

# **PERENCANAAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK SISTEM 20 KV DENGAN MENGGUNAKAN METODE OPTIMASI**

**SKRIPSI**

Oleh :

**TUA GREGORIUS AMBARITA**

**No. STB : 96.812.0037**



**JURUSAN ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2001**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 26/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

## DAFTAR ISI

Kata pengantar .....	i
Daftar Isi.....	iii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Batasan Masalah .....	3
I.3 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II SISTEM DISTRIBUSI .....</b>	<b>5</b>
II.1 Umum .....	5
II.2 Persyaratan Umum Distribusi.....	7
II.3 Macam-Macam Sistem Distribusi .....	8
II.4 Peralatan Sistem Distribusi .....	10
II.5 Gardu Induk Dan Gardu Distribusi.....	11
II.6 Bahan Dan Karakteristik Penghantar .....	12
II.7 Jaringan Primer .....	13
II.7.1 Letak Dan Bentuk Jaringan Primer .....	13
II.7.2 Biaya Jaringan Primer .....	19
II.7.2.1 Biaya Rugi-Rugi Energi Listrik Pertahun.....	19
II.7.2.2 Biaya tahunan Jringan Primer.....	21
<b>BAB III PROTEKSI DISTRIBUSI .....</b>	<b>23</b>
III.1 Umum.....	23
III.2 Relai Pengaman .....	24
III.2.1 Prinsip Kerja Relai Pengaman.....	24
III.2.2 Syarat-Syarat Relai Pengaman .....	25
III.3 Beberapa Istilah Pada Peralatan Pengaman .....	27
III.4 Macam-Macam Pengaman Pada Sistem Distribusi .....	29
III.4.1 Pelebur.....	29

III.4.2 CB Dengan Relai Arus Lebih.....	30
III.4.3 Penutup Balik Otomatis ( Automatic Circuit Recloser ).....	30
III.4.4 Saklar Seksi Otomatis ( Automatic Sectionalizer ).....	30
III.5 Jenis –Jenis Relai Pengaman.....	31
III.5.1 Relai Tarikan Elektromagnetis.....	31
III.5.2 Relai Tarikan Elektromatis Tipe Selenoid .....	33
III.5.3 Relai Tarikan Elektromatis Tipe Armatur .....	33
III.5.4 Relai Induksi Elktromagnetis .....	34
<b>BAB IV METODE OPTIMASI .....</b>	<b>35</b>
IV.1 Umum .....	35
IV.2 Metode Jalur Termurah.....	37
IV.2.1 Perumusan Metode.....	38
IV.2.2 Prosedur Penentuan Metod .....	44
IV.3 Metode Transportasi .....	45
IV.3.1 Menentukan Jalur Jaringan Yang Layak.....	47
IV.3.2 Prosedur Penentuan Jaringan Yang Layak.....	47
IV.4.4 Metoda Pengecekan Cabang Yang Optimun .....	48
IV.5 Beberapa Langkah Penyederhanaan .....	50
<b>BAB V PEMAKAIN METODA OPTMASI UNTUK PERENCANAAN SUATU SISTEM DISTRIBUSI .....</b>	<b>52</b>
V.1 Menentukan sistem Distribusi.....	52
V.2 Menentukan Nilai Optimum Kapasitas Gardu Induk Dan Jaringan .....	53
V.2.1 Menentukan Daerah Pelayanan Secara Langsung.....	53
V.2.2 Menentukan Biaya Tetap Jalur Jaringan.....	55
V.2.3 Menentukan Kapasitas Gardu Induk Dan Jaringan Yang Layak .....	64
V.3 Menentukan Jaringan Radial Yang Ekonomis.....	74
V.4 Pembahasan.....	86

<b>BAB VI PENUTUP .....</b>	<b>89</b>
VI.1 Kesimpulan .....	89
VI.2 Saran .....	89
LAMPIRAN A.....	90
LAMPIRAN B.....	92
DAFTAR PUSTAKA.....	95



# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1.Latar Belakang

Suatu perencanaan distribusi tenaga listrik pada dasarnya bertujuan untuk membangun suatu sistem yang dapat mengirimkan energi listrik secara ekonomis, andal,serta aman pada konsumen .Tujuan ini biasanya didekati oleh berbagai alternatif perencanaan yang sedapat mungkin memenuhi ketiga hal tersebut diatas.

Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam perencanaan tersebut:

#### . **Biaya distribusi**

Biaya distribusi sering dijadikan faktor utama,namun hal ini tidak terlepas dari keandalan sistem .Untuk itu beberapa hal yang perlu diperhatikan , misalnya : kapasitas gardu induk yang optimal ,pemilihan jalur jaringan jenis penghantar, tegangan yang dipakai secara pemasangan instalasi (overhead atau underground).

#### . **Flexibilitas**

Flexibilitas merupakan kemampuan sistem mengikuti pertumbuhan beban untuk masa-masa yang akan datang. Sistem yang memiliki flexibilitas yang tinggi akan semakin baik.

### **. Keandalan**

Keandalan merupakan kemampuan sistem untuk memberikan suplai daya secara terus menerus. Dalam hal ini yang sangat mempengaruhi adalah bentuk jaringan, peralatan-peralatan hubung serta alat-alat proteksi yang digunakan. Semakin tinggi keandalan sistem maka semakin baik sistemnya.

### **. Tegangan jatuh**

Tegangan jatuh berhubungan dengan mutu pelayanan beban. Faktor yang mempengaruhi tegangan jatuh adalah impedansi serta daya yang disalurkan. Tegangan jatuh pada sistem distribusi mempunyai batasan tertentu yang menjadi indikasi mutu pelayanan beban

Dalam prakteknya suatu sistem tenaga listrik jarang sekali memenuhi seluruh kriteria faktor diatas .Hal ini karena dari faktor-faktor tersebut ada yang saling bertentangan, seperti faktor keandalan dan ekonomis, dimana semakin baik keandalan suatu sistem maka akan semakin besar investasi yang tertanam. Oleh karena itu para perencana selalu mencari penyelesaian dengan optimasi dari faktor-faktor di atas, dengan pendekatan – pendekatan yang dilakukan.

Pendekatan-pendekatan itu adalah pendekatan statis dan pendekatan dinamis. Pendekatan statis merupakan pendekatan yang dipandang tanpa memperhatikan pertumbuhan beban. Sedangkan pendekatan dinamis adalah pendekatan dengan memperhatikan pertumbuhan beban. Pada prakteknya pendekatan statis adalah suatu perencanaan sistem distribusi yang ditinjau untuk

masa waktu tertentu.

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 26/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)26/12/23

## I.2. Batasan Masalah

Dalam sistem distribusi yang dapat dijadikan sebagai persoalan optimasi adalah gardu induk sebagai pencatu daya, gardu-gardu distribusi sebagai pusat-pusat beban, serta jaringan primer sebagai lintasan pengirim daya. Persoalan optimasi dapat diselesaikan dengan tiga metoda.

- a. Metoda jalur termurah
- b. Metoda transportasi
- c. Metoda pengecekan cabang yang optimum

Untuk membuat penulisan yang tidak terlalu luas maka penulis membuat batasan-batasan yaitu :

1. Penulisan hanya membahas mengenai optimasi jaringan primer dengan metoda jalur termurah, metoda transportasi serta metoda pengecekan cabang yang optimum.
2. Tidak membahas mengenai tata letak atas pemilihan gardu induk.
3. Beban dianggap telah direncanakan sebelumnya, sehingga pembahasan perencanaan beban tidak dilakukan.
4. Pertumbuhan beban dianggap mendekati nol, sehingga rugi-rugi hantaran mendekati konstan.

### I.3. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam beberapa bab, yaitu :

- BAB I : Bab ini merupakan pendahuluan yang mengemukakan latar belakang pembahasan masalah, batasan masalah serta sistematika penulisan yang dilakukan.
- BAB II : Menerangkan teori sistem distribusi secara umum
- BAB III : Membahas mengenai proteksi pada sistem distribusi dan alat-alat pengaman dan sistem kerja alat-alat pengaman pada sistem distribusi.
- BAB IV : Bab ini membahas tentang penggunaan metoda optimasi pada sistem distribusi.
- BAB V : Bab ini merupakan pengaplikasian dari metoda-metoda di atas dalam bentuk sebuah contoh permasalahan, sehingga diperoleh suatu optimasi.
- BAB VI : Merupakan akhir dari penulisan tugas akhir ini dan merupakan kesimpulan akhir dari studi yang telah dilakukan.



