

## **BAB II**

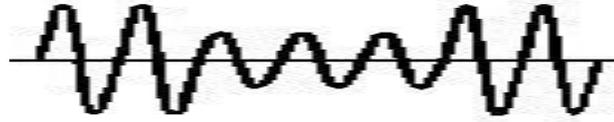
### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada sistem tenaga listrik, jaringan distribusi merupakan salah satu bagian penyaluran tenaga listrik dari gardu induk sampai pada ke beban. Tegangan listrik yang dihasilkan oleh pembangkit akan disalurkan ke gardu induk ( SS ) dari tegangan 12 kV/6.6 kV di PT PERTAMINA ( persero ) RU III PLAJU, yang kemudian digunakan sebagai sumber penggerak beban. Sumber tegangan yang baik adalah tegangan yang mengalir secara terus menerus ( kontinyu ), bukan karena terjadinya kedip tegangan. Tegangan yang kontinyu tanpa terputus akan membuat seluruh *instrument* pada sistem distribusi bekerja sesuai kemampuannya tanpa merusak sistem. Walaupun sistem bekerja dengan baik harus tetap di proteksi dengan sistem proteksi yang baik pula untuk mengantisipasi terjadinya gangguan.

Sistem proteksi pada jaringan distribusi tenaga listrik tidak akan beroperasi selama sistem tersebut berada dalam keadaan normal dan sistem proteksi juga dapat bekerja dengan cepat bila terjadi suatu gangguan yang dapat merusak sistem.

#### **2.1 Kedip Tegangan**

Kedip Tegangan merupakan penurunan nilai rms tegangan menjadi diantara 0,1 Pu-0,9 Pu (*per unit*) untuk durasi selama 0,5 siklus – 1 menit. Kedip tegangan yang besar dapat mengakibatkan peralatan jaringan distribusi listrik trip dan dapat merusak jaringan. Tegangan jatuh sesaat atau kedip tegangan juga merupakan penurunan amplitudo tegangan terhadap nilai nominalnya selama interval waktu tertentu.



Gambar 2.1 Kedip Tegangan

#### 2.1.1 Batasan Nilai Kedip Tegangan

Nilai dari kedip tegangan (*voltage dip*) harus diperhatikan agar tidak mempengaruhi kerja dari peralatan-peralatan elektronik ataupun peralatan-peralatan kontrol dalam suatu pabrik/industri.

Tabel 2.1 Tipikal rentangkualitas daya input dan parameter beban pada sebuah komputer.

No	Parameter	Rentang
1.	Batasan tegangan ( <i>steady state</i> )	+6 %, -13 %
2.	Gangguan tegangan	<i>Surge</i> +15 % - maks 0,5 s
		<b><u>Sag -18 % - maks 0,5 detik</u></b>
		<i>Transient overvoltage</i> 150-200 % - 0,2 s
3.	Harmonik	Maks 5% (peralatan beroperasi)
4.	Kompatibilitas elektromagnetik	Maks 1 V/m
5.	Batasan frekuensi	60 Hz $\pm$ 0,5
6.	Perubahan frekuensi	1 Hz/s
7.	Tegangan tiga-fasa tak imbang	2,5 %
8.	Beban tiga-fasa tak imbang	5 – 20 %
9.	Faktor daya	0,8 – 0,9
10.	<i>Loa d demand</i>	0,75 – 0,85 (dari beban tersambung)

### 2.1.1 Penyebab Kedip Tegangan

Ada beberapa penyebab utama kedip tegangan, start motor sebagai beban baik itu yang ada di pembangkit ataupun letaknya yang ada di konsumen yang berada dalam satu jaringan, gangguan di cabang lain pada jaringan, dan gangguan internal dalam instalasi konsumen. Sumber utama kedip tegangan yang dapat dilihat dalam suatu jaringan adalah akibat adanya *short-circuit* (hubung singkat) pada jaringan tersebut.

*short-circuit* atau gangguan hubung singkat umumnya karena terjadi hubung singkat dalam suatu gangguan sistem. Gangguan hubung singkat menimbulkan arus hubung singkat yang besar. Hal ini pada saatnya akan berakibat pada turunnya tegangan yang sangat besar pada jaringan terkait. Gangguan hubung singkat ini merupakan jenis gangguan yang tidak bisa dicegah dalam suatu sistem kelistrikan. Banyak sekali penyebabnya, namun pada dasarnya disebabkan oleh karena adanya kerusakan sistem isolator (dielektrik) diantara dua buah benda/struktur/bangunan/alat yang sebenarnya saling terisolasi satu sama lain dan memiliki beda potensial.

Banyak hubung singkat disebabkan oleh tegangan lebih, yaitu menekan sistem isolasi di luar kapasitasnya. Petir merupakan contoh umum penyebab tegangan lebih. Selain itu, sistem isolasi apat diperlemah, dirusak atau “dijembatani” sehingga terjadi hubung singkat akibat adanya cuaca buruk, hewan, kendaraan, alat galian, dan sebagai akibat dari umur yang tua dari sistem itu sendiri.

Umumnya sistem kelistrikan menyalurkan energi listrik dari beberapa sumber (pembangkit-pembangkit listrik) menuju beberapa beban (motor, penerangan, pemanas, dsb). Keseluruhan sistem termaksud generator, beban, dan apapun yang ada diantara keduanya, merupakan sistem tunggal yang menyeluruh dan dinamis, dimana adanya perubahan tegangan, arus, maupun impedansi yang

instan pada suatu titik akan menyebabkan perubahan pada setiap titik lain pada sistem tersebut.

Sistem penyuplai umumnya tiga fasa. Hubung singkat dapat terjadi antar-fasa, fasa-netral, dan fasa-bumi (*earth*). Beberapa fasa dapat terlibat ketika terjadi hubung singkat. Pada titik hubung singkat tegangan menjadi nol. Secara bersamaan, tegangan pada setiap titik dalam sistemterkait turun bahkan ikut menjadi nol.

