



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Transformator <sup>[1]</sup>

Transformator adalah peralatan listrik yang dapat mengkonversikan tegangan dari suatu tingkat ke tingkat yang lainnya melalui gandingan magnetik berdasarkan prinsip elektromagnetik dengan tanpa mengubah frekuensi. Ada dua jenis trafo yaitu diantaranya trafo step up (penaik tegangan) dan trafo step down (penurun tegangan).

Pengunaan trafo dalam sistem tenaga listrik memungkinkan di pilih tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk setiap keperluan, misalnya untuk kebutuhan pembangkitan tegangan tinggi dalam pengiriman energi listrik jarak jauh pada transmisi.



Gambar 2.1 Transformator daya

---

<sup>[1]</sup> DR. Aris Munandar, A dan DR. Kuwahara, S. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik jilid III: Gardu Induk*. PT. Pradya Paramita. Jakarta.



### **2.1.1 Bagian –Bagian Transformator Tenaga**

Adapun bagian-bagian Transformator tenaga terdiri dari :

#### 1. Inti Besi.

Inti besi adalah tempat melekatnya kumparan dan berfungsi sebagai jalannya flux magnetik. Besi yang digunakan untuk inti transformator biasanya mempunyai kadar silikon yang tinggi dan diproses agar memiliki permeabilitas yang tinggi dan rugi – rugi histeris yang kecil pada operasi normal. Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan flux yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan – lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh eddy current. Ada dua jenis inti yang biasanya digunakan pada trafo ada yang menggunakan inti ini adalah cara pemasangan kumparan primer dan sekundernya, kedua jenis inti tersebut adalah :

- Tipe inti (Core)
- Tipe Cangkang (Shell)

#### 2. Kumparan Transformator

Kumparan pada trafo adalah kawat penghantar yang dialiri oleh arus listrik dibagian primer dan sekunder yang dililiti pada inti besi trafo. Untuk mencegah mengalirnya arus dari kumparan tersebut ke inti besi atau bagian lain dari trafo biasanya kawat kumparan tersebut dibatasi dengan isolasi padat seperti karton, pertinax dan lain-lain. Umumnya pada trafo terdapat kumparan primer dan skunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan arus bolak balik maka pada kumparan tersebut akan terjadi fluksi.

Fluksi ini akan menginduksikan tegangan dan bila pada rangkaian sekunder dihubungkan dengan beban maka akan menghasilkan arus pada kumparan ini. jadi kumparan sebagai alat transformasi tegangan dan arus. Jumlah lilitan pada trafo pada bagian primer dan skunder juga akan menentukan apakah trafo berfungsi sebagai penaik (step up) atau penurun tegangan (step down).



### 3. Minyak Transformator.

Minyak trafo mempunyai fungsi ganda yaitu sebagai bahan isolasi dan bahan pendingin trafo. Sebagai bahan isolasi, minyak akan mengisi ruang antara kumparan primer dan sekunder sehingga tidak akan menimbulkan break down antara kumparan tersebut. Sebagai bahan pendingin minyak dipilih karena minyak dapat mensirkulasikan panas dengan baik.

### 4. Bushing Isolator

Hubungan antara terminal kumparan trafo ke jaringan luar melalui sebuah peralatan yang dikenal dengan nama bushing isolasi yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator dimana isolator ini melindungi konduktor dengan body (badan) trafo. Bushing isolasi biasanya terbuat dari bahan porcelain.

### 5. Tanki Konservator.

Tanki konservator merupakan tempat untuk menampung pemuaian minyak pada saat trafo mengalami kenaikan suhu. Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada transformator, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadinya penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volumenya akan menurun.

Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara didalam konservator pun akan bertambah dan berkurang. Penambahan atau pembuangan udara didalam konservator akan berhubungan dengan udara luar. Agar minyak isolasi transformator tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar, maka udara yang akan masuk kedalam konservator akan difilter melalui silicagel.

### 6. Pendingin.

Pada transformator tenaga gardu induk sungai juaro sistem pendingin yang digunakan adalah jenis ONAN /ONAF, yaitu pendingin dengan minyak yang bersirkulasi secara alamiah dan udara yang bersirkulasi secara paksa dengan menggunakan fan (kipas). Adapun proses pendinginan ini guna meningkatkan efisiensi pendinginan.