## BAB II

### SISTEM DISTRIBUSI

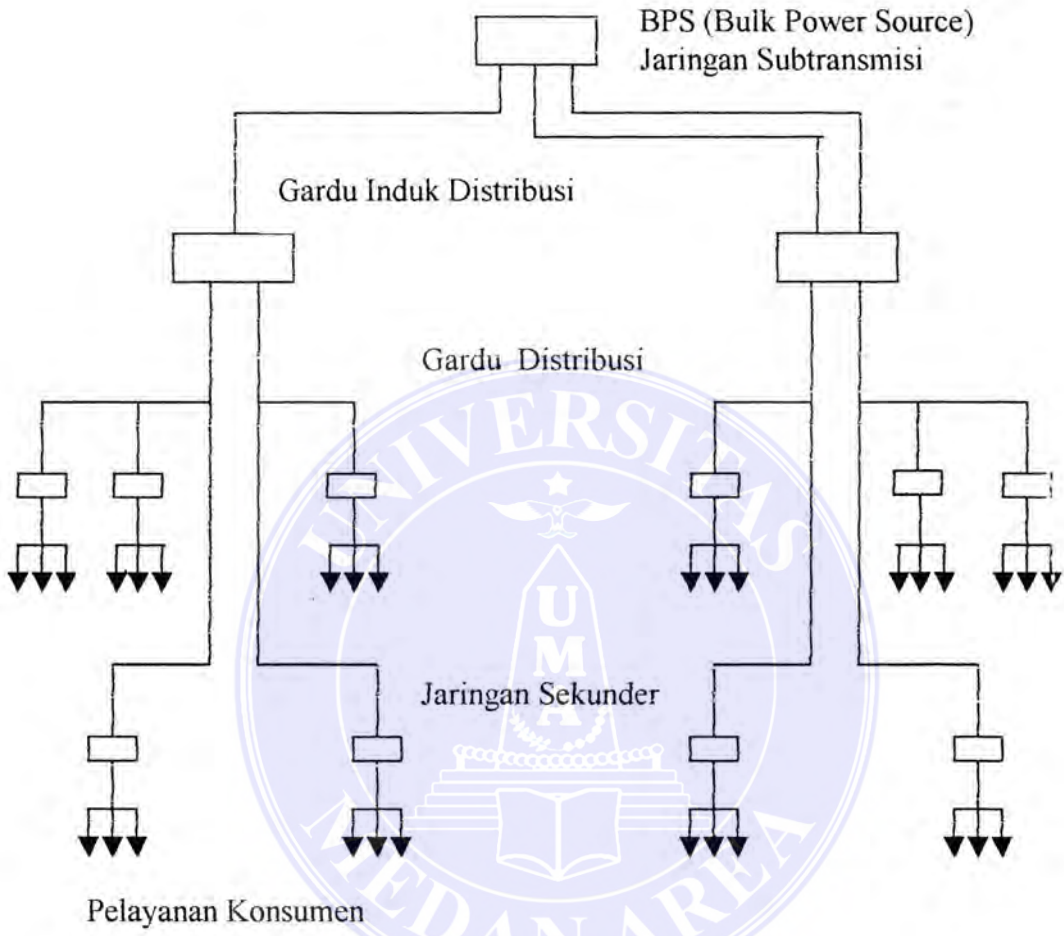
#### II.1 Umum

Sistem distribusi tenaga listrik meliputi penyaluran tenaga listrik dari sumber yang besar ( BPS ) hingga sampai kepada para pelanggan / beban. Sumber daya ini bisa jauh dari daerah pelayanan beban ataupun terletak dekat beban. Sumber daya dapat berupa stasiun pembangkit maupun gardu induk transmisi yang disuplai jaringan transmisi

Sistem distribusi secara umum terdiri dari :

- Jaringan subtransmisi
- Gardu induk distribusi
- Jaringan primer
- Gardu distribusi
- Jaringan sekunder
- Jaringan pelayanan konsumen

Secara bagan dapat kita lihat sebagai berikut :



Gbr.2.1 Bagan Sistem Distribusi

- Jaringan subtransmisi adalah jaringan yang menghubungkan antar sumber (BPS) dengan gardu induk distribusi
- Gardu induk distribusi merupakan gardu yang berada di antara jaringan subtransmisi dengan jaringan primer, berfungsi untuk menurunkan tegangan subtransmisi ke tegangan primer atau tegangan menengah. Kapasitas gardu induk tergantung pada daerah beban yang dilayaninya.

- Jaringan primer merupakan jaringan yang menghubungkan gardu induk dengan gardu distribusi. Jaringan primer dapat berupa kabel bawah tanah, hantaran udara maupun hantaran udara terbuka. Standard PLN untuk tegangan jaringan primer adalah 20 KV.
- Gardu distribusi merupakan gardu yang berfungsi untuk menurunkan tegangan primer ke tegangan pemakai dan biasanya terletak di pusat-pusat beban. Kapasitas gardu distribusi tergantung pada besar yang dilayaninya.
- Jaringan sekunder merupakan jaringan antara trafo distribusi dengan para pemakai / pelanggan rumah-rumah. Standard tegangan yang dipakai PLN untuk tegangan sekunder sekarang ini adalah 380 / 220 Volt.
- Jaringan pelayanan konsumen adalah jaringan instalasi yang terdapat di rumah-rumah pelanggan.

Jadi fungsi utama sistem distribusi tenaga listrik adalah menyalurkan daya listrik dari sumber daya besar sampai kepada pemakai pada tingkat tegangan yang dibutuhkan.

## II.2 Persyaratan Umum Distribusi

Dalam sistem distribusi yang utama adalah bagaimana menyalurkan daya kepada pemakai sebaik-baiknya, secara kualitas dan kuantitas, untuk waktu yang sekarang dan waktu yang akan datang. Karenanya suatu sistem distribusi harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

### UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 26/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)26/12/23

1. Gangguan terhadap pelayanan tidak boleh sering terjadi, tidak boleh terlalu lama dan di daerah yang sekecil mungkin.
2. Tegangan jatuh yang di iijinkan tidak boleh melebihi batas harga yang telah ditetapkan.
3. Mudah mengikuti terhadap perubahan beban yang terjadi.
4. Memiliki sistem pemeliharaan yang murah.
5. Berbiaya murah dalam hal pembangunan, operasi dan perubahan sistem karena perubahan beban.

Sehubungan optimasi dari sistem jaringan primer dan kapasitas gardu induk untuk perencanaan sistem distribusi dalam tugas akhir ini, maka secara teoritis perlu dibahas gardu induk, gardu distribusi dan jaringan primer.

### II.3 Macam – Macam Sistem Distribusi

Berdasarkan sistem pelayanannya sistem distribusi dapat dibedakan atas 5 macam, yaitu :

- Sistem Distribusi Radial
- Sistem Distribusi Loop
- Sistem Distribusi Ring
- Sistem Distribusi Grid
- Sistem Distribusi Spindle

Sistem distribusi spindle ini menggunakan tabel bawah tanah, dan biasanya

dioperasikan di daerah-daerah yang padat bebannya dan memerlukan

tingkat keandalan tinggi, misalnya kota-kota besar. Dalam keadaan normal sistem pelayannya sama dengan sistem radial. Untuk memperbaiki keandalannya dan memperkecil daerah pemadaman pada saat terjadi gangguan, maka di ujung feeder radial tersebut setelah melewati gardu-gardu distribusi dikumpulkan dengan ujung feeder-feeder yang lain di suatu gardu hubung (GH). Panjang feeder biasanya sekitar 8 km, dan jumlah feeder untuk satu GH biasanya 7 buah. Sebagai peralatan hubung antara rel GH dengan ujung-ujung feeder yang datang digunakan saklar beban yang pada waktu kondisi normal saklar beban tersebut adalah pada posisi terbuka.

