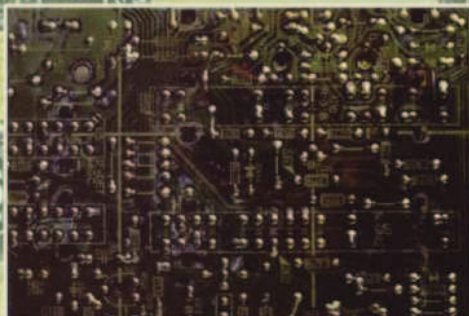




# Sinusoida

Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Elektro



- *Analisis Pengukuran Transformator 400 kVA Menggunakan On Load Tap Charger*  
Nizar Rosyidi AS dan Denni Rotua Silitonga
- *Konfigurasi Busbar Andal Pada Penyaluran Daya Berbasis TROD Dan TROF Di Transmisi Tenaga Listrik*  
A.Sofwan, P.Adhyatmaja dan A.Muis
- *Studi Analisa Pengukuran Jarak Kelistrikan Gardu Induk 150 kV*  
Sugianto, Ariman dan Veriah Hadi
- *Analisa Pentanahan Netral Pada Transformator 150/20 kV Di Gardu Induk*  
Naufal Ariyanto Adli dan Poedji Oetomo
- *Analisis Prediksi Usia Pakai Transformator Dengan Metode Regresi Linear*  
Suganda, Fadhila Hayyu Azzahra dan Edy Supriyadi
- *Analisa Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV*  
Suganda, Marsa Rizky Agus Prasetyo dan Harlan Effendi





## SUSUNAN REDAKSI

Penanggung Jawab	:	Dekan FTI-ISTN
Pemimpin Redaksi	:	Kepala Program Studi Teknik Elektro
Dewan Redaksi	:	Ir. Surya Alimsyah, MT. Ir. Edy Supriyadi, MT. Ir. Moh. Amir, M.Sc. Ir. Djoko Suprijatmono, MT. Ir. Rachman Soleman, MT. Ir. Sugianto, MT. Ir. Irmayani, MT
Mitra Bestari	:	Prof. Dr. Masbach Siregar APU Dr. Taswanda Taryo, MSc. Dr. Ir. Agus Priyono Dr. Yusnita Rahayu, M.Eng
Redaksi Pelaksana	:	Ir. Fifit Marwita, MT Ir. M. Febriansyah, MT Ir. Poedji Oetomo, MT. M Ikrar Yamin, ST. MTr T.
Penerbit	:	Fakultas Teknologi Industri ISTN

## PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kita panjatkan kepada Allah SWT Bahwasanya Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Sinusoida FTI-ISTN Edisi kali ini yaitu Volume XXIV, No.1, Juli 2022, dapat diterbitkan dengan berisikan 6 tulisan yang dari para dosen Program Studi Teknik Elektro FTI-ISTN. Adapun tulisan yang diterbitkan pada edisi ini adalah: *Analisis Pengukuran Transformator 400 kVA Menggunakan On Load Tap Charger, Konfigurasi Busbar Andal Pada Penyaluran Daya Berbasis TROD Dan TROF Di Transmisi Tenaga Listrik, Studi Analisa Pengukuran Jarak Kelistrikan Gardu Induk 150 kV, Analisa Pentanahan Netral Pada Transformator 150/20 kV Di Gardu Induk, Analisis Prediksi Usia Pakai Transformator Dengan Metode Regresi Linear, Analisa Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV.* Dengan diterbitkannya Jurnal Sinusoida ini, redaksi mengharapkan agar para dosen program studi Teknik Elektro dapat lebih bergairah lagi untuk menulis karyanya demi kemajuan perkembangan teknik elektro dimasa datang.

Akhirnya kepada semua pihak yang telah turut membantu hingga diterbitkannya **Jurnal Sinusoida** edisi ini, kami mengucapkan banyak terima kasih.

### Alamat Redaksi

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri  
Institut Sains dan Teknologi Nasional  
Jl. M Kahfi II Bhumi Srengseng Indah, Jagakarsa  
Jakarta 12640, Telp 021-7270091,  
e-mail : sinusoida@istn.ac.id

Redaksi menerima sumbangan makalah berupa artikel, hasil penelitian atau karya ilmiah yang belum pernah dan tidak akan dipublikasikan di media lain. Naskah sudah harus diterima redaksi 4 (empat) minggu sebelum diterbitkan. Terbit dua kali setahun, pada bulan Juli dan Desember



## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
1. Analisis Pengukuran Transformator 400 kVA Menggunakan On Load Tap Charger <b>Nizar Rosyidi AS dan Denni Rotua Silitonga</b> .....	1 - 8
2. Konfigurasi Busbar Andal Pada Penyaluran Daya Berbasis TROD Dan TROF Di Transmisi Tenaga Listrik <b>A.Sofwan, P.Adhyatmaja dan A.Muis</b> .....	9 - 17
3. Studi Analisa Pengukuran Jarak Kelistrikan Gardu Induk 150 kV <b>Sugianto, Ariman dan Veriah Hadi</b> .....	18 - 27
4. Analisa Pentanahan Netral Pada Transformator 150/20 kV Di Gardu Induk <b>Naufal Ariyanto Adli dan Poedji Oetomo</b> .....	28 - 33
5. Analisis Prediksi Usia Pakai Transformator Dengan Metode Regresi Linear <b>Suganda, Fadhila Hayyu Azzahra dan Edy Supriyadi</b> .....	34 - 42
6. Analisa Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV <b>Suganda, Marsa Rizky Agus Prasetyo dan Harlan Effendi</b> .....	43 - 54

## STUDI ANALISA PENGUKURAN JARAK KELISTRIKAN GARDU INDUK 150 KV

Sugianto<sup>(1)</sup>, Ariman<sup>(2)</sup>, Veriah Hadi<sup>(4)</sup>,  
<sup>(1,2,3)</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri  
<sup>(4)</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi Informatika,  
Institut Sains Dan Teknologi Nasional  
Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta 12640 Indonesia.  
[sugiantoistn13@gmail.com](mailto:sugiantoistn13@gmail.com), [ariman@istn.ac.id](mailto:ariman@istn.ac.id), [verihadi@istn.ac.id](mailto:verihadi@istn.ac.id)

