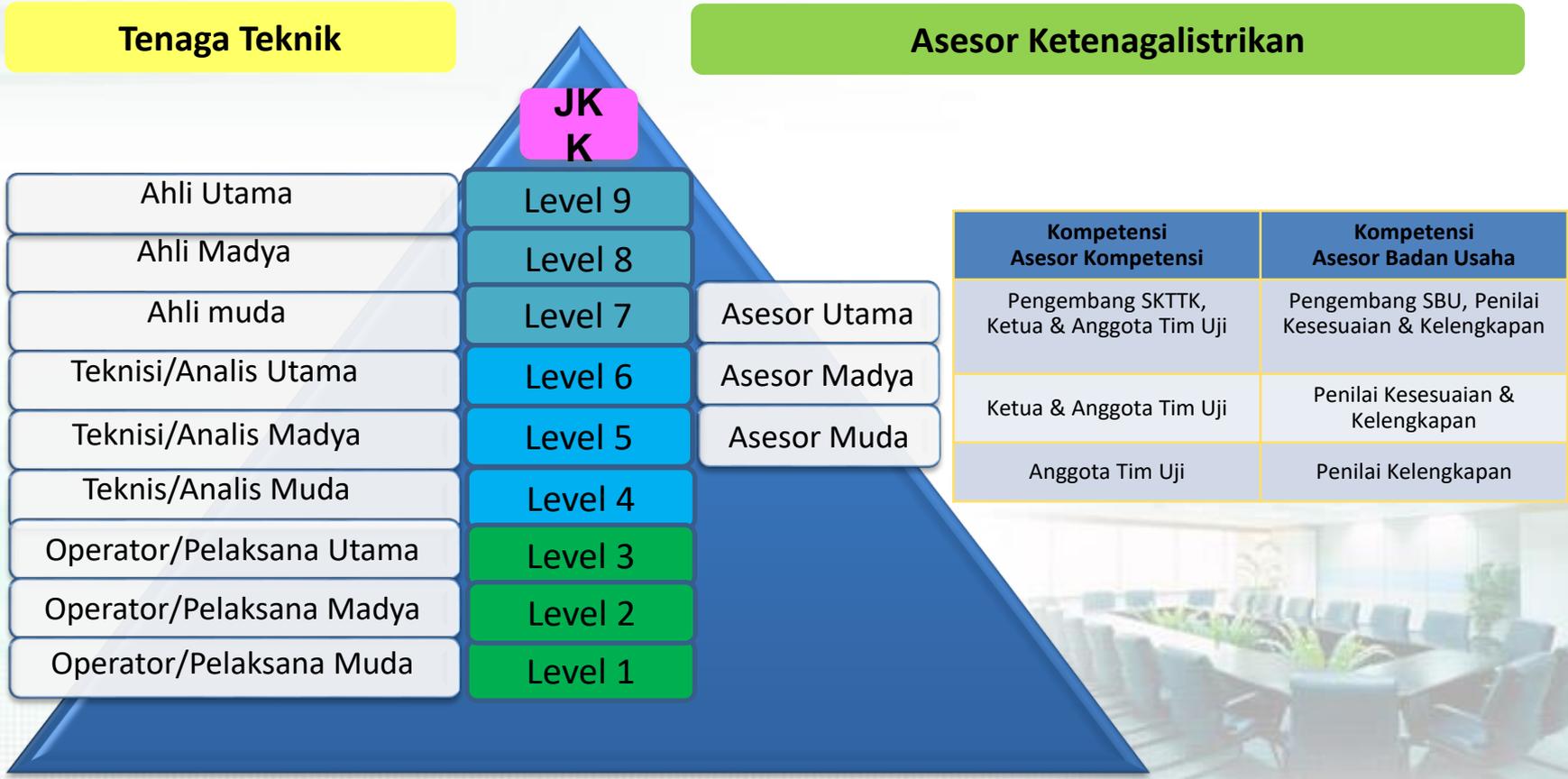
Keterangan:
Kit = Pembangkit
Tran = Transmisi
Dis = Distribusi
Man =
Pemanfaatan

Pengemasan

Okupasi Jabatan

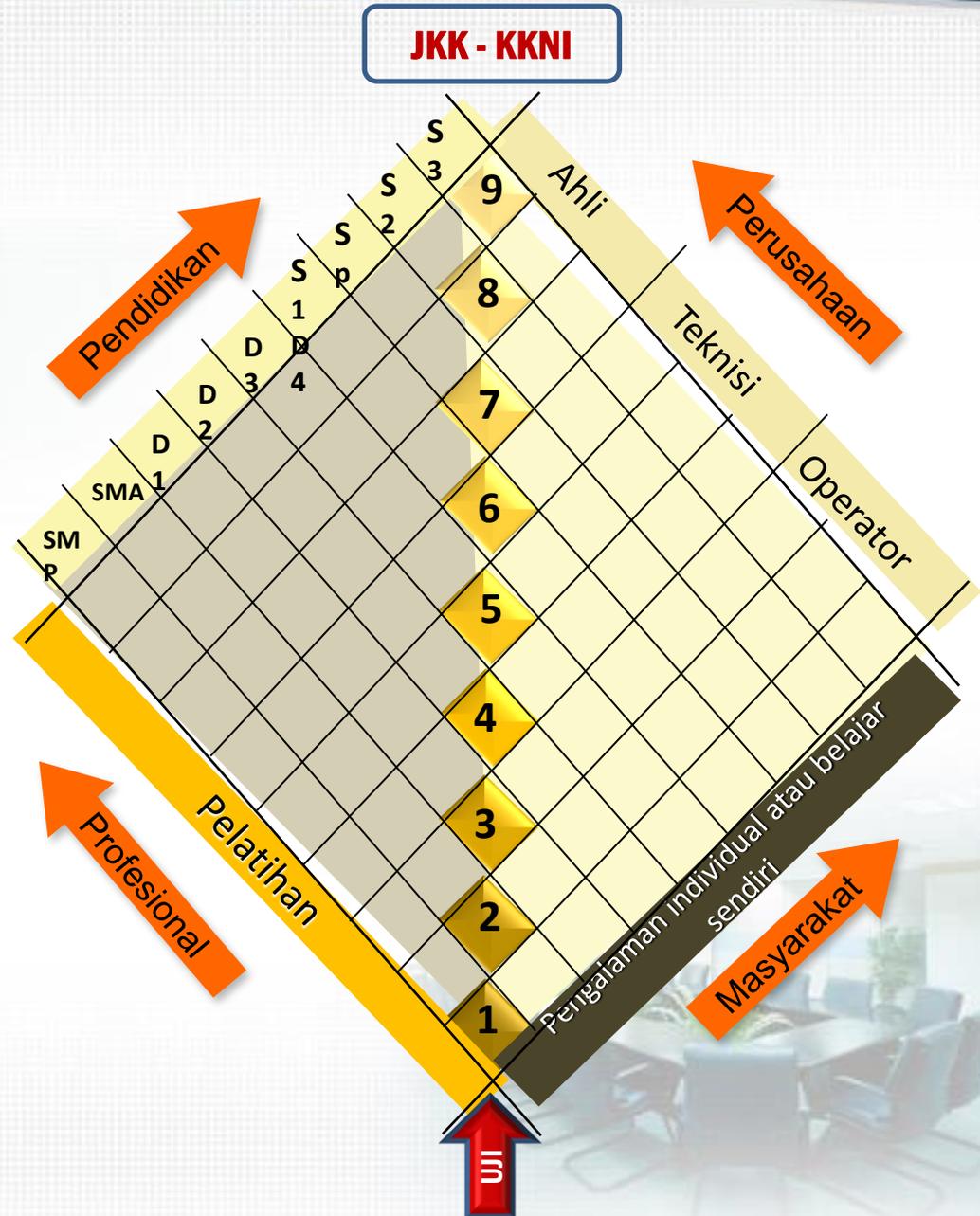
KUALIFIKASI KOMPETENSI KETENAGALISTRIKAN

Kualifikasi kompetensi ketenagalistrikan berdasarkan Jenjang Kualifikasi Ketenagalistrikan (JKK) untuk menentukan Okupasi Jabatan, terdiri atas:



PENGAKUAN KOMPETENSI DARI MULTI JALUR PENYIAPAN SDM

1. Jenjang Kualifikasi Ketenagalistrikan (JKK) berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 8 Tahun 2012 tentang Kerangka Kualifikasi Kompetensi Nasional Indonesia (KKNI).
2. Dengan JJK, kualitas dan kompetensi tenaga teknik dari berbagai jalur mendapatkan pengakuan kompetensi setara.

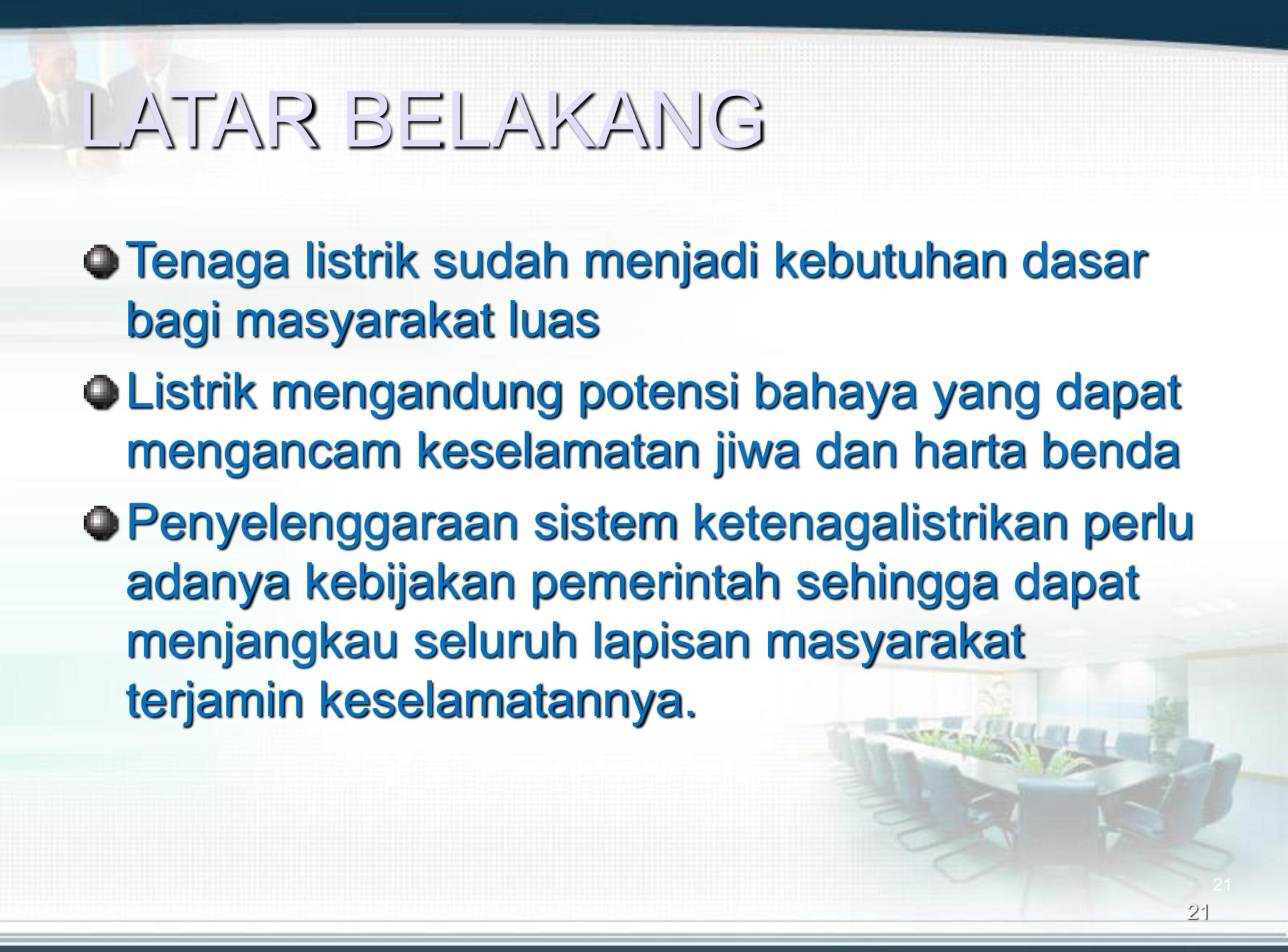




Pembangkit	Transmisi	Distribusi primer	Distribusi	Pemanfaatan
13,8 kV-24 kV High Voltage	115 kV-700 kV Extra High Voltage / SUTET	70 kV-150 kV High Voltage	20 kV Medium Voltage	380 / 220 V Low Voltage

Voltage Levels

	USA	PUIL 2011, page 43	PLN
Extra Low Voltage (ELV)	Standard	Safe for human : < 50 Volt (ac) < 120 Volt (dc)	
Low Voltage (LV)	110 Volt , 240 Volt, 480 Volt	< 1000 Volt (ac) < 1500 Volt (dc)	380 Volt/220 Volt SUTR,SKTR
Medium Voltage (MV)	4.16 kV, 13.8 kV ,34.5 kV	1 kV - 35 kV	6KV,20KV SUTM,SKTM
High Voltage (HV)	69 kV, 115 kV ,138 kV, 161 kV ,230 kV, 287 KV	> 35 kV	150 KV SUTT, SKTT
Extra High Voltage (EHV)	345 kV, 500 kV 765 kV		500 KV SUTET
Ultra High Voltage (UHV)	1100 kV, 1500 kV		



LATAR BELAKANG

- Tenaga listrik sudah menjadi kebutuhan dasar bagi masyarakat luas
- Listrik mengandung potensi bahaya yang dapat mengancam keselamatan jiwa dan harta benda
- Penyelenggaraan sistem ketenagalistrikan perlu adanya kebijakan pemerintah sehingga dapat menjangkau seluruh lapisan masyarakat terjamin keselamatannya.



K3 Listrik

Dasar hukum

Undang undang No 1 tahun 1970
Keselamatan Kerja

**Pasal 2 ayat (2) huruf q
(Ruang lingkup)**

**Setiap tempat dimana listrik
dibangkitkan, ditransmisikan,
dibagi-bagikan, disalurkan dan
digunakan**



Undang undang No 1 tahun 1970
Keselamatan Kerja

**Pasal 3 ayat (1) huruf q
(Objective)**

**Dengan peraturan perundangan
ditetapkan syarat-syarat keselamatan
kerja untuk:**

**q. mencegah terkena aliran listrik
berbahaya**

Rujukan : K3 Listrik

- UU No 1 Th 1970
(Kebijakan Nasional K3)

- Kepmenaker 75/2002
- PUIL 2000
- PUIL 2011 (Permen 12/2015)

- UU 28/2002
Bangunan

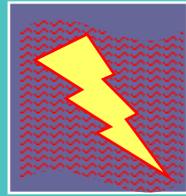
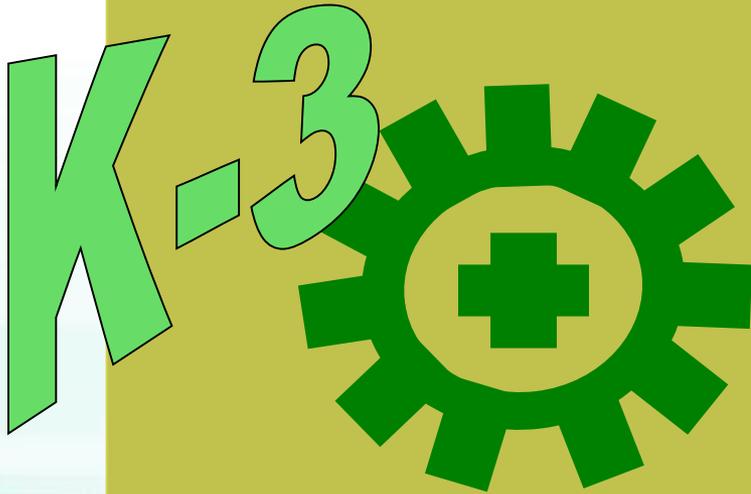
- Per 02/89 : Petir

- Per 03/99 : Lift

- UU 30/2009
Ketenagalistrikan

UU - Listrik

**UNDANG UNDANG
NO 1 TH 1970
KESELAMATAN KERJA**



**UNDANG UNDANG
NO 30 TH 2009
KETENAGALISTRIKAN**

**KEBIJAKAN
PEMBANGUNAN
JARINGAN TENAGA
LISTRIK**



**Andal, Aman dan
Akrap lingkungan**

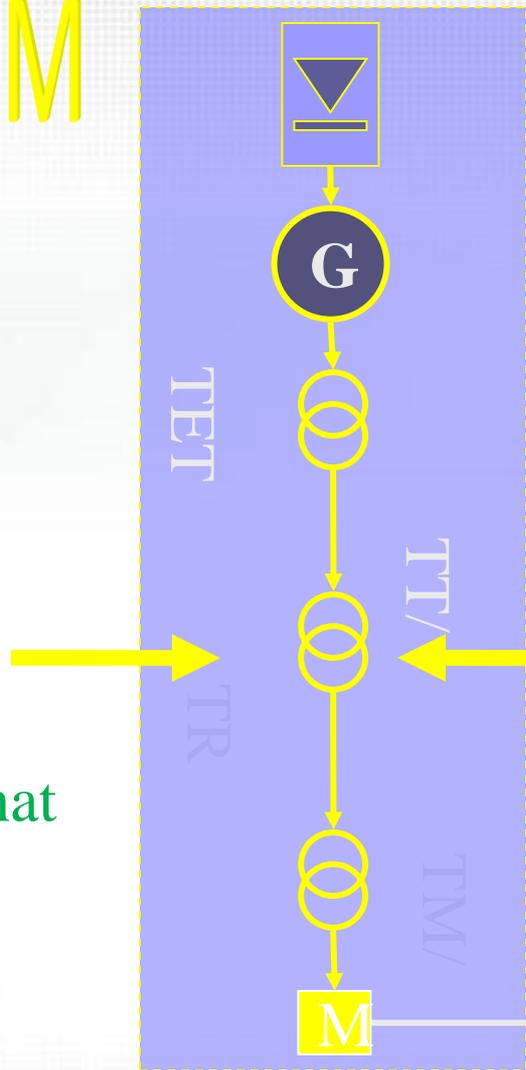
DASAR HUKUM

UU 1 / 70

Kebijakan nasional dalam hal upaya menjamin tempat kerja yang Aman dan lingkungan yang Sehat