Pada cara alamiah, pengaliran pendingin sebagai akibat adanya perbedaan suhu media untuk mempercepat perpindahan panas dari media tersebut ke udara keluar diperlukan bidang perpindahan yang lebih luas antar media (minyak, udara, gas), dengan cara melengkapi trafo dengan sirip (radiator). Sedangkan dengan cara paksa, penyaluran panas dipercepat dengan peralatan bantu yaitu fan. Menurut cara pendinginannya dapat dilihat dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 2.1 Sistem Pendingin Trafo

NO	Jenis Sistem Pendingin	Media			
		Di Dalam Trafo		Di Luar Trafo	
		Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1	AN	-	-	Udara	-
2	AF	-	-	-	Udara
3	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7	OFWF	-	Minyak	-	Air
8	ONAN / ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9	ONAN / OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10	ONAN / OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11	ONAN / OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

#### 7. Tap Charger (Perubahan Tab).

Tap charger adalah alat pengubah perbandingan lilitan dari transformator untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang diinginkan dari tegangan jaringan primer yang berubah – ubah. Tap charger yang hanya dapat beroperasi untuk memindahkan tap trafo dalam keadaan tidak berbeban disebut dengan off load tap charger dan hanya dapat dioperasikan secara manual. Tap charger yang



dapat beroperasi dalam keadaan berbeban disebut on load tap charger dan dapat dioperasikan secara otomatis.

#### 8. Indikator.

Untuk mengawasi selama trafo beroperasi maka perlu adanya indicator pada trafo tersebut, berikut salah satu jenis indikatornya :

- Indikator Suhu Minyak
- Indikator Permukaan Minyak
- Indikator Sistem Pendingin
- Indikator Kedudukan Tap

### 2.2 Sistem Pentanahan <sup>[2]</sup>

Salah satu pengaman yang paling baik terhadap peralatan listrik dari gangguan arus lebih ataupun hubungan singkat adalah, dengan cara Pembumian. Cara ini juga dapat melindungi manusia dari adanya bahaya-bahaya yang timbul dan dapat memakan korban. Cara memansang pentanahan adalah dengan menghubungkan bagian dari peralatan tersebut dengan sistem Pentanahan.

Pentanahan adalah penghubung suatu titik rangkaian listrik dengan bumi dengan cara tertentu, apabila suatu tindakan pengamanan atau perlindungan akan dilaksanakan. Maka harus ada sistem pentanahan yang dirancang dengan benar. Agar sistem pentanahan dapat bekerja efektif. Adapun Persyaratan pentanahan sebagai berikut :

- a. Membuat jalur impedansi rendah ketanah untuk pengamanan personil dan peralatan menggunakan rangkaian efektif.
- b. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubungan (surge currents).

---

<sup>[2]</sup>As Pabla, dan Abdul Hadi. 1991. “ *Sistem Distribusi Daya Listrik* “. Jakarta : Erlangga



- c. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap bagian kondisi kimiawi tanah, untuk menyakinkan kontinuitas sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
- d. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pemeliharaan.

### **2.3 Fungsi dan Tujuan Pentanahan**

Fungsi pentanahan adalah untuk mengalirkan arus gangguan kedalam tanah melalui suatu elektroda pbumian yang di tanam dalam tanah bila terjadi gangguan. Disamping itu berfungsi juga sebagai pengaman baik bagi manusia maupun peralatan dari bahaya listrik.

Arus gangguan yang mengalir pada elektroda pbumian akan mengakibatkan perbedaan tegangan antara elektroda pada suatu titik dengan titik yang lain di permukaan tanah. Bila perbedaan maksimum sepanjang permukaan tanah ternyata masih begitu besar, maka kondisi ini sangat tidak menguntungkan karena akan membahayakan personil yang sedang bekerja maupun peralatan yang sedang digunakan. Perbedaan tegangan ini akan dirasakan di dalam dan disekitar gardu induk dimana sedang terjadi gangguan. Untuk mengurangi pengaruh tersebut, maka haruslah dapat direncanakan suatu sistem pentanahan dengan harga tahanan pentanahan yang sekecil mungkin.