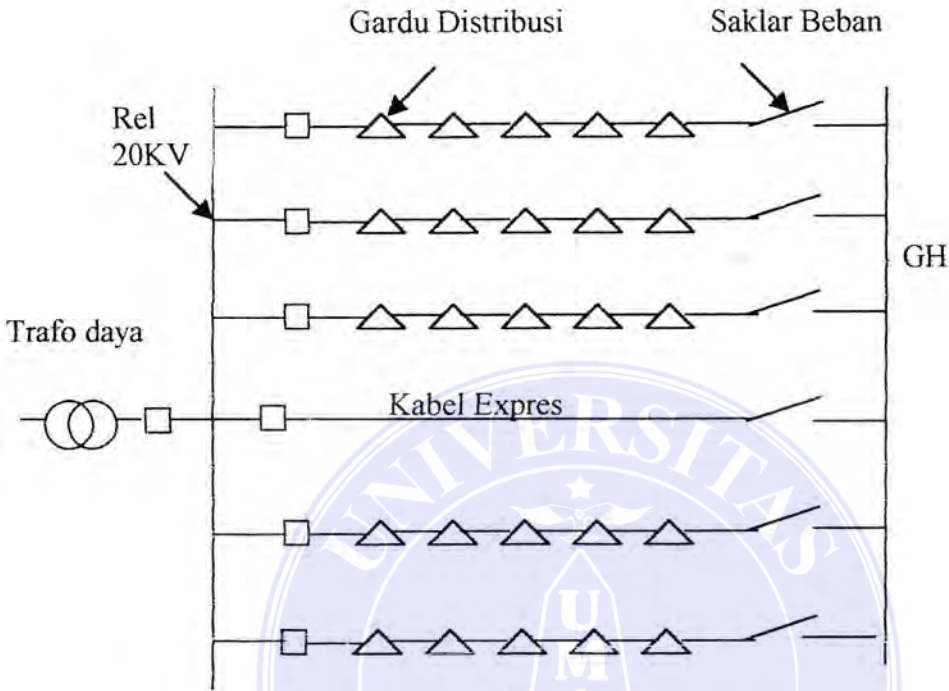
Selain feeder-feeder yang melayani gardu-gardu distribusi disediakan juga satu buah saluran penghubung langsung dari gardu induk (GI) ke GH (disebut kabel ekspres) yang berfungsi sebagai saluran cadangan. Jadi pada saat pengusahaan normal kabel ekspres ini tidak dialiri arus. Apabila salah satu bagian (seksi) dari kabel pengisi mengalami gangguan, maka CB pada pangkal feeder di GI akan membuka, dan selanjutnya saklar beban pada gardu trafo di kedua ujung seksi tersebut dapat dibuka untuk mengisolir bagian seksi kabel yang terganggu. Kemudian bagian kabel seksi hulu dapat dialiri kembali dari GI, sedang bagian hilir dialiri GH yang mendapat suplai dari kabel ekspres. Dengan demikian lama pemadaman dapat dipersingkat dan daerah pemadaman dapat dipersempit. Untuk jelasnya sistem spindle ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

## UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 26/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
  2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
  3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)26/12/23



Gbr. 2.2 Sistem Distribusi Spindle

#### II.4 Peralatan Sistem Distribusi

Secara umum peralatan yang digunakan pada sistem distribusi adalah identik dengan peralatan yang digunakan pada sistem transmisi, hanya kapasitas dan ukuran fisiknya yang berbeda. Namun ada sebagian kecil jenis peralatan yang digunakan pada sistem distribusi tidak dipakai pada sistem transmisi, antara lain :

- Peralatan hubung : ( 1 ). Saklar beban, yaitu suatu peralatan hubung listrik yang dapat dioperasikan pada saat berbeban.

( 2 ). Seksionalizer, yaitu suatu peralatan hubung listrik yang bekerja berdasarkan jumlah periode pemadaman yang dirasakan, dan berfungsi sebagai pemisah seksi jaringan distribusi yang terganggu.

- Peralatan pengaman, yaitu sekring tenaga sebagai pengaman arus lebih atau arus gangguan hubung singkat, dengan cara meleburnya elemen sekring.

## II.5. Gardu Induk dan Gardu Distribusi

### - Gardu Induk

Gardu induk biasanya terdiri dari peralatan-peralatan yaitu trafo daya , rel daya, peralatan pengaman, pengukuran serta peralatan bantu lainnya. Peralatan-peralatan tersebut dibangun berdasarkan prinsip dan aturan-aturan tertentu dengan pertimbangan teknis, keindahan dan ekonomis.

Berdasarkan pemasangan gardu induk dapat dikatagorikan atas :

- Gardu induk pasangan luar
- Gardu induk pasangan dalam
- Gardu induk pasangan bergerak

Pemilihan pasangan ini secara keseluruhan tergantung pada faktor-faktor keindahan, keamanan, biaya, gangguan dari luar dan teknis pemeliharaan.

### - Gardu Distribusi

Gardu distribusi merupakan gardu yang terdekat pada konsumen, karena itu lokasi dan kapasitasnya tergantung pada besar beban pada daerah tertentu. Dari hasil ramalan beban di daerah tersebut ditentukan kapasitas gardu distribusi.

## II.6 Bahan Dan Karakteristik Penghantar

Pada umumnya penghantar yang digunakan untuk jaringan primer terbuat dari tembaga atau aluminium. Tabel di bawah ini memperlihatkan karakteristik ke dua penghantar tersebut.

Karakteristik	Satuan	Tembaga	Aluminium
Kuat tarik	N/m <sup>2</sup>	(384-430) 10 <sup>6</sup>	(180-234)10 <sup>6</sup>
Resistivitas	Ohm mm <sup>2</sup> /m	0,017241	0,02828
Konduktivitas panas	Kal/cm/det.°C	0,923	0,503
Temperatur pelunakan	°C	200	180
Titik lebur	°C	1083	657
Berat jenis	g/cm <sup>3</sup>	8,94	2,703

Dari tabel di atas terlihat bahwa konduktivitas panas aluminium lebih rendah dari penghantar tembaga, akan tetapi aluminium lebih ringan dan murah harganya, maka aluminium cenderung sering digunakan untuk jaringan primer hantaran udara terbuka.



### II.7.1. Letak Dan Bentuk Jaringan Primer

Berdasarkan letaknya maka jaringan primer dapat dibedakan atas jaringan hantaran udara dan jaringan primer bawah tanah. Jaringan udara dapat berupa hantaran udara terbuka atau berupa kabel. Sedangkan jaringan bawah tanah hanya berupa kabel bawah tanah ( under ground cable )

Pemakaian kedua jenis hantaran tersebut masing-masing mempunyai keuntungan dan kerugian seperti tertera berikut ini.

#### 1. Jaringan hantaran udara

- Keuntungan
  - Baik untuk daerah yang kerapatan bebannya rendah
  - Mudah untuk pemeliharaannya.
  - Mudah pemeriksaan saat terjadi gangguan pada jaringan.
  - Tiang dapat dimanfaatkan ganda yakni untuk pemasangan jaringan sekunder dan pemasangan trafo.
  - Biaya pembangunan relatif murah.
- Kerugian
  - Tidak dimungkinkan untuk daerah perkotaan yang syarat akan gedung bertingkat tinggi.
  - Bila ditinjau dari segi keindahan maka hantaran udara kurang mendukung.

## 2. Kabel bawah tanah

- Keuntungan
  - Sangat baik untuk daerah yang mempunyai kerapatan beban yang sangat tinggi, misalnya daerah perkotaan.
  - Terhindar dari pengaruh gangguan dari luar seperti petir, pohon maupun manusia.
- Kerugian
  - Sulit menentukan lokasi terjadinya gangguan.
  - Sulit untuk perluasan jaringan
  - Biaya pembangunan relatif lebih mahal.
  - Sulit dalam hal pemeliharaan.