### ABSTRAK

Latar belakang pembahasan Gardu Induk (GI) dimana bagian dari system tenaga listrik, tanpa adanya Gardu Induk maka tenaga listrik tidak dapat disalurkan. Sehingga tujuan pembangunan Gardu Induk diperlukan perhitungan yang tepat sesuai dengan kemanafaatannya, selain itu Gardu Induk yang dibuat harus aman dan dapat diandalkan. Adapun untuk metode yang digunakan berupa peralatan-peralatan yang diperlukan untuk menyalurkan tegangan dari 150kV adalah DS (*Disconnecting Switch*), CB (*Circuit Breaker*), CT (*Current Transformer*), VT (*Voltage Transformer*), LA (*Lightning Arrester*) dan Transformator *step down* 20kV. Pada Transformator *step down* itulah tegangan diturunkan dari tegangan 150kV ke 20kV yang selanjutnya akan disalurkan ke *Cubicle* 20kV. Pemilihan komponen-komponen dan pengukuran jarak kelistrikan Gardu Induk 150kV ini telah sesuai dengan perhitungan dan standart-standart yang berlaku. Sehingga dari analisa didapat hasil pengukuran jarak kelistrikan Gardu Induk 150kV di Plumpang ini telah sesuai dengan berdasarkan standart-standart SPLN, IEC dan IEEE.

**Kata kunci :** Gardu Induk, Tegangan 150 kV, Tenaga Listrik, Standar Teknik Kelistrikan.

### ABSTRACT

The background of the discussion of the Substation (GI) which is part of the electric power system, without the existence of a substation, electric power cannot be distributed. So that the purpose of substation construction requires precise calculations according to needs, besides that the designed substation must be safe and reliable. As for the method used in the form of equipment needed to distribute voltage from 150kV, namely DS (*Disconnecting Switch*), CB (*Circuit Breaker*), CT (*Current Transformer*), VT (*Voltage Transformer*), LA (*Lightning Arrester*) and step down transformer. 20kV. In the step down transformer, the voltage is lowered from 150kV to 20kV which will then be channeled to 20kV Cubicle. The selection of components and measurement of the electrical distance of the 150kV Substation is in accordance with the calculations and applicable standards. So from the analysis, the results of measuring the electrical distance of the 150kV Substation in Plumpang are in accordance with the standards based on SPLN, IEC and IEEE.

**Keywords :** Substation, Voltage 150 kV, Electric Power, Electrical Engineering Standard.

### 1. Pendahuluan

Energi listrik sangat penting peranannya dalam kehidupan manusia maupun industri-industri besar yang membutuhkannya. Salah satunya industri pangan di Jakarta Utara yakni PT. ISM Divisi Bogasari, Tbk. Yang membutuhkan akan energi listrik sekitar kurang lebih 30MW untuk memenuhi kebutuhan listrik setiap harinya dalam memproduksi bahan makanan pokok yang tiap tahun melonjak. Oleh karena itu PLN sebagai penyedia energi listrik semaksimal mungkin untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Salah satu langkah yang dilakukan yaitu dengan penyaluran energi listrik melalui saluran transmisi (SUTT) 150kV yang akan menyalurkan daya sebesar 60MVA.

Type-type saluran transmisi ada 3 type yakni pendek, menengah dan panjang. Untuk pendek saluran transmisi dengan panjang kurang dari 80 km, panjang menengah 80 – 250 km dan

panjang diatas 250 km. Saluran transmisi ini menggunakan type kabel ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*) yaitu : kawat penghantar aluminiumberinti kawat baja.

Gardu Induk (GI) merupakan bagian dari sistem tenaga listrik, tanpa adanya Gardu Induk maka tenaga listrik tidak dapat disalurkan. Sehingga pembangunan Gardu Induk diperlukan perhitungan yang tepat sesuai dengan kebutuhan, selain itu Gardu Induk yang didesain harus aman dan dapat diandalkan. Adapun untuk peralatan-peralatan yang diperlukan untuk menyalurkan tegangan dari 150kV adalah DS (*Disconnecting Switch*), CB (*Circuit Breaker*), CT (*Current Transformer*), VT (*Voltage Transformer*), LA (*Lightning Arrester*) dan Transformator *step down* 20kV. Pada Transformator *step down* itulah tegangan diturunkan dari tegangan 150kV ke 20kV yang selanjutnya akan disalurkan ke *Cubicle* 20kV. Sebagai salah satu konsumen besar yang

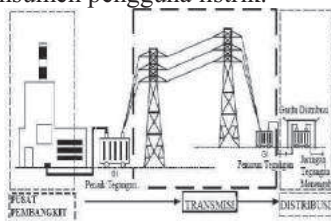
menggunakan energy besar biasanya langsung mengambil sumber listrik dari Gardu Induk terdekat untuk kemudian disalurkan ke Gardu Induk (GI) pemakaian sendiri. Dimana letak komponen-komponen peralatan Gardu Induk tersebut bertempat di Gardu Induk Plumpang, Jakarta Utara.

Berdasarkan uraian diatas dimana tujuan penelitian yakni studi analisa pengukuran jarak kelistrikan Gardu Induk 150kV apa sudah baik dan aman berdasarkan standar-standar SPLN, IEC dan IEEE.

### 1. Teori

**1.1.** Proses jarak kelistrikan pada saluran transmisi Pusat Pembangkit Listrik (Power Plant) yaitu tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan, dimana terdapat turbin sebagai penggerak mula (Prime Mover) dan generator yang membangkitkan listrik, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Biasanya dipusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk. Peralatan utama pada gardu induk antara lain : transformator step-up, berfungsi untuk menaikkan tegangan generator (11,5kV) menjadi tegangan transmisi/tegangan tinggi (150kV) dan juga peralatan pengamanan dan pengatur.