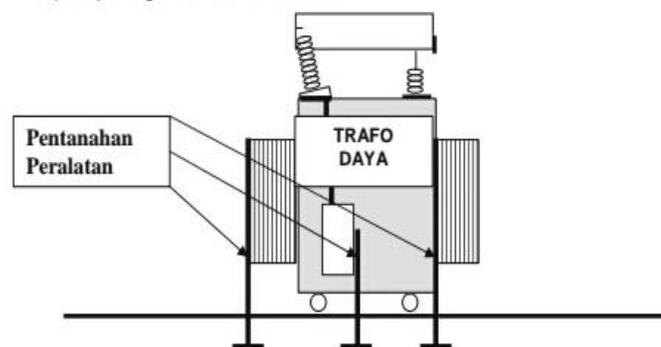
Adapun tujuan pentanahan peralatan-peralatan listrik yang ditanahkan antara lain :

- a. Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu titik aman untuk semua kondisi operasi normal ataupun tidak normal.
- b. Untuk memperkecil bahaya shock pada manusia maupun hewan.
- c. Untuk menetralkan gronding tegangan yang terjadi pada permukaan tanah.



## 2.4 Pentanahan Peralatan <sup>[3]</sup>

Pentanahan Peralatan adalah penghubung bagian-bagian peralatan listrik yang pada keadaan normal tidak dialiri arus. Tujuannya adalah untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dialiri arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu yang aman untuk semua kondisi operasi baik kondisi normal maupun saat gangguan, yang dimaksud peralatan disini adalah bagian-bagian yang bersifat konduktif yang pada keadaan normal tidak bertegangan seperti bodi transformator, bodi PMT, bodi PMS, bodi motor listrik, dan sebagainya. Pentanahan yang demikian disebut pentanahan peralatan, berikut merupakan contoh pemasangan ditunjukkan seperti pada gambar :



Gambar 2.2 Pemasangan Pentanahan Peralatan<sup>[3]</sup>

Pentanahan peralatan pada umumnya menggunakan dua macam sistem pentanahan yaitu sistem grid (horizontal) dan sistem rod (vertikal). Sistem pentanahan grid adalah menanamkan batang-batang elektroda sejajar dengan permukaan tanah, hal ini merupakan usaha untuk meratakan tegangan yang timbul. Sedangkan sistem pentanahan rod ialah menanamkan batang - batang elektroda tegak lurus kedalam tanah, hal ini fungsinya hanya mengurangi (memperkecil) tahanan pentanahan.

---

<sup>[3]</sup> PT. PLN (Persero) PUSAT PENDIDIKAN DAN PELATIHAN “ *Grounding System*”.



Adapun penjelasan dari kedua sistem pbumian peralatan diatas adalah sebagai berikut :

#### 1. Pentanahan Grid (horizontal)

Pada sistem ini batang-batang elektroda ditanam sejajar dibawah permukaan tanah, batang-batang ini terhubung satu sama lain. Dengan cara ini jumlah konduktor yang ditanam banyak sekali, maka bentuknya mendekati bentuk plat dan ini merupakan bentuk maksimum atau yang mempunyai harga tahanan paling kecil luas daerah tertentu, tetapi bentuk ini tidak efisien/mahal. Pada sistem ini banyaknya konduktor akan tak terbanding dengan tahanannya oleh karena fungsi dari konduktor sebenarnya adalah menyalurkan arus kedalam tanah. Bila elektroda saling berdekatan maka volume tanah tidak bisa menerima arus dari elektroda-elektroda tersebut, dengan kata lain volume tanah tidak terbatas kemampuannya untuk menerima arus.

Pada pbumian grid umumnya elektroda-elektrodanya ditanam sejajar satu dengan yang lainnya pada kedalaman beberapa puluh senti meter didalam tanah. Untuk lebih memperkecil harga tahanan pentanahannya harus diperluas daerah pentanahannya karena cara ini lebih mudah bila dibandingkan dengan cara memperdalam konduktor.

#### 2. Pentanahan Rod

Pentanahan rod yaitu sistem pentanahan yang menanamkam elektroda pbumian tegak lurus di permukaan tanah, fungsinya hanya untuk mengurangi atau memperkecil tahanan pbumian. Untuk memperkecil tahanan pbumian, maka jumlah penanaman batang elektroda pbumian dapat diperbanyak. Bila terjadi arus gangguan ketanah, maka arus gangguan ini akan mengakibatkan naiknya gradien dipermukaan tanah. Besarnya tegangan maksimum yang timbul sebanding dengan tahanan pbumian.