Sistem penyuplai dilengkapi dengan peralatan proteksi yang berguna untuk memutuskan hubung singkat dari sumber energi. Segera setelah hubung singkat tersebut diputus, pemulihan tegangan dapat langsung terjadi, kira-kira mencapai nilai awalnya, pada setiap titik kecuali di titik yang terputus tersebut. Beberapa gangguan dapat hilang dengan sendirinya, hubung singkat hilang dan tegangan pulih sebelum pemutusan terjadi.

Penurunan tegangan yang terjadi tiba-tiba, kemudian dilanjutkan dengan pemulihan tegangan, seperti telah dijelaskan sebelumnya, dikenal sebagai kedip tegangan.

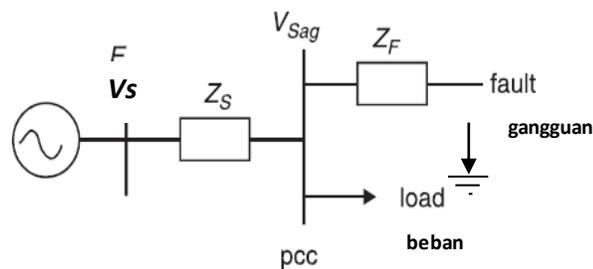
*starting* motor-motor besar dan fluktuasi magnitude tinggi dari beberapa beban dapat menghasilkan perubahan arus yang nilainya dapat dikatakan sama dengan arus yang diakibatkan oleh hubung singkat. Walaupun efek buruknya secara umum tidak lebih parah, perubahan tegangan (atau/ dan arus) pada beberapa kejadian menghasilkan efek yang tidak dapat dibedakan jika dibandingkan dengan efek akibat hubung singkat. Dalam hal ini, perubahan tegangan dapat juga dikategorikan sebagai kedip tegangan.

Pada saat *starting* motor, tegangan terminal dari motor dikurangi 60% sampai 80% dari tegangan penuh transformator. Hal ini dimaksudkan untuk membuat arus start kecil. Setelah kecepatan motor induksi stabil, transformator

tegangan diputuskan. Saat motor starting, terjadi lonjakan arus yang besar, berkisar antara 5 – 7 kali dari arus nominal yang terjadi dalam waktu yang sangat singkat, dan mengakibatkan jatuh tegangan sesaat atau kedip tegangan.

### 2.1.3 Perhitungan Kedip Tegangan

Untuk menghitung besaran kedip tegangan pada sistem radial ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Model pembagi tegangan

Pada Gambar 2.2.  $Z_s$  adalah impedansi sumber ( $Z_s$ ) dan  $Z_F$  adalah impedansi diantara *Point of common coupling*(PCC) dengan lokasi terjadinya gangguan. PCC adalah titik dimana cabang-cabang arus beban dalam posisi off dari suatu gangguan. Dengan asumsi tegangan sebelum terjadi gangguan adalah 1 pu. Dari Persamaan 2.1 dapat ditunjukkan apabila jarak terjadinya gangguan semakin dekat terhadap PCC, dalam hal ini maka  $Z_F$  akan semakin kecil dan akan mengakibatkan terjadinya kedip tegangan yang semakin besar.

Persamaan 2.1 dapat digunakan untuk menghitung besarnya voltage sag sebagai fungsi dari jarak terhadap gangguan. Karena dinyatakan  $Z_F = Z \cdot L$ ,

dimana  $Z$  adalah jarak antara kesalahan dan  $PCC$ . Besarnya kedip tegangan sebagai fungsi dari jarak terhadap gangguan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

Untuk mendapatkan nilai  $E$  maka menggunakan rumus sebagai berikut :

$$E = \frac{V}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

$E$  = Tegangan

$V_{sag}$  = Kedip tegangan sag ( Pu )

$\sqrt{3}$  =

$$V_{sag} = \frac{Z_F}{Z_F + Z_S} \cdot E \dots \dots \dots ( 2.2)$$

Dimana :

$V_{sag}$  = Kedip tegangan sag ( Pu )

$Z_F$  titik kopling bersama dan gangguan (  $\Omega$  )= impedansi antara

$Z_S$  = impedansi total dari motor sampai titik dimana tegangan dinyatakan konstan (  $\Omega$  )

$$V_{sag} = E \cdot \left( \frac{Z_m}{Z_m + Z_S} \right) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

$V_{\text{sag}}$  = Kedip tegangan sag ( Pu )

$Z_m$  = Impendansi Motor ( Ohm )

$Z_S$  = impedansi total dari motor sampai titik dimana tegangan dinyatakan konstan (  $\Omega$  )

$Z$  = impedansi dari saluran per unit panjang (  $\Omega$  )

$L$  = jarak antara kesalahan dan PCC ( m )

Sedangkan untuk mendapatkan nilai  $Z_S$ ( *impedansi supply* ) dapat menggunakan rumus berikut :

$$Z_S = \frac{V}{I} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

$Z_S$  = impedansi total dari motor sampai titik dimana tegangan dinyatakan konstan (  $\Omega$  )

$V$  = Tegangan

$I$  = Arus

Perhitungan  $Z$  motor start didapatkan dari menghitung impedansi thevenin pada motor dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Z_{th} = \frac{jX_m(R_1 + jX_1)}{(R_1 + jX_1 + jX_m)} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

$Z_{th}$  = Impendansi Teorema Thevenin

Rumus  $Z$  motor start

$$Z_{motor\ start} = \sqrt{R_{th}^2 - X_{th}^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

## 2.2. Peralatan-peralatan Yang Sensitif Terhadap Kedip Tegangan

Kesensitifan peralatan terhadap kedip tegangan sangat tergantung pada jenis beban, *setting* pengaturan dan aplikasi. Karakteristik kedip tegangan yang paling berpengaruh pada peralatan-peralatan sensitif adalah waktu dan besaran kedip tegangan, meskipun untuk beberapa peralatan karakteristik seperti pergeseran fasa dan ketidakseimbangan juga mempengaruhi pada saat terjadi kedip tegangan.