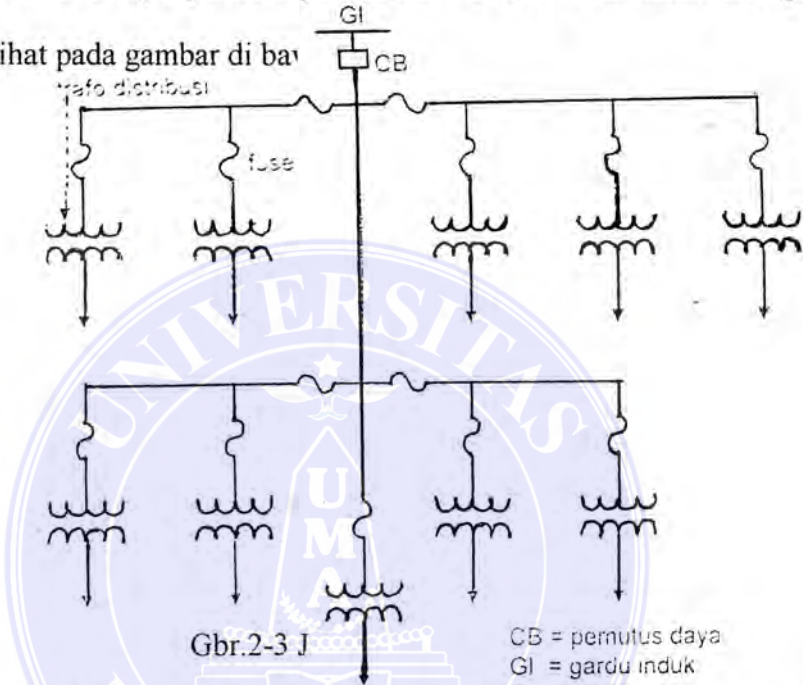
Untuk mendapatkan hasil yang optimal, maka dalam sistem perencanaan kedua hal di atas perlu diperhatikan. Jika ditinjau dari segi biaya selagi masih memungkinkan adalah lebih baik mempergunakan jaringan hantar udara.

Berdasarkan bentuknya jaringan primer terbagi atas :

1. Jaringan primer radial
2. Jaringan primer tertutup
3. Jaringan primer grid
4. Jaringan primer spindle

### 1. Jaringan primer radial

Jaringan ini merupakan saluran yang bersumber pada satu titik sumber daya dan memencar ke beberapa jurusan penyaluran. Bentuk sederhana dari jaringan primer dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gbr.2-3 Jaringan primer radial  
 CB = pemutus daya  
 GI = gardu induk

Jaringan radial merupakan jaringan yang paling sederhana, murah dalam pembangunannya, sederhana dalam pengamanannya akan tetapi paling rendah keandalannya. Apabila terjadi gangguan pada induk jaringan maka keseluruhan sistem tidak dapat melayani beban selama terjadi perbaikan jaringan.

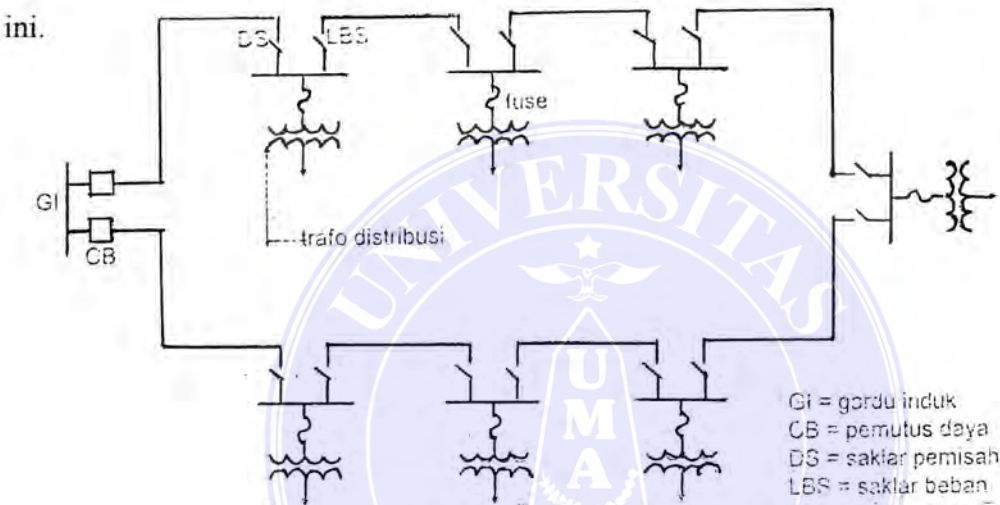
### 2. Jaringan primer tertutup

Jaringan primer tertutup terdiri dari dua system, yaitu:

- Jaringan primer loop
- Jaringan primer ring

a. Jaringan Primer Loop

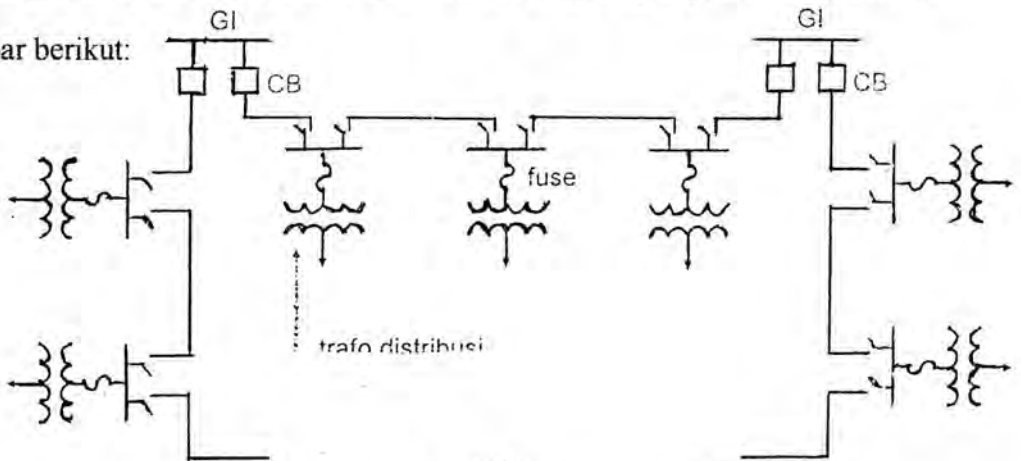
Jaringan primer loop merupakan jaringan tertutup yang dimulai dari satu sumber dan setelah melalui beban akan kembali ke sumber semula. Dalam jaringan primer loop hanya terdapat satu sumber, seperti terlihat pada gambar di bawah berikut ini.



Gbr.2.4 Jaringan Primer Loop

b. Jaringan Primer Ring

Bentuk jaringan primer ini adalah sama dengan jaringan primer loop, hanya saja di dalamnya terdapat beberapa sumber. Bentuk dari jaringan primer ring terlihat seperti gambar berikut:

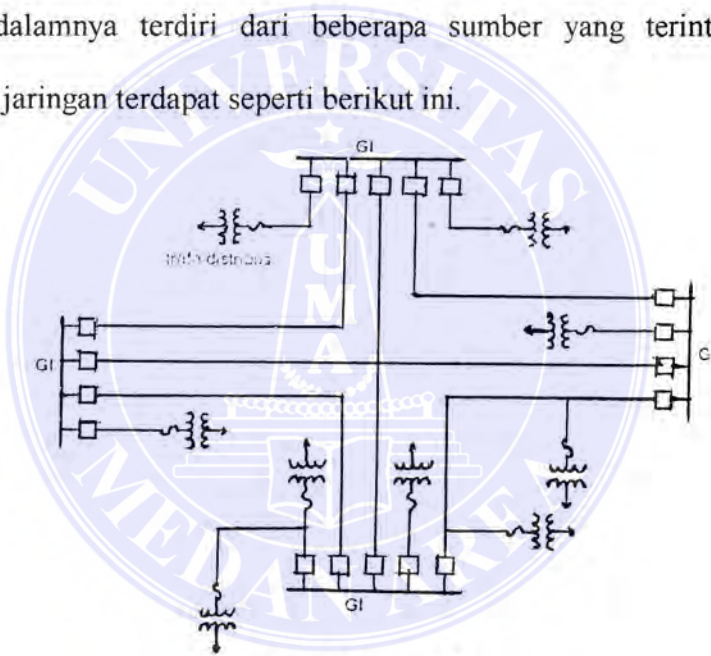


UNIVERSITAS MEDAN AREA Gbr. 2.5 Jaringan Primer Ring

Bila dibandingkan dengan jaringan radial, maka jaringan ini memiliki keandalan yang cukup tinggi, akan tetapi memerlukan biaya yang cukup tinggi dalam pembangunannya dan sistem pengamanannya yang relatif rumit.

