

MODUL PEMBELAJARAN
Kode Modul: MKH.KP (1)

PROTEKSI SISTEM TENAGA LISTRIK

BIDANG KEAHLIAN : KETENAGALISTRIKAN
PROGRAM KEAHLIAN: TEKNIK PEMBANGKITAN



PROYEK PENGEMBANGAN PENDIDIKAN BERORIENTASI KETERAMPI
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
2003

MODUL PEMBELAJARAN

KODE : MKH.KP (1) 37

KOMPONEN DAN SISTEM PROTEKSI TENAGA LISTRIK

**BIDANG KEAHLIAN : KETENAGALISTRIKAN
PROGRAM KEAHLIAN : TEKNIK PEMBANGKITAN**



**PROYEK PENGEMBANGAN PENDIDIKAN BERORIENTASI KETERAMPILAN HIDUP
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
2003**

KATA PENGANTAR

Bahan ajar ini disusun dalam bentuk modul/paket pembelajaran yang berisi uraian materi untuk mendukung penguasaan kompetensi tertentu yang ditulis secara sequensial, sistematis dan sesuai dengan prinsip pembelajaran dengan pendekatan kompetensi (*Competency Based Training*). Untuk itu modul ini sangat sesuai dan mudah untuk dipelajari secara mandiri dan individual. Oleh karena itu walaupun modul ini dipersiapkan untuk peserta diklat/siswa SMK dapat digunakan juga untuk diklat lain yang sejenis.

Dalam penggunaannya, bahan ajar ini tetap mengharapkan asas keluwesan dan keterlaksanaannya, yang menyesuaikan dengan karakteristik peserta, kondisi fasilitas dan tujuan kurikulum/program diklat, guna merealisasikan penyelenggaraan pembelajaran di SMK. Penyusunan Bahan Ajar Modul bertujuan untuk menyediakan bahan ajar berupa modul produktif sesuai tuntutan penguasaan kompetensi tamatan SMK sesuai program keahlian dan tamatan SMK.

Demikian, mudah-mudahan modul ini dapat bermanfaat dalam mendukung pengembangan pendidikan kejuruan, khususnya dalam pembekalan kompetensi kejuruan peserta diklat.

Jakarta, 01 Desember 2003
Direktur Dikmenjur,

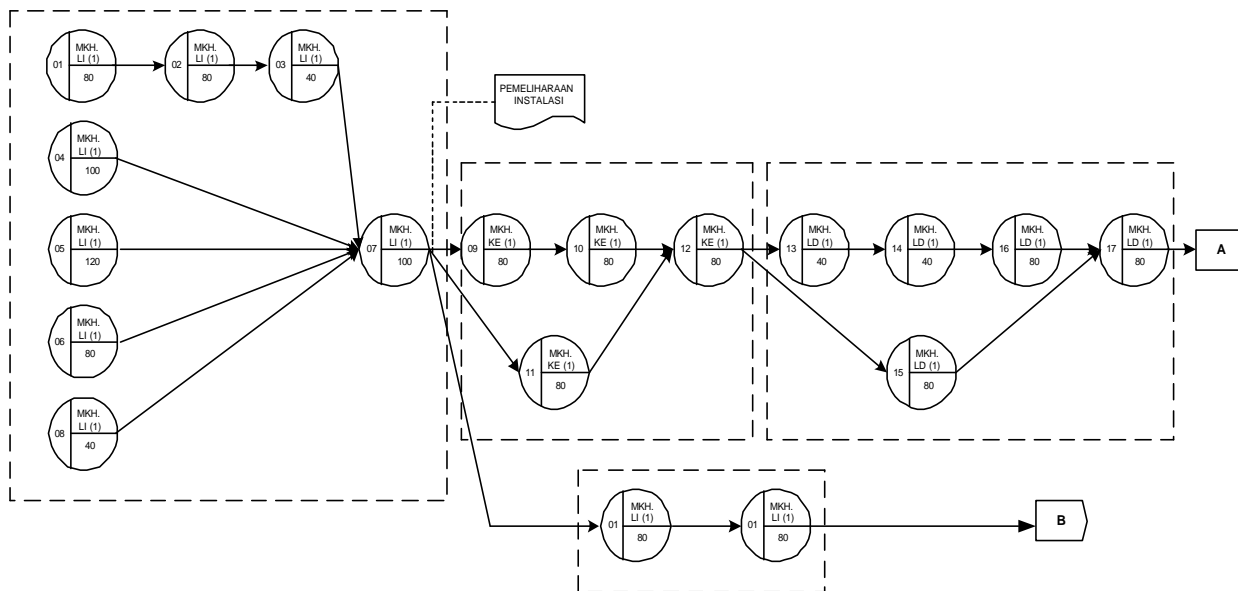
Dr. Ir. Gator Priowirjanto
NIP 130675814