K3

Tempat kerja



UU 15 / 85

UU 20 / 02

UU 30 / 2009

Kebijakan nasional dalam hal penyediaan tenaga listrik

(pengusahaan) yang Andal, Aman dan Akrap lingkungan

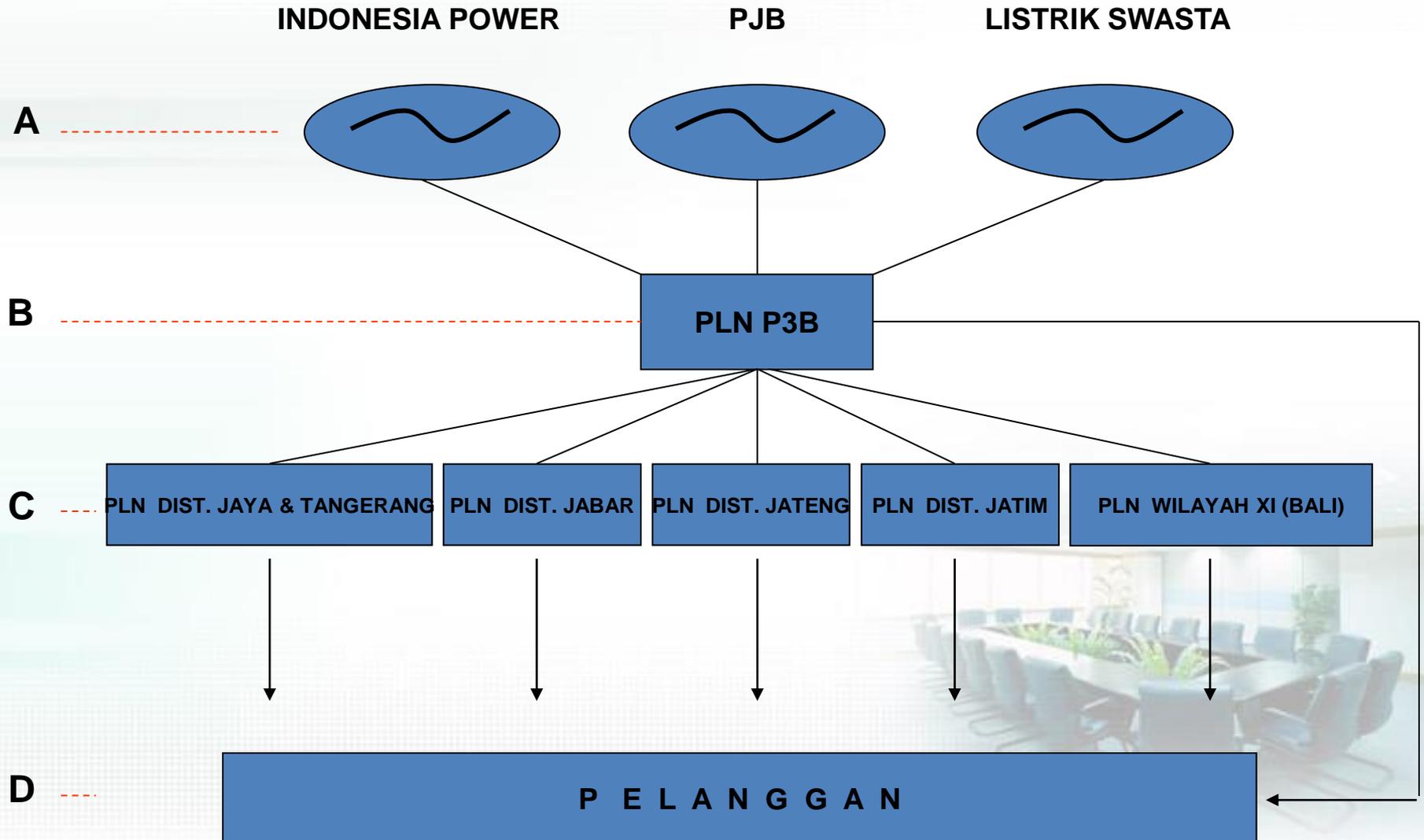
A3

Bukan tempat kerja

PENERAPAN KESELAMATAN KETENAGALISTRIKAN



Struktur Sistem Ketenagalistrikan Jawa-Madura-Bali (JAMALI)



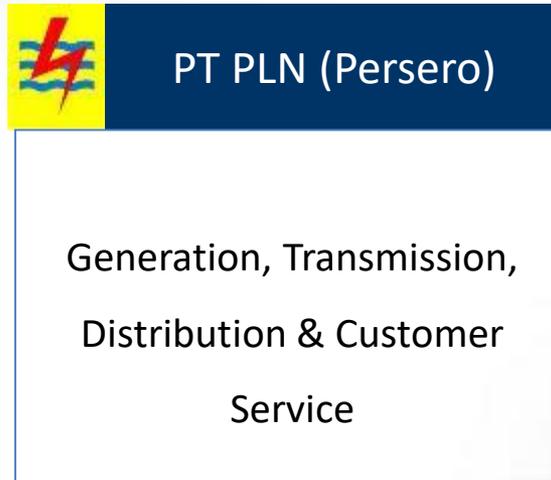
PLN's Business Scheme



GOI

Subsidies: additional fund for Operation

Margin: additional fund for investment



Market Price

INPUT

1. Power Purchase
2. Primary energy:
Coal, Oil, Gas, Water,
Geothermal, etc



Regulated Tariff

OUTPUT:

Electricity to support
economic growth and
Nation Wealth



O&M

IPP

Market Price

DIAGRAM SATU GARIS STL



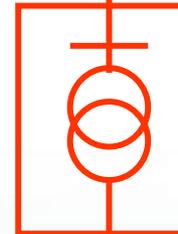
PEMBANGKIT

6 KV s/d 24 kv



GARDU INDUK

TRANSMISI 70 / 150 / 500 KV



GARDU INDUK

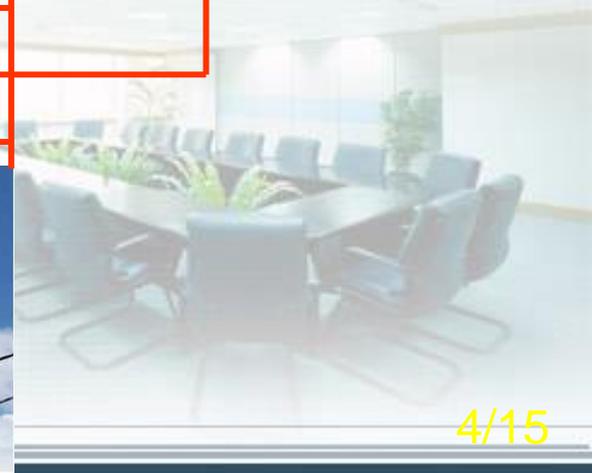
DISTRIBUSI 20 KV

220 / 380 V

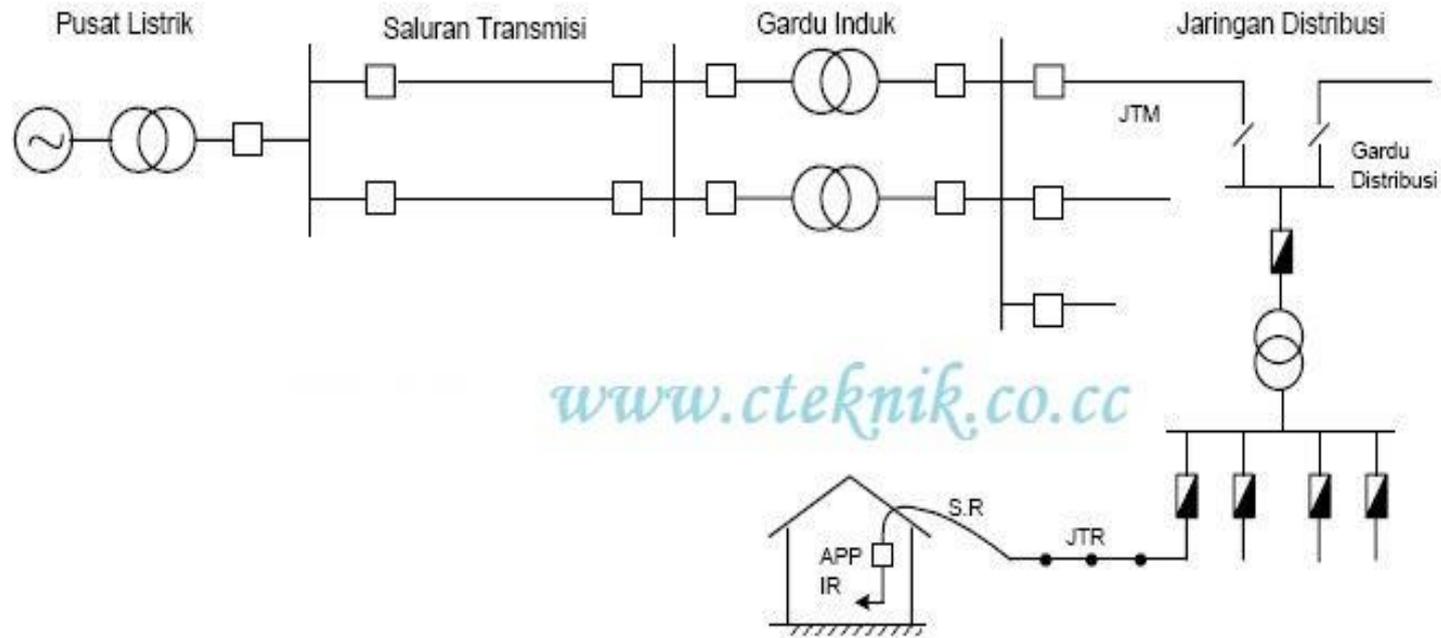


GARDU DISTRIBUSI

PEMANFAAT

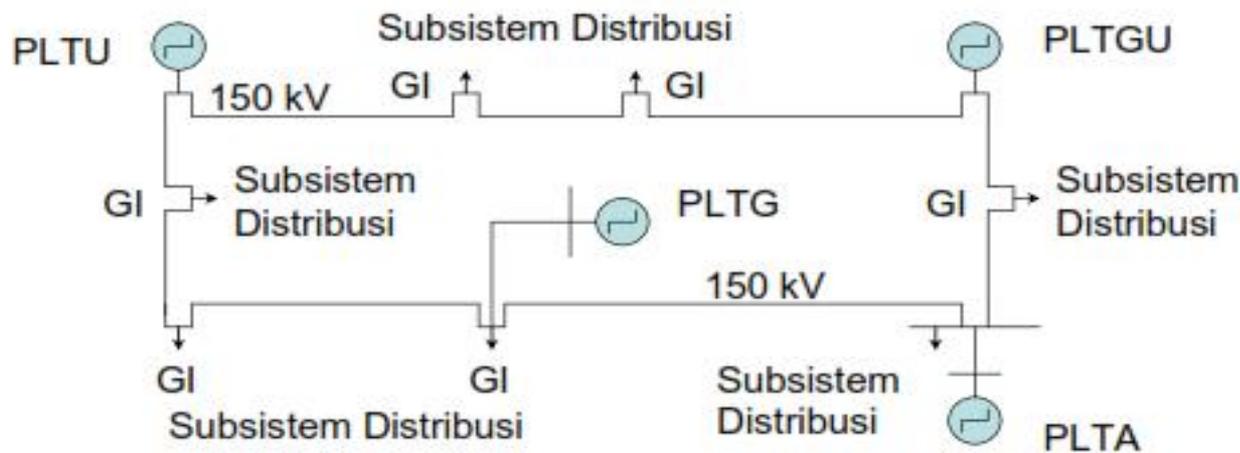


KOMPONEN SISTEM TENAGA LISTRIK



Apa yang Dimaksud dengan Sistem Interkoneksi?

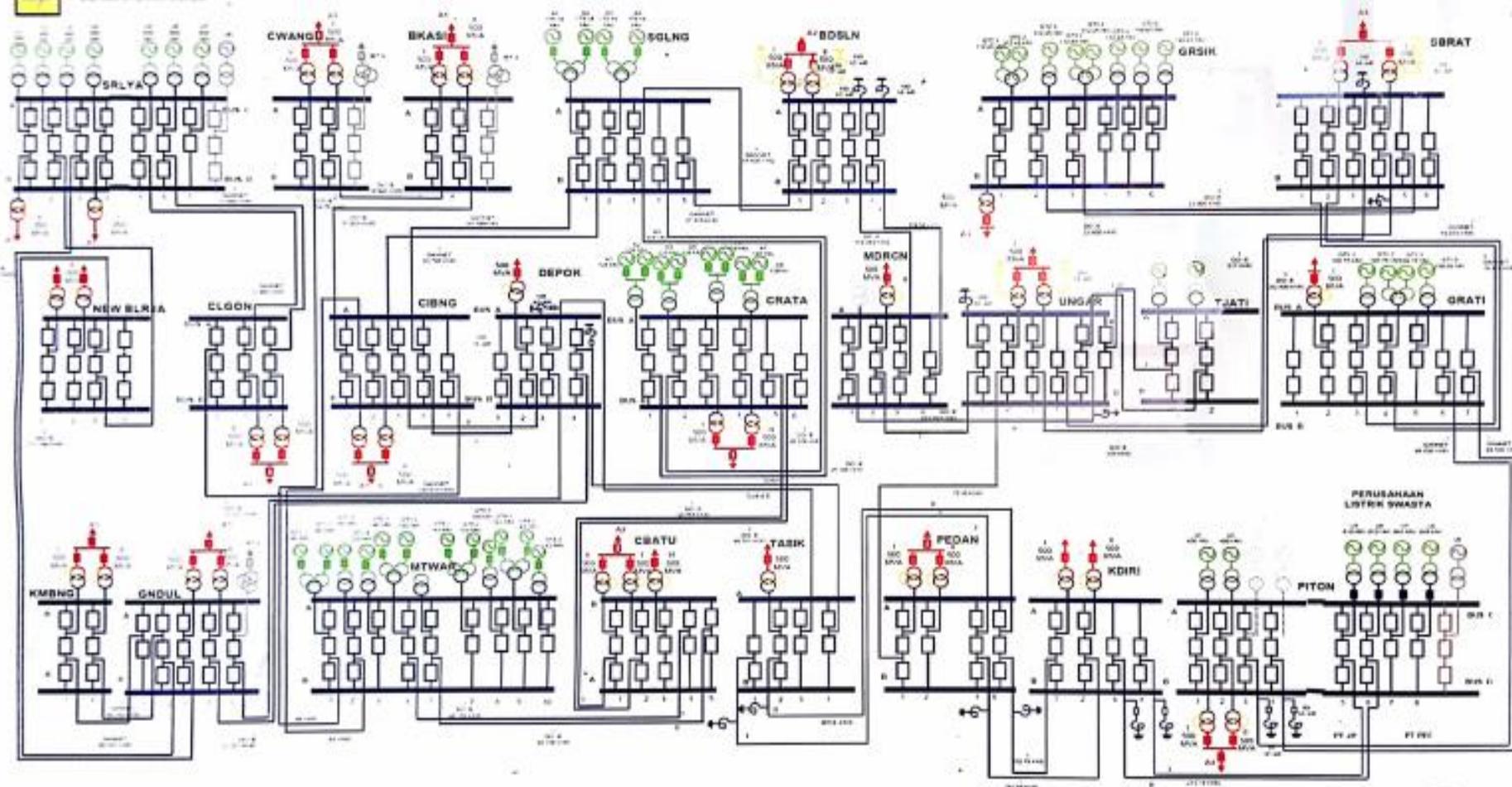
Sistem Interkoneksi : sistem tenaga listrik yang terdiri dari beberapa pusat listrik dan gardu induk (GI) yang dihubungkan satu sama lain melalui saluran transmisi dan melayani beban yang ada pada seluruh gardu induk (GI).





PT PLN (PERSERO) PDB JAWA BALI
RENCANA OPERASIONAL SISTEM

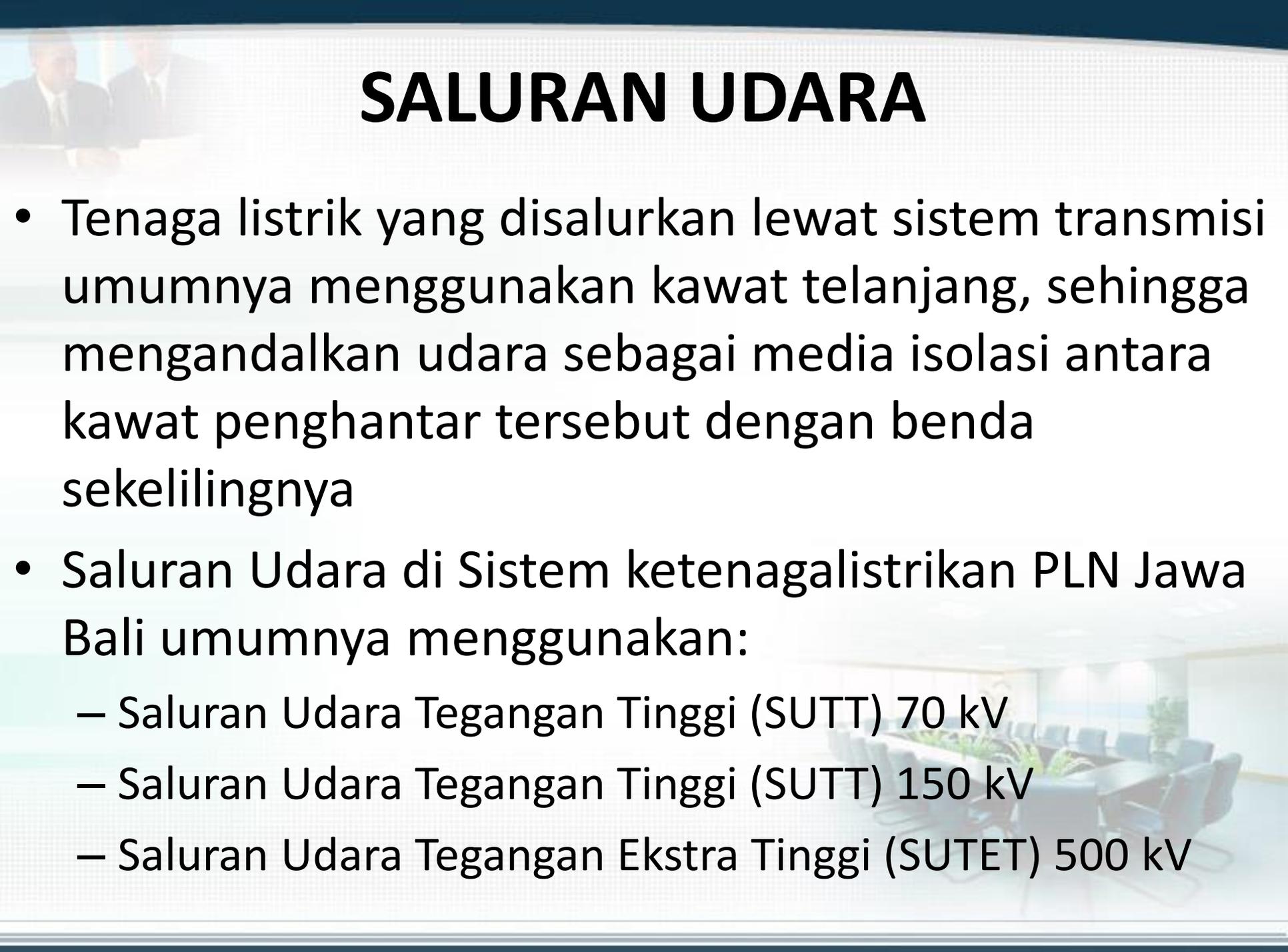
KONFIGURASI JARINGAN 500 kV SISTEM JAWA BALI