### 3. Jaringan primer grid

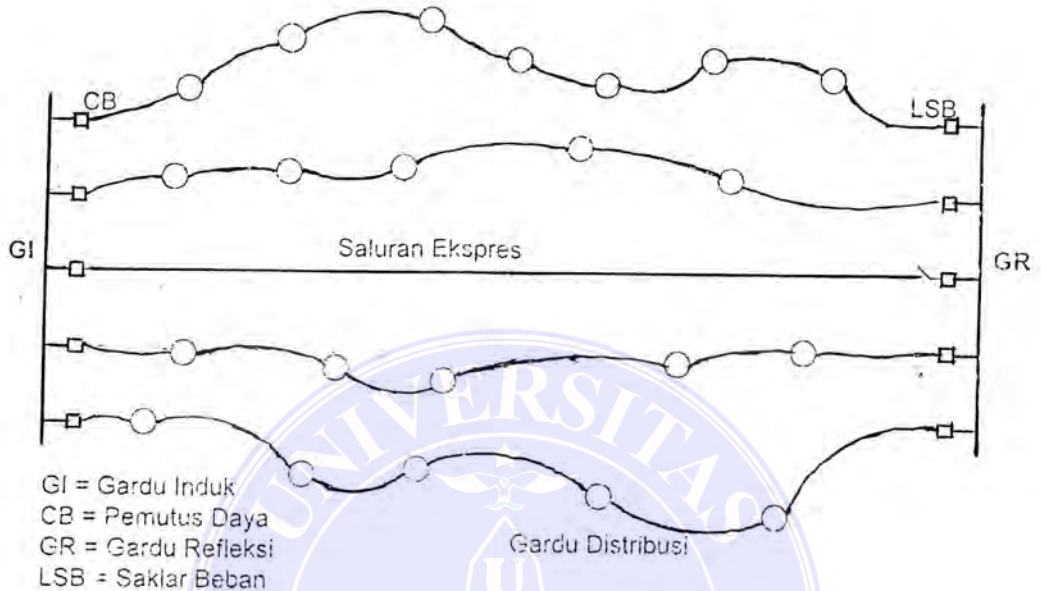
Jaringan ini merupakan kombinasi dari jaringan radial dengan jaringan tertutup, dimana didalamnya terdiri dari beberapa sumber yang terinterkoneksi. Bentuk dan gambar jaringan terdapat seperti berikut ini.



2.6 Jaringan Primer Grid

### 4. Jaringan primer spindle

Jaringan spindle merupakan pengembangan dari jaringan radial, dimana pengembangannya berupa penggabungan lebih dari satu jaringan pada suatu titik. Tempat bertemunya titik tersebut dinamakan gardu refleksi. Selain itu terdapat sebuah saluran ekspres yang menghubungkan sumber dengan gardu refleksi dan sama sekali tidak terhubung dengan beban. Berikut ini merupakan gambar dari jaringan



Gbr.2.7 Jaringan Primer Spindle

Sistem kerja jaringan spindle ini tergantung pada dua keadaan:

### 1. Keadaan normal

Pada keadaan normal dimana tidak ada gangguan pada sistem, maka saklar beban (LSB) pada gardu refleksi dalam keadaan terbuka dan jaringan sama dengan jaringan radial dimana semua beban dilayani satu gardu induk.

### 2. Keadaan terganggu

Dalam keadaan terganggu maka daerah gangguan diisolir dan semua beban yang terputus pada saluran tersebut dilayani dari saluran ekspres dengan masukan saklar beban (LSB) pada gardu refleksi ke saluran yang bersangkutan. Setelah

UNIVERSITAS MEDAN AREA  
 gangguan hilang maka sistem operasi pada keadaan semula.

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 26/12/23

## II.7.2 Biaya Jaringan Primer

Biaya jaringan primer terdiri atas dua bagian yaitu biaya tetap (fixed charges) dan biaya yang bersifat variabel (variable charges).

### 1. Biaya tetap jaringan

Biaya tetap jaringan adalah biaya yang tidak tergantung pada besarnya daya listrik yang disalurkan melalui jaringan tersebut. Jadi biaya jaringan ini adalah merupakan jumlah biaya bahan ditambah biaya pemasangan serta segala perlengkapannya, dimana biaya ini adalah tetap.

### 2. Biaya variabel jaringan

Biaya variabel jaringan adalah biaya yang tergantung pada besarnya daya listrik (KVA) yang dilayani jaringan tersebut. Dengan melihat hal ini maka biaya variabel jaringan adalah biaya rugi-rugi energi listrik pada jaringan yang terdiri dari rugi-rugi akibat resistansi ( $I^2R$ ), akibat isolasi, serta akibat yang lainnya.

#### II.7.2.1 Biaya Rugi-Rugi Energi Listrik Tahunan

Biaya rugi-rugi energi listrik tahunan (bre) dihitung dari rugi-rugi daya pada penghantar. Rugi-rugi daya pada penghantar dengan resistansi sama dengan  $r$  Ohm/Km dan dialiri arus  $I_{KA}$  adalah :

$$PR = I^2r \dots\dots\dots 2-1$$

Dimana : PR adalah rugi – rugi daya pada penghantar (MW/Km)

Bila satu tahun dianggap 365 hari dan harga energi listrik sama dengan hRp/KWH, maka rugi-rugi energi listrik pertahun dalam rupiah / panjang penghantar adalah :

$$bre = 3I^2r \times 24 \times 365 \times h \times 10^3 \dots\dots\dots 2-2$$

Sedangkan daya yang mengalir pada penghantar adalah :

$$P = \sqrt{3} VI \cos \theta$$

$$I^2 = \frac{P^2}{3V^2 \cos^2 \theta} \dots\dots\dots 2-3$$

Bila persamaan 2-3 dimasukkan ke dalam persamaan 2-2, maka didapat :

$$bre = 24 \times 365 \times 10^3 (P/V \cos \theta)^2 r \times h \dots\dots\dots 2-4$$

Dimana : bre = biaya rugi-rugi energi listrik pertahun ( Rp/Km/ thn)

P = daya yang dilewatkan penghantar (MW)

V = rating tegangan sistem distribusi (KV)

Cos  $\theta$  = faktor daya

h = harga energi listrik (Rp/KWH)

r = resistansi penghantar ( Ohm/Km)

Karena daya yang melewati melalui penghantar tidak selamanya konstan, maka biaya rugi-rugi energi listrik berupa fungsi kwadrat dari daya. Fungsi kwadrat dari rugi-rugi energi listrik tersebut adalah :

$$bre = a P^2 \dots\dots\dots 2-5$$

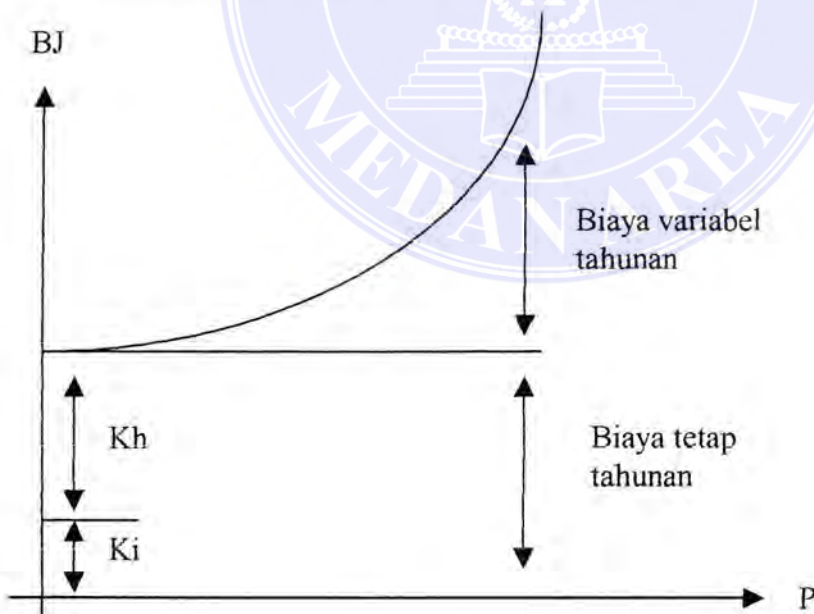
dimana a adalah konstan  $a = 24 \times 365 \times 10^3 \times r \times h / (V \cos \theta)^2$



### II.7.2.2. Biaya Tahunan Jaringan Primer

Biaya tahunan suatu jaringan primer adalah biaya yang dihitung dalam tahunan dari jaringan tersebut, dimana biaya tahunan yang dimaksud bernilai sama untuk setiap tahunnya. Biaya ini tergantung pada biaya awal, umur jaringan dan suku bunga bank.