**1.2.** Jenis pusat pembangkit listrik umumnya antara lain : PLTA (Pembangkit Tenaga Air), PLTU (Pembangkit Tenaga Uap), PLTG (Pembangkit Tenaga Gas), PLTD (Pembangkit Tenaga Diesel), PLTN (Pembangkit Tenaga Nuklir). Proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (*Power Plant*) hingga saluran distribusi listrik (*Substation Distribution*) sehingga dapat di kirimkan melalui saluran transmisi kabel listrik sampai pada konsumen pengguna listrik.



Gambar 1. Sistem Tenaga Listrik.

### 1.3. Saluran Transmisi

Saluran transmisi merupakan media yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dari pusat pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi hingga pusat beban (konsumen). Tenaga listrik ditransmisikan oleh suatu bahan konduktor yang disebut dengan saluran transmisi listrik. Penyaluran tenaga listrik pada transmisi menggunakan Alternating Current (AC) ataupun

juga dengan Direct Current (DC). Penggunaan arus bolak-balik yaitu dengan sistem 3 fasa. Saluran transmisi dengan menggunakan sistem arus bolak-balik 3 fasa merupakan sistem yang banyak digunakan, mengingat kelebihannya sebagai berikut :

- a) Mudah dalam pembangkitan.
- b) Mudah dalam mengubah tegangan.
- c) Dapat menghasilkan medan magnet putar.
- d) Dengan sistem 3 fasa, daya yang disalurkan lebih besar dan nilai sesaatnya konstan.

### 1.4. Kategori Saluran Transmisi

Pada kategori saluran transmisi, dapat di kategorikan seperti berikut ini :

1. Saluran Udara
2. Saluran Kabel Bawah Tanah

### 1.5. Klarifikasi Saluran Transmisi Berdasarkan Tegangan

Besaran tegangan saluran transmisi adalah Ultra High Voltage (UHV), Extra High Voltage (EHV), High Voltage (HV), Medium High Voltage (MHV) dan Low Voltage (LV). Standard tegangan tinggi di Indonesia adalah 30 kV, 70 kV dan 150 kV. Ditinjau dari klasifikasi tegangannya, transmisi listrik dibagikan menjadi:

A. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 275 kV – 500 kV.

Adapun tujuannya agar drop tegangan dari penampang kawat dapat direduksi secara maksimal, sehingga diperoleh operasional yang efektif dan efisien. Akan tetapi terdapat permasalahan mendasar dalam pembangunan SUTET pada konstruksi menara listrik yang besar dan tinggi, memerlukan area luas, memerlukan isolator banyak, sehingga diperlukan biaya besar. Masalah lain yang timbul dalam pembangunan SUTET adalah masalah sosial, yang akhirnya berdampak pada masalah pembiayaan.

B. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 75 kV – 150 kV

Adapun jarak terjauh yang paling efektif dari saluran transmisi (SUTT) ialah 100 km. Jika lebih dari 100 km maka tegangan jatuh (drop voltage) terlalu besar, sehingga tegangan diujung transmisi menjadi rendah.

### 1.6. Komponen-Komponen Utama Saluran Transmisi

Dalam suatu sistem tenaga listrik, energi listrik yang dibangkitkan dari pusat pembangkit listrik ditransmisikan ke pusat-pusat pengatur beban melalui suatu saluran transmisi. Saluran transmisi dapat berupa saluran bawah tanah dan saluran udara, pada umumnya berupa saluran udara. Energi listrik yang disalurkan lewat saluran

transmisi udara pada dasarnya menggunakan kawat telanjang dengan mengandalkan udara sebagai media isolasi antara kawat penghantar tersebut dengan benda sekelilingnya dan untuk menyanggah/merentang kawat penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya, kawat-kawat penghantar tersebut dipasang pada suatu konstruksi bangunan menara yang kokoh. Antara kawat penghantar dengan menara/tower disekat dengan isolator.

Tabel 2.1. Ketentuan Jarak Antar Tiang atau Menara Pada SUTT dan SUTET.

Saluran Udara	Jarak AntarTiang atau Menara (m)
SUTT 66 kV Tiang Baja	160
SUTT 66 kV Tiang Beton	60
SUTT 66 kV Menara	300
SUTT 150 kV Tiang Baja	200
SUTT 150 kV Tiang Beton	80
SUTT 150 kV Menara	350
SUTET 275 kV Sirkit Ganda	400
SUTET 500 kV Sirkit Tunggal	450
SUTET 500 kV Sirkit Ganda	450

Keterangan : Data pada tabel diatas yakni menurut Badan Standardisasi Nasional (BSN) SNI 04-6918-2002

**3. METODE**

**3.1. Metode Penelitian**

Dalam metode penelitian ini di mulai dengan pencarian referensi dan kajian-kajian lain yang masih berhubungan dengan materi judul yang dibahas. Referensi diperoleh dari berbagai jurnal penelitian dan buku-buku yang dilakukan sebelumnya oleh pihak lain. Dalam tahap ini sangat penting agar dapat menguatkan penelitian bahwa topik ini memang mempunyai sumber dan di dukung oleh dasar-dasar yang terkait sehingga penting untuk dilakukan. Berikutnya setelah tahap referensi terkumpul, yaitu melakukan pengambilan data yang terdapat di lapangan yaitu di Plumpang untuk keperluan penelitian. Data yang dimaksud yakni data yang akan dianalisa saat penelitian berlangsung. Data tersebut diperoleh dari hasil lapangan yaitu di Gardu Induk Plumpang Sistem 150/20kV yang berkenan memberi izin untuk melakukan kegiatan penelitian terkait dengan topik pembahasan. Terakhir adalah analisis dan

perhitungan data. Data-data yang sudah di dapat dari lapangan akan di kumpulkan untuk dilakukan analisis dan perhitungan. Didalam proses ini, analisis dan perhitungan data merupakan bagian inti dari penelitian ini. Sehingga penelitian ini menjadi relevan untuk dijadikan rujukan atau pedoman bagi yang memerlukan.