Bila dilakukan penanaman paralel elektroda yang lebih banyak, maka tahanan pembumian akan lebih kecil dan distribusi tegangan akan rata. Penanaman batang elektroda tegak lurus dipermukaan tanah dapat berbentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang, dengan jarak antara elektroda pembumian sama. Sedangkan konduktor penghubung antara batang-batang elektroda pembumian terletak diatas permukaan tanah sehingga tidak di perhitungkan tahananannya.

Bila jarak antara konduktor makin pendek dan jumlah konduktor yang ditanam makin banyak, maka akan semakin kecil konduktivitas dari masingmasing konduktor.

Tujuan pembumian peralatan ini dapat diformulasikan sebagai berikut:

- a. Untuk mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya bagi manusia dalam daerah itu.
- b. Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan atau isinya.
- c. Untuk memperbaiki penampilan (performance) dari sistem.

## **2.5 Tahanan Jenis Tanah dan Tipe Tanah**

Tanah merupakan campuran dari partikel-partikel cair, padat dan gas. Susunan tanah itu sendiri memberikan suatu petunjuk yang baik pada tingkat mana tahanan jenis tanah itu akan diperkirakan. Tahanan jenis tanah dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, oleh karena tahanan jenis tidak dapat diberikan sebagai suatu nilai yang dapat ditetapkan. Sering dicoba untuk mengubah komposisi tanah dengan memberikan garam pada tanah yang dekat pada elektroda pembumian, dengan maksud mendapat jenis tanah yang rendah.



Namun pada cara ini hanya baik untuk sementara, sebab proses penggaraman harus dilakukan secara periodik setidaknya enam bulan sekali. Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pentanahan dapat dilakukan dengan menanamkan elektroda pbumian sampai mencapai kedalaman dimana terdapat tanah yang konstan. Pada sistem pbumian tidak perlu ditanam lebih dalam sehingga mencapai air tanah yang konstan, maka variasi tanah sangat besar, karena terkadang dipengaruhi oleh temperatur dan kelembaban secara bervariasi.

Harga tahanan jenis tanah harus diambil untuk keadaan yang paling buruk yaitu sewaktu tanah dalam keadaan kering dan dingin. Untuk melihat gambaran mengenai besarnya tahanan jenis tanah untuk bermacam-macam jenis tanah dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.2 Tahanan jenis tanah <sup>[4]</sup>

Jenis Tanah	Tahanan jenis tanah ( ohm-m)
Tanah rawa	30
Tanah liat dan ladang	100
Pasir basah	200
Kerikil basah	500
Pasir dan krikil kering	1000
Tanah berbatu	3000

Dalam penggunaannya data-data diatas sering terjadi kekeliruan karena komposisi tanah biasanya terdiri dari dua atau lebih kombinasi lapisan dari bermacam-macam tanah. Hal yang penting dalam penyelidikan karakteristik tanah ialah mencari tahanan jenis tanah. Harga tahanan jenis tanah ini selalu bervariasi

---

<sup>4</sup> Sumardjati, Prih dkk. 2008. “ *Teknik pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid I*”. Jakarta : Direktorat Pembinaan sekolah Menengah Kejuruan



sesuai dengan keadaan tanah pada saat pengukuran, Pengukuran tahanan jenis tanah pada lokasi Transformator diambil dari titik lokasi. Tahanan jenis tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang tertulis :

$$t = 2 \cdot a \cdot R \dots\dots\dots(2.1)^5$$

Dimana :

$t$  = tahanan jenis rata-rata tanah (ohm-cm)

$a$  = jarak antara batang elektroda yang terdekat (cm)

$R$  = besar tahanan yang diukur (ohm)

## 2.6 Menghitung Tahanan Pentanahan

Persamaan untuk tahanan dari berbagai sistem elektroda cukup rumit dan dalam beberapa hal dapat dinyatakan dengan pendekatan-pendekatan. Semua pernyataan dalam persamaan-persamaan itu diperoleh dari hubungan  $R = \rho / a$  dan didasarkan pada asumsi bahwa tahanan tanah seragam pada seluruh volume tanah, kendati hal ini tidak mungkin atau sangat jarang ada. Menurut standar PUIL nilai tahanan pembumian yang layak digunakan ialah dibawah 5 .