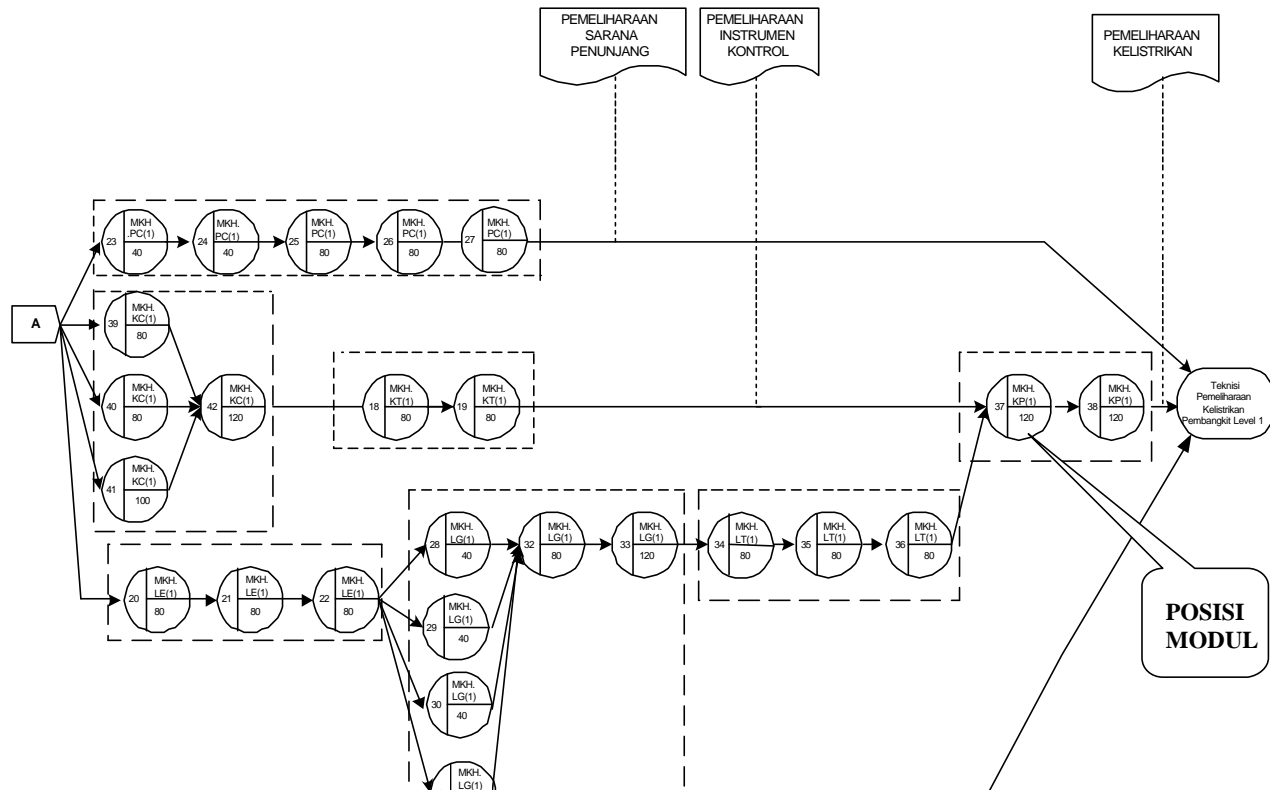
DAFTAR ISI

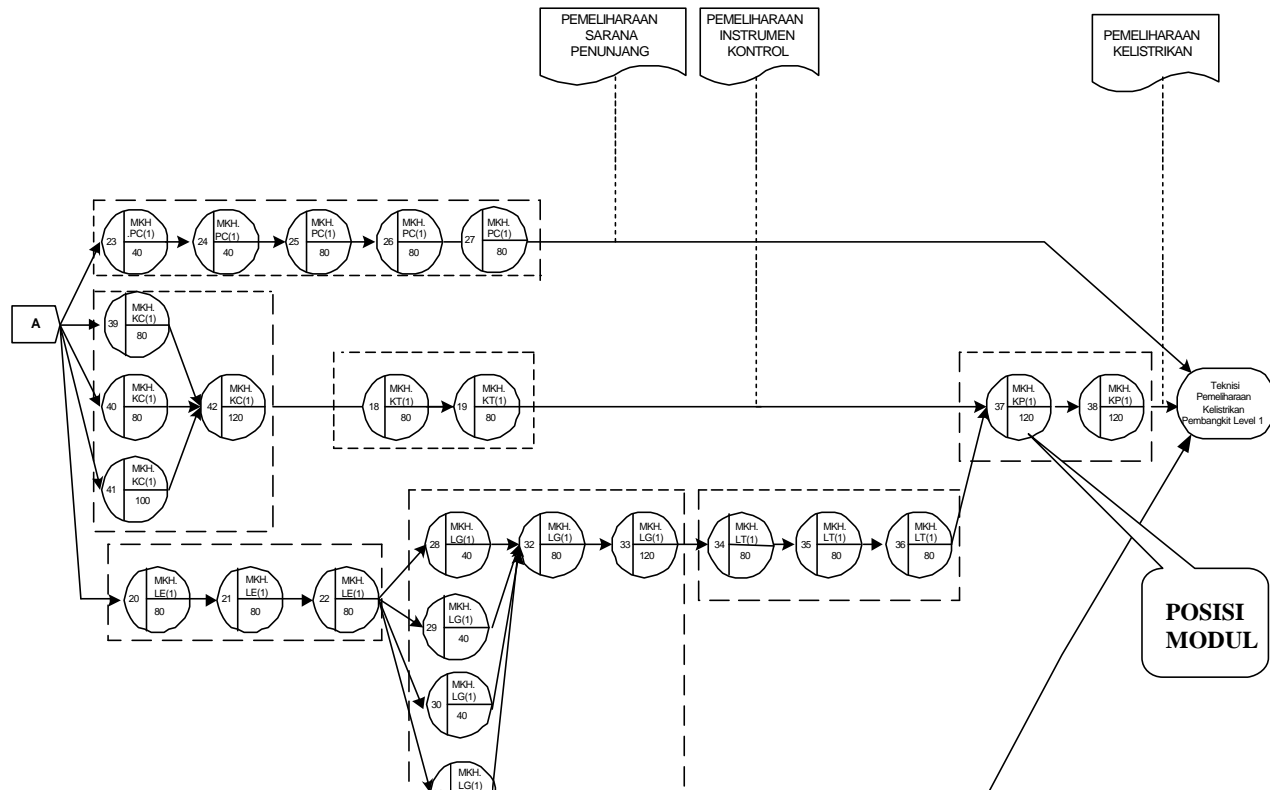
	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
PETA KEDUDUKAN MODUL	iv
I PENDAHULUAN	1
A. Deskripsi	1
B. Prasyarat	1
C. Petunjuk Penggunaan Modul	1
D. Tujuan Akhir.....	1
E. Standar Kompetensi.....	2
F. Cek Kemampuan	4
II PEMBELAJARAN	5
A. RENCANA BELAJAR SISWA	5
B. KEGIATAN BELAJAR.	6
KEGIATAN BELAJAR 1	6
A. Tujuan Kegiatan	6
B. Uraian Materi	6
C. Rangkuman	14
D. Tugas 1	15
E. Jawaban Tugas 1	16
KEGIATAN BELAJAR 2	17
A. Tujuan Kegiatan	17
B. Uraian Materi	17
C. Rangkuman	29
D. Tugas 2.....	30
E. Jawaban Tugas 2.....	31
KEGIATAN BELAJAR 3	33
A. Tujuan Kegiatan	33
B. Uraian Materi	33
C. Rangkuman	38

D. Tugas 1	39
E. Jawaban Tugas 1	40
III EVALUASI	41
KUNCI JAWABAN	48
IV PENUTUP	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	

PETA POSISI MODUL KOMPETENSI SMK
PROGRAM KEAHLIAN TEKNIK PEMBANGKITAN TENAGA LISTRIK







I. PENDAHULUAN

A. DESKRIPSI MODUL

Modul ini bertujuan untuk memberikan pengetahuan, ketrampilan dan sikap peserta pelatihan tentang *Proteksi Sistem Tenaga*

B. PRASYARAT

Sebelum mempelajari modul ini peserta pelatihan sudah harus mempelajari lebih dahulu modul Analisa Sistem Tenaga.

C. HASIL BELAJAR

Setelah selesai mempelajari modul ini, peserta diharapkan mampu :

1. Memilih komponen-komponen dari suatu sistem proteksi berdasarkan persyaratan kualitas proteksi yang ditentukan
2. Menentukan breaking capacity komponen proteksi melalui perhitungan KVA hubung singkat baik dalam prosentase maupun dalam sistem per unit
3. Memilih rating circuit breaker dan sekering

D. PENILAIAN

Untuk mengetahui tingkat keberhasilan peserta dalam mengikuti modul ini, akan dilakukan evaluasi baik terhadap aspek pengetahuan maupun aspek ketrampilan. Aspek pengetahuan dilaksanakan melalui latihan-latihan dan test tertulis, sedangkan aspek ketrampilan melalui tugas praktek secara pengamatan langsung terhadap proses kerja, hasil kerja dan sikap kerja.

E. PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL

Modul 'Performa Proteksi dengan kode modul MKH. KP (1) 37 ini dibagi dalam 3 kegiatan belajar yang tersusun secara sistimatis dimana anda harus pelajari secara

tuntas setiap kegiatan belajar mulai dari kegiatan belajar 1, 2 dan 3 secara berturut-turut. Sebelum anda beralih ke kegiatan belajar berikutnya anda harus mengerjakan test performance yang telah disiapkan pada setiap akhir pokok bahasan/kegiatan belajar. Untuk meyakinkan jawaban anda bias menggunakan kunci jawaban yang sudah tersedia,

Pada akhir anda mempelajari modul ini anda harus mengerjakan soal yang sudah disediakan pada lembar evaluasi tanpa kunci jawaban. Dan untuk meyakinkan jawaban anda, anda bisa menggunakan kunci jawaban yang telah tersedia.

Untuk lulus dari modul ini anda harus telah mengerjakan latihan 1,2 dan 3 serta mengerjakan evaluasi akhir dengan benar

F. STANDAR KOMPETENSI

Kode Kompetensi : KAA.HKP (1) A

Unit Kompetensi : Memelihara Proteksi

Ruang Lingkup :

Unit kompetensi ini berkaitan dengan pemahaman tentang prosedur pemeliharaan proteksi pada stasiun pembangkit. Pekerjaan ini mencakup identifikasi komponen proteksi dan prosedur bongkar pasang komponen proteksi sesuai standard an peraturan yang berlaku serta pembuatan laporan pelaksanaan pekerjaan

Sub kompetensi 1 :

Memahami prosedur pemeliharaan proteksi

KUK :

1. Masing-masing komponen dapat diidentifikasi sesuai dengan gambar teknik yang berlaku di perusahaan.
2. Prosedur/instruksi kerja pemeliharaan dapat dijelaskan sesuai dengan standar unit pembangkit

Sub Kompetensi 2 :

Mempersiapkan pelaksanaan pemeliharaan proteksi.