Gambar 2. Tahapan Penelitian

**3.2. Gardu Induk**

Gardu induk merupakan sub sistem dari system penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran (transmisi) merupakan sub-sistem dari system tenaga listrik. Berarti, gardu induk merupakan sub-sub sistem dari sistem tenaga listrik.

Sebagian sub-sistem dari sistem penyaluran (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasian tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan.

Mentransformasikan daya listrik :

- Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi(500KV/150KV).
- Dari tegangan tinggi ke tegangan lebih rendah(150KV/70KV).
- Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150KV/20KV, 70KV/20KV)
- Dengan frekuensi tetap (di Indonesia 50 Hertz). Untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengaman dari system tenaga listrik.

Pengaturan pelayanan beban ke gardu induk-garduinduk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi-gardu distribusi, setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang - penyulang(feeder-feeder) tegangan menengah yang ada di gardu induk.

Untuk sarana telekomunikasi (pada umumnya untuk internal PLN), yang di kenal dengan istilah SCADA.



### 3.3. Jenis Gardu Induk

Jenis Gardu Induk bisa dibedakan yaitu :

- Gardu Induk Konvensional: Sebagian besar peralatan dipasang diluar, dengan isolasi udara bebas, memerlukan area yang cukup luas.
- *Gas Insulated Switchgear* (GIS): Hampir semua peralatan dipasang didalam. Dengan isolasi gas sulfur hexafluoride (SF6), memerlukan area yang relative kecil.

Dari sifat Gardu Induk bisa dibedakan yaitu :

- Gardu Induk Slack : GI yang menyalurkan tenaga listrik dari GI satu ke GI lain.
- Gardu Induk Distribusi: GI yang menyalurkan tenaga listrik dari tegangan sistem ke tegangan distribusi.
- Gardu Induk Industri: GI yang menyalurkan tenaga listrik dari tegangan sistem langsung ke industri yang membutuhkan dan biasanya dibangun dekat industri.

Dari uraian jenis dan sifat Gardu Induk diatas secara umum, akan berfokus pada Gardu Induk Konvensional dan Gardu Induk Industri.

### 3.4. Komponen-komponen Gardu Induk

#### 3.4.1. *Switchyard* (*Switchgear*)

Adalah bagian dari Gardu Induk yang dijadikan sebagai tempat peletakan komponen utama gardu induk. Pemahaman tentang *switchyard*, pada umumnya adalah : Jika komponen utama gardu induk terpasang di area terbuka yang luas, maka disebut dengan *switchyard*. Jadi yang dimaksud *switchyard* adalah nama yang diperuntukkan bagi gardu induk konvensional. Sedangkan *switchgear* adalah nama yang diperuntukkan bagi *Gas Insulated Substation* (GIS).



Gambar 3. Gardu Induk Konvensional & GIS

#### 3.4.2. Transformator 3 fasa

Gardu Induk ini menggunakan Transformer tenaga 150/20 kV – 60 MVA yang berjumlah 1 buah. Untuk penarikan transmisi diambil dari Gardu Induk terdekat, yaitu Gardu Induk Plumpang dengan tegangan 150 kV untuk mensupply transformator dengan daya 1x60 MVA, tegangan 150 kV / 20 kV. Dengan

diketahui daya dalam MVA dapat di lihat rumusnya yaitu :

$$S = \sqrt{3} \times V_{nom} \times I_{nom} \quad (1)$$

Dimana :

I = Arus Nominal ;

V = Tegangan Nominal

S = Daya Semu

#### 3.4.3. *Circuit Breaker* (CB)

Berdasarkan *IEV* (*International Electrotechnical Vocabulary*) 441-14-20 disebutkan bahwa *Circuit Breaker* (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar / switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal / gangguan seperti kondisi short circuit / hubung singkat. Dalam menentukan kapasitas arus pada *circuit breaker* digunakan rumus sebagai berikut :

$$I_{nom} = \frac{Daya}{\sqrt{3} \times V} \quad (2)$$

Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan ( hubung singkat ) pada jaringan atau peralatan lain.



Gambar 4. Macam – macam PMT

#### 3.4.4. *DISCONNECTING SWITCH* (*DS*) / *PMS*

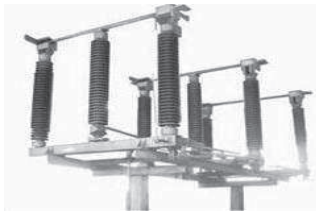
Pemisah adalah suatu alat untuk memisahkan tegangan pada peralatan instalasi tegangan tinggi. Ada dua macam fungsi PMS, yaitu:

##### 3.4.4.1. Pemisah Peralatan ;

Berfungsi untuk memisahkan peralatan listrik dari peralatan lain atau instalasi lain yang bertegangan. PMS ini boleh dibuka atau ditutup hanya pada rangkaian yang tidak berbeban.

##### 3.4.4.2. Pemisah Tanah (Pisau Pentanahan/Pembumian) ;

Berfungsi untuk mengamankan dari arus tegangan yang timbul sesudah saluran tegangan tinggi diputuskan atau induksi tegangan dari penghantar atau kabel lainnya. Hal ini perlu untuk keamanan bagi orang-orang yang bekerja pada peralatan instalasi.