SALURAN UDARA

- Pemasangan SUTT/SUTET sudah melalui proses rancang bangun yang aman bagi lingkungan serta sesuai dengan standar keamanan internasional, diantaranya:
 - Ketinggian kawat penghantar
 - Penampang kawat penghantar
 - Daya isolasi
 - Medan listrik dan medan magnet
 - Desis corona
- 



SALURAN UDARA

- Tenaga listrik yang disalurkan lewat sistem transmisi umumnya menggunakan kawat telanjang, sehingga mengandalkan udara sebagai media isolasi antara kawat penghantar tersebut dengan benda sekelilingnya
- Saluran Udara di Sistem ketenagalistrikan PLN Jawa Bali umumnya menggunakan:
 - Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 70 kV
 - Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV
 - Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV

Kegiatan Ekonomi Program 35.000 MW + 7.000 MW Carry Over

Investasi : 72.942 Juta USD**



402 pembangkit
42.940 MW

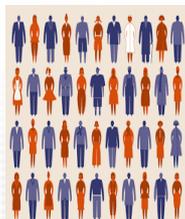


732 paket transmisi
46.597 kms
(75.000 set tower)



1.375 unit Gardu
Induk
108.789 MVA

301.300 km konduktor aluminium
2.600 set trafo
3,5 juta ton baja (profil dan pipa luar pembangkit)



Tenaga Kerja **TKDN**
Langsung: 650 Ribuan (40% dari Investasi
Tak Langsung : 3 Juta (29,2 Juta USD)

* Perkiraan

** belum termasuk kebutuhan dana untuk tanah, Interest During Construction (IDC) dan pajak-pajak

*** Jumlah PLTM tersebar sudah dibreakdown per-lokasi



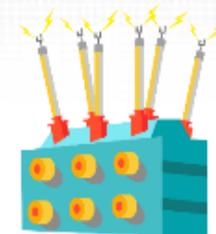
PERKIRAAN KEBUTUHAN SDM PADA PROGRAM 35.000 MW



291 PEMBANGKIT

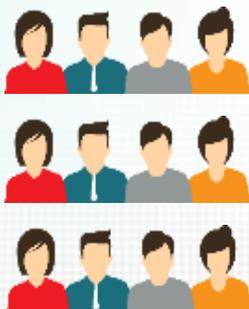


**732 TRANSMISI
75.000 SET TOWER**



**1375 UNIT
GARDU INDUK**

**301.300 KM KONDUKTOR ALUMINIUM
2.600 SET TRAFO
3,5 JUTA TON BAJA (PROFIL DAN PIPA LUAR PEMBANGKIT)**



SDM

**LANGSUNG: 650 RIBU
TAK LANGSUNG : 3 JUTA**

TKDN

**~40% DARI INVESTASI
(~29,2 JUTA USD)**



SALURAN TRANSMISI

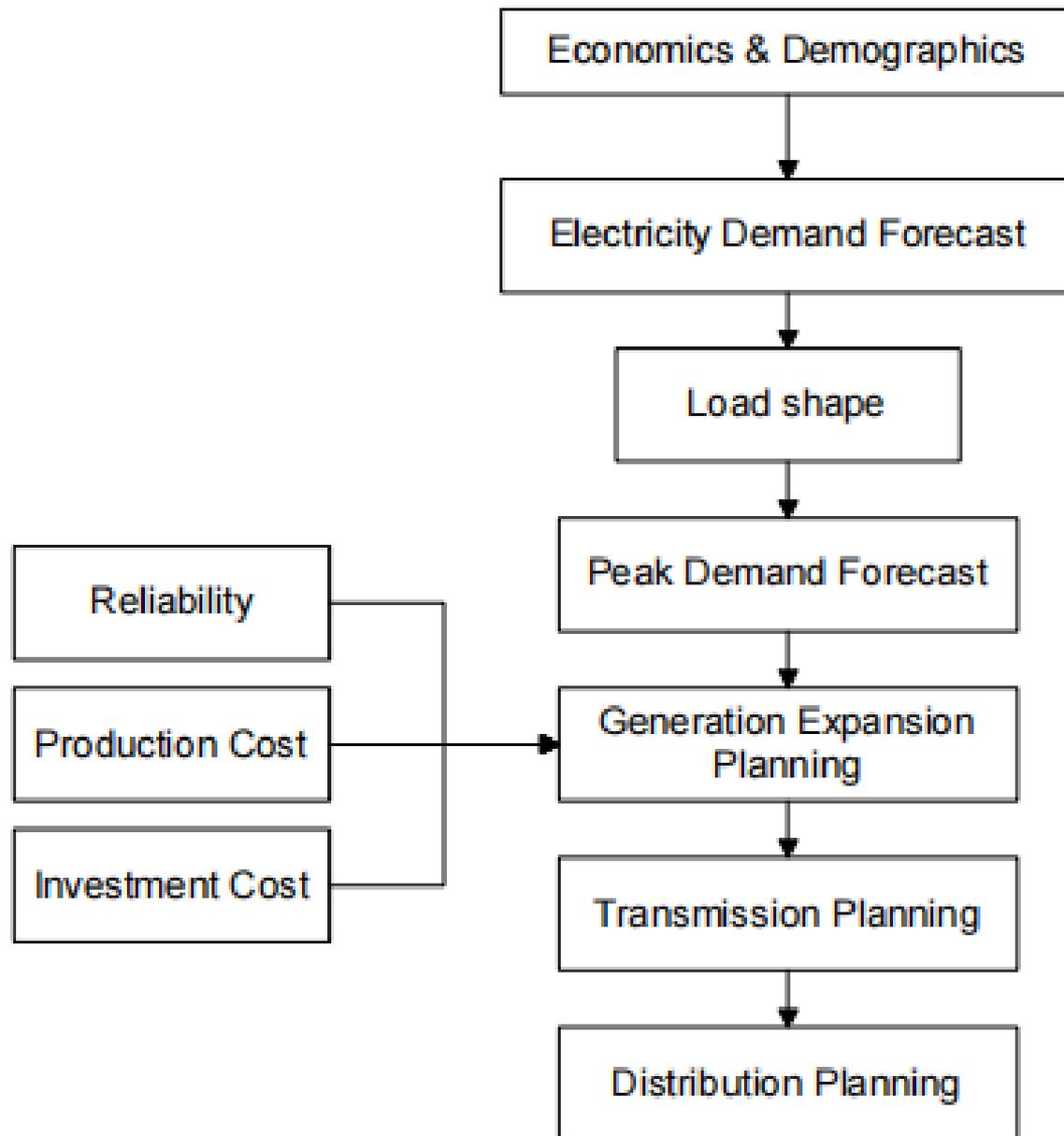
- Suatu instalasi sistem tenaga listrik yang berfungsi melayani penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkit sampai ke sistem distribusi.
 - Pusat pembangkit listrik biasanya terletak jauh dari pemukiman atau pelanggan, sehingga memerlukan saluran transmisi cukup jauh/panjang.
 - Transmisi energi listrik jarak jauh ini dilakukan dengan menggunakan **Tegangan Tinggi** atau **Tegangan Ekstra Tinggi**
- 



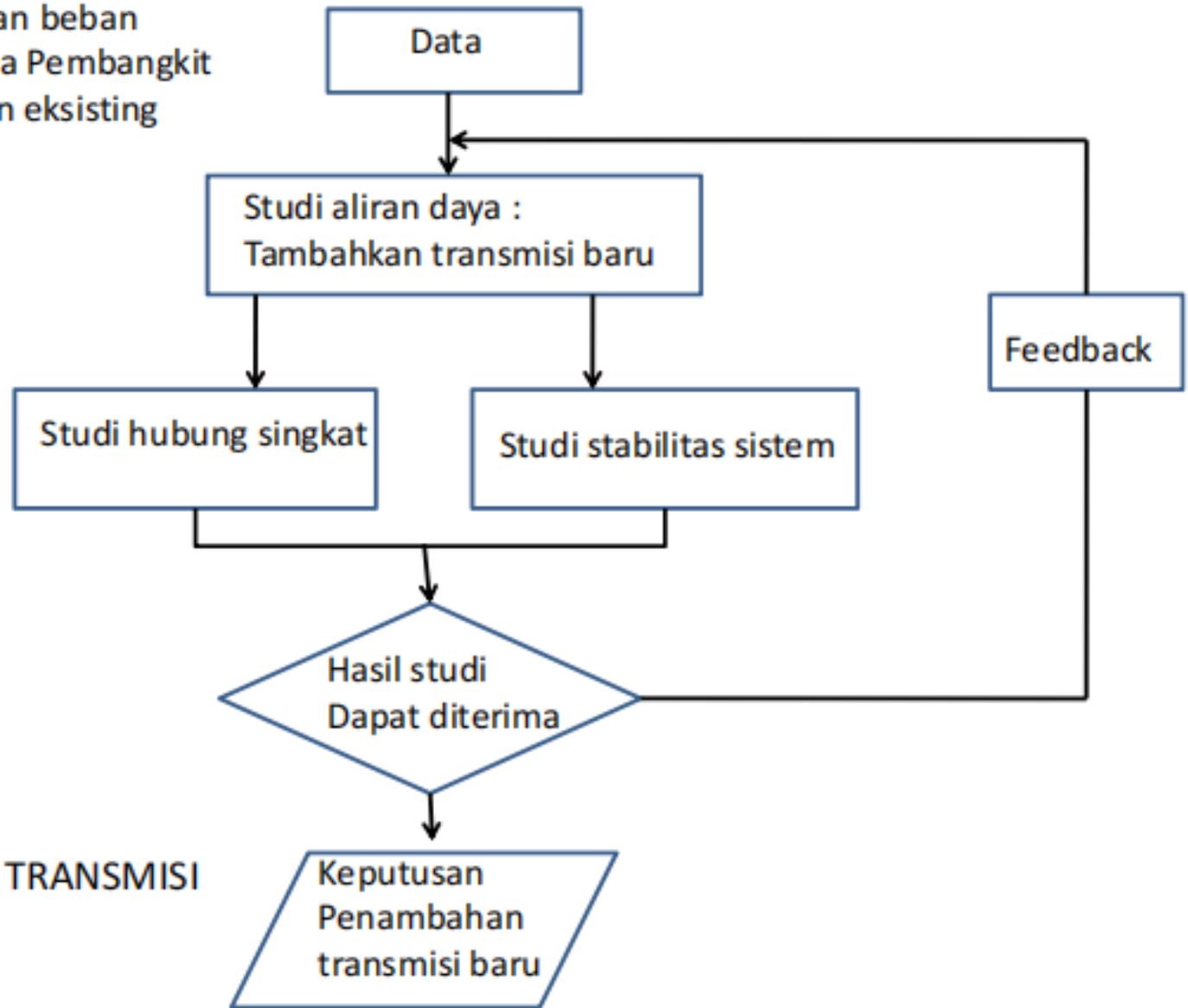
SALURAN TRANSMISI

- **Sistem transmisi tegangan tinggi, adalah sistem penyaluran yang:**
 - Terdiri dari konduktor yang direntangkan antara tiang-tiang (tower) melalui isolator-isolator, dengan sistem tegangan tinggi.
 - Standar tegangan tinggi yang berlaku di Indonesia adalah : 70 KV dan 150 KV.
 - Transmisi 70 KV dan 150 KV ada di Pulau Jawa dan Pulau lainnya di Indonesia.
 - Transmisi tegangan ekstra tinggi 275 KV dikembangkan di Sumatera. Sedangkan yang 500 KV dikembangkan di Pulau Jawa.
- Perencanaan suatu sistem transmisi / penyaluran tegangan tinggi, diawali dari studi perencanaan sistem tenaga listrik, dilanjutkan dengan studi perencanaan sistem transmisi.

Perencanaan Sistem Tenaga Listrik (Electric Utility Planning)



Data : Ramalan beban
Rencana Pembangkit
Jaringan eksisting



PERENCANAAN TRANSMISI

Jenis saluran transmisi

- Sebenarnya secara umum transmisi adalah proses penyaluran energi listrik dari satu tempat ke tempat lainnya, yang besaran tegangannya adalah mulai dari tegangan ultra tinggi (TUT), tegangan ekstra tinggi (TET), tegangan tinggi (TT), tegangan menengah (TM), dan tegangan rendah (TR).
- Namun di Indonesia untuk TET dan TT disebut saluran transmisi, sedangkan untuk TM & TR disebut saluran distribusi
- Konstruksi jenis saluran transmisi terdiri dari :
 - saluran udara tegangan tinggi (SUTT) atau saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET)
 - Saluran kabel tegangan tinggi (SKTT)

Saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET)

- Pada umumnya digunakan pada pembangkitan dengan kapasitas di atas 500 MW. Tujuannya adalah agar drop tegangan dan penampang kawat dapat direduksi secara maksimal
- Permasalahan mendasar pembangunan SUTET adalah :
 - konstruksi tiang (tower) yang besar dan tinggi, memerlukan tapak tanah yang luas, memerlukan isolator yang banyak, sehingga pembangunannya membutuhkan biaya yang besar.
 - Masalah lain yang timbul dalam pembangunan SUTET, adalah masalah sosial yang akhirnya berdampak pada masalah pembiayaan, antara lain :
 - Timbulnya protes dari masyarakat yang menentang pembangunan SUTET.
 - Permintaan ganti rugi tanah untuk tapak tower yang terlalu tinggi.
 - Adanya permintaan ganti rugi sepanjang jalur SUTET dll.
- Pembangunan SUTET ini cukup efektif untuk jarak 100 km sampai dengan 500 km.

Saluran udara tegangan tinggi (SUTT)

- Di Indonesia tegangan operasi antara 70 KV dan 150 KV.
- Konfigurasi jaringan pada umumnya single atau double sirkuit, dimana 1 sirkuit terdiri dari 3 fasa dengan 3 atau 4 kawat. 1 kawat sebagai penghantar netral.
- Apabila kapasitas daya yang disalurkan besar, maka penghantar pada masing-masing fasa berupa berkas konduktor yang terdiri dari dua atau empat kawat (Double atau Quadrapole) dan berkas konduktor biasa disebut Bundle Conductor.
- Jika transmisi ini beroperasi secara radial, jarak terjauh yang paling efektif adalah 100 km.
- Jika jarak transmisi lebih dari 100 km, maka tegangan jatuh (drop voltage) terlalu besar, sehingga tegangan ini di ujung transmisi menjadi rendah. Untuk mengatasi hal tersebut, maka sistem transmisi dihubungkan secara ring atau interkoneksi.

Saluran kabel tegangan tinggi (SKTT)

- SKTT dipasang di kota kota kota-besar, dengan beberapa pertimbangan :
 - Di tengah kota besar tidak memungkinkan dipasang SUTT, karena sangat sulit mendapatkan tanah untuk tapak tower.
 - Untuk ROW juga sangat sulit dan pasti timbul protes dari masyarakat, karena padat bangunan dan banyak gedung-gedung tinggi.
 - Pertimbangan keamanan dan estetika.
 - Adanya permintaan dan pertumbuhan beban yang sangat tinggi.
- Jenis kabel yang digunakan :
 - Kabel yang berisolasi (berbahan) poly etheline atau kabel jenis Cross Link Poly Etheline (XLPE).
 - Kabel yang isolasinya berbahan kertas yang diperkuat dengan minyak (oil paper impregnated).
- Inti (core) kabel dan pertimbangan pemilihan :
 - Single core dengan penampang 240 mm² – 300 mm² tiap core.
 - Three core dengan penampang 240 mm² – 800 mm² tiap core.
 - Pertimbangan fabrikasi, dan pemasangan di lapangan.

Saluran kabel tegangan tinggi (SKTT)

- Kelemahan SKTT :
 - Memerlukan biaya yang lebih besar jika dibanding SUTT.
 - Untuk transmisi antar pulau digunakan sub marine cable ini ternyata rawan timbul gangguan. (arus laut, jangkar kapal, dll)
 - Pada saat proses pembangunan memerlukan koordinasi dan penanganan yang kompleks, karena harus melibatkan banyak pihak, misal : pemerintah kota (Pemkot) sampai dengan jajaran terbawah, PDAM, Telkom, Perum Gas, Dinas Perhubungan, Kepolisian, dll.
- Panjang SKTT pada tiap haspel (cable drum), maksimum 300 meter. Untuk desain dan pesanan khusus, misalnya untuk kabel laut, bisa dibuat tanpa sambungan sesuai kebutuhan.
- Pada saat ini di Indonesia telah terpasang SKTT bawah laut (Sub Marine Cable) dengan tegangan operasi 150 KV, yaitu :
 - Sub marine cable 150 KV Gresik – Tajungan (Jawa – Madura). SKTT 150 KV yang dipasang di bawah laut dan di samping Jembatan Suramadu.
 - Sub marine cable 150 KV Ketapang – Gilimanuk (Jawa – Bali).
 - Direncanakan akan dibangun sub marine cable Jawa – Sumatera

Pertimbangan pembangunan SUTT

- Adanya penambahan dan pertumbuhan beban sistem tenaga listrik.
- Karena pembangkit tenaga listrik pada umumnya lokasinya jauh dari pusat-pusat beban, sehingga untuk menyalurkan energi listrik harus dibangun transmisi tegangan tinggi.
- Pemilihan transmisi SUTT mempertimbangkan beberapa hal, antara lain :
 - Biaya investasi (biaya pembangunan) jauh lebih murah jika dibanding transmisi SKTT.
 - Untuk penyaluran yang jaraknya jauh, SUTT lebih mudah, lebih cepat dan lebih praktis dalam pelaksanaan pembangunannya.
 - Koordinasi pada saat pelaksanaan pembangunan, lebih mudah, dan tidak melibatkan banyak pihak jika dibandingkan dengan SKTT.
 - Pada saat beroperasi, jika terjadi gangguan mudah dalam perbaikannya.
 - Route SUTT bisa melewati berbagai kondisi geografis, misal : dataran rendah (tanah rata), pegunungan, sungai, persawahan, perbukitan, dan lainlain.
- Di Pulau Jawa, transmisi SUTT 150 KV telah terpasang secara sistem interkoneksi. Sedangkan di Pulau-pulau besar lainnya sedang dikembangkan menjadi sistem interkoneksi.

Ketentuan jarak aman/ ruang bebas (ROW)

- Transmisi tenaga listrik yang bertegangan tinggi (SUTET, SUTT, SKTT, SKLTT), memiliki resiko tinggi terhadap keamanan dan kesehatan lingkungan, terutama menyangkut masalah besarnya tegangan dan pengaruh medan listrik yang ditimbulkannya.
- Satu hal penting yang harus diperhatikan dan dipenuhi, adalah ketentuan jarak aman/ ruang bebas (ROW) pada daerah yang dilalui oleh jalur transmisi tegangan tinggi.
- Dengan terpenuhinya jarak/ aman / ruang bebas (ROW) di sepanjang jalur transmisi tegangan tinggi, maka :
 - Keamanan dan kesehatan lingkungan dapat terpenuhi dengan baik.
 - Dampak secara teknik, keamanan, kesehatan dan sosial, dapat diterima oleh masyarakat.
- Pada jalur SUTT yang lama pada umumnya sepanjang jalur SUTT tidak boleh didirikan bangunan. Tetapi saat ini di sepanjang jalur SUTT banyak didirikan bangunan, dengan pertimbangan selama jarak aman/ ruang bebas (ROW) dipenuhi, maka keselamatan dan kesehatan lingkungan akan terpenuhi pula.