KUK:

1. Perlengkapan kerja untuk pemeliharaan diidentifikasi sesuai dengan kebutuhan pemeliharaan.
2. Perlengkapan kerja untuk pemeliharaan disiapkan sesuai kebutuhan pemeliharaan

Sub Kompetensi 3 :

Melaksanakan pemeliharaan proteksi

KUK :

1. Proteksi atau komponennya dibongkar sesuai dengan rencana kerja dan prosedur/instruksi kerja perusahaan.
2. Komponen Proteksi dibersihkan sesuai dengan rencana kerja dan prosedur/instruksi kerja perusahaan.
3. Komponen Proteksi dipasang sesuai dengan rencana kerja dan prosedur/instruksi kerja perusahaan

Sub Kompetensi 4:

Membuat laporan pemeliharaan

KUK :

Laporan dibuat sesuai dengan format dan prosedur/instruksi kerja yang ditetapkan oleh perusahaan

Pengetahuan : Memahami prinsip kerja proteksi dan karakteristik proteksi sebagai pengetahuan dasar dalam pemeliharaan proteksi sistem tenaga listrik

Ketrampilan : Melakukan pemilihan proteksi sistem tenaga yang sesuai dengan karakteristik sistem proteksi tenaga listrik

Sikap : Pemilihan peralatan proteksi dilakukan dengan cermat serta mengikuti prosedur kerja yang berlaku.

Kode Modul : MKH.KP (1) 37

G. CEK KEMAMPUAN

No.	Latihan/ Tugas yang telah kerjakan	Hasil		Tgl	Paraf assessor
		Ya	Tidak		
1.	Latihan 1				
2.	Latihan 2				
3.	Latihan 3				
4.	Evaluasi akhir				

Keterangan assessor:

Rekomendasi assessor

.....
Assessor,

II. PEMBELAJARAN

A. RENCANA BELAJAR PESERTA DIKLAT

Modul ini akan efektif jika dipelajari dilaboratorium proteksi dengan menggunakan trainer sesuai dengan kebutuhan kegiatan belajar. Untuk pelaksanaan tugas praktek dibawah bimbingan seorang instructor dengan rencana belajar sebagai berikut:

No	Materi yang dipelajari	Mulai Tanggal	Selesai Tanggal	Keterangan
1.	Dasar-dasar proteksi			
2.	Proteksi beban lebih dan hubung singkat.			
3.	Circuit breaker dan sekering			

B. KEGIATAN BELAJAR

KEGIATAN BELAJAR I

DASAR-DASAR PROTEKSI

A. TUJUAN

Setelah mempelajari unit ini peserta pelatihan diharapkan mampu :

- ? Menjelaskan tentang prinsip dasar proteksi sistem tenaga
- ? Menjelaskan tentang persyaratan kualitas proteksi
- ? Menyebutkan komponen-komponen sistem proteksi

B. URAIAN MATERI I

1.1. Pendahuluan

Keandalan dan keberlangsungan suatu sistem tenaga listrik dalam melayani konsumen sangat tergantung pada sistem proteksi yang digunakan. Oleh sebab itu dalam perancangan suatu sistem tenaga, perlu dipertimbangkan kondisi-kondisi gangguan yang mungkin terjadi pada sistem, melalui analisa gangguan.

Dari hasil analisa gangguan dapat ditentukan sistem proteksi yang akan digunakan, spesifikasi switchgear, rating circuit breaker (CB) serta penetapan besaran-besaran yang menentukan bekerjanya suatu relay (setting relay) untuk keperluan proteksi. Pada unit ini tidak dibahas tentang analisa gangguan karena analisis gangguan telah dibahas pada modul.

Modul ini akan membahas tentang karakter serta gangguan-gangguan pada sistem tenaga listrik meliputi generator, transformator daya, jaringan dan busbar. Modul ini juga akan membahas tentang sistem proteksi yang digunakan pada sistem tenaga listrik.

1.2. Prinsip Dasar Proteksi

Setelah kita membahas lebih lanjut tentang Prinsip Dasar Proteksi Tenaga Listrik, maka terlebih dahulu kita perlu diketahui tentang :

a). Apa yang dimaksud dengan Daya Proteksi Sistem Tenaga Itu ?

Yang dimaksud dengan proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dilakukan kepada peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada suatu sistem tenaga misalnya generator, transformator jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri.

Kondisi abnormal itu dapat berupa antara lain : hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah, asinkron dan lain-lain.

b). Mengapa Proteksi diperlukan ?

Proteksi itu diperlukan :

1. Untuk menghindari ataupun untuk mengurangi kerusakan peralatan-peralatan akibat gangguan (kondisi abnormal operasi sistem). Semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang digunakan maka akan semakin sedikitlah pengaruh gangguan kepada kemungkinan kerusakan alat
2. Untuk cepat melokalisir luas daerah terganggu menjadi sekecil mungkin
3. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumsi dan juga mutu listrik yang baik.
4. Untuk mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

Pengetahuan mengenai arus-arus yang timbul dari pelbagai tipe gangguan pada suatu lokasi merupakan hal yang sangat esensial bagi pengoperasian sistem proteksi secara efektif. Jika terjadi gangguan pada sistem, para operator yang merasakan adanya gangguan tersebut diharapkan segera dapat mengoperasikan circuit-circuit yang tepat untuk

mengeluarkan sistem yang terganggu atau memisahkan pembangkit dari jaringan yang terganggu. Sangat sulit bagi seorang operator untuk mengawasi gangguan-gangguan yang mungkin terjadi dan menentukan CB mana yang diperoperasikan untuk mengisolir gangguan tersebut secara manual.

Mengingat arus gangguan yang cukup besar, maka perlu secepat mungkin dilakukan proteksi. Hal ini perlu suatu peralatan yang digunakan untuk mendeteksi keadaan-keadaan yang tidak normal tersebut dan selanjutnya menginstruksikan circuit-circuit yang tepat untuk bekerja memutuskan rangkaian atau sistem yang terganggu. Peralatan tersebut kita kenal dengan relay.

Ringkasnya proteksi dan tripping otomatis circuit-circuit yang sehubungan mempunyai dua fungsi pokok :

- ? Mengisolir peralatan yang terganggu agar bagian-bagian yang lainnya tetap beroperasi seperti biasa.
- ? Membatasi kerusakan peralatan akibat panas lebih (*over heating*), pengaruh gaya-gaya mekanik dst.

Koordinasi antara relay dan circuit breaker (CB) dalam mengamati dan memutuskan gangguan disebut sebagai sistem proteksi.

Banyak hal yang harus dipertimbangkan dalam mempertahankan arus kerja maksimum yang aman. Jika arus kerja bertambah melampaui batas aman yang ditentukan dan tidak ada proteksi atau jika proteksi tidak memadai atau tidak efektif, maka keadaan tidak normal dan akan mengakibatkan kerusakan isolasi.

Pertambahan arus yang berlebihan menyebabkan rugi-rugi daya pada konduktor akan berlebihan pula.

Perlu diingat bahwa pengaruh pemanasan adalah sebanding dengan kwadrat dari arus :

$$H = I^2 R t \text{ Joules}$$

Dimana :

- H = panas yang dihasilkan (Joule)
- I = arus konduktor (ampere)
- R = tahanan konduktor (ohm)
- t = waktu atau lamanya arus yang mengalir (detik)

Proteksi harus sanggup menghentikan arus gangguan sebelum arus tersebut naik mencapai harga yang berbahaya. Proteksi dapat dilakukan dengan *Sekering* atau *Circuit Breaker*.

Proteksi juga harus sanggup menghilangkan gangguan tanpa merusak peralatan proteksi itu sendiri. Untuk ini pemilihan peralatan proteksi harus sesuai dengan kapasitas arus hubung singkat "*breaking capacity*" atau *Repturing Capacity*.