Secara umum kesensitifan peralatan terhadap kedip tegangan dapat dibagi menjadi 3 kategori yaitu :

1. Peralatan yang sensitif hanya terhadap besaran kedip tegangan.  
Peralatan yang termasuk kategori ini seperti *relay undervoltage*, peralatan kontrol proses, pengaturan motor dan mesin-mesin otomatis.
2. Peralatan yang sensitif terhadap besaran dan lama kedip tegangan.  
Peralatan yang termasuk pada kategori ini adalah peralatan-peralatan yang menggunakan komponen elektronika daya.
3. Peralatan yang sensitif terhadap karakteristik lain  
Beberapa peralatan seperti motor induksi, dapat dipengaruhi oleh karakteristik kedip tegangan selain daripada besaran dan lama terjadinya kedip tegangan, seperti ketidakseimbangan fasa selama terjadinya kedip tegangan dan osilasi *transient* selama terjadinya gangguan.

Karakteristik toleransi tegangan dari beberapa peralatan sensitif ditunjukkan pada Tabel. 2.2. Nilai toleransi tegangan pada beberapa peralatan.

No	Peralatan	Vmin	Tmax
1.	PLC	60%	260 ms
2.	<i>AC control relay</i>	65%	20 ms
3.	<i>AC drive 50 hp</i>	75%	50 ms
4.	<i>Motor Starter</i>	50%	50 ms
5.	<i>Personal Computer</i>	60%	50 ms

Tingkat sensitifitas peralatan bervariasi terhadap terjadinya kedip tegangan. Seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2 dan pengaruh terjadinya kedip tegangan terhadap peralatan juga bervariasi, sebagai contoh: apabila terjadi kedip tegangan pada *AC control relay* selama lebih dari 20 ms dengan kedalaman lebih kecil dari 65%, maka keadaan akan mengakibatkan peralatan trip.

### 2.3 Lokasi Terjadinya Kedip Tegangan

Lokasi dari terjadinya gangguan mempunyai dampak yang cukup besar pada besaran tegangan. Beban-beban sensitif pada sistem distribusi akan dapat merasakan gangguan yang terjadi meskipun gangguan tersebut terjadi dalam jarak yang cukup jauh pada sistem distribusi.

Tabel 2.3 Sensitivitas peralatan terhadap *temporary low-voltage*.

No	Lokasi <i>dip</i> tegangan	Tegangan minimum yang diperbolehkan (% <i>rating</i> peralatan)
1.	Terminal motor yang diasut	80 %
2.	Terminal motor lain yang memerlukan re-akselerasi	71 %
3.	Kontaktor AC <i>trip</i> (menurut standar)	85 %
4.	Kontaktor DC <i>trip</i> (menurut standar)	80 %
5.	Kontaktor <i>hold-in</i>	60 – 70 %
6.	Piranti kontrol <i>solid-state</i>	90 %
7.	Tipikal peralatan elektronik	80 %
8.	Ballast lampu Metal halide atau HP sodium	90 %

#### 2.4. Efek Kedip Tegangan Terhadap Peralatan Industri

Peralatan elektronik, yang saat ini sangat terintegrasi dengan sistem tenaga listrik komersial dan industri, dapat mengalami gangguan atau kerusakan jika mengalami efek perubahan tegangan, arus, ataupun frekuensi.

Namun saat ini, ketika peralatan dan proses menjadi lebih kompleks dan biaya ketika sistem *shut down* meningkat, kontraktor dan engineer harus menentukan dan memasang peralatan tertentu untuk mencegah keadaan yang tidak diinginkan.

Tegangan menyuplai daya yang ideal untuk peralatan elektronik yang sensitif adalah tegangan sinusoida dengan amplitudo yang konstan yang tidak terinterupsi. Setiap kejadian di luar keadaan ini tersebut sebagai gangguan *power-quality*. Gangguan *power-quality* sekitar satu setengah siklus dapat berefek pada operasi peralatan elektronik yang sensitif.

#### 2.4.1 Efek Kedip Tegangan Terhadap Peralatan Elektronik

Mengingat kembali bahwa kedip tegangan tidak sekedar perubahan magnitude rms, namun juga pergantian diskrit periode waktu. Interval waktu ini penting dalam hal penentuan limit tegangan yang diperbolehkan.

Hal yang mendasar dibalik gejala-gejala terkait dengan kedip tegangan adalah berapa banyak energi yang disalurkan kedalam penyalur daya. Jika energi yang tersedia tidak mencukupi akibat kedip tegangan, maka tegangan DC yang digunakan akan drop. Jika hal ini terjadi, peralatan akan *shut down*, terkunci atau data-datanya akan kacau.

Di lain pihak, jika terlalu banyak energi yang masuk catu daya yang disebabkan oleh kelebihan tegangan, hal ini dapat menimbulkan bahaya. Gagalnya catu daya akibat kelebihan energi merupakan hal yang paling umum terjadi jika tegangan berlebih. Jelas, jika catu daya gagal, maka keseluruhan peralatan akan rusak.

#### 2.4.2 Efek Kedip Tegangan Terhadap Motor Listrik

Motor listrik sangat toleran terhadap kedip tegangan. Kecuali magnitude rms nya sangat rendah atau sangat kecil, motor pada umumnya hanya bereaksi

sedikit terhadap perubahan tegangan. Perhatikan bahwa jika motor dikendalikan oleh kontrol elektronik, maka hal di atas harus didiskusikan lebih lanjut.

Setiap motor listrik sudah mempunyai klasifikasi tertentu sesuai dengan maksud penggunaannya sebagai alat penggerak yang diperlukan menurut kebutuhan yang diinginkan. Klasifikasi tiap motor listrik bisa dibaca pada *nameplate* yang dipasang padanya. Sebagai contoh, jika maknitude nya ekstrim, atau jika gangguan terjadi berulang kali, melebihi batasan yang tertera pada *nameplate*, maka beberapa gejala akan muncul. Pertama, berlebihnya tegangan (/energi/daya/arus) akan menekan belitan stator secara elektris. Hal ini dapat berujung pada kerusakan motor secara prematur. Kedua, kedip tegangan yang ekstrim dapat menyebabkan motor kehilangan inersia putaran yang berefek pada kinerjanya. Ketiga, jika kedip cukup sering, motor akan menghasilkan *inursh current* (start mula) yang lebih sering untuk mentriapkan *breaker*.