Gambar 5. Pemisah / DS

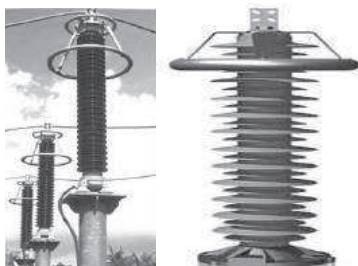
**3.4.5. LIGHTNING ARRESTER (LA)**

Surge Arrester / LA merupakan peralatan yang didesain untuk melindungi peralatan lain dari tegangan surja (baik surja hubung maupun surja petir) dan pengaruh follow current. Sebuah arrester harus mampu bertindak sebagai insulator, mengalirkan beberapa miliampere arus bocor ke tanah pada tegangan sistm dan berubah menjadi konduktor yang sangat baik, mengalirkan ribuan ampere arus surja ke tanah, memiliki tegangan yang lebih rendah daripada tegangan withstand dari peralatan ketika terjadi tegangan lebih, dan menghilangkan arus susulan mengalir dari sistem melalui arrester (power follow current) setelah surja petir atau surja hubung berhasil didisipasikan. Fungsi utama dari Lightning Arrester adalah melakukan pembatasan nilai tegangan pada peralatan gardu induk yang dilindunginya. Panjang lead yang menghubungkan arrester pun perlu diperhitungkan, karena inductive voltage pada lead ini ketika terjadi surge akan mempengaruhi nilai tegangan total paralel terhadap peralatan yang dilindungi.

- Arrester Gardu Induk

Merupakan Arrester kebanyakan yang terpasang di Gardu Induk, menurut material penyusun housing, material Gardu Induk dibedakan menjadi:

- 3.4.5.1. insulator porselen
- 3.4.5.2. insulator polimer



Gambar 6. Lightning Arrester di Gardu Induk (GI)

**3.4.6. Current Transformer (CT)**

Berfungsi merubah besaran arus dari arus yang besar ke arus yang kecil atau memperkecil besaran arus listrik pada sistem tenaga listrik, menjadi arus untuk sistem pengukuran dan proteksi.

**3.4.7. Potential Transformer (PT)**

Berfungsi untuk merubah besaran tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau memperkecil besaran tegangan listrik pada sistem tenaga listrik, menjadi besaran tegangan untuk proteksi dan pengukuran.

**3.4.8. Transformer Pemakaian Sendiri (TPS)**

Pengoperasian suatu Gardu Induk memerlukan fasilitas pendukung yaitu sumber tegangan rendah AC 380 Volt yang diperlukan untuk sistem Kontrol, Proteksi, maupun untuk sistem mekanik penggerak peralatan di Gardu Induk.



Gambar 7. Tranformator Pemakaian Sendiri (TPS)

**3.4.9. Busbar (REL)**

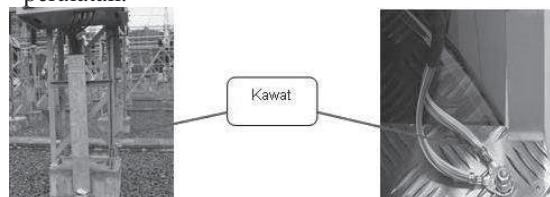
Busbar atau rel adalah titik pertemuan/hubungan trafo-trafo tenaga, SUTT, SKTT dan peralatan listrik lainnya untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik/daya listrik. Berdasarkan busbar gardu induk dibagi menjadi :

- 3.4.9.1. Gardu Induk Dengan Sistem Ring Busbar.
- 3.4.9.2. Gardu Induk Dengan Single Busbar.
- 3.4.9.3. Gardu Induk Dengan Double Busbar

**3.4.10. Grounding / Sistem Pertanahan**

Sistem pentanahan atau biasa disebut sebagai *grounding* adalah sistem pengamanan terhadap perangkat-perangkat yang mempergunakan listrik sebagai sumber tenaga, dari lonjakan listrik, petir dll.

Fungsi pentanahan peralatan listrik adalah untuk menghindari bahaya tegangan sentuh bila terjadi gangguan atau kegagalan isolasi pada peralatan / instalasi dan pengaman terhadap peralatan.



Gambar 8. Grounding



**3.4.11. Gedung Kontrol 20 kV**

Berfungsi sebagai pusat aktifitas pengoperasian gardu induk. Pada gedung kontrol inilah operator bekerja mengontrol dan mengoperasikan komponen-komponen yang ada di gardu induk.

**4. Hasil dan Pembahasan**

**4.1. Penentuan Rating Peralatan**

Switchyard yaitu bagian dari gardu induk yang menjadi tempat peletakan komponen utama gardu induk. Pemahaman tentang *switchyard*, pada umumnya adalah :

A. Jika suatu komponen-komponen utama gardu induk dipasang di area terbatas dan di dalam gedung, disebut dengan *switchgear*.

B. Jika suatu komponen-komponen utama gardu induk dipasang di area terbuka, maka disebut *switchyard*.

*Switchgear* yaitu bagian peralatan yang ada di *switchyard*. Sebetulnya yang dimaksud *switchyard* adalah nama yang diperuntukkan bagi gardu induk system *outdoor* atau konvensional. Sedangkan yang dimaksud *switchgear*, adalah nama yang diperuntukkan bagi GIS (*Gas Insulated Substation*). Adapun peralatan-peralatan *switchyard* yang terpasang di lapangan antara lain :

1. *Transformer*
2. *Disconnecting Switch*
3. *Circuit Breaker*
4. *Current Transformer*
5. *Potensial Transformer*
6. *Lightning Arrester*
7. *Grounding*

**4.2. Kapasitas Transformer Tenaga**

Transformer merupakan komponen utama dalam Gardu Induk yang berfungsi sebagai penurun atau penaik tegangan. Gardu Induk ini menggunakan Transformer tenaga 150/20 kV – 60 MVA yang berjumlah 1 buah. Untuk penarikan transmisi diambil dari Gardu Induk terdekat, yaitu Gardu Induk Plumpang dengan tegangan 150 kV untuk mensupply transformator dengan daya 1x60 MVA, dengan tegangan 150 kV / 20 kV. Dengan diketahui daya dalam MVA dapat dihitung arusnya yaitu :

$$I = \frac{60 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 150.000} = 231 \text{ Amper sisi primer}$$

$$I = \frac{60 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 20.000} = 1734 \text{ Amper sisi sekunder}$$

**UNINDO TRANSFORMER**

THREE PHASE TRANSFORMER N-  
YEAR OF MANUFACTURE

P060LEC787  
2014

WITH 18 POSITIONS ON LOAD TAP CHANGER  
RATED POWER 42 / 60 MVA - FREQUENCY 50 Hz  
OUTDOOR TYPE - CONTINUOUS SERVICE  
TEMPERATURE RISE - OIL 50 K - WINDINGS 55 K  
COOLING ONAN / ONAF