Disamping itu proteksi yang diperlukan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Sekering atau circuit breaker harus sanggup dilalui arus nominal secara terus menerus tanpa pemanasan yang berlebihan (*overheating*).
2. Overload yang kecil pada selang waktu yang pendek seharusnya tidak menyebabkan peralatan bekerja
3. Proteksi harus bekerja walaupun pada overload yang kecil tetapi cukup lama sehingga dapat menyebabkan *overheating* pada rangkaian penghantar.
4. Proteksi harus membuka rangkaian sebelum kerusakan yang disebabkan oleh arus gangguan yang dapat terjadi.
5. Proteksi harus dapat melakukan "pemisahan" (*discriminative*) hanya pada rangkaian yang terganggu yang dipisahkan dari rangkaian yang lain yang tetap beroperasi.

Proteksi overload dikembangkan jika dalam semua hal rangkaian listrik diputuskan sebelum terjadi *overheating*. Jadi disini overload action relatif lebih lama dan mempunyai fungsi inverse terhadap kwadrat dari arus.

Proteksi gangguan hubung singkat dikembangkan jika action dari sekering atau circuit breaker cukup cepat untuk membuka rangkaian sebelum arus dapat mencapai harga yang dapat merusak akibat overheating, arcing atau ketegangan mekanik.

1.3. Persyaratan Kualitas Proteksi

Ada beberapa persyaratan yang sangat perlu diperhatikan dalam suatu perencanaan sistem proteksi yang efektif yaitu :

a). Selektivitas dan Diskriminasi

Efektivitas suatu sistem proteksi dapat dilihat dari kesanggupan sistem dalam mengisolir bagian yang mengalami gangguan saja

b). Stabilitas

Sifat yang tetap inoperatif apabila gangguan-gangguan terjadi diluar zona yang melindungi (gangguan luar).

c). Kecepatan Operasi

Sifat ini lebih jelas, semakin lama arus gangguan terus mengalir, semakin besar kerusakan peralatan. Hal yang paling penting adalah perlunya membuka bagian-bagian yang terganggu sebelum generator-generator yang dihubungkan sinkron kehilangan sinkronisasi dengan sistem selebihnya. Waktu pembebasan gangguan yang tipikal dalam sistem-sistem tegangan tinggi adalah 140 ms. Dimana mendatnag waktu ini hendak dipersingkat menjadi 80 ms sehingga memerlukan relay dengan kecepatan yang sangat tinggi (very high speed relaying)

d). Sensitivitas (kepekaan)

Yaitu besarnya arus gangguan agar alat bekerja. Harga ini dapat dinyatakan dengan besarnya arus dalam jaringan aktual (arus primer) atau sebagai prosentase dari arus sekunder (trafo arus).

e). Pertimbangan ekonomis

Dalam sistem distribusi aspek ekonomis hampir mengatasi aspek teknis, oleh karena jumlah feeder, trafo dan sebagainya yang begitu banyak, asal

saja persyaratan keamanan yang pokok dipenuhi. Dalam sistem-sistem transmisi justru aspek teknis yang penting. Proteksi relatif mahal, namun demikian pula sistem atau peralatan yang dilindungi dan jaminan terhadap kelangsungan peralatan sistem adalah vital.

Biasanya digunakan dua sistem proteksi yang terpisah, yaitu proteksi primer atau proteksi utama dan proteksi pendukung (back up)

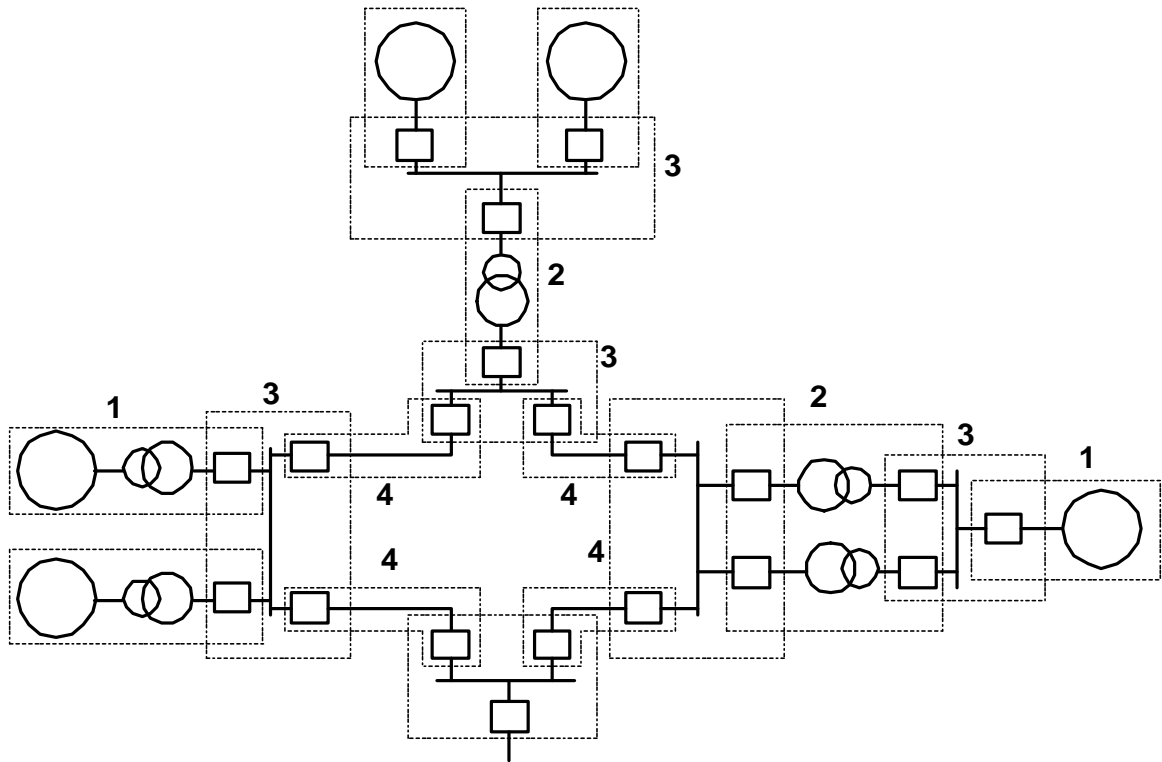
f). Realiabilitas (keandalan)

Sifat ini jelas, penyebab utama dari “outage” rangkaian adalah tidak bekerjanya proteksi sebagaimana mestinya (mal operation).

g) Proteksi Pendukung

Proteksi pendukung (back up) merupakan susunan yang sepenuhnya terpisah dan yang bekerja untuk mengeluarkan bagian yang terganggu apabila proteksi utama tidak bekerja (fail). Sistem pendukung ini sedapat mungkin independen seperti halnya proteksi utama, memiliki trafo-trafo dan rele-rele tersendiri. Seringkali hanya tripping CB dan trafo-trafo tegangan yang dimiliki bersama oleh keduanya.

Tiap-tiap sistem proteksi utama melindungi suatu area atau zona sistem daya tertentu. Ada kemungkinan suatu daerah kecil diantara zona-zona yang berdekatan misalnya antara trafo-trafo arus dan circuit breaker-circuit breaker tidak dilindungi. Dalam keadaan seperti ini sistem back up (yang dinamakan remote back up) akan memberikan perlindungan karena berlapis dengan zona-zona utama seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 1. Diagram sistem tenaga dengan daerah proteksi berlapis

Pada sistem distribusi aplikasi back up digunakan tidak seluas dalam sistem transmisi, cukup jika hanya mencakup titik-titik strategis saja. Remote back up bereaksi lambat dan biasanya memutus lebih banyak dari yang diperlukan untuk mengeluarkan bagian yang terganggu.