#### 2.4.3 Efek Kedip Tegangan Terhadap Sistem Penerangan

Kebanyakan sistem penerangan toleran terhadap kedip tegangan. Sistem penerangan berpijar akan secara sederhana berpijar lebih terang atau lebih redup. Umur pemakaian akan berpengaruh, dan perubahan terangnya lampu sangat mungkin mengganggu, namun tidak ada efek lain selain itu. Perubahan tingkat terang sering disebut "*flicker*"

#### 2.4.4 Peralatan Sensitif di Pembangkit (atau industri)

Kedip tegangan akan memberikan efek yang parah pada peralatan industri konsumen. Kedip yang ekstrim akan menekan komponen hingga mencapai tingkat merusak, namun kelebihan tegangan pada umumnya akan menyebabkan kerusakan pada bagian lain.

Masalah akan muncul ketika sistem bereaksi atas respon beban akan adanya kedip. Jika kedip terjadi cukup ekstrim, dan berlangsung lama, arus lebih akan

dihasilkan dan akan mentriapkan *breaker*, merusak sekering atau komponen lainnya.

## **2.5 Metode Pengasutan Motor**

### *2.5.1 Metode Direct on Line(d.o.l)*

*Starting* motor induksi dapat dihubungkan secara langsung (d.o.l.). Ketika motor dengan kapasitas yang sangat besar di-*start* dengan *direct-on-line*, tegangan sistem akan terganggu (terjadi *voltage dip* pada jaringan suplai) karena adanya arus starting yang besar. Gangguan tegangan ini dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan elektronis yang lain yang terhubung dengan sumber.

### *2.5.2 Metode Autotransformer*

Salah satu cara untuk mengurangi tegangan terminal ke motor adalah dengan menurunkannya dengan menggunakan trafo. Kemudian, ketika motor telah mencapai percepatan yang mendekati kecepatan maksimum, tegangan yang telah diturunkan akan dikembalikan lagi ke normal. Kondisi starting motor bergantung pada posisi *tapping* pada belitan trafo. Biasanya terdapat tiga atau lebih pilihan *tapping* yang disediakan sebagai alternatif kondisi *starting*, seperti : 40 %, 60 %, atau 75 % tegangan saluran.

## **2.6 Starting Motor**

Untuk memperoleh torsi mula yang cukup besar, kedua motor listrik baik rotor sangkar maupun motor gelung membutuhkan arus start yang cukup besar mulai dari lima sampai tujuh kali arus nominal. Peningkatan arus secara tiba-tiba dapat menyebabkan kedip tegangan pada sistem tenaga listrik. Arus start mempunyai sifat reaktif, yang nilainya biasanya diasumsikan. Oleh karena itu, PF biasanya *lagging*

sebesar 15 %-30 % dari PF nominal. Untuk menjaga motor tetap bekerja dan kontaktor tidak beroperasi tegangan tidak boleh jatuh lebih dari 70 % dari tegangan nominal. Ini diasumsikan bahwa *flicker* lampu tidak menjadi pertimbangan. Batasan penurunan tegangan disesuaikan dengan kondisi suatu industri, namun demikian jika faktor keamanan dan kontinuitas sangat penting, maka kedip tegangan dibatasi harus lebih kecil dari 10% dari tegangan nominal.

Untuk tipe motor induksi rotor belitan, start dapat dilakukan dengan menggunakan arus yang relatif rendah dengan memasukan resistan tambahan kedalam rotor selama *starting* dilakukan. Resistan tambahan ini tidak hanya menambahkan torka mula namun juga mengurangi arus start. Keuntungan dari motor ini ialah bahwa motor ini dapat ditambah dengan tahanan luar yang menguntungkan untuk start motor pada beban yang berat.

Untuk motor induksi tipe sangkar tupai, nilai arus start dapat bervariasi tergantung pada daya rating motor dan pada resistansi efektif rotor pada saat *starting*. Untuk mengestimasi arus rotor pada saat start, semua motor sangkar tupai memiliki semacam kode huruf *starting* (jangan dikaitka dengan kode kelas desain) pada *nameplate* nya. Kode ini mengatur batasan jumlah arus motor yang dapat ditarik pada saat start. Kelemahan motor ini, pada saat *starting torque* diatasi dengan konstruksi *double squirrel cage and deep-bar cage*

Tabel 2.4 standart nema untuk faktor kode huruf motor listrik

No	Letters designation	KVA per horsepower	Letters designation	KVA per horsepower
1.	A	0-3.15	K	8.0-9.0
2.	B	3.15-3.55	L	9.0-10.0
3.	C	3.55-4.0	M	10.0-11.2
4.	D	4.0-4.5	N	11.2-12.5
5.	E	4.5-5.0	P	12.5-14.0
6.	F	5.0-5.6	R	14.0-16.0
7.	G	5.6-6.3	S	16.0-18.0
8.	H	6.3-7.1	T	18.0-20.0
9.	I	7.1-8.0	U	20.0-22.4
			V	22.4-and up

Code Letters (for locked- Rotor KVA)-nameplate Marking [MG 1-10.37.2]

Untuk menentukan arus start motor lihatlah tegangan, HP (daya), dan kode huruf yang ada di nameplate motor tersebut. Kemudian daya semu motor dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$S_{\text{start}} = (\text{Horse Power}) * (\text{Faktor Kode Huruf}) \dots \dots \dots (2.7)$$

Dan arus start dapat dicari dari persamaan berikut :

$$I = \frac{S_{\text{start}}}{\sqrt{3} * V_t} \dots \dots \dots (2.8)$$

Saat motor di start secara langsung, arus awal motor besarnya 500%-700% dari arus nominal, ini akan menyebabkan kedip tegangan.