Saluran transmisi AC atau DC

- Menurut jenis arusnya, Saluran Transmisi dibedakan menjadi:
 - a. Saluran Transmisi AC (Alternating Current)
 - b. Saluran Transmisi DC (Direct Current)
- Sebagian besar saluran transmisi menggunakan tegangan AC
- Sistem AC dapat dikelompokkan menjadi dua :
 - a. Sistem 1 Fasa dan
 - b. Sistem 3 Fasa
- Kelebihan dari sistem 3 Fasa :
 - a. Daya yang disalurkan lebih besar
 - b. Nilai Sesaatnya konstan
 - c. Mempunyai medan maknet putar
- Oleh karena itu hampir seluruh penyaluran tenaga listrik di dunia menggunakan sistem AC 3 Fasa.

Saluran transmisi AC atau DC

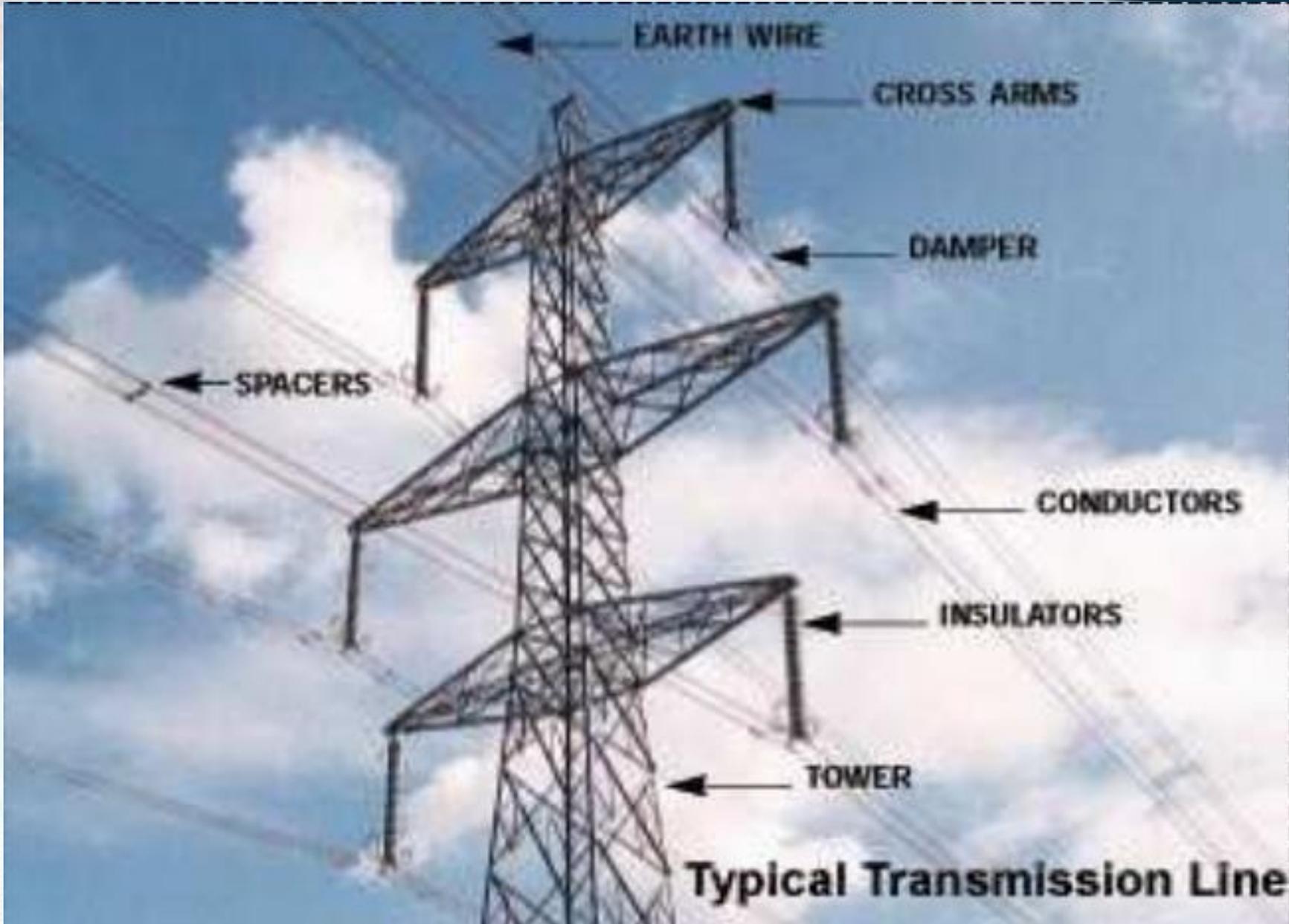
- Di beberapa negara sudah mulai menggunakan sistem DC. Penyaluran dengan tegang DC mempunyai keuntungan:
 - a. Isolasinya yang lebih sederhana
 - b. Daya guna (effisiensi) yang lebih tinggi (karena $PF = 1$)
 - c. Tidak adanya masalah stabilitas, sehingga memungkinkan penyaluran jarak jauh.
- Namun Persoalan ekonominya masih harus diperhitungkan.
 - Sistem DC baru dianggap ekonomis bila jarak penyaluran antara 400 sampai 600 km untuk saluran udara atau lebih panjang dari 50 km untuk saluran bawah tanah.
 - Hal ini terjadi karena biaya peralatan mengubah dari tegangan AC ke DC dan sebaliknya (converter & inverter) masih mahal.

Tegangan Transmisi

- Untuk daya yang sama, apabila tegangan transmisi ditinggikan, maka daya guna penyaluran akan naik oleh karena rugi-rugi transmisi turun.
- Rugi-rugi transmisi berbanding lurus dengan kuadrat arus saluran.

$$P_{\text{rugi rugi}} = I^2 \times R \quad (\text{watt})$$

- Namun demikian peninggian tegangan transmisi berarti juga kenaikan tingkat dan biaya isolasi peralatan dan gardu induk.
- Oleh karena itu Pemilihan Tegangan Transmisi dilakukan dengan memperhitungkan:
 - Daya yang disalurkan
 - Jumlah rangkaian
 - Jarak penyaluran
 - Keandalan (reliability)
 - Biaya peralatan dan standarisasi peralatan
- Tegangan Transmisi yang dipakai di Indonesia : 70, 150, 275, 500 KV



EARTH WIRE

CROSS ARMS

DAMPER

SPACERS

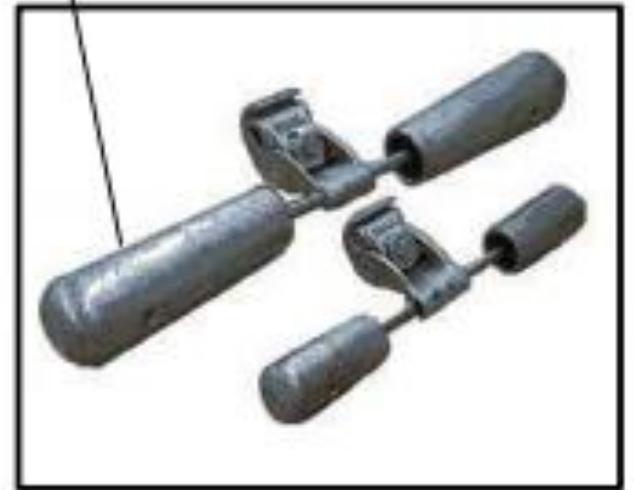
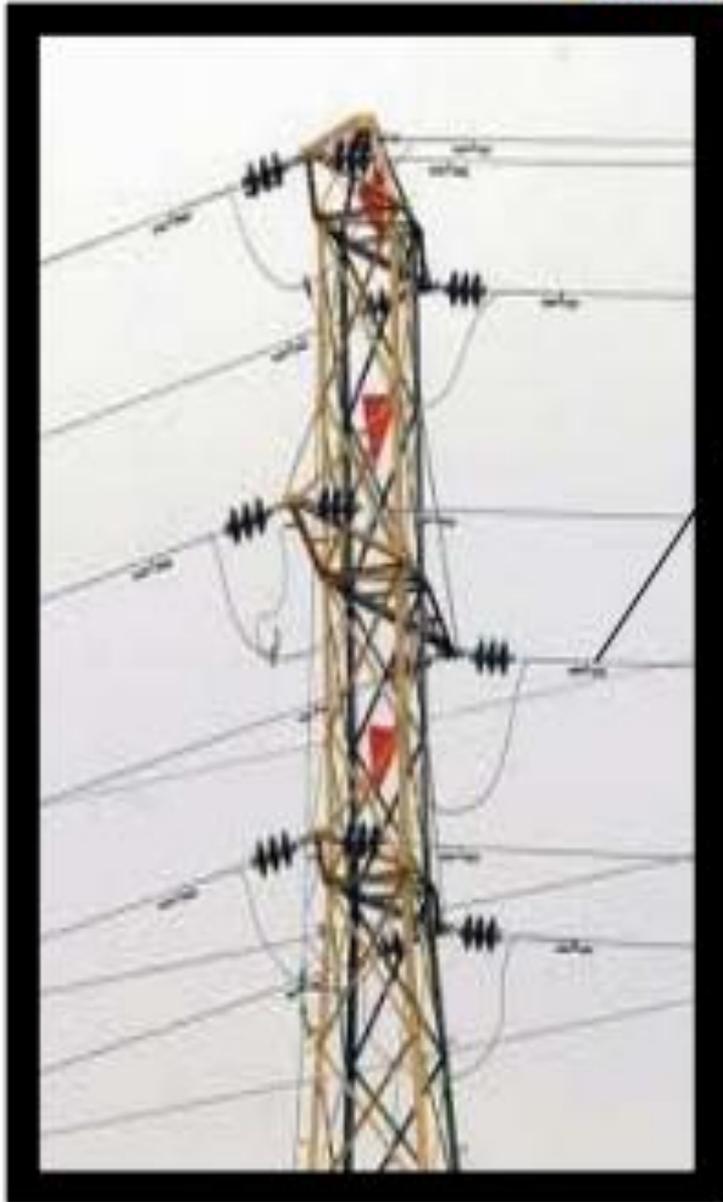
CONDUCTORS

INSULATORS

TOWER

Typical Transmission Line

CLOSER LOOK OF DAMPER



Komponen utama SUTT

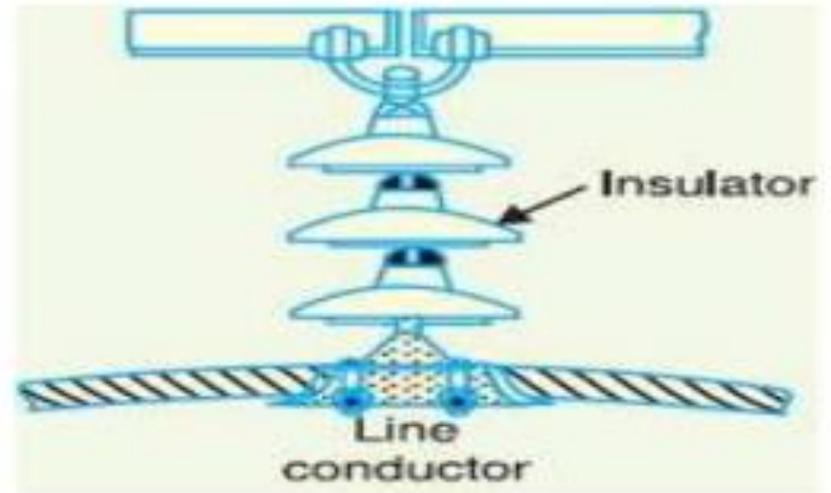
Isolator

- Jenis isolator yang digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas.
- Menurut konstruksinya dikenal tiga jenis isolator:
 1. Isolator jenis Pin (pasak)
 2. Isolator Jenis Line-post
 3. Isolator jenis Suspension (gantung)
 4. Isolator jenis Strain
- Isolator Pin dan pos-saluran, digunakan pada saluran transmisi tegangan menengah (SUTM)
- Isolator Suspension dan Strain dapat digandeng menjadi suatu rentengan isolator untuk tegangan tinggi (SUTT) dan ekstra tinggi (SUTET). Jumlah rentengannya tergantung kebutuhan.

Pin, Line-post, Suspension & Strain insulator



Pin insulator



Suspension



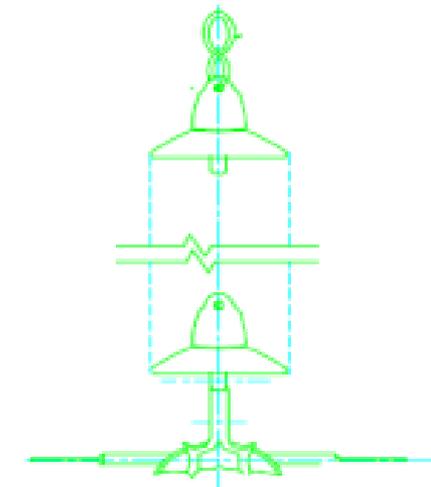
Line-post insulator



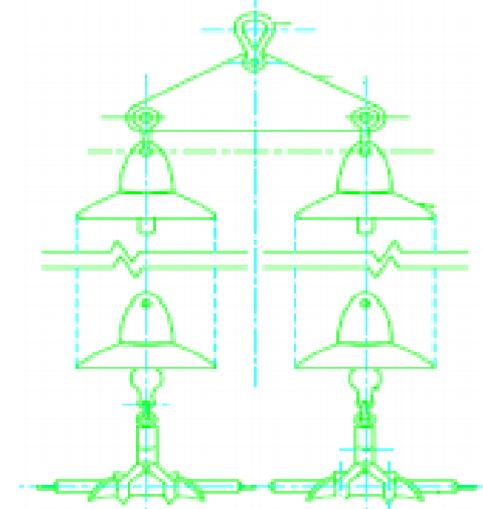
Strain

Rantai Isolator

- ❑ Isolator piring dirangkai di bagian pengait tengahnya membentuk suatu rantai.
- ❑ Jumlah isolator piring ditentukan oleh sistem tegangan yg digunakan, amplitudo tegangan lebih petir dan surja hubung serta tingkat pengotoran isolator.
- ❑ Rantai isolator dpt menggunakan tipe gantung / tarik (suspension / tension).
- ❑ Pengaruh ayunan angin juga harus diperhatikan.



Single string



Double string

Komponen utama SUTT

Kawat Penghantar (Konduktor)

- Berfungsi untuk menyalurkan arus listrik dari satu tempat ke tempat lainnya.
- Jenis kawat yang digunakan :
- Kawat tembaga (Cu). Saat ini sudah jarang digunakan, karena harganya yang mahal.
- Kawat ACSR (Alluminium Conductor Steel Reinforce) : Jenis inilah yang saat ini banyak digunakan di Indonesia.
- Saat ini dikembangkan penggunaan T-ACSR (Thermal-Alluminium Steel Reinforce), yang memiliki kemampuan hantar arus (KHA) kurang lebih 1,7 kali KHA ACSR.
- Pertimbangan lain penggunaan ACSR/T-ACSR, selain memenuhi ketentuan standard teknik, juga memiliki kemampuan (kekuatan) mekanik yang lebih baik jika dibanding konduktor lain, misal : AAC, AAAC.
- Hal-hal yang perlu diperhatikan :
- Jika arus listrik mengalir pada penghantar, maka akan menimbulkan panas pada penghantar dan akan menyebabkan terjadinya pemuaiannya pada penghantar, yang pada akhirnya akan menyebabkan timbulnya penurunan andongan (lendutan).
- Kondisi tersebut perlu adanya ketentuan standard suhu operasi maksimum penghantar yang diijinkan. PLN menetapkan ketentuan suhu operasi maksimum penghantar SUTT sebesar 75°C .

Komponen utama SUTT

Kawat Penghantar

Jenis-jenis kawat penghantar yang bisa digunakan pada saluran transmisi, antara lain : tembaga (Cu) dan Aluminium (Al).

Kawat penghantar aluminum terdiri dari berbagai jenis, sbb :

- AAC (All-Aluminium Conductor), kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
- AAAC (All-Aluminium Alloy Conductor), kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
- ACSR (aluminium Conductor Steel Reinforced), kawat penghantar aluminium berinti kawat baja
- ACAR (Aluminium Conductor Alloy Reinforced), kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran.

Komponen utama SUTT

Kawat Penghantar & kawat tanah

- Kawat penghantar tembaga karena konduktifitas dan kuat tariknya lebih tinggi. Tetapi untuk nilai tahanan yang sama tembaga lebih berat dan lebih mahal. Oleh karena itu untuk saluran transmisi saat ini peran kawat penghantar tembaga telah digantikan oleh aluminium.
- Untuk memperbesar kuat tarik aluminium, digunakan campuran aluminium (aluminium alloy). Pada SUTT dengan jarak antar tiang menara yang jauh (ratusan meter), dibutuhkan kawat penghantar dengan kuat tarik yang lebih tinggi, untuk itu digunakan kawat penghantar jenis ACSR
- Kawat tanah atau “ground wire” juga disebut kawat pelindung (shield wire), gunanya untuk melindungi kawat penghantar/ kawat fasa dari sambaran petir langsung. Kawat tanah diletakkan diatas kawat fasa dan biasanya terbuat dari baja yg lebih murah.