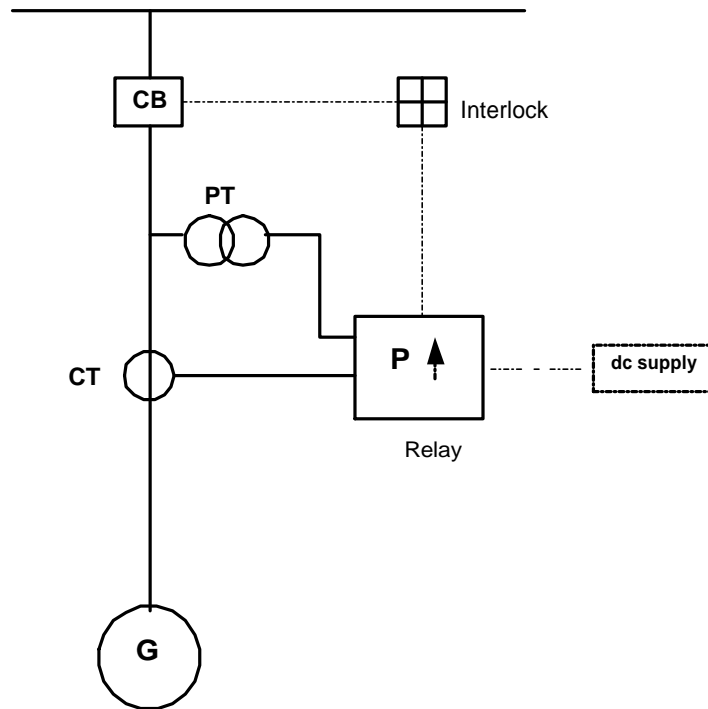
1.4. Komponen-Komponen Sistem Proteksi

Komponen-komponen sistem proteksi terdiri dari :

- ? Circuit Breaker (PM)
- ? Relay
- ? Trafo arus (CT)
- ? Trafo tegangan (PT)
- ? Kabel kontrol

? Supplay (batere)

Hubungan komponen-komponen proteksi ini dalam suatu sistem proteksi dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2. Diagram rangkaian sistem proteksi

c. Rangkuman 1

Proteksi dan automatic tripping Circuit Breaker (CB) dibutuhkan untuk:

1. Mengisolir peralatan yang terganggu agar bagian-bagian yang lainnya tetap beroperasi seperti biasa.
2. Membatasi kerusakan peralatan akibat panas lebih (overheating), pengaruh gaya mekanik dan sebagainya.

Proteksi harus dapat menghilangkan dengan cepat arus yang dapat mengakibatkan panas yang berlebihan akibat gangguan

$$H = I^2 R \times t \text{ Joules}$$

Peralatan proteksi selain sekering adalah peralatan yang dibentuk dalam suatu system koordinasi relay dan circuit breaker

Peralatan proteksi dipilih berdasarkan kapasitas arus hubung singkat 'Breaking capacity' atau 'Repturing Capcity'.

Selain itu peralatan proteksi harus memenuhi persyaratan sbb:

1. Selektivitas dan Diskriminasi
2. Stabilitas
3. Kecepatan operasi
4. Sensitivitas (kepekaan).
5. Pertimbangan ekonomis.
6. Realibilitas (keandalan).
7. Proteksi pendukung (back up protection)

d. Latihan I

1. Jelaskan dengan singkat mengapa proteksi dibutuhkan.

Jawab :

.....
.....
.....

2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan ‘Breaking Capacity’ atau ‘Repturing Capacity’ pada sistem proteksi.

Jawab :

.....
.....
.....

3. Jelaskan apa yang dimaksud Sektivitas dan Diskriminasi pada suatu system proteksi

Jawab :

.....
.....
.....

4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan proteksi pendukung (back up protection) pada suatu sistem proteksi.

Jawab :

.....
.....

5. Sebutkan komponen dasar sistem proteksi

Jawab :

.....
.....
.....
.....

e. Kunci Jawaban latihan 1.

Jawaban soal no 1.

- a. Untuk mengisolir peralatan yang terganggu agar bagian-bagian yang lainnya tetap beroperasi seperti biasa.
- b. Membatasi kerusakan peralatan akibat panas yang berlebihan (overheating) serta pengaruh gaya-gaya mekanik.

Jawaban soal no. 2

Kesanggupan untuk menghilangkan gangguan tanpa merusak peralatan proteksi itu sendiri.

Jawaban soal no. 3

Kesanggupan sistem dalam mengisolir gangguan pada bagian yang mengalami gangguan saja.

Jawaban soal no. 4

Suatu sistem perlindungan berlapis yang dirancang apabila proteksi utama tidak bekerja.

Jawaban soal no. 5

Komponen dasar sistem proteksi:

1. Circuit breaker.
2. Relay
3. Trafo arus (CT)
4. Trafo tegangan (PT)
5. Supply (baterei)

KEGIATAN BELAJAR 2

PROTEKSI BEBAN LEBIH DAN HUBUNG SINGKAT

A. TUJUAN

Setelah mempelajari unit ini peserta pelatihan diharapkan mampu :

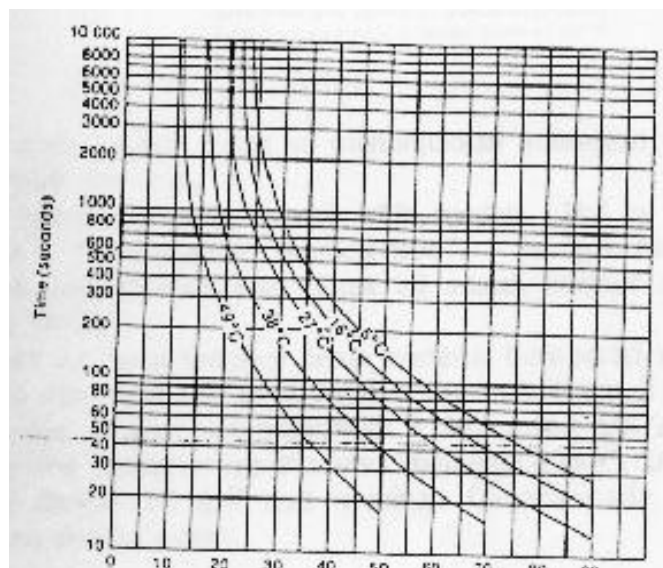
- ? Menjelaskan tentang karakteristik gangguan, beban lebih dan hubung singkat
- ? Menghitung besarnya arus hubung singkat dan kVA hubung singkat
- ? Menetapkan Breaking Current Capacity

B. URAIAN MATERI 2

2.1. Proteksi Beban Lebih dan Hubung Singkat

a) Proteksi Beban lebih (overload)

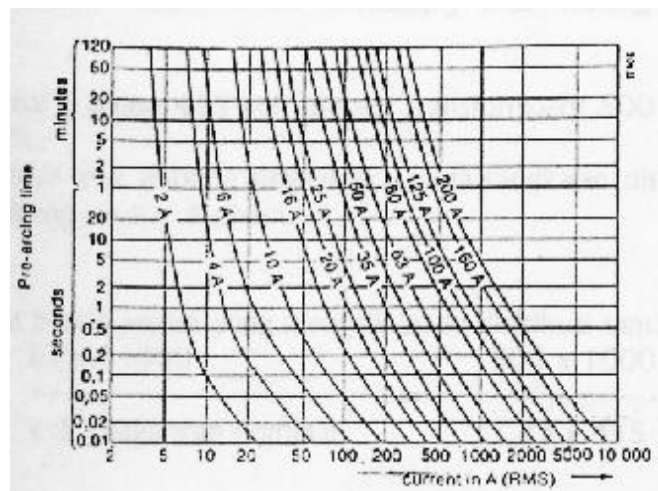
“Arus Batas” (*Current Rating*) dari elemen sekering dan circuit breaker tidak akan melampaui kapasitas arus yang mengalir pada konduktor/ komponen listrik yang diproteksi. Arus batas dari alat proteksi adalah suatu harga arus yang sanggup secara terus menerus mengalirkan arus tanpa kerusakan, jika terjadi beban lebih , arus yang tinggi dari batas normal akan membangkitkan panas pada konduktor yang sebanding dengan kwadrat arus dan waktu ($H = I^2t$)



Gambar 2.1.

Gambar ini memperlihatkan bahwa proteksi beban lebih sensitif temperatur. Waktu pemutusan menjadi berkurang pada temperatur ruang yang tinggi dari pada temperatur yang rendah.

Kenaikan temperatur kabel tidak melampaui batas aman. Temperatur maksimum kabel biasanya didasarkan pada temperatur sekitar maksimum 40°C.



Gambar 2.2.

Grafik pada gambar di atas ini menunjukkan hubungan antara kenaikan beban lebih dan arus.