## 2.7 Relay Proteksi.

Relay Proteksi adalah susunan peralatan pengaman yang dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau ketidakstabilan sistem yang kemudian secara otomatis dapat memberikan respon berupa sinyal untuk menggerakkan sistem mekanisme pemutus tenaga agar dapat terpisah pada bagian yang terganggu.



Gambar 2.3 Diagram Blok Urutan Kerja Relay Proteksi

Pada dasarnya prinsip kerja sebuah relay proteksi dapat dibuat berdasarkan suatu besaran tunggal. Sistem Proteksi terdiri dari seperangkat peralatan yang merupakan sistem yang terdiri dari komponen-komponen berikut :

1. Relay, sebagai alat perasa untuk mendeteksi adanya gangguan yang selanjutnya memberi perintah trip kepada Pemutus Tenaga (PMT).
2. Trafo arus dan/atau trafo tegangan sebagai alat yang mentransfer besaran listrik primer dari sistem yang diamankan ke relay (besaran listrik sekunder).
3. Pemutus Tenaga (PMT) untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu.
4. Batere beserta alat pengisi (batere charger) sebagai sumber tenaga untuk bekerjanya relay, peralatan bantu tripping.
5. Pengawatan (*wiring*) yang terdiri dari sirskit sekunder (arus dan/atau tegangan), sirskit tripping dan sirskit peralatan bantu.

### 2.7.1 Tujuan Pemasangan Relay Proteksi

Tujuan pemasangan relay proteksi pada sistem distribusi tenaga listrik adalah :

1. Menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada sistem yang mengalami gangguan.
2. Memutus atau memisahkan daerah yang terganggu.

### 2.7.2 Syarat – Syarat Relay Proteksi

#### 1. Sensitivitas

Sensitivitas adalah suatu istilah yang sering dikaitkan dengan harga besaran penggerak minimum, seperti level arus minimum, tegangan, daya dan besaran lain dimana relay atau skema proteksi masih dapat bekerja dengan baik. Suatu relay proteksi bertugas mengamankan suatu alat atau suatu bagian tertentu dari suatu sistem tenaga listrik, alat atau bagian sistem yang termasuk dalam jangkauan pengamanannya. Relay proteksi mendeteksi adanya gangguan yang terjadi di daerah pengamanannya dan harus cukup sensitif untuk mendeteksi gangguan tersebut dengan rangsangan minimum dan bila perlu hanya mentriapkan pemutus tenaga (PMT) untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu, sedangkan bagian sistem yang sehat dalam hal ini tidak boleh terbuka.

#### 2. Selektivitas

Selektivitas suatu sistem proteksi jaringan tenaga adalah kemampuan relay proteksi untuk melakukan *tripping* secara tepat sesuai rencana yang telah ditentukan pada waktu mendesain relay proteksi tersebut. Suatu kualitas kecermatan pemilihan dalam mengadakan pengamanan. Bagian yang terbuka

dari suatu sistem oleh karena terjadinya gangguan harus sekecil mungkin, sehingga daerah yang terputus menjadi lebih kecil. Relay proteksi hanya akan bekerja selama kondisi tidak normal atau gangguan yang terjadi di daerah pengamanannya dan tidak akan bekerja pada kondisi normal atau pada keadaan gangguan yang terjadi diluar daerahnya.

### 3. Cepat.

Makin cepat relay proteksi bekerja, tidak hanya dapat memperkecil kemungkinan akibat gangguan, tetapi dapat memperkecil kemungkinan meluasnya akibat yang ditimbulkan oleh gangguan. Tujuan utamanya adalah mengamankan kontinuitas pasokan daya dengan menghilangkan setiap gangguan sebelum gangguan tersebut berkembang ke arah yang membahayakan stabilitas dan hilangnya sinkronisasi sistem yang pada akhirnya dapat meruntuhkan sistem tenaga tersebut.

### 4. Handal

Dalam keadaan normal atau sistem yang tidak pernah terganggu relay proteksi tidak bekerja selama berbulan-bulan mungkin bertahun-tahun, tetapi relay proteksi bila diperlukan harus dan pasti dapat bekerja, sebab apabila relay gagal bekerja dapat mengakibatkan kerusakan yang lebih parah pada peralatan yang diamankan atau mengakibatkan bekerjanya relay lain sehingga daerah itu mengalami pemadaman yang lebih luas. Untuk tetap menjaga keandalannya, maka relay proteksi harus dilakukan pengujian secara periodik.

### 5. Ekonomis.

Dengan biaya yang sekecilnya- kecilnya diharapkan relay proteksi mempunyai kemampuan pengamanan yang sebesar-besarnya.

## 6. Sederhana.

Perangkat relay proteksi disyaratkan mempunyai bentuk yang sederhana dan fleksibel.

## 2.8 Transformator Pengukuran

Pengukuran dan proteksi pada instalasi tegangan tinggi, menengah dan rendah diperlukan transformator. Transformator berfungsi untuk mentransmisikan energi listrik melalui pertukaran medan magnetis.

### 2.8.1 Transformator Tegangan

Transformator tegangan adalah trafo yang berfungsi untuk mentransformasikan tegangan yang tinggi menjadi tegangan yang rendah, tegangan yang rendah disebut sebagai tegangan sekunder dan dihubungkan ke peralatan ukur atau ke relay pengaman. Penerapan tegangan sekunder pada transformator tegangan dengan nilai nominal  $100/\sqrt{3}$  V atau  $110/\sqrt{3}$  V. Tegangan perlengkapan seperti indikator, meter, dan relay dirancang sama dengan tegangan yang ada pada terminal sekunder transformator tegangan.