		HIGH VOLTAGE	LOW VOLTAGE	TERTIARY VOLTAGE	
RATED POWER IN MVA		42 / 60	42 / 60	14 / 20	
RATED VOLTAGE IN KV		150	20	30	
RATED CURRENT IN A		161.7 / 230.9	1212.4 / 1732.1	466.7 V3 / 666.7 V3	
CONNECTION		STAR	STAR	DELTA	
LINE IN		3U 1V 3W	2u 2v 2w	Bu 1, Bw 2	
NEUTRAL IN		3N		3N	
		RATED LIGHTNING IMPULSE WITHSTAND VOLTAGE 1.2/50 us (KV)	RATED POWER FREQUENCY WITHSTAND VOLTAGE (KV)		
WINDINGS		LINE SIDE	NEUTRAL SIDE	LINE SIDE	
HIGH VOLTAGE		630	95	275	
LOW VOLTAGE		125	125	50	
TERTIARY VOLTAGE		38			
POSITION OF OLTC	HIGH VOLTAGE		LOW VOLTAGE		RATED POWER (MVA)
	TAPPING VOLTAGE (KV)	TAPPING CURRENT (A)	RATED VOLTAGE (KV)	RATED CURRENT (A)	
	ONAN	ONAF	ONAN	ONAF	
1	165.750	146.3	209.0		
2	163.500	148.3	211.9		
3	161.250	150.4	214.8		
4	159.000	152.5	217.9		
5	156.750	154.7	221.0		
6	154.500	156.9	224.2		
7	152.250	159.3	227.5		
8	150.000	161.7	230.9		
9	147.750	164.3	234.5		
10	145.500	166.7	238.1	20.000	1212.4
11	143.250	169.3	241.8	1732.1	42 / 60
12	141.000	172.0	245.7		
13	138.750	174.6	249.7		
14	136.500	177.6	253.8		
15	134.250	180.6	258.0		
16	132.000	183.7	262.4		
17	129.750	186.9	267.0		
18	127.500	190.2	271.7		

CURRENT TRANSFORMERS				
DESIGNATION	RATED POWER VA	CLASS	RATIO	PURPOSE
CT01	15	3	2000/5A	MEASUREMENT
CT02	15	3	300/5A	MEASUREMENT

APPROXIMATE WEIGHTS	
- UNTANKING	44000
- CORE AND COILS	38800
- TANK	34700
- OIL	38000
- TOTAL	82000

Gambar 9. Nameplate Transformer Unindo 60 MVA

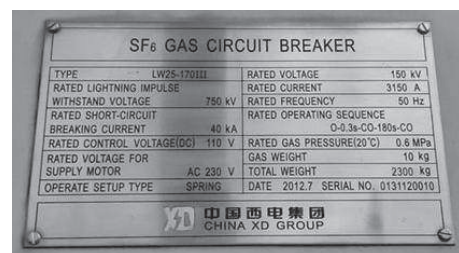
**4.3.1. Kapasitas Circuit Breaker**

Dalam melakukan pemilihan *circuit breaker* selain kapasitas pemutus arus, penentuan kapasitas pemutus arus hubung singkat sangatlah penting dikarenakan pada system 150 kV arus hubung singkat yang mungkin terjadi bernilai sangat besar. *Circuit Breaker* pada Gardu Induk Plumpang ini menggunakan media SF6.

Dalam menentukan kapasitas arus pada *circuit breaker* digunakan rumus sebagai berikut :

$$I \text{ nominal} = \frac{60 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 150.000} = 231 \text{ Amper}$$

Pada lapangan *circuit breaker* yang digunakan berkapasitas 3150 Ampere. Maka digunakan relay yang berfungsi untuk mendeteksi arus gangguan dan memberikan perintah ke *circuit breaker* untuk memutus arus tersebut.



Gambar 10. Nameplate Circuit Breaker

**4.4.1. Kapasitas Disconnecting Switch**

*Disconnecting Switch* atau pemisah pada dasarnya hampir sama dengan *circuit breaker* namun perbedaannya adalah pemisah tidak dapat memutuskan arus gangguan. Pemisah lebih sering digunakan untuk perawatan gardu induk, untuk memastikan kalau sistem tidak bertegangan. Dalam gardu induk komponen ini terpasang di beberapa komponen yaitu :

- A. TR Bay (Transformator Bay)
- B. TL Bay (Transmission Line Bay)
- C. Busbar
- D. Bus Couple

Karenakan *Disconnecting switch* hanya dapat dioperasikan pada kondisi jaringan tidak berbeban, maka *circuit breaker* harus dioperasikan dahulu. Setelahnya baru *disconnecting switch* bisa dioperasikan. Kapasitas dari *disconnecting switch* menyerupai kapasitas dari *circuit breaker*.

**4.5. Kapasitas Arrester**

Untuk pengaman terhadap surya hubung, *arrester* sebaiknya dipasang diantara transformator, yang memang menjadi tujuan utama perlindungan ini dan pemutus bebannya. Pertimbangan lain bahwa *arrester* itu akan dapat juga menyerap surja dari pemutus arus pembangkit. Pada lapangan *arrester* terletak antara transformator dan peralatan. Bila jarak *arrester* dan peralatan yang dilindungi terlalu jauh maka tegangan lebih yang sampai pada terminal peralatan akan lebih tinggi dari tegangan pelepasan pada lightning arrester.

**4.6. Instrument Transformer**

Transformator arus dan transformator tegangan merubah arus atau tegangan ke tingkat yang lebih rendah untuk pengoperasian *relay* atau *metering*.