Pertimbangan pemilihan ukuran konduktor

- ❑ **Pertimbangan Mekanis**
- ❑ **Pertimbangan Electrical**

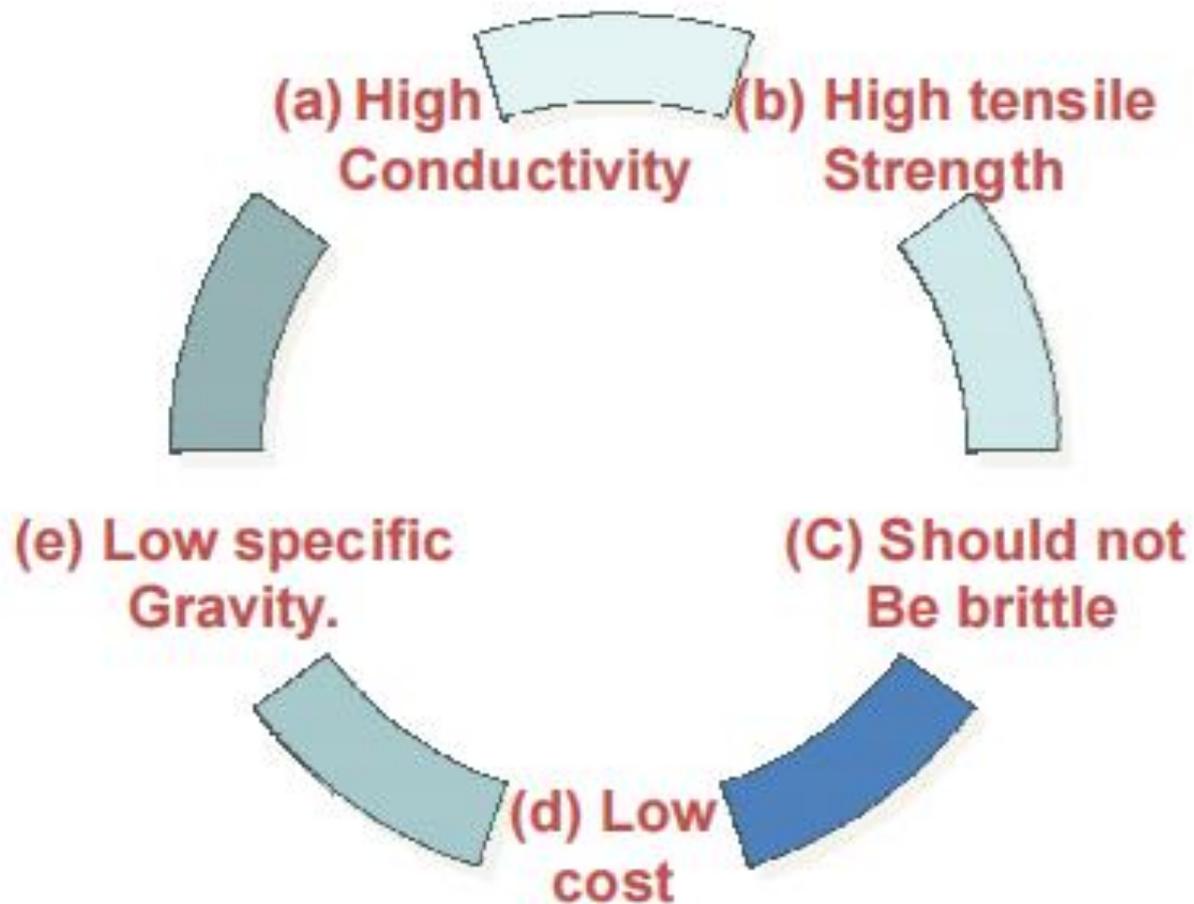
Kebutuhan Mechanical

- Tensile Strength (For Tension)
- Strain Strength(For Vibration)

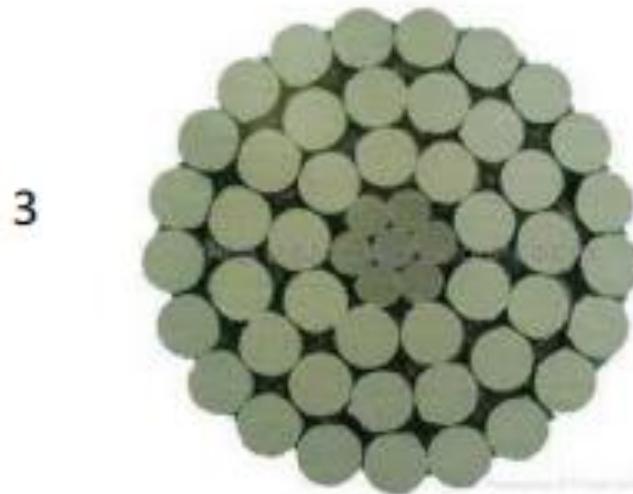
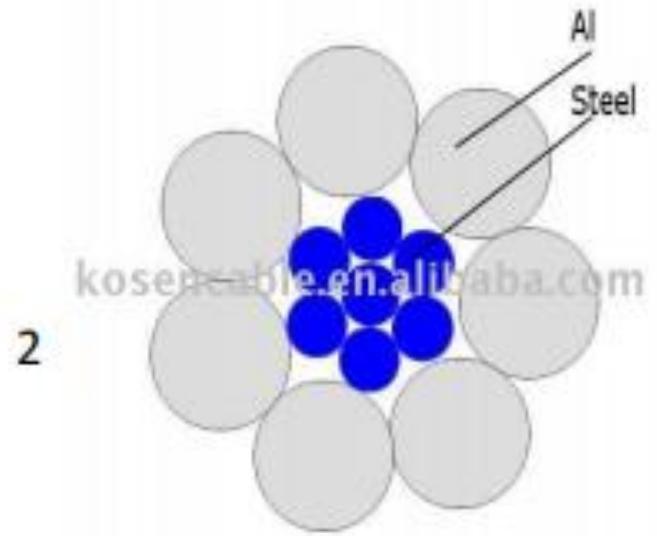
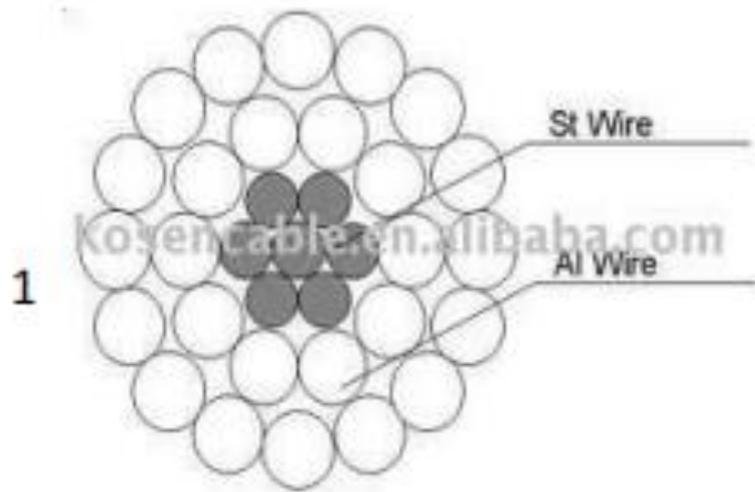
Kebutuhan Electrical

- Continuous current rating.
- Short time current carrying rating.
- Voltage drop
- Power loss
- Minimum dia to avoid corona
- Length of line

CHARACTERISTICS OF CONDUCTING MATERIAL:-



ACSR—conductor used in overhead lines



Komponen pengaman SUTT

- Komponen pengaman (perlindungan) pada transmisi tegangan tinggi (SUTT), memiliki fungsi penting sebagai pengaman (perlindungan) SUTT secara menyeluruh.
- Komponen pengaman (perlindungan) pada SUTT, antara lain :
 - Kawat Tanah (Ground Wire) dan perlengkapannya.
 - Pentanahan tiang.
 - Jaringan pengaman (Safety Net).
 - Bola pengaman (Balistor).
- Untuk kawat tanah (ground wire) dan pentanahan tiang, dipasang di sepanjang jalur SUTT.
- Untuk jaringan pengaman (Safety Net) dan bola pengaman dipasang pada tempat-tempat tertentu jalur SUTT, sesuai kondisi dan kebutuhan setempat.

Kawat tanah dan pentanahan tiang SUTT

- Adalah kawat pentanahan (grounding) yang berfungsi untuk menyetanahkan arus listrik saat terjadinya gangguan (sambaran) petir secara langsung.
- Pada umumnya ground wire terbuat dari kawat baja (steel wire) dengan kekuatan St 35 atau St 50,.
- Jumlah ground wire pada SUTT, ada yang satu atau dua, tergantung dari pucuk tower.
- Pentanahan tiang dipasang pada masing-masing tower di sepanjang jalur SUTT. Fungsi pentanahan tiang adalah untuk menyalurkan arus listrik dari kawat tanah (ground wire) akibat terjadinya sambaran petir.
- Pentanahan tiang terdiri dari kawat tembaga atau kawat baja yang di klem pada pipa pentanahan dan ditanam di dekat pondasi tower (tiang) SUTT.

Jaring pengaman dan bola pengaman SUTT

Jaring Pengaman

- Berfungsi untuk pengaman SUTT dari gangguan yang dapat membahayakan SUTT tersebut dari lalu lintas yang berada di bawah SUTT yang tingginya melebihi tinggi yang diijinkan.
- Fungsi lainnya adalah untuk menjaga kemungkinan putusnya penghantar SUTT, sehingga tidak membahayakan lalu lintas yang melewati persilangan dengan SUTT tersebut.
- Pada umumnya jaring pengaman dipasang di perlintasan (persilangan) jalan umum dengan jalur SUTT.

Bola Pengaman

- Dipasang sebagai tanda pada SUTT, untuk pengaman lalu lintas udara.
- Pada umumnya dipasang pada kawat tanah (Ground Wire) di daerah yang banyak dilewati lalu lintas udara atau di dekat bandar udara (Bandara).
- Untuk pengaman pada malam hari, digunakan Balistor yang dipasang pada kawat fasa dan bekerja atas dasar drop tegangan yang dapat menyalakan ion pendar seperti lampu neon dengan warna kuning

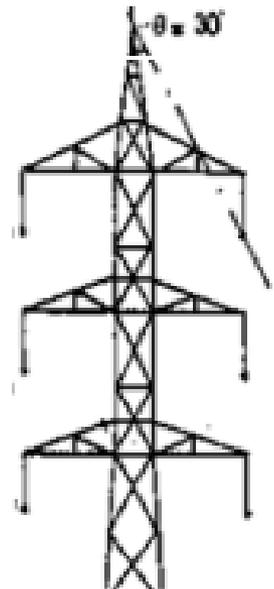
Kawat Tanah

Kawat tanah berada diatas kawat konduktor phasa sepanjang saluran dan ditanahkan pada setiap tiang.

- » Melindungi kawat konduktor phasa dari sambaran petir langsung
- » Mengurangi tegangan tinggi sepanjang isolator sewaktu terjadinya sambaran langsung

Design criterion:

- Sudut perlindungan
 - 25° - 30° s/d 220 KV
 - 20° untuk 400 KV keatas
- Kawat tanah harus mampu tahan terhadap arus surja petir singkat hingga 100 kA tanpa mengakibatkan pemanasan berlebih



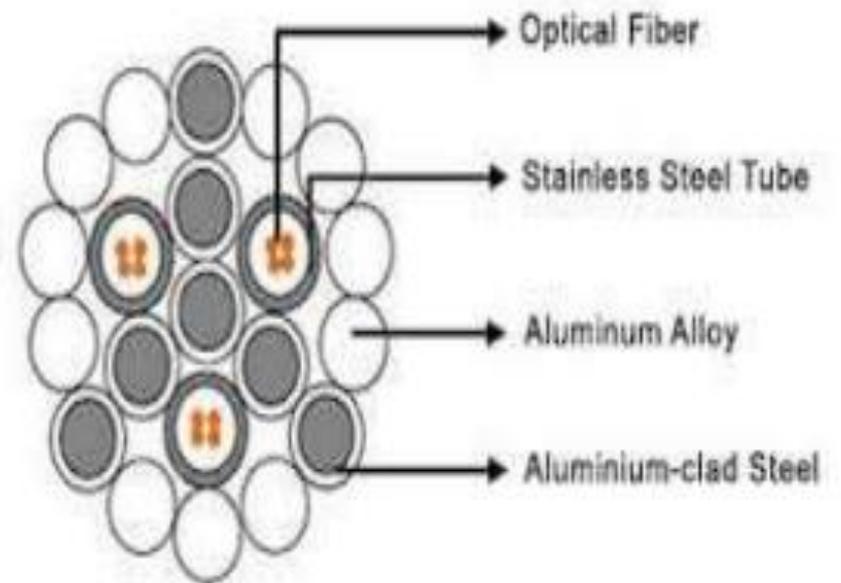
Kawat Tanah tipe OPGW

- Optical Ground Wire (OPGW)
- Keuntungan :
 - Dapat melayani dua tujuan, sebagai kawat tanah dan menyediakan media jalur komunikasi.
 - Transmisi data melalui serat optik memiliki kecepatan transfer data yang tinggi.



Konstruksi OPGW

OPGW



Multi Loose Tube Type

Parameter Saluran Transmisi

Yang dimaksud dengan karakteristik listrik saluran transmisi adalah konstanta saluran yaitu

- Resistansi/ Tahanan (R)
- Induktansi (L)
- Admitansi/ Konduktansi (G atau Y)
- Kapasitansi (C)

Pada saluran udara konduktansi (G atau Y) nilainya sangat kecil (pengaruhnya juga kecil) sehingga dapat diabaikan

Resistansi

Resistansi arus searah (DC) dari suatu konduktor (kawat penghantar) dinyatakan oleh

$$R_{DC} = \frac{\rho l}{A}$$

Dimana : l = panjang dari kawat penghantar;

A = luas penampang kawat,

ρ = resistivitas konduktor.

Sehingga resistansi DC per meter dari suatu konduktor adalah

$$r_{DC} = \frac{\rho}{A} \left[\frac{\Omega}{m} \right]$$

Resistivitas suatu konduktor merupakan karakteristik dasar dari material pembuatan konduktor. Bervariasi terhadap jenis dan temperatur dari material. Pada temperatur sama, resistivitas dari aluminum lebih tinggi dari pada tembaga.

Resistansi

Diketahui bahwa perak dan tembaga merupakan material konduktor terbaik. Namun, aluminium, jauh lebih murah dan ringan, sehingga umumnya saluran transmisi menggunakan konduktor jenis ini. Konduktor dengan bahan aluminium harus memiliki diameter lebih besar dibandingkan tembaga sebagai solusi untuk mengatasi resistivitas aluminium yang lebih tinggi daripada tembaga, sehingga aluminium dapat dibebani dengan arus yang sama.

Resistansi arus bolak balik (AC) dari suatu konduktor selalu lebih tinggi daripada resistansi DC karena pengaruh dari skin effect yang memaksa lebih banyak arus yang mengalir dipermukaan konduktor. Semakin tinggi frekuensi arus semakin besar pengaruh skin effect.

Pada frekuensi listrik (50 Hz), pengaruh skin effect tidak terlalu besar.

Nilai resistansi AC dan DC biasanya dapat diketahui dari tabel konduktor.

Resistansi

Dalam tabel sering kita jumpai penampang kawat diberikan dalam satuan "CircularMil" (CM). CM adalah penampang kawat yg mempunyai diameter 1 mil = 1/1000 inch.

$$CM = 1973 \times (\text{Penampang dalam mm}^2)$$

Atau:

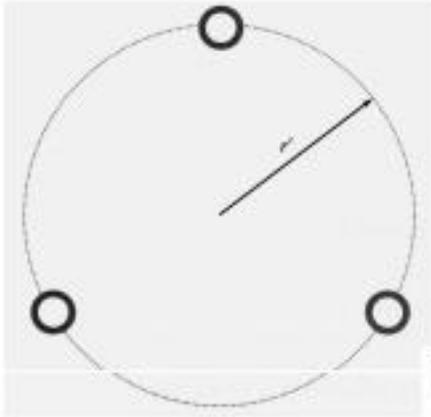
$$\text{Penampang dalam mm}^2 = 5,067 \times 10^{-4} \times (\text{Penampang dalam CM})$$

Umumnya kawat penghantar terdiri-dari kawat pilin (Stranded conductor), maka sebagai faktor koreksi pengaruh dari kawat pilin, panjang kawat dikalikan 1,02 (2% faktor koreksi)

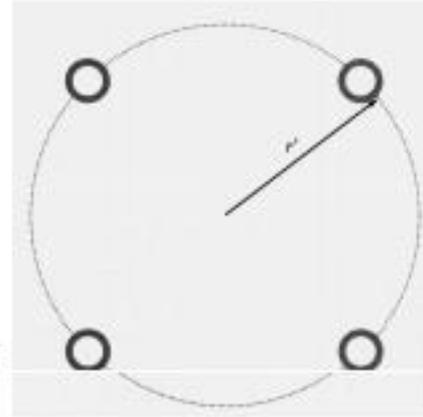
Induktansi saluran transmisi (Kesimpulan)

1. Semakin besar jarak antar fasa pada saluran transmisi, semakin besar induktansi saluran. Karena fasa-fasa pada SUTT harus berjarak yang cukup untuk menjamin isolasi yang mencukupi, maka SUTT akan memiliki induktansi yang lebih besar dari pada SUTM dan SUTR. Karena jarak antara fasa pada SKTT adalah sangat kecil, maka induktansi seri dari SKTT jauh lebih kecil dari pada SUTT.
2. Semakin besar radius konduktor dari saluran transmisi, semakin kecil induktansi dari saluran tsb. Pada SUTT dan SUTET, dari pada menggunakan konduktor yang besar, tidak fleksibel dan berat dengan radius yang besar, sering digunakan bundle conductor yang terdiri dari dua atau lebih konduktor dengan total radius mendekati diameter konduktor besar. Semakin banyak konduktor dalam bundle conductor maka pendekatan luas penampangnya semakin baik.
3. Untuk mencari nilai induktansi suatu saluran transmisi, terlebih dahulu dicari besarnya nilai GMR dan GMD dari saluran tsb. Dengan mengetahui besarnya induktansi saluran, diketahui pula reaktansi induktif saluran (X_L). jadi GMR dan GMD digunakan untuk mengetahui besarnya reaktansi induktif. Selain itu, GMD dan GMR juga mampu mengetahui besarnya kapasitansi saluran dan impedansi saluran, sehingga besarnya susut tegangan dapat dikendalikan melalui parameter impedansi, kapasitif dan induktansi saluran transmisi.

Induktansi saluran transmisi



Berkas konduktor
2 kawat



Berkas konduktor
4 kawat

Kapasitansi dan reaktansi kapasitif

Bila tegangan V diterapkan pada sepasang konduktor yang dipisahkan oleh suatu dielectric (udara), muatan dengan jumlah yang sama tetapi berlawanan tanda terkumpul pada konduktor

$$q = CV$$

Dimana C adalah kapasitansi antara pasangan konduktor.

Dalam sistem AC , suatu saluran transmisi menerima tegangan sinusoida yang bervariasi terhadap waktu yang berbeda setiap fasanya. Tegangan yang bervariasi terhadap waktu ini menyebabkan perubahan muatan yang tersimpan pada konduktor. Perubahan muatan menghasilkan perubahan arus, yang akan menaikkan arus yang melalui saluran transmisi, dan akan mempengaruhi faktor daya dan jatuh tegangan pada saluran.