Prinsip kerja trafo jenis ini sama dengan trafo daya, meskipun demikian rancangannya berbeda dalam beberapa hal, yaitu :

1. Kapasitasnya kecil (10 s/d 150 VA), karena digunakan untuk daya yang kecil.
2. Galat faktor transformasi dan sudut fasa tegangan primer dan sekunder lebih kecil untuk mengurangi adanya kesalahan pada proses dilakukannya pengukuran.
3. Salah satu terminal pada sisi tegangan tinggi dibumikan/ ditanahkan.
4. Tegangan pengenal sekunder biasanya 100 atau  $100\sqrt{3}$  V.



Gambar 2.4 transformator tegangan

### 2.8.2 Transformator Arus

Transformator arus berfungsi untuk mentransformasikan arus yang besar menjadi arus yang kecil, arus yang kecil ini disebut sebagai arus sekunder dan dihubungkan ke peralatan ukur atau relay pengaman. Penerapan arus sekunder pada Transformator arus dengan nilai nominal 1 A atau 5 A. Transformator arus juga bisa digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya ratusan amper dari arus yang mengalir dalam jaringan tegangan tinggi. Disamping untuk pengukuran arus, trafo arus juga digunakan untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh dan relay proteksi. Kumparan primer trafo arus dihubungkan seri dengan jaringan atau peralatan yang akan diukur arusnya, sedang kumparan sekunder dihubungkan dengan meter atau relay proteksi.

Transformator arus bekerja sebagai trafo yang terhubung singkat, kawasan trafo arus yang digunakan untuk pengukuran biasanya 0,05 s/d 1,2 kali arus yang akan diukur, sedang trafo arus untuk proteksi harus mampu bekerja lebih dari 10 kali arus pengenalnya.



Gambar 2.5 Transformator arus

## **2.9 Relay Arus Lebih**

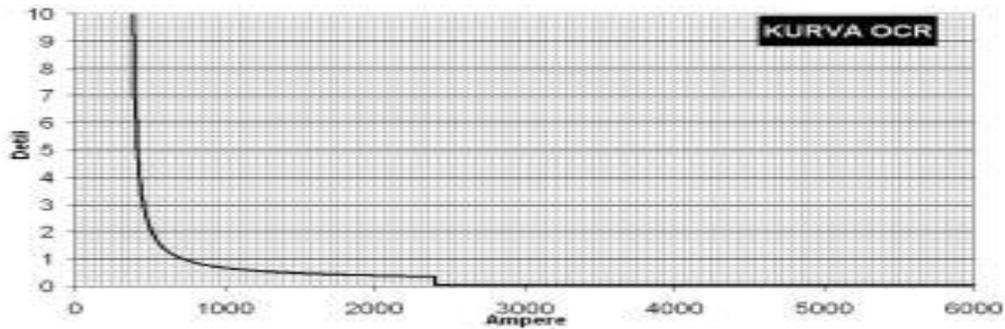
Relay ini bekerja berdasarkan kenaikan besaran arus yang melebihi suatu nilai pengamanan tertentu dalam jangka waktu tertentu, dengan membaca input berupa besaran arus kemudian membandingkan dengan nilai setting, apabila nilai arus yang terbaca oleh relay melebihi nilai setting, maka relay akan mengirim perintah trip (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker (CB) setelah tunda waktu yang diterapkan pada setting.



Gambar 2.6 sistem kerja relay

Relay arus lebih memproteksi instalasi listrik terhadap gangguan antar fasa salah satunya. Sedangkan untuk memproteksi terhadap gangguan fasa tanah digunakan relay Relay Arus Gangguan tanah atau *Ground Fault Relay (GFR)*. Prinsip kerja *GFR* sama dengan relay arus lebih, yang membedakan hanyalah pada fungsi dan elemen sensor arus. Relay arus lebih biasanya memiliki 2 atau 3 sensor arus (untuk 2 atau 3 fasa) sedangkan *GFR* ahnya memiliki satu sensor arus (satu fasa ). Penerapan relay arus lebih gangguan fasa dapat dibuat hanya gangguan 2 fasa yang dapat juga mendeteksi setiap gangguan antar fasa lain termasuk gangguan 3 fasa lainnya.

Waktu kerja relay arus lebih maupun *GFR* tergantung nilai setting dan karakteristik waktunya. Elemen tunda waktu pada relay ini pada 2, yaitu elemen *low set* dan elemen *high set*. elemen *low set* bekerja ketika terjadi gangguan dengan arus hubung singkat yang relatif kecil, sedangkan elemen *high set* bekerja ketika terjadi gangguan dengan arus hubung singkat yang cukup besar. Relay mempunyai waktu tunda, dimana dapat disetel, jika gangguan menghilang sebelum penyetelan waktu tunda berakhir, relay tidak akan bereaksi.

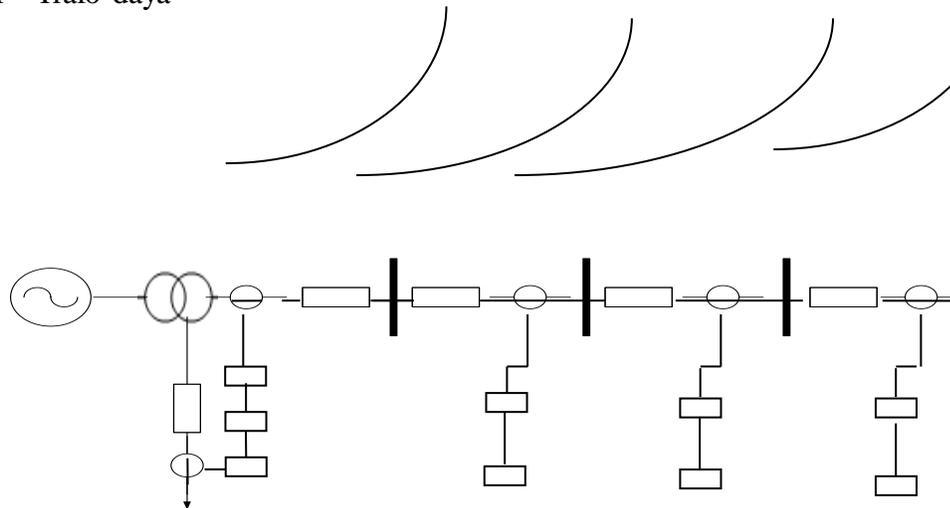


Gambar 2.7 grafik karakteristik waktu tunda relay arus lebih

Pada gambar diatas, elemen *low set* disetting dengan menggunakan karakteristik inverse. Sedangkan elemen high set menggunakan karateristik definite. Pembantuan kurva waktu tunda relay dimaksudkan agar ketika terjadi gangguan dengan arus hubung singkat yang cukup besar (dalam grafik di atas ketika terjadi gangguan dengan arus > 2400A) maka relay akan segera memerintahkan Pemutus tenaga (PMT) untuk trip.