Biaya tahunan jaringan distribusi primer adalah jumlah dari biaya tetap tahunan dan biaya variabel tahunan. Biaya tetap tahunan terdiri dari biaya tahunan instalasi dan biaya tahunan penghantar, sedangkan biaya tahunan variabel hanya biaya rugi-rugi energi listrik tahunan saja. Kurva biaya tahunan jaringan distribusi primer terlihat pada gambar di bawah ini.



Gbr.2.8 Kurva biaya tahunan jaringan distribusi primer terhadap daya untuk satu jenis penampang

Keterangan : BJ = biaya tahunan jaringan distribusi primer

$k_i$  = biaya tahunan instalasi jaringan distribusi primer persatuan panjang ( Rp / Km / thn )

$a$  = konstanta biaya variabel jaringan ditribusi primer ( Rp / Km /MW<sup>2</sup> / thn )

$k_h$  = biaya tahunan penghantar jaringan distribusi primer per satuan panjang ( Rp / Km /thn )

$P$  = daya jaringan distribusi primer (MW )

Biaya tahunan jaringan distribusi primer ditulis seperti persamaan 2-6 berikut ini .

$$\begin{aligned} BJ &= k_i + k_h + a P^2 \\ &= K + a P^2 \end{aligned}$$

dimana :  $K = k_i + k_h$  , yaitu biaya tetap tahunan jaringan distribusi primer

Biaya tahunan jaringan distribusi primer ini selanjutnya akan dipakai pada perencanaan sistem distribusi yang dibicarakan untuk menentukan jaringan yang optimum.

## BAB III

### PROTEKSI DISTRIBUSI

#### III. 1 Umum

Sistem pengamanan tenaga listrik adalah suatu sistem terpadu yang terbentuk oleh gabungan beberapa peralatan pengamanan ( antara lain : sekring pengamanan, pemutus tenaga ( CB ) dengan relai pengamanan, dan lain-lain ) yang bekerja secara bersama-sama dan terkoordinasi, sehingga dapat membuka rangkaian untuk melepaskan / membatasi gangguan. Relai bertugas sebagai pengindera gangguan dalam daerah perlindungannya yang dapat membedakan keadaan normal atau gangguan, selanjutnya mengirim isyarat ke CB yang bertugas untuk membuka jaringan, sehingga tercegahlah kerusakan yang lebih fatal baik pada sistem tenaga listrik beserta peralatannya maupun terhadap keselamatan umum. Dan bila diperinci fungsi pengamanan tersebut adalah :

- Mengamankan peralatan dari kerusakan karena gangguan
- Membatasi kemungkinan terjadinya kecelakaan
- Membatasi daerah yang mengalami pemadaman
- Membatasi frekwensi pemutusan tetap karena gangguan
- Secepatnya membebaskan pemadaman karena gangguan

## III.2 Relai Pengaman

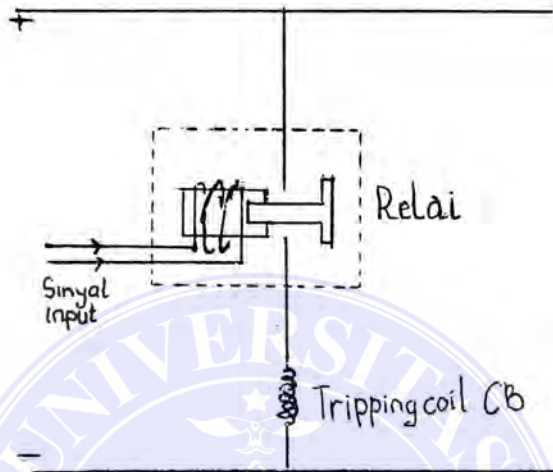
Secara umum fungsi relai pengaman adalah :

- Mengindera adanya penyimpangan dari keadaan normal pada suatu sistem tenaga listrik yang diamanakannya dan menentukan macam gangguan tersebut
- Menentukan dengan cepat pemutusan pelayanan setiap elemen terganggu dari penyaluran tenaga listrik apabila terjadi keadan tidak normal
- Menentukan lokasi ( zone ) gangguan yang terjadi
- Menentukan waktu pemutusan saluran yang terganggu, apakah segera diputuskan, ditunda waktu pemutusan, disambung kembali ( reclosing )

### III.2.1 Prinsip Kerja Relai Pengaman

Suatu relai pengaman yang normal akan bekerja apabila mendapatkan sinyal input ( berupa : besaran arus, tegangan, impedansi, daya, arah daya, suhu frekwensi dan lain-lain) yang melebihi harga settingnya, sehingga dicapai suatu harga pick up tertentu. Relai dikatakan bekerja ( operasi ) apabila kontak-kontak penghubung yang terdapat pada relai tersebut bergerak ; membuka atau menutup dari kondisi semula. Dengan perubahan posisi kontak-kontak penghubung tersebut maka suplai tegangan pada tripping coil ( yang berfungsi pembuka kunci penahan pegas pembuka kontak-kontak CB ) terhubung, dan tripping coil bekerja melepaskan kunci penahan pegas,

sehingga pegas membuka kontak-kontak CB. Untuk gambaran secara sederhana dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gbr.3.1 Diagram sederhana prinsip kerja suatu relai

Relai tidak dapat langsung membuka rangkaian, sedangkan CB tidak akan membuka pada saat gangguan sekalipun jika tidak ada komando dari relai.

### III.2.2 Syarat-Syarat Relai Pengaman

Sebagaimana diketahui bahwa fungsi relai pengaman adalah sangat penting dalam suatu sistem tenaga listrik sebagai alat pengaman, untuk itu perlu beberapa persyaratan yang harus dipenuhinya agar diperoleh sistem pengaman yang sebaik-baiknya, antara lain :

#### - Sensitif

Artinya relai pengaman harus peka, sehingga dapat bekerja dengan pasti pada saat diperlukan dan dalam keadaan rangsangan minimum.

- **Selektif**

Artinya relai pengaman harus dapat membedakan keadaan yang memerlukan pemutusan segera, pemutusan dengan tunda waktu atau tidak perlu pemutusan, dan dapat membedakan daerah perlindungannya. Sehingga bagian yang terganggu yang mengalami pemadaman, sedangkan bagian yang sehat tetap beroperasi.

- **Cepat**

Artinya relai harus bekerja dengan cepat, untuk mencegah bertahannya gangguan yang lebih lama, agar kerusakan peralatan dan bahaya umum dapat ditekan seminimal mungkin.

- **Andal**

Artinya relai pengaman harus dapat mempertahankan kemampuannya dalam kurun waktu tertentu. Pada dasarnya keandalan tersebut mencakup keamanan dan dapat dipercaya

- **Sederhana**

Artinya rangkaian relai pengaman sederhana ( tidak rumit ) sehingga mudah diperbaiki dan pengembangannya selanjutnya.