Waktu pemutusan yang diambil lebih rendah. Hal ini dikenal dengan sebutan “*Inverse-time characteristic*”. Sebagai contoh peralatan proteksi yang direncanakan untuk ini adalah minitur overload circuit breaker (MCB).

Peralatan ini harus sanggup terus menerus beroperasi pada arus batas nominal dan harus trip pada batas waktu maksimum 2 jam untuk arus 125% arus nominal atau maksimum 3 detik untuk 600% arus nominal. Inverse-time characteristic biasanya menggunakan circuit breaker yang sampai dengan 10 kali arus nominal. Dimana pada harga ini akan memutus dengan segera.

b). Proteksi Hubung Singkat

Proteksi untuk arus hubung singkat biasanya ditentukan oleh impedansi dari rangkaian yang terganggu. Besarnya impedansi dari rangkaian biasanya dinyatakan dalam satuan per unit (p.u) atau presentase (%).

Sebagai contoh misalnya sebuah transformator dinyatakan mempunyai impedansi sebesar 5% jika disupply pada tegangan normal 100% akan menghasilkan arus beban penuh, maka besarnya arus hubung singkat yang dihasilkan oleh transformator tersebut adalah 20 kali arus beban penuh atau sama dengan :

$$\left(\text{Arus beban penuh} \times \frac{100}{5} \right)$$

Kenaikan arus pada suatu rangkaian instalasi mengakibatkan kenaikan kemampuan power supply untuk mensupply arus hubung singkat yang tinggi.

Contoh :

Suatu distribusi 3 phasa 415 volt melalui transformator 500 kVA dengan impedansi 5%.

Hitung besarnya arus hubung singkat jika pada rangkaian distribusi terjadi gangguan hubung singkat 3 phasa.

Penyelesaian :

Besarnya arus beban penuh yang mengalir pada distribusi sama dengan :

$$\frac{\text{kVa} \times 1000}{\sqrt{3} \times \text{tegangan nominal}} \quad ? \quad \frac{500 \times 1000}{1,73 \times 415}$$

? 696 A

Besarnya arus hubung singkat pada keadaan ini adalah :

$$\frac{696 \times 100}{\% \times \text{impedansi}} \quad ? \quad \frac{696 \times 100}{5}$$
$$? \quad 13,920 \text{ A}$$

Arus hubung singkat adalah merupakan arus hubung singkat 3 fasa yang simetris. Besarnya arus gangguan hubung singkat antar dua fasa sama dengan 87% kali besarnya arus hubung singkat 3 fasa. Sedangkan untuk gangguan dua fasa dengan netral tidak lebih dari 50% kali besarnya arus gangguan tiga fasa.

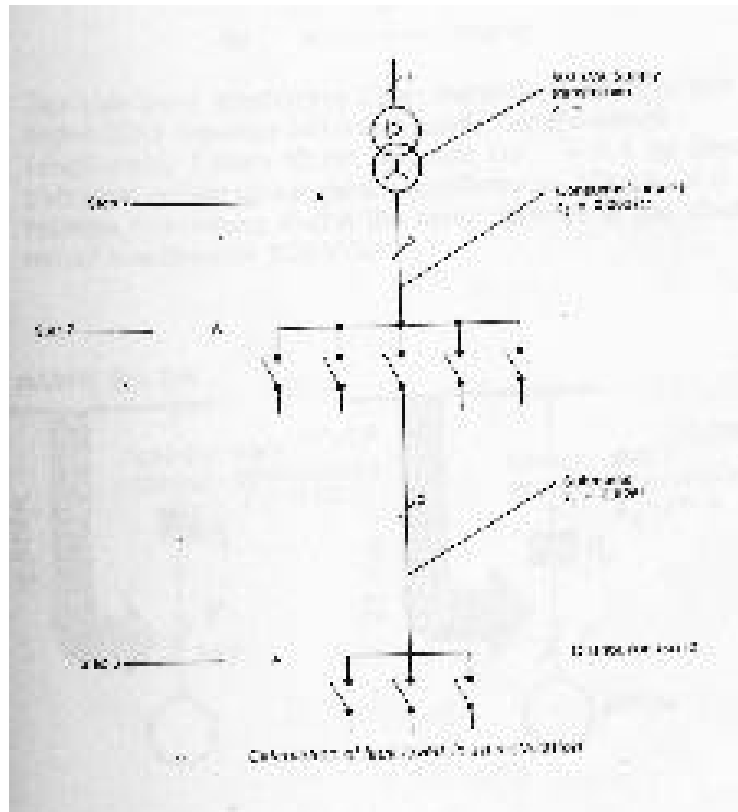
Besarnya arus gangguan tiga fasa simetris dikenal juga dengan sebutan “*Prospective fault current*” atau “*breaking current*”. Semua peralatan proteksi seperti sekering dan circuit breaker yang terpasang pada suatu rangkaian instalasi arus sanggup memikul arus yang sangat besar ini tanpa mengalami kerusakan mekanik pada peralatan.

Tabel Prospective Current Transformer

Transformer kVa	Short circuit output MVA	Propective fault current
500	10	13.900
1000	20	27.800
1500	30	41.700

Transformator 500 kVA dipasang pada suatu jaringan distribusi seperti pada gambar.

Hitunglah impedansi per fasa transformator dalam ohm jika level arus gangguan propective transformator seperti pada tabel.



Gambar 2.3.

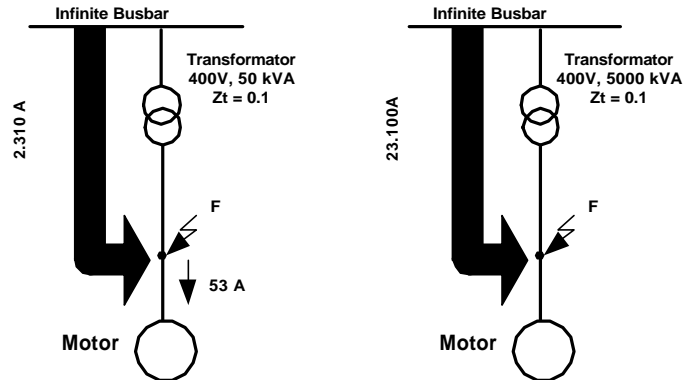
2.2. Arus Hubung Singkat Simetris

Untuk menghitung besarnya arus hubung singkat (I_{hs}), pertama yang perlu diketahui adalah besarnya reaktansi rangkaian (x). Jika tegangan pada titik gangguan sama dengan E, maka :

$$I_{hs} = \frac{E}{x} \text{ ampere}$$

Juga yang perlu diperhatikan dalam menghitung besarnya arus hubung singkat adalah besarnya dari sistem supply sebagai contoh :

Sebuah motor 3 fasa 40 HP, 400 volt $\cos \phi = 0,8$ lag dihubungkan pada suatu busbar melalui transformator 50 kVA, akan berbeda besarnya arus hubung singkat jika motor tersebut di atas dihubungkan melalui transformator 500 kVA.



Gambar 2.4.

Arus beban penuh motor :

$$I_m = \frac{40 \times 731,5}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,8} = 54 \text{ A}$$

Jika terjadi gangguan hubung singkat pada titik F seperti yang terlihat pada gambar di atas maka :

- a. Bilamana motor tersebut dihubungkan pada supply 50 kVA

$$I_{s1} = \frac{\text{Tegangan fasa}}{\text{Impedansi sampai pada titik F}}$$

$$I_{s1} = \frac{400/\sqrt{3}}{0,1} = 2310 \text{ A}$$

Jadi circuit breaker B1, yang terpasang pada rangkaian harus sanggup menahan arus sebesar 2310 ampere.