Relay arus lebih dan *GFR* dipasang sebagai alat proteksi motor, trafo, penghantar transmisi, dan penyulang. Sebagai alat proteksi maka penggunaa relay harus memenuhi persyaratan proteksi yaitu : cepat, selektif, serta handal. Relay harus *disetting* sedemikian rupa sehingga dapat bekerja secepat mungkin dan meminimalkan bagian dari sistem yang harus padam. Hal ini diterapkan dengan cara mengatur waktu kerja relay agar bekerja lambat ketika terjadi arus gangguan kecil, dan bekerja semakin cepat apabila arus gangguan semakin besar.

Sumber Trafo daya



Gambar 2.8 koordinasi waktu kerja relay

Pada gambar diatas, terlihat bahwa relay yang berada dipangkal berfungsi sebagai pengaman cadangan bagi relay yang berada didepannya. semakin jauh letak gangguan dari pangkal, maka arus gangguan akan semakin kecil, maka relay di pangkal akan bekerja lebih lama dari pada relay yang di depannya ketika terjadi gangguan yang berada di ujung. Oleh karena itu disusun aturan penyetalan relay arus lebih

Prinsip dasar yang diperhatikan dalam koordinasi relay supaya sistem proteksi berfungsi dengan baik salah satunya pastikan bahwa relay dengan lokasi yang terjauh dari sumber mempunyai setelan arus yang sama atau kurang dari relay yang dibelakangnya.

Relay arus lebih juga merupakan relay yang bekerja terhadap arus lebih, ia akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai settingnya ( $I_{set}$ ).

### 2.9.1 Prinsip Kerja Relay Arus Lebih

Pada dasarnya relay arus lebih adalah suatu alat yang mendeteksi besaran arus yang melalui suatu jaringan dengan bantuan trafo arus. Harga atau besaran yang boleh melewatinya disebut dengan setting.

Macam-macam karakteristik relay arus lebih menurut waktu kerjanya :

- a. Relay waktu seketika (*Instantaneous Overcurrentrelay*)
- b. Relay arus lebih waktu tertentu (*Definite time relay*)
- c. Relay arus lebih waktu terbalik (*Inverse Relay*)

### 2.9.2 Relay Waktu Seketika (*Instantaneous Overcurrentrelay*)

Relay yang bekerja dengan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan bila besar arus gangguannya melampaui penyetelan ( $I_s$ ). Relay ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan relay arus lebih dengan karakteristik yang lain.

### 2.9.3 Relay arus lebih waktu tertentu (*definite time relay*)

Relay ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui *settingnya* ( $I_s$ ), dan jangka waktu kerja relay mulai pick up sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan relay.

### 2.9.4 Relay arus lebih waktu terbalik(*Inverse Relay*)

Relay ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan bila besarnya arus gangguan melampaui *settingnya* ( $I_s$ ), dan jangka waktu kerja relay mulai pick up sampai kerja relay diperpanjang berbanding terbalik dengan besarnya arus.

Karakteristik ini bermacam-macam dan setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda, karakteristik waktunya dibedakan dalam tigakelompok:

- *Standar invers*
- *Very inverse*
- *Extreemely inverse*

#### 2.9.5 Pengaman Pada Relay Arus Lebih

Pada relay arus lebih memiliki 3 jenis pengaman yang berbeda antara lain:

1. Pengaman hubung singkat fasa. Relay mendeteksi arus fasa. Oleh karena itu, disebut pula “Relay fasa”. Karena pada relay tersebut dialiri oleh arus fasa, maka *settingnya* ( $I_s$ ) harus lebih besar dari arus beban maksimum. Ditetapkan  $I_s = 1,2 \times I_n$  ( $I_n$  = arus nominal peralatan terlemah).
2. Pengaman hubung tanah. Arus gangguan satu fasa tanah ada kemungkinan lebih kecil dari arus beban, ini disebabkan karena salah satu atau dari kedua hal Gangguan tanah ini melalui tahanan gangguan yang masih cukup tinggi. Pentanahan netral sistemnya melalui impedansi/tahanan yang tinggi, atau bahkan tidak ditanahkan Dalam hal demikian, relay pengaman hubung singkat (relay fasa) tidak dapat mendeteksi gangguan tanah tersebut. Supaya relay sensitive terhadap gangguan tersebut dan tidak salah kerja oleh arus beban, maka relay dipasang tidak pada kawat fasa melainkan kawat netral pada sekunder trafo arusnya. Dengan demikian relay ini dialiri oleh arus netralnya, berdasarkan komponen simetrisnya arus netral adalah jumlah dari arus

ketiga fasanya. Arus urutan nol dirangkaian primernya baru dapat mengalir jika terdapat jalan kembali melalui tanah (melalui kawat netral)

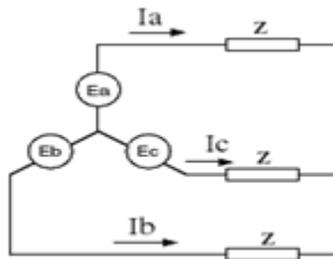
3. Pengaman arus lebih pada saat starting motor yang menyebabkan kedip tegangan.