- A) Trafo Arus: transformator arus digunakan untuk mengukur arus beban suatu rangkaian. Dengan menggunakan transformator arus maka arus beban yang besar dapat diukur dengan menggunakan alat ukur (ampere meter).
- B) Trafo Tegangan: transformator tegangan atau potensial transformer adalah transformator yang berfungsi untuk:
  - Mentransformasikan nilai tegangan yang tinggi pada sisi primer ke nilai tegangan yang rendah di sisi sekunder yang digunakan untuk pengukuran (metering) dan proteksi.
  - Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, yaitu memisahkan instalasi pengukuran dan proteksi dari tegangan tinggi.

**4.7. Grounding**

Pada saluran transmisi substation tahanan pertanahan tidak melebihi 5 Ohm. Pada saluran-saluran tegangan tinggi tahanan yang diperbolehkan maksimal 15 Ohm sedangkan pada

saluran tegangan menengah tahanan yang diperbolehkan maksimal 25 Ohm, Sesuai PUIL 2000 : 68. Tahanan tanah berkaitan dengan kandungan air dan suhu maka dapat diasumsikan bahwa tahanan pertanahan suatu system akan berubah sesuai dengan perubahan iklim setiap tahunnya.

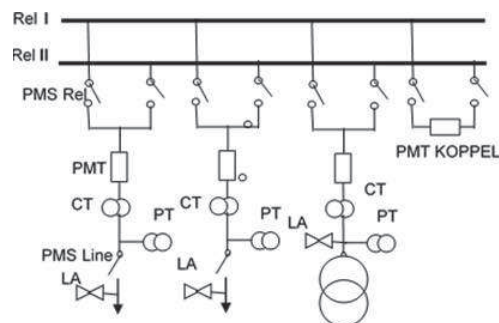
Tabel 4.1. Tahanan rata-rata tanah berdasarkan jenisnya

No.	Uraian Tanah	Tahanan rata-rata (Ω =Ohm)
1	Sawah, rawa (Tanah Liat)	0 – 15
2	Tanah garapan (Tanah Liat)	1 – 20
3	Sawah, Tanah Garapan (Kerikil)	10 – 100
4	Pegunungan (Biasa)	20 – 200
5	Pegunungan (Batu)	200 – 500
6	Pinggir Sungai (Berbatu)	100 - 500

**4.8. Kapasitas Busbar**

Untuk melayani kebutuhan beban dan kontinuitas penyaluran daya listrik, maka untuk busbar 150kV digunakan sytem double busbar, system ini memiliki keuntungan apabila salah satu busbar mengalami gangguan atau perbaikan maka masih dapat digunakan busbar yang lain untuk menyalurkan daya listrik.

Penggunaan *busbar* didasarkan pada arus nominal *circuit breaker* sehingga *busbar* akan mampu menyalurkan arus ke tiap-tiap komponen dengan baik. Untuk konduktor *Busbar* menggunakan ACSR 2 x 340 mm dengan arus nominal 1480 ampere. Data rating peralatan tersebut sesuai standar PUIL tahun 2000 pasal 2.1.6 ayat 2.2 dan konfigurasi *system* yang ada di PLN P3B Jawa-Bali.



Gambar 11. System Double Busbar di GI Plumpang

**4.9. Pengukuran Jarak Aman Penempatan Peralatan**

Dalam pengambilan data,yang meliputi jarak antara komponen dengan tanah dan jarak antar komponen di *Bay* Transformerr menggunakan alat ukur yang bernama TETSU *Fiber Glass Tape*.

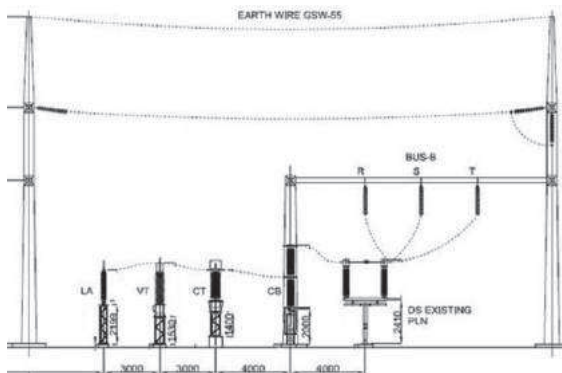
Gambar bentuk alatnya bisa dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Alat ukur TETSU Fiber Glass Tape



Gambar 13. Pengukuran jarak antar komponen di lapangan



Gambar 14. Contoh jarak komponen di switchyard

Pada perencanaan suatu gardu induk system 150 kV ke 20 kV jarak aman antara komponen sangat perlu di perhatikan. Komponen yang terlalu dekat jaraknya akan menimbulkan *short*. Untuk mengatasi hal tersebut komponen harus sesuai dengan standar.

**4.10. Hasil pengukuran jarak komponen dengan tanah**

Tabel 4.2 , merupakan hasil pengukuran jarak komponen dengan tanah yang dilakukan ternyata berbeda dengan standar yang di ditetapkan oleh IEC (*International Electrotechnical Commission*). Tetapi perbedaan itu sudah melampaui dari standar yang ditetapkan sehingga

sudah memenuhi standar yang berlaku dalam pemasangan komponen tersebut.

Tabel 4.2. Jarak antara komponen dengan tanah di lapangan

Nama komponen	Jarak antara komponen dengan tanah (mm) Di Lapangan	Minimum Arching Distance (Phase to Earth) sesuai IEC 61466-2 (mm)
Lighting Arrester	2100	1300
Voltage Transformer	1700	1300
Current Transformer	1400	1300
Circuit Breaker	2000	1300
Disconnecting Switch	2200	1300

**4.11. Hasil pengukuran jarak antar komponen Bay Transformer**

Tabel 4.3 merupakan tabel hasil pengukuran jarak antar komponen di bay transformer dengan standar IEC (*International Electrotechnical Commission*). Adanya perbedaan yang sangat jauh dan hasilnya ada range yang paling rendah yaitu 1800 (mm) jarak antar transformer dengan cable power. Dan ada range yang paling tinggi yaitu 11080 (mm) jarak antar Disconnecting switch bus 1

– Disconnecting switch bus 2. Tetapi tetap sudah memenuhi standar IEC (*International Electrotechnical Commission*).