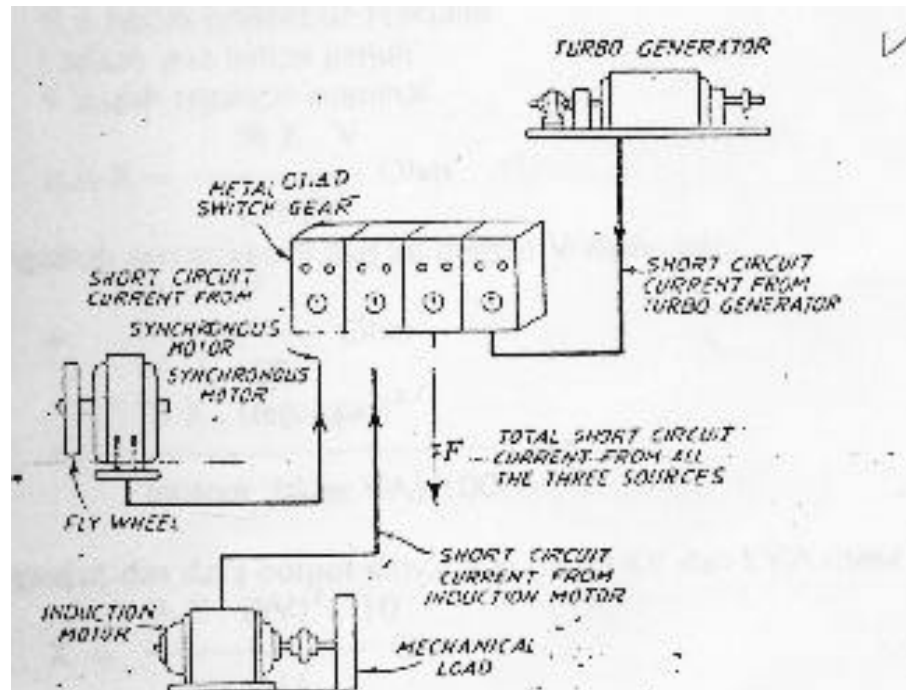
- b. Bilamana motor tersebut dihubungkan pada supply 500 kVA, besarnya impedansi akan rendah karena konduktor yang lebih kecil

$$I_{s2} = \frac{400/\sqrt{3}}{0,1} = 23100 \text{ A}$$

Circuit breaker B₂ harus sanggup menahan arus sebesar 23.100 ampere.

Sumber arus hubung singkat :

1. Generator
2. Motor sinkron atau kondensor sinkron
3. Motor induksi



Gambar 2.5.

2.3. Presentase Resistansi, Reaktansi dan kVA Base

Dalam menghitung besarnya arus hubung singkat, semua nilai tahanan dan reaktansi dinyatakan dalam presentase, pada suatu harga kVA base tertentu.

Presentase resistensi (tahanan) adalah suatu harga resistansi drop % R dari suatu tegangan normal bilamana mengalir arus beban penuh.

Dimana :

$$\% R = \frac{IR}{V} \times 100$$

R adalah resistansi (tahanan) dalam ohm

%R adalah presentase tahanan

I adalah arus beban penuh

V adalah tegangan nominal

$$\text{Atau } X \approx \frac{\% X \cdot V}{100} \text{ Ohm}$$

Dengan mengalikan persamaan di atas ini dengan V diperoleh :

$$X \approx \frac{\% X \cdot V^2}{V \cdot 100} \text{ Ohm}$$
$$\approx \frac{\% X \cdot (\text{tegangan})^2}{(\text{output dalam VA}) \cdot 100} \text{ Ohm}$$

Bilamana tegangan dan daya output dinyatakan dalam kV dan kVA maka :

$$X \approx \frac{\% X \cdot (\text{kV})^2 \cdot 10}{\text{kVA}} \text{ Ohm}$$

Jika kVA dinyatakan dalam (kVA) b, maka prosentase reaktansi dalam kVA base :

$$\% X \approx \frac{X \cdot (\text{kVA})^b}{10 \cdot (\text{kVA})^2}$$

Cara memilih kVA base adalah sebagai berikut :

1. kVA yang sama dengan kVA peralatan yang terbesar
2. Sama dengan jumlah total kVA yang ada
3. Suatu nilai yang ditentukan sendiri untuk mempermudah perhitungan

Jika % reaktansi pada suatu plant kVA dikonversi kVA base sebagai berikut % x pada kVA base.

$$\approx \frac{(\text{kVA})^b}{\text{plant kVA}} \% \text{ x plant kVA}$$

$$\approx \frac{(\text{kVA})^b}{\text{plant kVA}} \% \text{ x}$$

Tugas :

Sebuah transformator mempunyai rating 10.000 kVA dengan prosentase reaktansi 5%. Berapa persen harga reaktansi jika dinyatakan dalam 25.000 (kVA)^b.

Besarnya reaktansi dapat dikonversi dari suatu tegangan operasi ketegangan lainnya.

Misalnya :

X1 reaktansi tegangan E1 dan

X2 reaktansi tegangan E2

$$\text{Maka } X_2 = \frac{E_1^2}{E_2^2} \cdot X_1$$

2.4. Cara-cara Menghitung kVA hubung singkat

Dalam menghitung arus hubung singkat atau kVA hubung singkat adalah sebagai berikut :

1. Gambarlah diagram garis tunggal yang lengkap dengan indikasi dari setiap plant seperti batas nominal tegangan, tahanan dan reaktansi.
2. Konversi nilai tahanan dan reaktansi dari generator dan transformator ke dalam nilai %
3. Pilihlah kVA base dan konversi setiap nilai tahanan dan reaktansi dari plant kVA ke dalam kVA base
4. Bilamana semua reaktansi telah dinyatakan dalam kVA base yang sama, maka hitunglah reaktansi total sampai pada titik gangguan.
5. Perhitungan kVA hubung singkat adalah sebagai berikut :

$$\text{kVA h.s} \quad ? \quad \frac{100}{\% \text{ reaktansi}} \times \text{kVA base}$$

$$? \quad \frac{100 (\text{kVA})b}{\% X}$$

$$\text{Ih.s(rms)} \quad ? \quad \frac{(\text{kVA})h.s}{\text{kV} \times \sqrt{3}} \text{ ampere}$$

Bilamana reaktansi dinyatakan dalam ohm

$$\text{h.s(rms)} \quad ? \quad \frac{\text{Tegangan}}{\sqrt{3} \times \text{total reaktansi}} \text{ ampere}$$

$$\text{kVA h.s} \quad ? \quad \frac{\sqrt{3} \times \text{Ih.s} \times \text{tegangan}}{1000}$$

2.5. Sistem Per Unit

Sistem per unit adalah suatu cara untuk menyatakan parameter dalam harga per unit :

$$\text{Per unit} \quad ? \quad \frac{\text{Parameter}}{\text{Parameter base}}$$

Untuk menyatakan besaran-besaran listrik seperti tegangan arus dan impedansi pada per unit base memerlukan pemilihan :

1. Volt base atau kV base
2. Ampere base atau kVA base

KASUS 1

Anggap sistem pertama yang dipilih adalah volt base (Vb) ampere base (Ib) semua harga per phasa :

$$\text{Ohm base} \ ? \ Z_b \ ? \ \frac{\text{Volt base}}{\text{Ampere base}} \ ? \ \frac{V_b}{I_b}$$

$$\text{Volt per unit} \ ? \ V_{p.u} \ ? \ \frac{\text{Volt}}{\text{Volt base}}$$

$$\text{Arus per unit} \ ? \ I_{p.u} \ ? \ \frac{\text{Ampere}}{\text{Ampere base}}$$

$$\text{Ohm per unit} \ ? \ Z_{p.u} \ ? \ \frac{\text{Ohm}}{\text{Ohm base}}$$

KASUS II

Yang dipilih adalah kVA base (kVA)_b dan (kV)_b line to line :

$$\text{Arus base} \ ? \ I_b \ ? \ \frac{(kVA)_b}{\sqrt{3} (kV)_b}$$

$$\text{Ohm base} \ ? \ Z_b \ ? \ \frac{(kVA)_b \cdot 1000 / \sqrt{3}}{(kVA)_b}$$

$$\text{Ohm per unit} \ ? \ Z_{p.u} \ ? \ \frac{\text{ohm}}{\text{ohm base}}$$

$$\ ? \ \frac{\text{ohm}}{(kV)_b^2 \cdot 1000 (kVA)_b} \ ? \ \frac{\text{Ohm} \cdot (kVA)_b}{(kV)_b^2 \cdot 1000}$$

Dalam perhitungan arus hubung singkat per unit impedansi dapat dinyatakan pada kVA base yang berbeda. Impedansi per unit ($Z_{p.u}$) I adalah impedansi per unit yang dinyatakan pada (kVA) b_1 dan tegangan base (V_b) I dan dikonversikan ke dalam (kVA) b_2 dan tegangan base (V_b) $_2$.