Rumus yang digunakan yaitu :

$$R = \frac{\rho t}{2\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots(2.2)^5$$

Dimana :

$t$  = tahanan jenis tanah (ohm-cm)

$L$  = panjang elektroda (cm)

---

<sup>[5]</sup> Hutaaruk, T.S. 1991." *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga Dan Pengetanahan Peralatan*". Jakarta Erlangga



$a$  = jari-jari elektroda (cm)

$R$  = tahanan elektroda ke tanah (ohm)

Untuk mengetahui tahanan pentanahan dari 2 elektroda yang dipasang paralel dapat di peroleh dengan rumus dibawah ini :

$$\frac{\text{Tahanan 2 elektroda}}{\text{Tahanan elektroda tunggal}} = \frac{1+x}{2} \dots\dots\dots(2.3)^2$$

Untuk mengetahui tahanan pentanahan dari 3 elektroda yang dipasang paralel dapat di peroleh dengan rumus dibawah ini :

$$\frac{\text{Tahanan 3 elektroda}}{\text{Tahanan elektroda tunggal}} = \frac{1+2x}{3} \dots\dots\dots(2.4)^2$$

$$\text{nilai } x = \left( \frac{L}{\ln \frac{48L}{a} - 1} \right) / d \dots\dots\dots(2.5)^2$$

Dimana :

$L$  = panjang elektroda (cm)

$a$  = jari-jari elektroda (cm)

$d$  = jarak antar elektroda (cm)

$x$  = konstanta

## 2.7 Jenis-Jenis Elektroda Pentanahan <sup>[4]</sup>

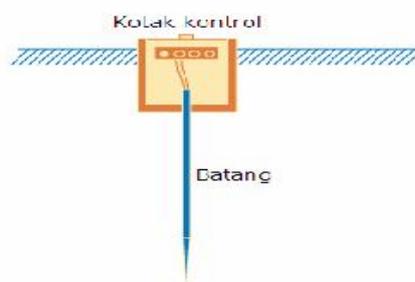
Ada beberapa macam jenis elektroda pentanahan yang digunakan pada sistem pentanahan yaitu :



#### a. Elektroda Batang

Elektroda batang terbuat dari batang atau pipa logam yang di tanam vertikal di dalam tanah. Biasanya dibuat dari bahan tembaga, stainless steel atau galvanized steel. Perlu diperhatikan pula dalam pemilihan bahan agar terhindar dari galvanic couple yang dapat menyebabkan korosi. Ukuran elektroda: diameter 5/8", 3/4", 1" dan Panjang 4feet – 8feet. Elektroda batang ini mampu menyalurkan arus discharge petir maupun untuk pemakaian pentanahan yang lain.

Elektroda batang adalah elektroda berbentuk pipa atau batang baja profil maupun logam lain yang dipasangkan tegak lurus ke dalam tanah. Dalam pemasangan elektroda batang di usahakan setegak lurus mungkin dengan tujuan agar dicapai kedalaman yang maksimum, dimana diharapkan terdapat lapisan tanah dengan tahanan jenis yang cukup rendah. Dalam perhitungan diasumsikan batang tertanam tegak lurus, sehingga kedalaman elektroda tertanam sama dengan panjangnya batang yang ditanam. Besarnya tahanan pembumian elektroda batang tergantung pada kedalaman batang yang tertanam, tetapi ada kalahnya dengan menggunakan sebuah elektroda batang saja tidak tercapai nilai tahanan pentanahan yang diinginkan, sehingga dalam pemasangannya sering digunakan beberapa elektroda batang yang dihubungkan satu dengan yang lainnya. Elektroda batang ini ditanam dengan kedalaman antara 1 – 10 meter.

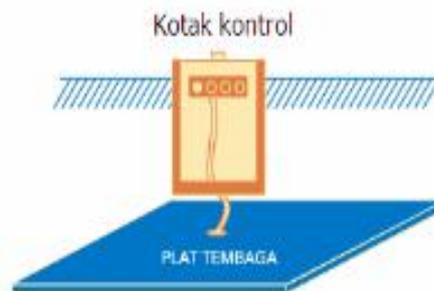


Gambar 2.3 Elektroda Batang <sup>[4]</sup>



### b. Elektroda Pelat

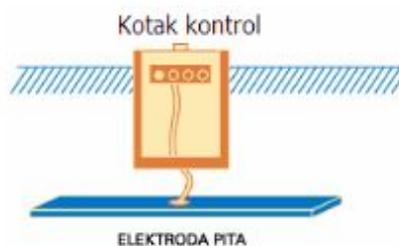
Bentuk elektroda pelat biasanya empat persegi atau empat persegi panjang yang terbuat dari tembaga, timah atau pelat baja yang ditanam didalam tanah. Cara penanaman biasanya secara vertikal, sebab dengan menanam secara horizontal hasilnya tidak berbeda jauh dengan vertical. Penanaman secara vertikal adalah lebih praktis dan ekonomis.