Tabel 4.3. Jarak antara tanah dengan komponen di lapangan

Nama Komponen	Jarak antar komponen (mm) di lapangan	Minimum arching distance (phase to phase) sesuai IEC 61466-2(mm)
Disconnecting Switch Bus 1 - Disconnecting Switch Bus 2	11080	11080
Disconnecting Switch Bus 2 - Circuit Breaker	8500	8500
Circuit Breaker - Current Transformer	4250	4250



Current Transformer - Lighting Arrester	2550	2550
Lighting Arrester - Transformer	5200	5200
Transformer - Cable Power	1800	1395

### 5. Simpulan

Sesuai dari hasil penelitian “Studi Analisa Pengukuran Jarak Kelistrikan Gardu Induk 150kV”.

1. Gardu Induk ini menggunakan Transformer tenaga 150/20 kV – 60 MVA. Untuk penarikan transmisi diambil dari Gardu Induk terdekat, yaitu Gardu Induk Plumpang dengan tegangan 150 kV untuk mensupply transformator dengan daya 1x60 MVA, dengan tegangan 150 kV / 20 kV.
2. Hasil pengukuran jarak komponen dengan tanah yang dilakukan ternyata berbeda dengan standar yang ditetapkan oleh IEC (*International Electrotechnical Commission*). Akan tetapi masih memenuhi standar yang berlaku dalam pemasangan komponen tersebut.
3. Hasil pengukuran jarak antar komponen di *bay transformer* dengan standar IEC (*International Electrotechnical Commission*). Adanya perbedaan hasil ada range yang paling rendah yaitu 1800 (mm) jarak antar *transformer* dengan *cable power*. Dan ada range yang paling tinggi yaitu 11080 (mm) jarak antar *Disconnecting switch bus 1 – Disconnecting switch bus 2*, Akan tetapi masih memenuhi standar IEC (*International Electrotechnical Commission*).

### Daftar Pustaka

1. Arismunandar, DR.A. Kuwahara, DR. Susumu, Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jakarta, PT Praditya Pramita, 2004.
2. Ir. Jarman MSc dkk, Peraturan Umum Instalasi Listrik Indonesia 2011, Jakarta, 2014.
3. IEC (*Internasional Elektrotechnical Commission*)
4. PT. PLN (PESERO), Buku Kriteria Dasar Bagi Perencanaan Saluran Udara Tegangan Tinggi 66 KV dan 150 KV, PLN Jakarta No.055/DIR/79 SPLN 13, 1978.
5. SNI 04-0225-2000, Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000) , Jakarta : Badan Standarisasi nasional, 2000.

6. SNI 04-6918-2002, Ruang Bebas dan Jarak Bebas Minimum Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)”, Penerbit BSN Jakarta, 2002.
7. Aji Danang Suryadipraja, Jurnal : Analisa Rele Jarak Pada Jaringan Transmisi 150kV, Jurnal Muhammadiyah Surakarta, 2018.
8. Adhitya Agung Pratomo, Lily Patras, Hans Tumaliang, Jurnal : Analisa Perancangan Gardu Induk 150 kV di Kabupaten Muna, 2021.
9. Anshory ramadhan, Bekti Yulianti, Jurnal : Power Meter Pada Telemetry SCADA di Gardu Induk 150 KV Untuk Meningkatkan Akurasi Data, 2013.
10. Haleyda Rizki Suhardiman, Jurnal : Analisis Perhitungan Setting Rele Jarak Sebagai Proteksi Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150KV di Gardu Induk Kedung Badak – Gardu Induk Bogor Baru, Bogor, 2020.
11. Libianko Sianturi, Fiktor Sihombing, Odin S. Sitohang, Jurnal : Studi Pembumihan Sistem Grid Aplikasi Gardu Induk 150 KV Kapasitas 60 MVA Tanjung Morawa, Medan, 2020.
12. Mochammad Azizurrohman, Jurnal : Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 KV Gardu Induk Batang – Gardu Induk Pekalongan Dengan Jenis Konduktor ACCC Lisbon, Yogyakarta, 2019.
13. Muh Saleh, Jurnal : Survey Topography Gardu Induk 150 Kv Sorong Papua Barat, 2018.
14. Muh Tasbir, Jurnal : Analisa Peralatan Lightning Arrester Pada Gardu Induk Bolangi 150Kv, Makasar, 2020.
15. Nurcahyo hajar Saputro, Jurnal : Analisa Pentanahan Kaki Menara Transmisi 15Kv Blora - Rembang Bertahanan Tinggi dan Usaha Menurunkannya, Blora Rembang, 2016.
16. Reno Aji Saputra, Karnoto, Harmini, Jurnal : Analisis Titik Panas (Hot Point) Pada Hasil Pengukuran Thermovisi Pada Gardu Induksi 150 KV Mranggen, 2020.
17. Rizki Indra Pangestu, Jurnal : Analisa Kinerja Circuit Breaker Pada Sisi 150 kV Gardu Induk Lamhotma, 2019.
18. Samuel Marco Gunawan, Julius Santosa, Jurnal : Analisa Perancangan Gardu Induk Sistem Outdoor 150 kV di Tallasa, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan, 2013.
19. Suciani Rahma Pertiwi, Ulinuha Latifa, Rahmat Hidayat, Ibrahim, Jurnal : Analisis Kelayakan CVT (Capacitive

- Voltage Transformer) Phasa S Bay Busbar 2 150 kV di GI PT. XYZ Indonesia, Karawang, 2021.
20. Satrya Bhayangkara Poetra, Teti Zubaidah, Ni Made Seniar, Jurnal : Analisis Intensitas Paparan Medan Listrik dan Medan Magnet Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Jalur GI Mataram – GI Switching Mataram, Lombok, 2017.
  21. Qoid Zuhdi Mu'tashim, Jurnal : Analisis Penggunaan Rele Jarak Pada Sistem Trasmisi Gardu Induk 150 kV Jajar ke Gardu Induk 150 kV Banyudono, Surakarta, 2017.