- **Ekonomis**

Artinya dengan investasi biaya yang seminimum mungkin diperoleh kemampuan pengamanan yang efektif

### III.3 Beberapa Istilah Pada Peralatan Pengaman

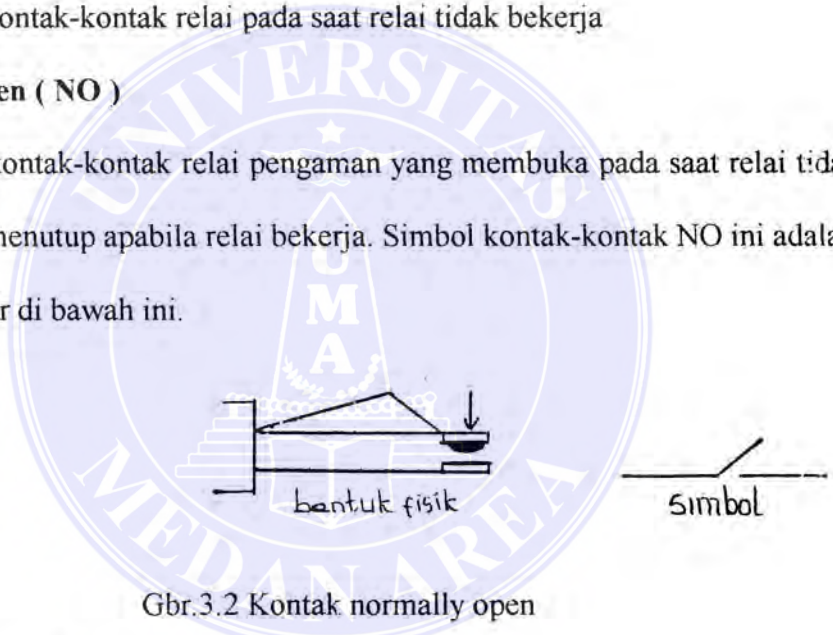
Ada beberapa istilah yang sering dipergunakan pada peralatan pengaman, yaitu istilah yang menjelaskan kondisi kerja dari relai pengaman / alat pengaman, sebagai berikut :

- **Normal Position ( Posisi Normal )**

Yaitu posisi kontak-kontak relai pada saat relai tidak bekerja

- **Normally Open ( NO )**

Yaitu posisi kontak-kontak relai pengaman yang membuka pada saat relai tidak bekerja, dan menutup apabila relai bekerja. Simbol kontak-kontak NO ini adalah seperti gambar di bawah ini.



Gbr.3.2 Kontak normally open

- **Normally Close (NC)**

Yaitu posisi kontak-kontak relai yang prinsip kerjanya kebalikan dari posisi kontak-kontak NO. Jadi kontak-kontak NC posisi tertutup pada saat relai tidak bekerja dan membuka pada saat relai bekerja. Simbolnya adalah seperti pada gambar di bawah ini.



Gbr.3.3 Kontak normally close

- **Pick - up**

Yaitu suatu harga minimum dimana relai mulai bekerja ( dapat melawan torsi pegas penahan ) setelah menerima sinyal input.

- **Reset ( Drop Out )**

Yaitu suatu harga minimum dimana relai mulai tidak bekerja (mulai melepaskan posisi kontak-kontaknya ).

- **Holding Coil**

Yaitu kumparan penahan, yang berfungsi mempertahankan posisi kontak-kontak agar tetap menutup / membuka meskipun gangguan sudah hilang, sehingga posisi kontak-kontak tetap posisi relai bekerja hingga direset kembali

- **Trip**

Yaitu membukanya kontak-kontak pemutus beban ( CB ) setelah menerima isyarat dari relai karena ada gangguan.

- **Tripping Coil**

Yaitu kumparan yang bekerja untuk melepaskan tripping –latch(kunci penahan pegas) sehingga pegas dapat membuka kontak-kontak CB. Jadi coil ini yang langsung menerima hasil sinyal dari relai apabila ada gangguan .

- **Operating Torque**

Yaitu torsi yang membuat relai bekerja untuk membuka kontak NC dan menutup kontak-kontak NO.



- **Restraining Torque**

Yaitu torsi yang melawan (mengimbangi) operating torque.

- **Setting**

Yaitu suatu harga yang ditetapkan untuk dapat mengerjakan relai.

- **Primary Relay**

Yaitu relai primer yang langsung pemasangannya pada penghantar yang diamankan tanpa melalui alat transduser misalnya trafo arus (CT) atau trafo tegangan (PT).

- **Secondary Relay**

Yaitu relai sekunder yang cara pemasangannya tidak langsung pada konduktor yang diamankan, melainkan disisi sekunder dari alat transduser (CT/PT).

### III.4 Macam-Macam Pengaman Pada Sistem Distribusi

Pada umumnya alat-alat pengaman terhadap gangguan arus hubung singkat yang digunakan pada sistem distribusi adalah sebagai berikut.

#### III.4.1 Pelebur ( Fuse )

Pelebur merupakan pengaman bagian dari saluran dan peralatan dari gangguan hubung singkat antara fasa atau hubungan singkat antara fasa ke tanah bagi sistem yang ditanahkan langsung atau pada sistem yang ditanahkan dengan tahanan yang rendah. Pemasangannya dapat dilakukan pada titik percabangan antara saluran utama (trunk line) dengan saluran cabang, dan juga pada sisi primer serta sisi

### III.4.2 CB Dengan Relai Arus Lebih

CB biasanya dipasang pada saluran utama ( dipangkal feeder ) di GI sebagai pengaman utama jaringan, dan dilengkapi dengan relai pengaman, misalnya :

- Relai penutup balik otomatis ( recloser ) untuk memulihkan sistem dari gangguan yang bersifat temporer
- Relai arus lebih untuk membebaskan gangguan antara fasa maupun antara fasa dengan tanah. Kadang-kadang dilengkapi juga dengan komponen berarah (directional) untuk sistem distribusi ring atau grid.

### III.4.3 Penutup Balik Otomatis ( Automatic Circuit Recloser )

Penutup balik otomatis ( umumnya disebut hanya recloser ) adalah sebuah alat berwadah sendiri, berisi sarana yang diperlukan untuk mengindera arus lebih, mengatur waktu dan memutuskan arus lebih serta saran untuk menutup balik secara otomatis dan memberikan tegangan kembali pada saluran. Dan bila mana gangguan permanen, penutup balik tidak akan terjadi lagi setelah tiga atau empat kali buka tutup, dan dengan demikian jaringan disisi recloser dibebaskan dari tegangan. Pemasangannya dapat dilakukan pada feeder saluran utama yang dibagi per eksi dan dikoordinasikan dengan peralatan pengaman yang lain.

### III.4.4 Saklar Seksi Otomatis ( Automatic Sectionalizer )

Saklar seksi otomatis ( umumnya disebut sektionalizer ) adalah sebuah alat pemutus yang bekerja secara otomatis membebaskan seksi-seksi terganggu dari suatu

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 26/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)26/12/23

sistem distribusi, tetapi tidak dapat digunakan sebagai pemutus arus gangguan, karena itu biasanya dipakai di sisi hilir recloser, dan pembukaan / pemutusannya dikoordinasikan dengan jumlah periode recloser bekerja. Jadi kontak-kontak yang membuka pada saat recloser membuka, sehingga tidak ada arus pada saat pemutusannya.