Gambar 2.4 Elektroda Plat <sup>[4]</sup>

### c. Elektroda Pita

Elektroda pita jenis ini terbuat dari bahan metal berbentuk pita atau juga kawat BC yang di tanam di dalam tanah secara horizontal sedalam  $\pm 2$  feet. Elektroda pita ini bisa dipasang pada struktur tanah yang mempunyai tahanan jenis rendah pada permukaan dan pada daerah yang tidak mengalami kekeringan. Hal cocok untuk daerah – daerah pegunungan dimana harga tahanan jenis tanah makin tinggi dengan kedalaman.



Gambar 2.5 Elektroda Pita <sup>[4]</sup>



Gambar 2.6 Elektroda Pita Dalam Beberapa Konfigurasi <sup>[4]</sup>

## 2.8 Bahaya-Bahaya Yang Timbul Di Gardu Induk Pada Keadaan gangguan Tanah <sup>[5]</sup>

Pada tegangan tinggi sering terjadi kecelakaan terhadap manusia, dalam hal ini terjadi kontak langsung atau dalam hal manusia berada didalam suatu daerah yang mempunyai gradien tegangan yang tinggi.

Pada Gardu Induk terjadinya bahaya terutama disebabkan oleh timbulnya gangguan yang menyebabkan arus mengalir ketanah. Arus gangguan ini akan mengalir pada bagian-bagian peralatan yang terbuat dari metal dan juga mengalir dalam tanah di sekitar gardu induk. Arus gangguan tersebut menimbulkan gradien tegangan di antara peralatan, peralatan dengan tanah dan juga gradien tegangan pada permukaan tanah itu sendiri.

### 2.8.1 Arus Melalui Tubuh Manusia <sup>[5]</sup>

Kemampuan tubuh manusia terhadap besarnya arus yang mengalir didalamnya terbatas dan lamanya arus yang masih dapat ditahan sampai yang belum membahayakan sukar ditetapkan. Berdasarkan hal ini maka batas-batas arus berdasarkan pengaruhnya terhadap tubuh manusia dijelaskan berikut ini .

Bila seseorang memegang penghantar yang diberi tegangan mulai dari harga nol dan dinaikkan sedikit demi sedikit, arus listrik yang melalui tubuh orang tersebut akan memberikan pengaruh. Mula mula akan merangsang syaraf sehingga akan terasa suatu getaran yang tidak berbahaya bila dengan arus bolak balik



dan akan terasa sedikit panas pada telapak tangan bila dengan arus searah (arus persepsi). Bila tegangan yang menyebabkan terjadinya tingkat arus persepsi dinaikkan lagi maka orang akan merasa sakit dan kalau terus dinaikkan maka otot-otot akan kaku sehingga orang tersebut tidak berdaya lagi untuk melepaskan konduktor tersebut.

Apabila arus yang melewati tubuh manusia lebih besar dari arus yang mempengaruhi otot dapat mengakibatkan orang menjadi pingsan bahkan sampai mati, hal ini disebabkan arus listrik tersebut mempengaruhi jantung sehingga jantung berhenti bekerja dan peredaran darah tidak jalan. Batas-batas arus tersebut dibagi sebagai berikut :

1. Arus mulai terasa atau persepsi (perception current)
2. Arus mempengaruhi otot ( let-go current)
3. Arus mengakibatkan pingsan atau mati atau fibrasi ( fibrating current )
4. Arus reaksi ( reaction current )

## **2.9 MATLAB<sup>[6]</sup>**

### **2.9.1 Pengertian Matlab**

Matlab merupakan singkatan dari *matrix laboratory*, dimana Matlab merupakan perangkat lunak atau *software* untuk komputasi teknis dan saintifik. Matlab merupakan integrasi komputasi, visualisasi dan pemrograman yang mudah digunakan. Sehingga Matlab banyak digunakan sebagai :

- a. Kalkulator, ketika bertindak sebagai kalkulator, Matlab memberikan hasil seketika setelah perintah operasi diberikan.