Kapasitansi saluran transmisi satu fasa 2 kawat

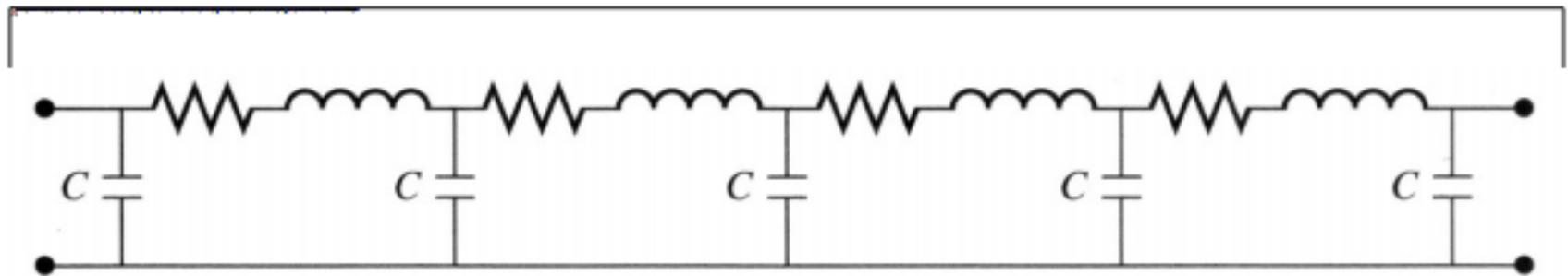
Kesimpulan :

1. Dengan cara yang sama kapasitansi untuk saluran tiga fasa dapat diketahui.
2. Semakin besar jarak antar fasa dari saluran transmisi, semakin kecil kapasitansi saluran. Karena fasa-fasa pada SUTT harus dipisahkan dengan jarak yang mencukupi untuk menjamin kecukupan isolasi saluran, maka SUTT akan memiliki kapasitansi lebih rendah dibandingkan dengan SUTM dan SUTR. Karena jarak antara fasa pada SKTT sangat rendah, kapasitansi shunt SKTT jauh lebih besar dari pada SUTT. Oleh karena itu SKTT umumnya dipakai pada jarak yang pendek untuk meminimalkan kapasitansi
3. Semakin besar radius dari konduktor dari saluran transmisi, semakin besar kapasitansi saluran. Sehingga konduktor berkas akan menaikkan kapasitansi saluran . Saluran transmisi yang baik, adalah kompromi diantara berbagai kebutuhan untuk induktansi seri yang rendah, kapasitansi shunt yang rendah, dan pemisahan antar konduktor yang cukup untuk kebutuhan isolasi antar fasa.
4. Nilai kapasitansi, induktansi dan resistansi saluran dapat diketahui dari tabel konduktor

Pemodelan saluran transmisi

Karakteristik saluran transmisi dinyatakan dengan parameter, resistansi, induktansi dan kapasitansi yang tersebar sepanjang saluran.

Namun memodelkan parameter yang tersebar sepanjang saluran tersebut adalah sulit. Parameter-parameter tersebut, dapat didekati dengan beberapa resistor, induktor dan kapasitor.



Namun, pendekatan ini tidak praktis, karena harus menghitung arus dan tegangan di setiap titik sepanjang saluran. Dapat juga diselesaikan melalui persamaan diferensial untuk saluran, namun juga tdk praktis, untuk sistem yang besar dengan banyak saluran transmisi.

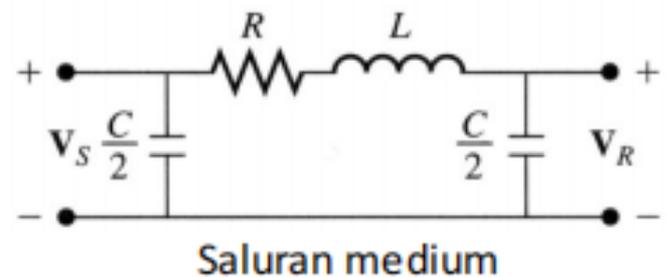
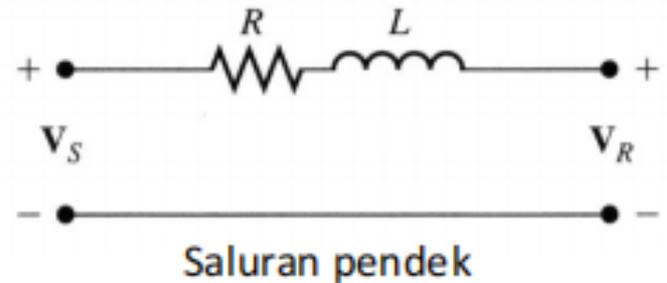
Pemodelan saluran transmisi

Untuk panjang SUTT < 80 km, dikategorikan sebagai saluran pendek. Dapat dimodelkan dengan resistansi dan induktansi seri, karena kapasitansinya dapat diabaikan.

Untuk SUTT, reaktansi induktif pada 50 Hz umumnya jauh lebih besar dari resistansi saluran.

Untuk panjang SUTT (80 – 250 km) dikategorikan sebagai saluran transmisi dengan panjang menengah/medium. Disini kapasitansi saluran sudah mulai diperhitungkan. Dan dapat dimodelkan dengan dua kapasitor dengan ukuran masing2 separohnya di kedua ujung saluran.

Untuk SUTT dengan panjang > 250 km dikategorikan sebagai saluran transmisi panjang.



Pemodelan saluran transmisi

Besarnya nilai resistansi, reaktansi seri (induktif) dan admitansi shunt dari suatu saluran transmisi dapat dihitung sbb

$$R = rd$$

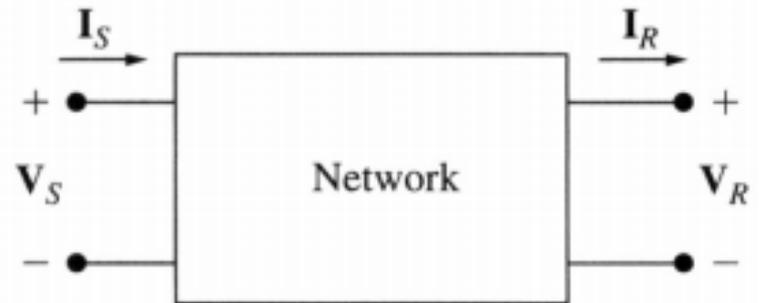
$$X = xd$$

$$Y = yd$$

Dimana r , x , dan y adalah resistansi, reaktansi, dan admitansi shunt per unit panjang dan d adalah panjang dari saluran transmisi. Nilai r , x , dan y dapat du dari tabel referensi konduktor saluran transmisi.

Jaringan 2 kutub (2-port networks) & konstanta ABCD

Suatu saluran transmisi dapat dinyatakan dengan jaringan 2 kutub – yaitu suatu jaringan yg dapat diisolasi dari lingkungan luarnya melalui dua hubungan kutub, seperti pd gambar.



Bila jaringannya linier, berdasarkan teori rangkaian (analogous to Thevenin's theorem) menetapkan hubungan antara tegangan dan arus sisi kirim dan sisi terima sbb :

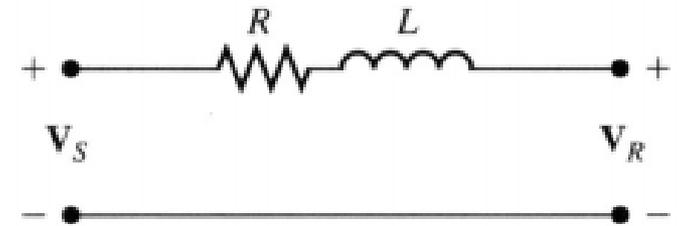
$$V_S = AV_R + BI_R$$

$$I_S = CV_R + DI_R$$

Disini konstanta A dan D tanpa dimensi, konstanta B dengan unit Ω , dan konstanta C diukur dalam Siemens (Mho). Konstanta-2 ini sering kali disebut sebagai konstanta umum rangkaian, atau konstanta ABCD.

Saluran transmisi pendek

Rangkaian ekuivalen per fasa dari saluran pendek



V_S dan V_R adalah tegangan sisi kirim dan terima; I_S dan I_R adalah arus sisi kirim dan terima. Diasumsikan tidak ada admitansi saluran.

$$I_S = I_R$$

Berdasarkan Hk. Kirchhoff terdapat hubungan untuk tegangan sbb

$$V_S = V_R + ZI = V_R + RI + jX_L I$$

$$V_R = V_S - RI - jX_L I$$

Jaringan 2-kutub & konstanta ABCD

Konstanta ABCD dapat diinterpretasikan secara fisik. konstanta A menggambarkan effect dari perubahan tegangan sisi terima terhadap tegangan sisi kirim; dan konstanta D menggambarkan effect perubahan arus sisi terima terhadap arus sisi kirim. Kedua konstanta A dan D tanpa dimensi.

Konstanta B menggambarkan effect perubahan arus sisi terima terhadap tegangan sisi kirim. Konstanta C menggambarkan effect perubahan tegangan sisi terima terhadap arus sisi kirim.

Saluran transmisi adalah jaringan linier 2 kutub, dan sering dinyatakan dengan model ABCD.

Untuk saluran pendek, $I_S = I_R = I$, dan konstanta ABCD saluran adalah

$$A = 1$$

$$B = Z$$

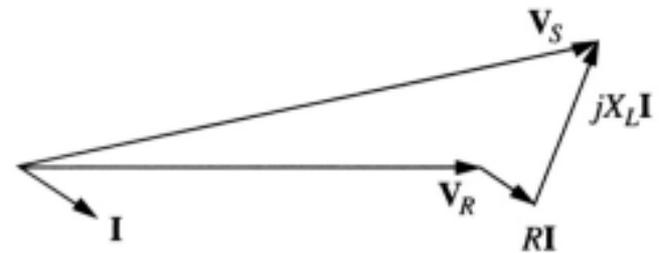
$$C = 0$$

$$D = 1$$

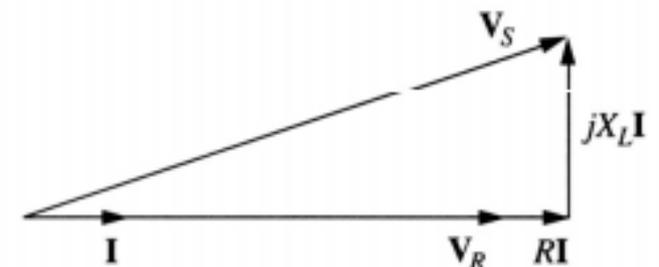
Diagram fasor saluran transmisi pendek

Tegangan bolak-balik (AC) biasanya dinyatakan dalam diagram fasor.

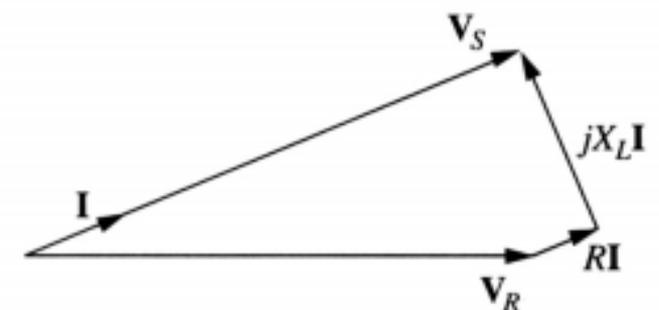
Beban dengan faktor daya lagging.



Beban dengan faktor daya unity (1,0).



Beban dengan faktor daya leading.



Untuk suatu tegangan kirim V_S dan suatu besaran arus, tegangan sisi terima V_R akan lebih rendah untuk beban lagging dan lebih tinggi untuk beban leading .

Karakteristik saluran transmisi

Pada SUTT, nilai reaktansi X_L normalnya jauh lebih besar dari resistansi R ; sehingga resistansi saluran sering kali diabaikan. Beberapa karakteristik penting saluran transmisi adalah sbb

Diasumsikan sebuah generator mensuplai sebuah beban melalui suatu saluran transmisi, bagaimana pengaruh kenaikan beban terhadap tegangan.



Diasumsikan generator ideal, kenaikan beban akan menaikkan daya aktif dan reaktif keluar dr generator begitu pula arus di saluran transmisi. Sementara tegangan sisi kirim tetap.

- 1) Apabila bebannya bertambah dengan faktor daya lagging yang sama, besaran arus di saluran akan naik tetapi masih dengan sudut θ yang sama terhadap V_R seperti sebelumnya.

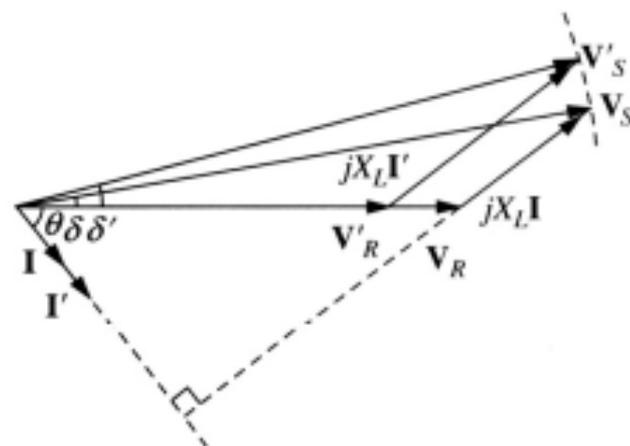
Karakteristik saluran transmisi

Jatuh tegangan pada reaktansi juga naik tetapi tetap dengan sudut yang sama.

Diasumsikan resistansi saluran = 0 dan perlu diingat bahwa besaran tegangan sumber atau tegangan kirim adalah konstan

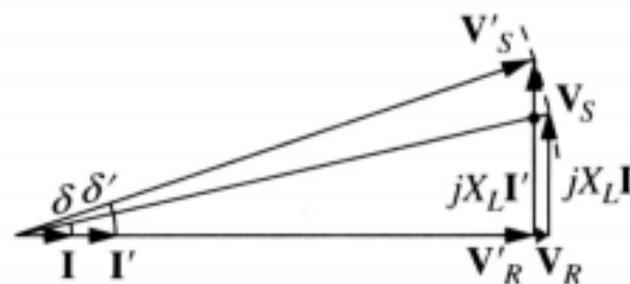
$$V_S = V_R + jX_L I$$

Jatuh tegangan pada reaktansi $jX_L I$ akan berkisar antara V_R and V_S .



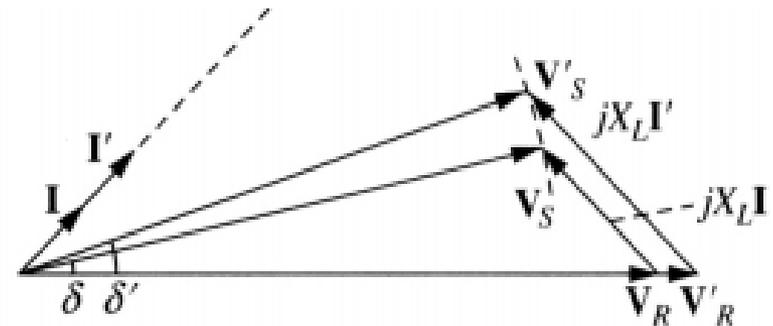
Sehingga , bila beban lagging naik, tegangan sisi terima akan berkurang cukup besar

- 2) Sebaliknya , Naiknya beban dengan faktor daya unity (1,0), akan sedikit menurunkan tegangan sisi terima.



Karakteristik saluran transmisi

- 3) Sedangkan, naiknya beban dengan faktor daya leading, maka tegangan sisi terima juga akan naik



Ringkasan :

1. Bila beban lagging (inductive) pada sisi terima saluran meningkat, tegangan di sisi terima dari saluran akan **turun cukup besar** – nilai pengaturan tegangan (V_R) akan besar dan positif.
2. Bila beban unity-PF (resistive) pada sisi terima saluran meningkat, tegangan di sisi terima dari saluran akan **turun sedikit** – nilai pengaturan tegangan (V_R) akan kecil dan positif..
3. Bila beban leading (capacitive) pada sisi terima saluran meningkat, tegangan di sisi terima dari saluran akan **naik** – nilai pengaturan tegangan (V_R) akan negatif..

Karakteristik saluran transmisi

Pengaturan tegangan (voltage regulation = VR) dari saluran transmisi adalah

$$VR = \frac{V_{Rnl} - V_{Rfl}}{V_{Rfl}} \cdot 100\%$$

Dimana V_{Rnl} dan V_{Rfl} adalah tegangan no-load dan full-load pada sisi terima saluran.

Untuk saluran pendek : $V_{Rnl} = V_S$ dan $V_{Rfl} = V_R$

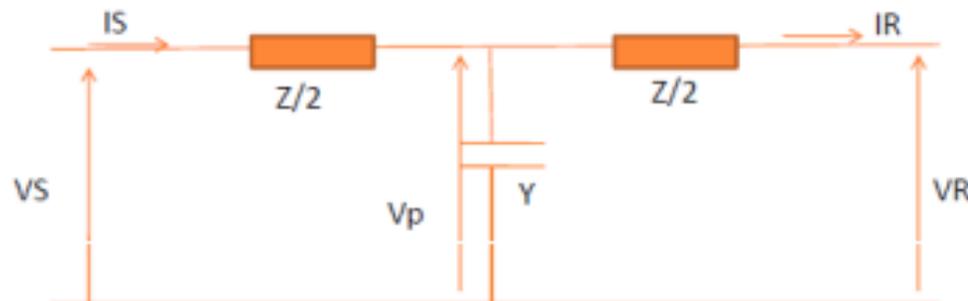
Sehingga

$$VR = \frac{V_S - V_R}{V_R} \cdot 100\%$$

Saluran transmisi menengah

Pada saluran transmisi dengan panjang medium/ menengah (80 – 250 km) , nilai kapasitansi saluran sudah mulai diperhitungkan. Dalam pemodelannya dapat dipusatkan di satu titik (nominal T) atau pada dua titik (nominal PI).

Rangkaian ekivalen Nominal T



Relasi tegangan dan arus :

$$V_S = V_R + I_R \frac{Z}{2} + I_S \frac{Z}{2}$$

$$I_S = I_R + V_P Y = I_R + \left(V_R + I_R \frac{Z}{2} \right) Y$$

$$I_S = Y V_R + \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) I_R$$

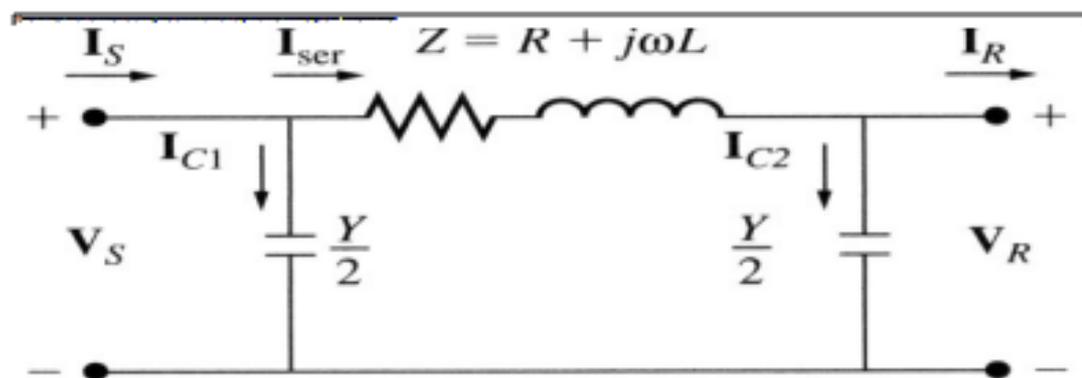
Saluran transmisi menengah

Maka :

$$V_S = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right)V_R + \left(Z + \frac{Z^2Y}{4}\right)I_R$$

$$I_S = YV_R + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right)I_R$$

Rangkaian ekuivalen Nominal PI



Relasi tegangan dan arus :

$$V_S = V_R + I_P Z$$

Tetapi

$$I_P = I_R + V_R \frac{Y}{2}$$

Saluran transmisi menengah

Jadi :

$$V_S = V_R + \left(I_R + V_R \frac{Y}{2} \right) Z$$

$$V_S = \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) V_R + Z I_R$$

$$I_S = I_P + V_S \frac{Y}{2} = I_R + V_R \frac{Y}{2} + \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) V_R + Z I_R \frac{Y}{2}$$

$$I_S = \left(Y + \frac{ZY^2}{4} \right) V_R + \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) I_R$$

Pengaturan tegangan untuk saluran menengah :

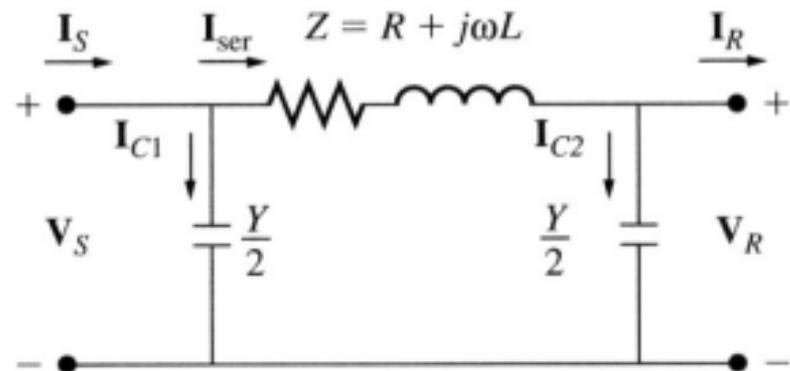
$$VR = \frac{V_{Rnl} - V_{Rfl}}{V_{Rfl}} \cdot 100\%$$

atau

$$VR = \frac{\frac{V_S}{1 + \frac{ZY}{2}} - V_R}{V_R} \cdot 100\%$$

Saluran transmisi menengah

Pada saluran menengah, admitansi shunt harus dimasukkan dalam perhitungan. Total admitansi biasanya dimodelkan dengan model Phi (π model) seperti gambar disamping.