## 2.10 Perhitungan Arus Hubung Singkat

### 2.10.1 Arus Hubung Singkat 3 Fasa

perhitungan arus hubung singkat 3 fasa dapat dirumuskan :

$$I_{3 \text{ fasa}} (pu) = \frac{E (pu)}{Z_1} \dots \dots \dots (2.9)$$



gambar 2.9 hubung singkat 3 fasa

Dimana :

$E(pu)$  = Tegangan (pu)

$Z_1$  = Impedansi positif (pu)

$$Z_1 = Z_2 = Z_{total} \dots \dots \dots (2.10)$$

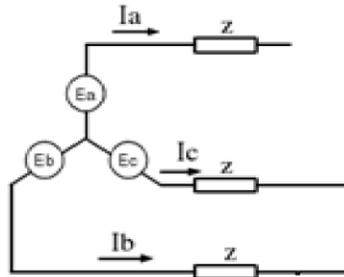
Dimana :

$Z_1$  = impedansi urutan positif

$Z_2$  = impedansi urutan negatif

$Z_{total}$  = impedansi total

### 2.10.2 Arus Hubung Singkat 2 fasa



Gambar 2.10 Hubung Singkat 2 fasa

Gangguan hubung singkat 2 fasa menggunakan impedansi penjumlahan antara  $Z_1 + Z_2$  dengan perhitungan adalah sebagai berikut :

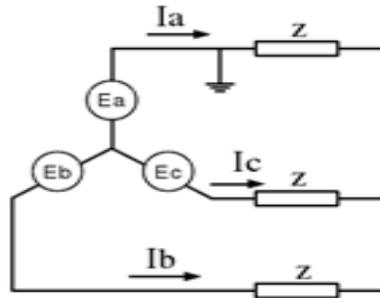
$$I_{2 \text{ fasa}} (pu) = \frac{E (pu)}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

$E(pu)$  = tegangan (pu)

$Z_{total}$  = impedansi per unit (pu)

### 2.10.3 Arus Hubung Singkat 1 fasa ke tanah



Gambar 2.11 hubung singkat 1 fasa ke tanah

Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah menggunakan impedansi penjumlahan antara  $Z_1 + Z_2 + Z_0$  serta dibagi tegangannya adalah  $E$  (pu), dengan perhitungan adalah sebagai berikut :

$$I_{1 \text{ fasa}} = \frac{E ( pu )}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

$Z_1$  = impedansi urutan positif

$Z_2$  = impedansi urutan negatif

$Z_0$  = impedansi urutan nol

#### 2.10.4 Impedansi

Impedansi merupakan perbandingan tegangan dan arus pada relay, dimana arus beban biasanya jauh lebih kecil dari arus gangguan.

1. Impedansi sumber ( $Z_p$ )

Impedansi sumber merupakan impedansi yang terdapat pada pusat pembangkit. Apabila akan menghitung impedansi yang terdapat pada gardu induk, maka dirumuskan :

$$Z_p(pu) = \frac{MVA_{trafo}}{breakcapacityPMT(MVA)} * 1 pu \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

MVA trafo = daya pada trafo

Breaking capacity PMT = daya pemutusan

Pu = per unit

Zp = Impedansi sumber (pu)

### 2. Impedansi trafo (Zt)

Impedansi trafo tenaga merupakan impedansi yang terdapat pada *nameplate* transformator.

### 3. Impedansi saluran (Zl)

Untuk impedansi saluran dapat dihitung :

$$Z_l(pu) = \frac{Z_l(ohm) \times MVA(dasar)}{kV^2} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

MVA dasar = daya pada trafo

kV = tegangan pada jaringan

$Z_1$  = impedansi saluran (pu)

$Z_i$  = impedansi saluran (ohm)

#### 4. Impedansi total ( $Z_{total}$ )

Impedansi total dapat dihitung dengan rumus :

$$Z_{total} = Z_p + Z_t + Z_l \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

$Z_{total}$  = Impedansi total (pu)

$Z_p$  = Impedansi sumber (pu)

$Z_t$  = Impedansi trafo (pu)

$Z_l$  = Impedansi saluran (pu)

#### 2.10.5 Prinsip Dasar Perhitungan Setting Arus dan Waktu

Prinsip dasar yang digunakan untuk perhitungan *setting* arus adalah :

$$I_s = \frac{kfk}{kd} I_{max} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

kfk = faktor keamanan

kd = faktor arus kembali

Imax = I nominal trafo arus atau arus dasar

Prinsip dasar yang digunakan untuk perhitungan *setting* waktu adalah :

$$tms = \frac{([Ifault / Iset]^{0,02}) - 1}{0,14} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

I fault = arus gangguan hubung singkat (A)

Iset = arus setting primer (A)

t = waktu trip ( A )

### **2.11 Keterkaitan Antara Terjadinya Kedip Tegangan dengan Koordinasi Relay Arus lebih Pada Saat Start Motor**

Starting motor-motor besar dan fluktuasi magnitude tinggi dari beberapa beban dapat menghasilkan perubahan arus yang nilainya dapat dikatakan sama dengan arus yang diakibatkan oleh hubung singkat. Walaupun efek buruknya secara umum tidak lebih parah, perubahan tegangan (atau/ dan arus) pada beberapa kejadian menghasilkan efek yang tidak dapat dibedakan jika dibandingkan dengan efek akibat hubung singkat. Dalam hal ini, perubahan tegangan dapat juga dikategorikan sebagai kedip tegangan.

Pada saat starting motor, tegangan terminal dari motor dikurangi 60% sampai 80% dari tegangan penuh transformator. Hal ini dimaksudkan untuk membuat arus start kecil. Setelah kecepatan motor induksi stabil, transformator tegangan diputuskan. Saat motor starting, terjadi lonjakan arus yang besar, berkisar antara 5 – 7 kali dari arus nominal yang terjadi dalam waktu yang sangat singkat, dan mengakibatkan jatuh tegangan sesaat atau kedip  $t = \text{waktu trip (A)}$