---

<sup>6</sup> Anton Firmansyah. 2015. *Penggunaan Komputer Pada Sistem Tenaga Listrik*. Palembang. Tidak diterbitkan.



b. Bahasa Pemrograman, Matlab yang merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, yang digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matrik, optimasi, aproksimasi dan lain-lain. Sehingga Matlab banyak digunakan pada :

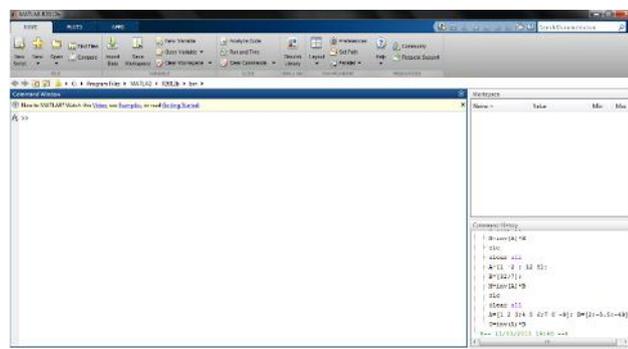
1. Matematika dan Komputansi.
2. Pengembangan dan Algoritma.
3. Pemrograman modeling, simulasi dan pembuatan prototipe.
4. Analisa data, eksplorasi dan visualisasi.
5. Analisis numerik dan statistik.
6. Pengembangan aplikasi teknik.

Adapun macam-macam operasi yang dapat dilakukan oleh Matlab adalah sebagai berikut :

- a. Skalar : berupa bilangan real atau kompleks.
- b. Matriks dan Vektor : dengan elemen bidang real atau kompleks.
- c. Teks : pengolahan data.

### 2.9.2 Window-window pada Matlab

Ada beberapa macam window yang tersedia dalam Matlab yang merupakan *window* untuk memulai penggunaan Matlab.



Gambar 2.7 Tampilan awal Matlab



Adapun beberapa macam *window* pada matlab diantaranya :

*a. Command Window*

Pada *command window*, semua perintah matlab dituliskan dan dieksekusi. Kita dapat menuliskan perintah perhitungan sederhana, memanggil fungsi, mencari informasi tentang sebuah fungsi dengan aturan penulisannya (*help*), demo program, dan sebagainya. Setiap penulisan perintah selalu diawali dengan prompt '>>'. Misal, mencari nilai sin 75, maka pada *command window* kita akan langsung mendapatkan hasilnya :

```

Command Window
>> sin(75)
ans =
-0.9878
>>

```

Gambar 2.8 Tampilan *Command Window*

*b. Command History*

Pada *Command History* berisi informasi tentang perintah yang pernah dituliskan sebelumnya. Kita dapat mengambil kembali perintah dengan menekan tombol panah ke atas atau mengklik perintah pada jendela histori, kemudian melakukan copy-paste ke *command window*.

```

Command History
t=(0.3*0.14)/((2.1^0.02)-1)
t=(0.3*0.14)/((2.35^0.02)-1)
t=(0.3*0.14)/((2.6^0.02)-1)
t=(0.3*0.14)/((2.85^0.02)-1)
t=(0.3*0.14)/((3.1^0.02)-1)
-- 01/05/2015 17:03 --
Untitled
clc
(1+4)*log((1.134-0.00691)/(0.00691))

```

Gambar 2.9 Tampilan *Command History*





Jika di *running*, hasilnya akan terlihat di command window seperti berikut:

```

Command Window
-----
ANALISA NERACA MASSA PROGRAM TERKOMPUTERISASI (AFA 011 000)
DI GARAH TIRUJIT SINDHAT UTARA PT. PIR (Tirujit)
REVISI WENDYDIAN NAYAR

-----
OJEN      = MURAHAD JUNDAN GAMIL
NEM       = DUEE 0001 00/6
-----

Tebalan Jarak Lunak (r) = 8000 mm cm
Panjang elektroda (L) = 400 mm
Jarak dari elektroda (a) = 1,81 cm
Jarak antar elektroda (d) = 810 mm

Jarak besar tabanan satu elektroda pentanahan adalah 5,0000 cm

Tali besar tabanan dua elektroda pentanahan dipanang secara paralel adalah 2,1346 mm
A >>

```

Gambar 2.12 Contoh script yang telah di *running*