Arus yg melalui kapasitor sisi terima adalah

$$I_{C2} = V_R \frac{Y}{2}$$

Dan arus yang melalui impedansi seri adalah

$$I_{ser} = V_R \frac{Y}{2} + I_R$$

Saluran transmisi menengah

Dari Hk. Kirchhoff untuk tegangan, tegangan sisi kirim adalah

$$V_S = ZI_{ser} + V_R = Z(I_{C2} + I_R) + V_R = \left(\frac{ZY}{2} + 1\right)V_R + ZI_R$$

Arus sisi kirim menjadi

$$I_S = I_{C1} + I_{ser} = I_{C1} + I_{C2} + I_R = V_S \frac{Y}{2} + V_R \frac{Y}{2} + I_R$$

$$I_S = Y\left(\frac{ZY}{4} + 1\right)V_R + \left(\frac{ZY}{2} + 1\right)I_R$$

Sehingga konstanta ABCD saluran transmisi menengah adalah

$$A = \frac{ZY}{2} + 1$$

$$B = Z$$

$$C = Y\left(\frac{ZY}{4} + 1\right)$$

$$D = \frac{ZY}{2} + 1$$

Bila kapasitansi shunt diabaikan, konstanta ABCD menjadi sama dengan konstanta saluran transmisi pendek.

Karakteristik saluran transmisi

Daya aktif input ke saluran transmisi 3 fasa dapat dihitung sbb :

$$P_{in} = 3V_S I_S \cos \theta_S = \sqrt{3} V_{LL,S} I_S \cos \theta_S$$

Dimana V_S adalah besaran tegangan sumber (input) line-to-neutral dan $V_{LL,S}$ adalah besaran tegangan sumber (input) line-to-line. Disini diasumsikan untuk hubungan-Y! Dengan cara yang sama , daya aktif output dari saluran transmisi adalah

$$P_{out} = 3V_R I_R \cos \theta_R = \sqrt{3} V_{LL,R} I_R \cos \theta_R$$

Daya reaktif input ke saluran transmisi 3 fasa dapat dihitung sbb :

$$Q_{in} = 3V_S I_S \sin \theta_S = \sqrt{3} V_{LL,S} I_S \sin \theta_S$$

Karakteristik saluran transmisi

Dan daya reaktif output adalah

$$Q_{out} = 3V_R I_R \sin \theta_R = \sqrt{3} V_{LL,R} I_R \sin \theta_R$$

Daya nyata input ke saluran transmisi 3 fasa adalah

$$S_{in} = 3V_S I_S = \sqrt{3} V_{LL,S} I_S$$

Dana daya nyata output adalah

$$S_{out} = 3V_R I_R = \sqrt{3} V_{LL,R} I_R$$

Karakteristik saluran transmisi

Bila resistansi saluran R dapat diabaikan, daya output dari saluran transmisi dapat disederhanakan sbb

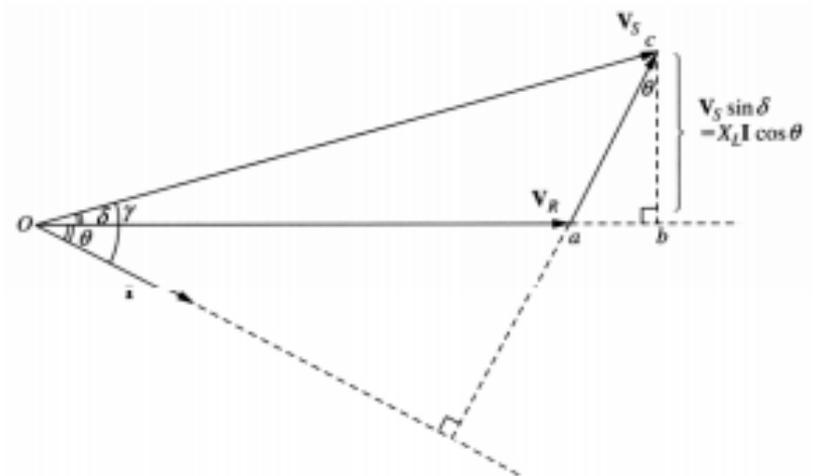
Diagram fasor yang disederhanakan dari saluran transmisi menunjukkan bahwa $I_S = I_R = I$. Selanjutnya garis vertikal bc dapat dinyatakan sebagai $V_S \sin \delta$ atau $X_L I \cos \theta$. Sehingga:

$$I \cos \theta = \frac{V_S \sin \delta}{X_L}$$

Sehingga daya outputnya sbb:

$$P = \frac{3V_S V_R \sin \delta}{X_L}$$

Sehingga, daya yang disuplai oleh saluran transmisi tergantung pada sudut fasor antara tegangan input dan output.



Karakteristik saluran transmisi

Daya maksimum yang disuplai oleh saluran transmisi akan terjadi apabila $\delta = 90^\circ$:

$$P_{\max} = \frac{3V_S V_R}{X_L}$$

Daya maksimum ini disebut **steady-state stability limit** dari saluran transmisi. Dalam kenyataannya resistansi saluran transmisi adalah tidak = 0, sehingga, sebelum mencapai nilai transfer daya maksimum sudah mengalami pemanasan pada Saluran transmisi . Secara tipikal sudut daya pada beban penuh adalah 25° .

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari persamaan daya diatas adalah:

1. Kemampuan transfer daya maksimum dari suatu saluran transmisi adalah fungsi dari **kwadrat tegangan nominalnya**. Misalnya apabila semua parameter saluran sama, suatu saluran transmisi 220 kV akan memiliki 4 kali kemampuan transfer daya dibandingkan dengan saluran transmisi 110 kV .

Hal ini merupakan salah satu keuntungan menaikkan tegangan saluran transmisi... Namun tegangan yang sangat tinggi akan menghasilkan medan elektromagnetik yang kuat, yang menyebabkan interferensi dengan komunikasi dan menghasilkan efek corona – menyalanya ion-ion udara yang akan meningkatkan losses.

Karakteristik saluran transmisi

2. Kemampuan transfer daya maksimum dari saluran transmisi : berbanding terbalik dengan reaktansi seri, yang nilainya cukup besar untuk saluran panjang. Untuk itu di beberapa saluran panjang menambahkan kapasitor seri untuk mengurangi reaktansi seri secara total, sehingga meningkatkan kemampuan transfer daya saluran.

3. Dalam operasi normal suatu sistem tenaga listrik, besaran tegangan V_S dan V_R tidak banyak berubah, sehingga, besarnya sudut δ akan mengendalikan daya yang mengalir melalui saluran. Untuk itu dalam rangka mengendalikan aliran daya di saluran dapat dilakukann dengan meletakkan suatu phase-shifting transformer disatu sisi saluran untuk mengatur tegangan fasa.

Effisiensi saluran transmisi adalah

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\%$$

Karakteristik saluran transmisi

Salah satu faktor batasan utama dalam pengoperasian saluran transmisi adalah pemanasan pada resistansi. Karena pemanasan ini adalah fungsi kwadrat arus yang mengalir di saluran dan tidak bergantung pada sudut fasanya, saluran transmisi biasanya dioperasikan pada tegangan dan daya nominal nya.

Terdapat Beberapa kendala praktis yang membatasi daya aktif dan reaktif yang dapat disuplai oleh saluran transmisi. Kendala yang paling penting adalah :

1. Arus steady-state maksimum harus dibatasi untuk menghindari pemanasan berlebih pada saluran transmisi . Rugi-rugi daya pada saluran dihitung dengan pendekatan sbb :

$$P_{loss} = 3I_L^2 R$$

Semakin besar arus yang mengalir semakin besar rugi-rugi panas pada resistansi.

Karakteristik saluran transmisi

2. Jatuh Tegangan pada saluran harus dibatasi sekitar 5%. Dengan kata lain rasio besaran tegangan sisi terima terhadap tegangan sisi kirim adalah

$$\frac{|V_R|}{|V_S|} \leq 0,95$$

Batasan ini menghindari terjadinya variasi tegangan yang berlebihan.

3. Sudut daya δ pada saluran transmisi harus $\leq 30^\circ$ untuk menjamin bahwa aliran daya pada saluran transmisi cukup jauh dari static stability limit sehingga sistem tenaga listrik dapat menangani apabila terjadi kondisi transient.

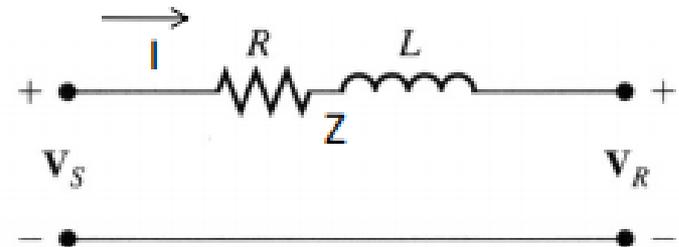
Diantara batasan-batasan tersebut ada yang lebih atau kurang penting pada suatu kondisi tertentu yang berbeda. Pada saluran pendek, dimana reaktansi seri X adalah relatif kecil, pemanasan pada resistansi biasanya membatasi daya yang dapat disuplai saluran. Pada saluran yang lebih panjang yang beroperasi pada faktor dlnya **lagging**, jatuh tegangan di saluran biasanya menjadi faktor pembatas. Pada saluran yang lebih panjang yang beroperasi pada faktor daya **leading**, maksimum sudut δ dapat menjadi faktor pembatas.

Contoh soal - 1

1. Suatu saluran transmisi 3 – fasa , 50 km, 70 kV, mempunyai konstanta saluran sbb : $R = 0,20$ Ohm per km, $X = 0,608$ Ohm per km, $Y = j4,0 \times 10^{-6}$ Mho per km. Saluran transmisi tsb mensuplai beban 30 MW dengan faktor daya 0,9 lagging. Tegangan pada ujung beban 70 kV.

Tentukan :

- Tegangan pada ujung kirim
- Daya pada ujung kirim
- Efisiensi transmisi
- Pengaturan tegangan



Jawaban :

- (a). Saluran transmisi ini termasuk saluran pendek $I_S = I_R = I$ dan $V_S = V_R + I \cdot Z$

$$P_R = 30 \text{ MW, pf. } 0,9 \text{ lagging}$$

$$V_{R(LL)} = 70 \text{ kV}$$

$$V_{R(LN)} = 70 / \sqrt{3} \text{ kV} = 40,4 \text{ kV}$$

$$I_R = \frac{P_R}{\sqrt{3} \cdot V_{R(LL)} \cdot \text{pf}} = \frac{30.000 \text{ kW} \angle -25,84^\circ}{\sqrt{3} \times 70 \text{ kV} \times 0,9} = 274,94 \text{ Amp} \angle -25,84^\circ$$

Contoh soal - 1

$$Z = (0,2 + j0,608) \times 50 = 10 + j30,4 = 32 \angle 71,8^\circ \text{ Ohm}$$

$$V_S = V_R + IZ$$

$$V_S = 40,416 + 274,94 \angle -25,84 \times 32 \angle 71,8 = 40,416 + 8,798 \angle 45,96 \text{ Volt}$$

$$V_S = 40,416 + 6,116 + j6,324 = 46,532 + j6,324 = 46,93 \angle 7,49 \text{ kV(L-N)}$$

atau

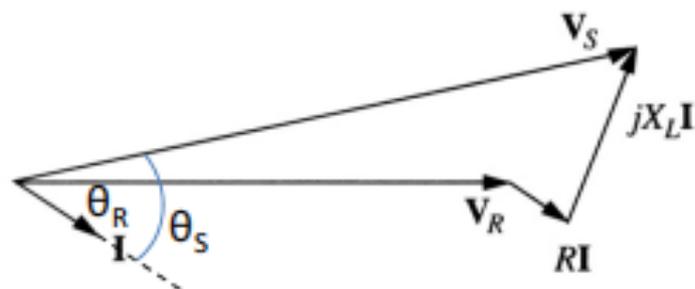
$$|V_S| = 46,93 \text{ kV} \times \sqrt{3} = 81,28 \text{ kV(L-L)}$$

(b). Daya pada ujung kirim :

$$P_S = \sqrt{3} |V_S| |I| \cos \theta_S$$

$$\theta_S = 7,49 - (-25,84) = 33,33^\circ$$

$$P_S = \sqrt{3} \times 81,28 \times 274,94 \times \cos 33,33 = 32,339 \text{ kW} = 32,34 \text{ MW}$$



Contoh soal - 1

(b). Efisiensi transmisi :

$$\eta = \frac{P_R}{P_S} \cdot 100\% = \frac{30}{32,34} \cdot 100\% = 92,6\%$$

(b). Pengaturan tegangan :

$$VR = \frac{V_S - V_R}{V_R} \cdot 100\% = \frac{81,28 - 70}{70} \cdot 100\% = 16,11\%$$



Saluran transmisi panjang

Untuk saluran transmisi panjang, menjadi kurang teliti apabila memodelkan admitansi shunt dengan dua capacitor disetiap ujung saluran. Akan Lebih tepat dan teliti apabila baik kapasitansi shunt dan impedansi seri dinyatakan dalam besaran yang terdistribusi sepanjang saluran. Tegangan dan arus di saluran dihitung melalui persamaan deferensial dari saluran.

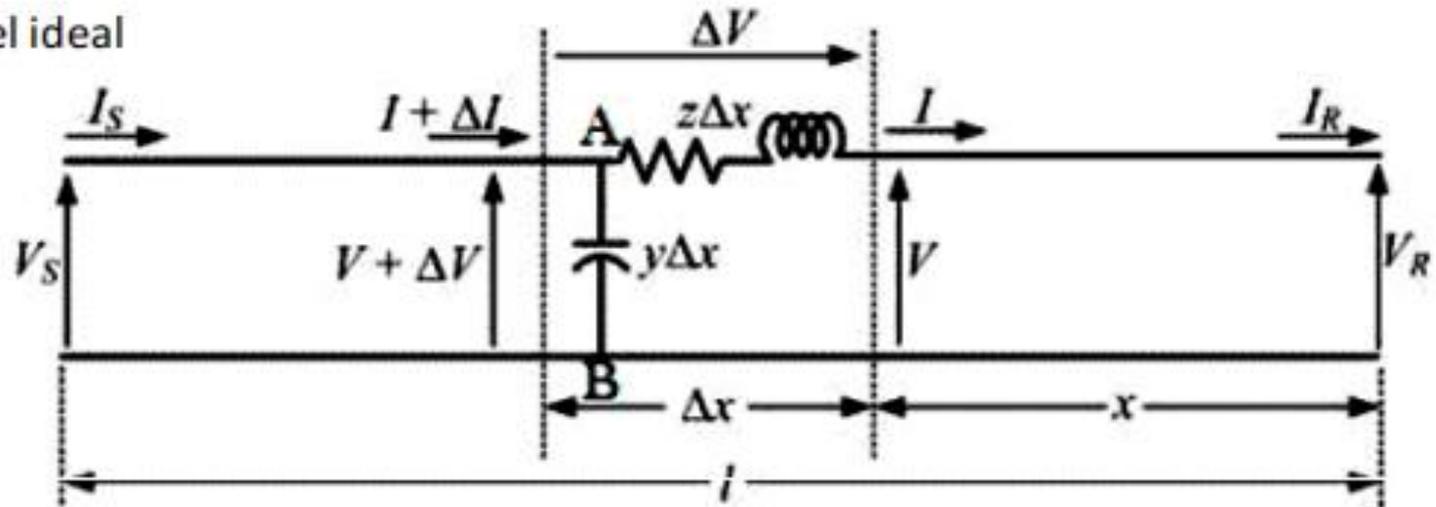
Namun sebenarnya kita tetap bisa memodelkan saluran transmisi panjang sebagai model nominal π , yaitu dengan impedansi seri yang dimodifikasi Z' dan admitansi shunt yang dimodifikasi Y' . Selanjutnya melakukan perhitungan tegangan dan arus menggunakan model konstanta ABCD . Nilai impedansi seri dan admitansi shunt yg dimodifikasi adalah sbb:

$$Z' = Z \frac{\sinh \gamma d}{\gamma d}$$

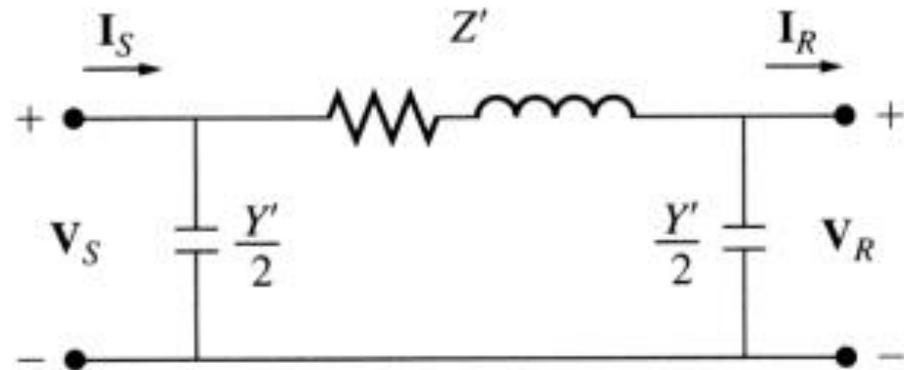
$$Y' = Y \frac{\tanh(\gamma d / 2)}{\gamma d / 2}$$

Saluran transmisi panjang

Model ideal



Model pendekatan



$$Z' = Z \frac{\sinh \gamma d}{\gamma d}$$

$$Y' = Y \frac{\tanh(\gamma d/2)}{\gamma d/2}$$

Saluran transmisi panjang

Disini Z adalah impedansi seri saluran; Y adalah admitansi shunt saluran; d adalah panjang saluran; γ adalah konstanta propagasi saluran:

$$\gamma = \sqrt{yz}$$

Dimana y adalah admitansi shunt per kilometer dan z adalah impedansi seri per km.