**III.5 Jenis –Jenis Relai Pengaman**

Berdasarkan prinsip komponen penggerakannya dan berdsasarkan konstruksinya relai pengaman dapat digolongkan atas dua jenis, yaitu :

1. Jenis relai elektromagnetis
2. Jenis relai statis (elektronika )

**III.5.1 Relai Tarikan Elektromagnetis**

Prinsip kerja relai elektromagnetis ini adalah berdasarkan gaya magnetis yang timbul pada suatu kumparan yang dialiri oleh arus listrik, dan selanjutnya akan menimbulkan gaya tarik pada komponen lain, atau menimbulkan torsi putar pada kumparan itu sendiri karena interaksi dengan magnet yang lain. Gaya tarik yang ditimbulkan oleh inti kumparan yang dilalui oleh arus tersebut adalah sebanding dengan kwadrat fluksinya. Tetapi fluksinya sendiri adalah sebanding dengan arus yang menimbulkannya, sehingga gaya tarik tersebut akan sebanding dengan kwadrat arus, dan secara matematis dapat ditulis seperti di bawah ini :

$$F = k (n / l_a)^2 I^2 \dots\dots\dots 3-1$$

$$UNIVERSITAS MEDAN AREA \dots\dots\dots 3-2$$

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah  
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
 Access From (repository.uma.ac.id)26/12/23

Tetapi selain gaya tarik yang ditimbulkan oleh kumparan yang dialiri arus tersebut masih ada gaya lawan yang ditimbulkan oleh pegas penahan dan gesekan-gesekan lainnya. Bila seluruh gaya lawan tersebut dianggap sebesar  $k_2$  maka gaya total yang ditimbulkan adalah :

$$F = k_1 I^2 - k_2 \dots\dots\dots 3-3$$

Dalam hal ini :

$F$  = gaya tarik

$n$  = jumlah belitan kumparan

$l_a$  = jarak ( gap ) kontak-kontak relai

$I$  = arus yang mengalir pada kumparan

$k$  dan  $k_1$  = konstanta relai

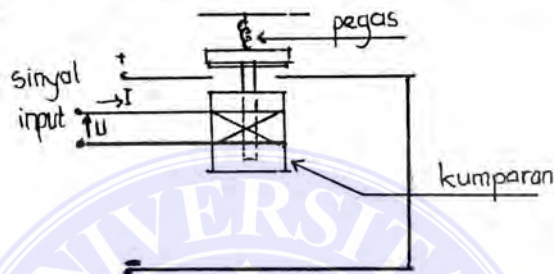
$k_2$  = gaya lawan oleh pegas dan gesekan

Konstruksi relai tipe tarikan elektromagnetis ini bisa berupa : jenis tarikan, jenis jangkar engsel, atau jenis kumparan putar. Sedangkan sinyal inputnya berupa besaran arus atau tegangan AC / DC. Dan berdasarkan konstruksinya tersebut relai tipe dapat digolongkan atas tiga macam, yaitu :

1. Tipe selenoid
2. Tipe armatur tarik
3. Tipe kumparan putar

### III.5.1 Relai Tarikan Elektromagnetis Tipe Selenoid

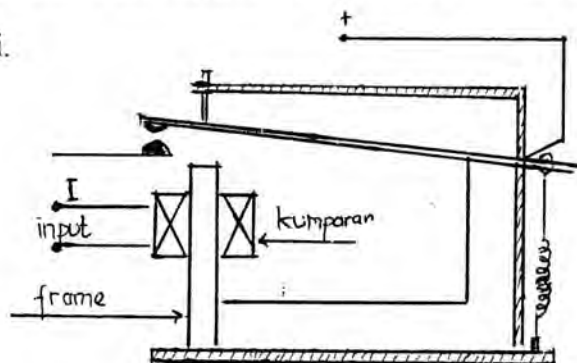
Tipe ini mempunyai kumparan yang berbentuk silinder yang di dalamnya terdapat inti besi atau plunger. Apabila harga pick-up dicapai , maka inti besi akan bergerak tertarik dan akan menutup kontak-kontak dari relai. Seperti gambar di bawah ini.



Gbr.3.4 Konstruksi relai tipe selenoid

#### III.5.1.2 Relai Tarikan Elektromagnetis Tipe Armatur

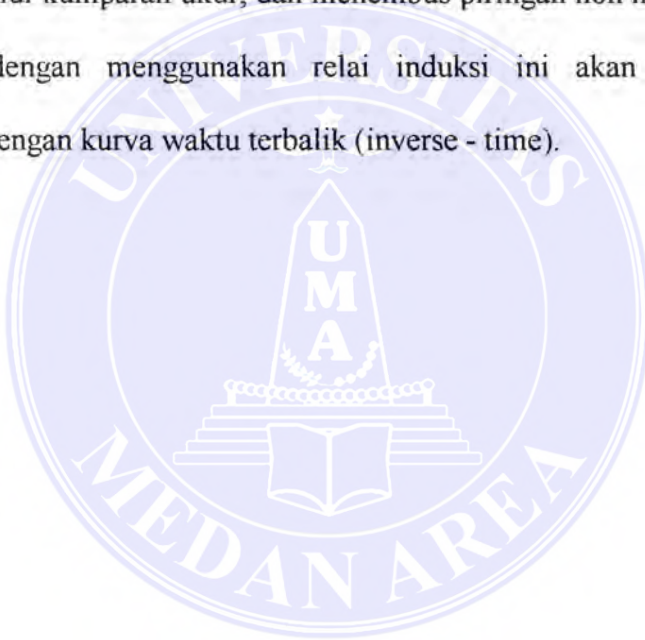
Tipe ini mempunyai rangka magnet (frame ) berbentuk huruf U, dan mempunyai lengan bedi yang ditumpu pada sebuah engsel sedangkan sisi lain ditahan oleh pegas. Apabila arus melewati kumparan dan mencapai harga pick-up maka lengan bedi akan tertarik dan menyebabkan kontak-kontak relai tertutup. Seperti gambar di bawah ini.



Gbr.3.5 Relai tipe armatur

### III.5.2 Relai Induksi Elektromagnetis

Relai jenis ini hanya dipergunakan untuk relai yang mempunyai sinyal input besaran arus bolak balik, sebab dasar kerjanya adalah dengan memanfaatkan momen torsi yang dihasilkan oleh besaran fluksi arus bolak-balik yang berbeda fasa. Momen induksi pada relai ini timbul karena adanya beda magnet bolak-balik yang dihasilkan oleh arus yang melalui kumparan ukur, dan menembus piringan non magnetis. Untuk relai arus lebih dengan menggunakan relai induksi ini akan menghasilkan karakteristik kerja dengan kurva waktu terbalik (inverse - time).



## BAB VI

### PENUTUP

#### VI.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. Jarak tidak selalu penentu ekonomis tidaknya suatu jaringan, karena masih dipengaruhi oleh faktor rugi-rugi daya pada jaringan.
2. Dengan menggunakan metoda transportasi dapat ditentukan kapasitas gardu induk yang minimum.
3. Untuk kasus yang besar penyelesaian dengan manual masih dapat dilakukan karena daerah sistem distribusu masih dapat dibagi-bagi menjadi daerah yang kecil.

#### VI.2 Saran

Untuk mempermudah proses kerja dan perhitungan disarankan menggunakan software ( perangkat lunak ) komputer .

## DAFTAR PUSTAKA

- D.I Sun, D.R. Farris, P.J. Kote, R.R. Shoults, and M.S. Chen, “ Optimal Substation Distribution and Primary Feeder Planning Via The Fixed Charge Network Formulation”, IEEE Trans. on PAS, Vol. 101, pp. 602-609, 1982
- E. Masud, “ Distribution Planning : State-of-the Art and Extensions to Substation Sizing”, Electrical Power System Research, pp. 203-212, 1978
- D. M. Crowford and S. B Holt ,Jr.,”A Mathematical Optization Tecnique for Locating and Sizing Distribution Substations and Deriving Their Optimal Service Areas”, IEEE Trans. on PAS, Vol.94, pp. 230-235, 1975.
- R.N. Adams and M. A Laughton ,”OPTimal Planning of Power Networks Using Mixed-Integer Programming”, Proc IEE, Vol.121, pp .139-148, 1974
- D.L. Wall, G.L Thompson, and J.E.D.Northcote Green, “ An Optimization Model for Planning Radial Disribution Networks “, IEEE Trans. on PAS, Vol.98, pp.1061-1068, 1979.
- T.H. Fawzi, K.F. Ali, and S.M. El- Sobki , “Routing Optimization of Primary Rural Distribution Feeder “, IEEE Trans . on PAS ,Vol.101, pp. 1129-1133, 1982.
- M.S. Bazaraa and J.J Jarvis,”Linier Programming and Network Flows”,by Jhon Wiley & Sons, Inc.
- B.L Theraja, “A Tex-Book of Electrical Technology “, Nirja Construction & Development Co. (P) Ltd., Ram Nagar, New Delhi, 1986
- David Luemberger,” Linier and Non-Linier Programming “,by Addison Wesley Publishing Company, Inc., Copyright 1984.
- Michel Sakaroviitch , “Linioer Programming “, by Dowden and Culver, Inc., 1983