Apabila γd semakin kecil, maka ekspresi ratio pada Z' dan Y' mendekati 1.0 dan model tersebut menjadi model saluran transmisi menengah. Konstanta ABCD untuk saluran transmisi panjang adalah

$$\begin{aligned} A &= \frac{Z'Y'}{2} + 1 \\ B &= Z' \\ C &= Y \left(\frac{Z'Y'}{4} + 1 \right) \\ D &= \frac{Z'Y'}{2} + 1 \end{aligned}$$

Tugas – 3 (latihan soal)

1. Suatu saluran transmisi 3-fasa , 200 km, 230 kV. Konstanta saluran transmisi adalah $Z = 0,54 \angle 71,8^\circ \text{ Ohm/km}$; $Y = 5,0 \times 10^{-6} \angle 90^\circ \text{ Mho/km}$. Saluran transmisi ini menyalurkan daya 150 MW dengan faktor daya 1,0 pada ujung beban. Tegangan pada ujung beban 230 kV. Dengan menggunakan model nominal PI, tentukan :
 - (a). Tegangan dan arus pada sisi kirim;
 - (b). Efisiensi transmisi.
 - (c). Pengaturan tegangan
2. Suatu saluran transmisi 3-fasa , 100 km, pada sisi terima terhubung ke beban 50 MW dengan faktor daya 0,85 lagging. Konstanta saluran transmisi tersebut adalah $Z = 95 \angle 78^\circ \Omega$ dan $Y = 0,001 \angle 90^\circ \text{ S}$. Menggunakan model nominal T, Tentukan :
 - (a). Konstanta A, B, C, D saluran transmisi tsb.
 - (b). Tegangan, arus dan faktor daya sisi kirim
 - (c). Efisiensi saluran transmisi.

B. PENYALURAN

Pengertian penyaluran energi listrik :

1. Proses dan cara menyalurkan energi listrik dari pembangkit listrik ke Gardu Induk dan dari satu Gardu Induk ke Gardu Induk lainnya)
2. Penyaluran dengan menggunakan penghantar yang direntangkan antara tiang-tiang (tower), melalui isolator-isolator dengan sistem tegangan tinggi / ekstra tinggi.

Jenis penyaluran dan kualifikasi tegangan :

1. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) :
70 kV, 150 kV
2. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) : 500 kV.
3. Saluran kabel Tegangan Tinggi (SKTT) : 150 kV
4. Sub Marine Cable : 150 kV.



B. PENYALURAN

Gardu Induk Transmisi :

Merupakan sub sistem dari sistem penyaluran.

Berfungsi untuk :

- Mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan tinggi yang lain (500 kV / 150 kV, 150 kV / 70 kV) atau dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 kV / 20 kV, 70 kV / 20 kV).
- Pengukuran, pengawasan operasi dan pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik.
- Pengaturan pelayanan beban (daya) ke gardu-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu-gardu distribusi setelah melalui transformator penurun tegangan dan diteruskan ke penyulang (feeder) tegangan menengah.
Pengatur beban di Indonesia : P2B gandul, UPB Cawang, UPB Cigelereng, UPB Ungaran dan UPB Waru.



3.1. DEFINISI/PENGERTIAN



- ⚡ Pengertian penyaluran energi listrik :
Proses dan cara menyalurkan energi listrik pada jarak yang berjauhan dari satu tempat ke tempat lainnya (dari pembangkit listrik ke gardu induk dan dari satu gardu induk ke gardu induk lainnya), yang terdiri dari konduktor yang direntangkan antara tiang-tiang (tower), melalui isolator-isolator, dengan sistem tegangan tinggi/ekstra tinggi.
- ⚡ Ruang lingkupnya dimulai dari Gardu Induk di Pembangkitan sampai dengan Gardu Induk (sisi primer) yang ada pusat-pusat beban.

3.2. BESARAN TEGANGAN DAN JENIS PENYALURAN (TRANSMISI)

- ⚡ Besaran tegangan : 66 KV, 70 KV, 132 KV, 150 KV, 245 KV, 275 KV, 350 KV, 500 KV, 1.100 KV, 1300 KV, 1.500 KV, dan lain-lain
- ⚡ Jenis arus : arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC).
- ⚡ Jenis dan ruang lingkup penyaluran :
 - ✓ Saluran udara (Overhead Line).
 - ✓ Saluran bawah tanah (Underground Cable).
 - ✓ Saluran kabel bawah laut (Sub Marine Cable).
 - ✓ Gardu Induk Tegangan Ultra Tinggi.
 - ✓ Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi.
 - ✓ Gardu Induk.
 - ✓ Gardu Hubung.
 - ✓ Pusat Pengatur Beban.
 - ✓ Unit Pengatur Beban.

3.3. SISTEM PENYALURAN (TRANSMISI) DI INDONESIA

- ✦ Besaran tegangan : 70 KV, 150 KV, 275 KV dan 500 KV.
- ✦ Jenis arus : arus bolak-balik (AC).
- ✦ Jenis dan ruang lingkup penyaluran :
 - ✓ Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT).
 - ✓ Saluran Kabel Tanah Tegangan Tinggi (SKTT).
 - ✓ Saluran Kabel Bawah Laut Tegangan Tinggi (Sub Marine Cable).
 - ✓ Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET).
 - ✓ Gardu Induk (GI).
 - ✓ Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET).
 - ✓ Pusat Pengatur Beban (UPB).
 - ✓ Unit Pengatur Beban.
- ✦ Sistem interkoneksi (Interconnection System) :
 - ✓ Telah terpasang di Pulau Jawa-Madura-Bali (Jamali) dan Pulau Sumatera.
 - ✓ Sebagian daerah di Sumatera masih terjadi **bottle neck**.

Lanjutan 3.3

- ✦ Tingkat pengembangan sistem (menuju ke interkoneksi) :
 - ✓ Sistem penyaluran dari parsial menuju ke interkoneksi.
 - ✓ Terpasang di Pulau Kalimantan dan Pulau Sulawesi.

- ✦ Tingkat perintisan :
 - ✓ Pada umumnya di daerah-daerah yang ratio elektrifikasinya rendah (NTT, Maluku, Maluku Utara, Papua dan lain-lain).
 - ✓ Penyediaan listrik bersifat parsial.

- ✦ Saluran udara (Overhead Line) dipasang di daerah-daerah yang keadaan ROW-nya memungkinkan, pada umumnya di daerah pinggiran kota dan di luar kota.

- ✦ Saluran kabel bawah tanah (Underground cable) dipasang di daerah yang ROW-nya tidak memungkinkan, pada umumnya di daerah tengah kota, kota-kota besar yang padat pemukiman dan beban listriknya besar.

Lanjutan 3.3

- ✦ Gardu Induk :
 - ✓ Untuk daerah-daerah yang masih memungkinkan mendapatkan lahan/space tanah yang luas, dipasang Gardu Induk Konvensional, pada umumnya di pinggiran kota atau di kota-kota kecil.
 - ✓ Untuk daerah-daerah perkotaan (Kota Besar) yang padat pemukiman, dipasang Gas Insulated Switchgear SF6 (GIS SF6).

- ✦ Pusat Pengatur Beban (P2B) dan Unit Pengatur Beban (UPB) :
 - ✓ Dipasang di daerah-daerah yang jaringannya telah terinterkoneksi, area pelayanan luas dan beban yang dilayani besar, contoh : P3B & UPB yang ada di Sistem Jawa-Madura-Bali (Jamali).
 - ✓ Tujuannya adalah untuk pengaturan beban maupun melakukan manuver beban jika terjadi masalah di sistem, misal : jika terjadi gangguan di sistem pembangkit atau di sistem transmisi.

3.4. PEMBANGUNAN DAN PENGEMBANGAN PENYALURAN (TRANSMISI)

- ✦ ***Secara teknis***, pembangunan dan pengembangan sistem penyaluran tenaga listrik, tidak ada masalah dan tidak ada kesulitan.
- ✦ Masalah-masalah yang sering timbul dalam pembangunan sistem penyaluran (transmisi) adalah masalah non teknis, antara lain :
 - ✓ Kesulitan mendapatkan lahan untuk tapak tower.
 - ✓ Harga tanah yang sangat (terlalu) mahal.
 - ✓ Proses perijinan yang sulit dan berbelit.
 - ✓ Reaksi dari masyarakat yang tidak mau dilalui jalur transmisi.
 - ✓ Beberapa waktu terakhir ini, muncul fenomena baru, masyarakat minta kompensasi (ganti rugi) di sepanjang ROW jalur transmisi.
 - ✓ Biaya ganti rugi kerusakan bangunan, tanaman dan lain-lain yang mahal, bahkan terkadang jauh melampaui harga standar.
 - ✓ Koordinasi dengan berbagai pihak / instansi terkait, yang merupakan kesulitan tersendiri dan tak jarang membutuhkan biaya besar.
 - ✓ Isue lingkungan hidup.
 - ✓ Dan berbagai hambatan/kendala lainnya.

Lanjutan 3.4

- ✦ Berbagai permasalahan tersebut mengakibatkan proses pembangunan dan pengembangan sistem penyaluran menjadi terhambat, bahkan ada pembangunan transmisi yang terhenti/tertunda bertahun-tahun.
- ✦ Mengingat dari waktu ke waktu beban akan terus berkembang (mengalami pertumbuhan), sedangkan di sisi lain untuk membangun transmisi dan gardu induk banyak menghadapi masalah, perlu dipikirkan dan dicarikan solusi dalam pengembangan sistem penyaluran di Indonesia.
- ✦ Harus dicermati bahwa penambahan pembangkit tanpa diimbangi penambahan sistem transmisi akan timbul masalah tersendiri.

3.5. UP-RATING SISTEM PENYALURAN (TRANSMISI)

- ✦ Up-rating berarti menaikkan rate/menaikkan kemampuan/menaikkan kapasitas.
- ✦ Up-rating sistem penyaluran, berarti menaikkan rate/menaikkan kemampuan/menaikkan kapasitas penyaluran, antara lain :
 - ✓ Dari SUTT 70 KV menjadi 150 KV.
 - ✓ SUTT 150 KV yang ditingkatkan kemampuannya dalam menyalurkan energi listrik.
 - ✓ SUTT single circuit ditingkatkan menjadi double circuit.
 - ✓ Gardu induk yang berkapasitas 10 MVA dinaikkan menjadi 30 MVA, dari 1 trafo menjadi 2 trafo, dari 30 MVA menjadi 60 MVA atau 100 MVA.
 - ✓ Dan lain sebagainya.
- ✦ Up-rating bisa dilakukan dengan cara :
 - ✓ Membangun SUTT baru, membangun (memperluas) Gardu Induk Eksisting.
 - ✓ Mengganti konduktor (re-conductoring) SUTT eksisting, mengganti trafo pada Gardu Induk Eksisting, dari kapasitas kecil diganti dengan kapasitas yang lebih besar.
 - ✓ Menambah jumlah sirkit SUTT eksisting, menambah jumlah trafo dan peralatan pada Gardu Induk eksisting.

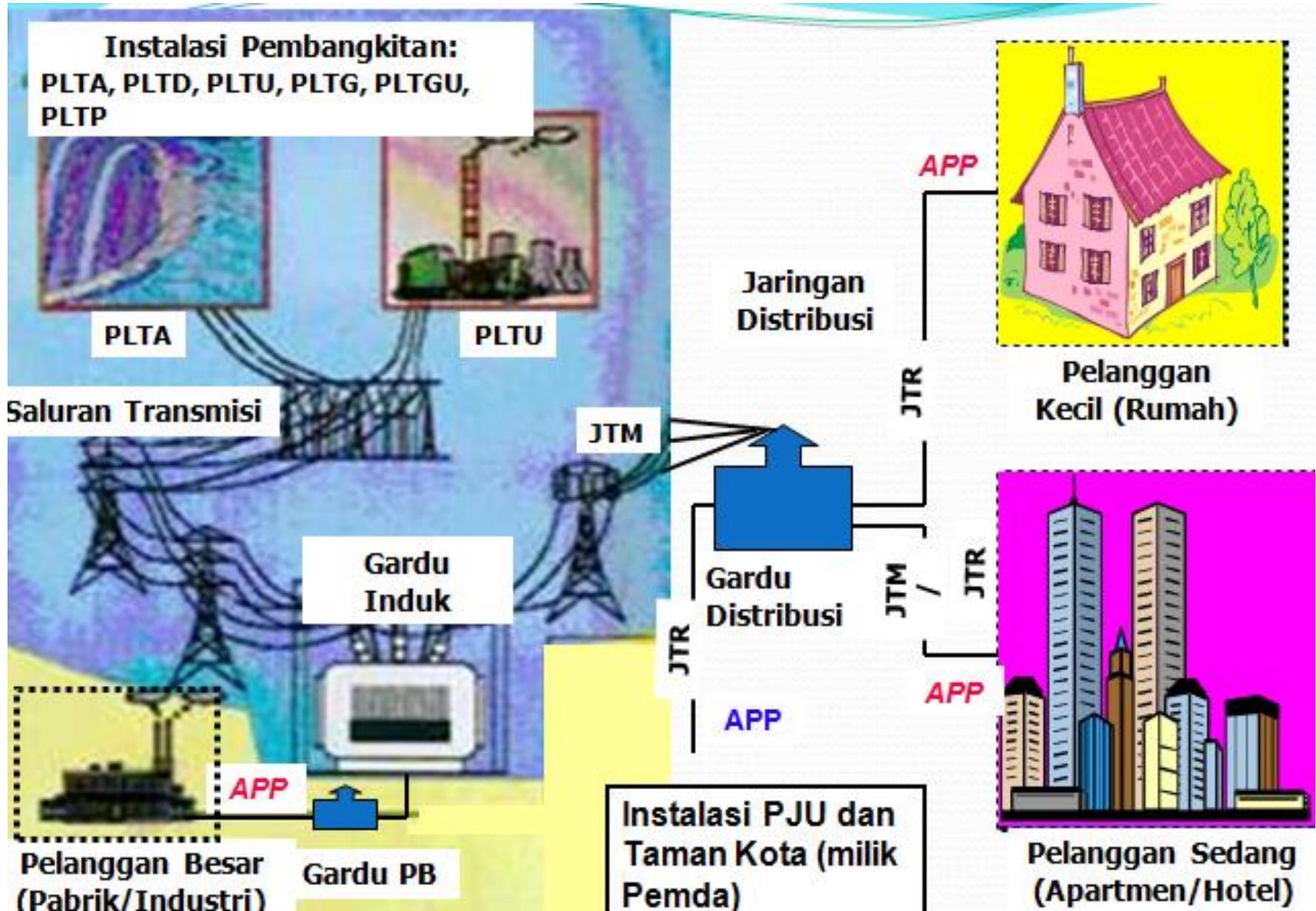


SUTT 70 KV & 150 KV

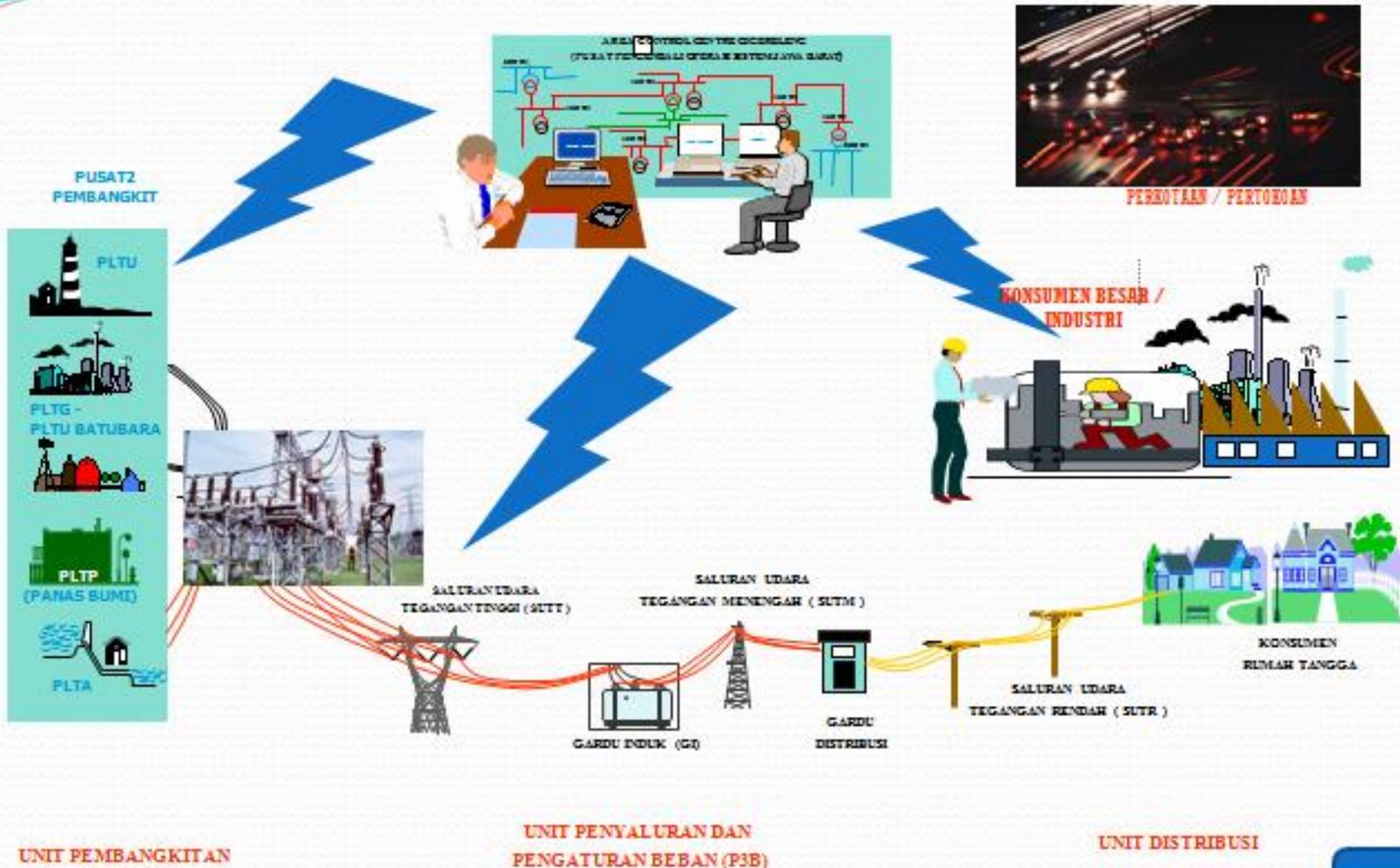


SUTET 500 KV

INSTALASI KETENAGALISTRIKAN



BAGAN PENGATURAN & PENYAMPAIAN SISTEM TENAGA LISTRIK KEPADA KONSUMEN





● TERIMA KASIH