Maka :

Impedansi per unit baru

c. Rangkuman 2

Protaksi beban lebih ditujukan untuk memberikan perlindungan pada sistem atau peralatan terhadap pemanasan yang berlebihan akibat arus beban yang melebihi nominal.

Protaksi beban lebih harus sensitive temperature.

Waktu pemutusan menjadi berkurang pada temperature ruang yang tinggi daripada temperature yang rendah

Protaksi hubung singkat di dasarkan pada besarnya arus hubung hubung singkat tiga fase simetris yang dikenal dengan sebutan 'Prospective fault current' atau 'Breaking Current'

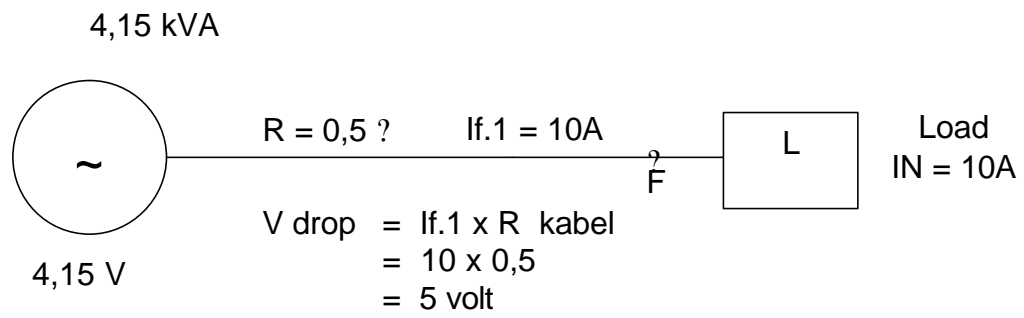
Besarnya arus hubung singkat ditentukan oleh impedansi rangkaian yang terganggu dan dinyatakan dalam satuan per unit (p.u) atau presentase (5).

Sumber arus hubung singkat:

1. Generator
2. Motor sinkron atau condenser sinkron
3. Motor induksi.

d. Latihan 2

Soal :



e. Kunci Jawaban Latihan 2

$$\% \text{ drop} = \frac{V_{\text{drop}}}{V_{\text{teg. penuh}}} \times 100\% = \frac{5}{415} \times 100\% = 1,2\%$$

$$\%R = \frac{I \times R}{V} \times 100\% = \frac{10 \times 0,5}{415} \times 100\% = 1,2\%$$

Dalam I :

$$R = \frac{100}{\Lambda \times 2R} = \frac{10 \times 100}{412 \times 1,5} = 0,498 \approx 0,5$$

Dalam VA :

$$= \frac{412 \times 10 \times 100}{1,5 \times 412} = 0,498 \approx 0,5$$

$$R = \frac{\Lambda \times 100}{\text{dR} \times \Lambda} \quad \Delta I = \Delta \text{of} \quad \Delta \text{urubele} \quad (\text{qals} \quad \Delta \Delta)$$

$$R = \frac{I \times 100}{\Lambda \times \text{dR}} = \rightarrow \text{qR} \quad \Lambda$$

Dalam kVA :

$$R = \frac{\%R \times kV^2 \times 10}{kVA}$$

$$= \frac{1,2 \times 0,415^2 \times 10}{4,15}$$

$$= 0,498 \approx 0,5$$

Penggunaan kVA base :

Pada kVA sebenarnya = 4,15 kVA

$$\%R = \frac{R \cdot (kVA)}{10 \cdot kV^2} = \frac{0,5 (4,5)}{10 \times 0,415^2} = 1,2\%$$

Pada kVA base = 15 kVA

$$\%R \quad ? \quad \frac{15}{4,15} \times 1,2\% \quad ? \quad 4,337\%$$

$$(kVA)_{h.s} \quad ? \quad \frac{100 (kVA)_b}{\%R}$$

Untuk harga kVA = 4,15

$$(kVA)_{h.s} \quad ? \quad \frac{100 \times 4,15}{1,2} \quad ? \quad 345,83 \text{ kVA}$$

Untuk harga (kVA)_b = 15

$$(kVA)_{h.s} \quad ? \quad \frac{100 \times 15}{4,332} \quad ? \quad 345,83 \text{ kVA}$$

$$I_{h.s} \quad ? \quad \frac{(kVA)_{h.s}}{\sqrt{3} \cdot kV} \quad ? \quad \frac{345,83}{0,415 \times \sqrt{3}} \quad ? \quad 481 \text{ A}$$

$$\text{Cek: } I_{h.s} \quad ? \quad \frac{\text{Tegangan}}{\sqrt{3} \times \text{total impedansi}}$$

$$? \quad \frac{415}{\sqrt{3} \times 0,5} \quad ? \quad 479 \text{ A} \quad ? \quad 481 \text{ A}$$

KEGIATAN BELAJAR 3

CIRCUIT BREAKER DAN SEKERING

A. TUJUAN

Setelah mempelajari unit ini peserta pelatihan diharapkan mampu :

- ? Menyebutkan jenis-jenis circuit breaker serta bentuk karakteristik pemutusannya
- ? Menyebutkan jenis-jenis sekering serta bentuk karakteristik pemutusannya
- ? Memilih dan menentukan ukuran circuit breaker dan sekering sesuai dengan keperluan proteksi sistem tenaga

B. URAIAN MATERI 3

3.1. Circuit Breaker

Circuit breaker seperti halnya sekering adalah merupakan alat proteksi, walaupun circuit breaker dilengkapi dengan fasilitas untuk switching.

3.2. Rating dan Aplikasi

Dibandingkan dengan sekering, pemakaian circuit breaker lebih bervariasi. Range circuit breaker dapat dikenal mulai dari type miniature circuit breaker (MCB) yang banyak digunakan untuk rangkaian penerangan sampai dengan yang kapasitasnya mega volt ampere pada power house.

Untuk keperluan proteksi komersial dan industri lebih banyak digunakan type Moulded Case Circuit Breaker (MCCB). Untuk pemakaian proteksi sistem 3 fasa lebih baik menggunakan circuit breaker 3 fasa daripada menggunakan sekering, karena circuit breaker akan memberikan pemutusan secara simultan untuk 3 fasa dibandingkan dengan sekering.

3.3. Klasifikasi Circuit Breaker

Sebagaimana sekering, fungsi proteksi circuit breaker adalah untuk memproteksi beban lebih dan hubung singkat. Klasifikasi circuit breaker ditentukan melalui tripping action circuit breaker itu sendiri yaitu :

1. Thermal
2. Magnetic
3. Thermal – magnetic
4. Solid state atau electronic

1) Thermal

Untuk keperluan tripping type ini menggunakan bimetal yang dipanasi melalui arus beban lebih karena bimetal mengambil waktu untuk menaikkan panas, maka type circuit breaker ini mempunyai karakteristik inverse time limit untuk proteksi

Waktu untuk trip tergantung pada kondisi temperatur ruang jadi sangat cocok untuk proteksi kabel atau proteksi yang memerlukan kelambatan waktu pemutusannya.

2) Magnetic

Type ini arus beban yang lewat melalui kumparan elektro magnetik akan menarik inti jangkar dan secara mekanik akan melepaskan pegangan circuit breaker dalam posisi “ON” (terjadi proses tripping).

Magnetic circuit breaker akan melengkapi trip yang segera (instantaneous) terutama pada overload yang cukup berat (biasanya 10 kali arus beban penuh) atau pada keadaan hubung singkat. Karena medan magnet cukup kuat untuk menarik jangkar.

Karena magnetic circuit breaker type ini operasionalnya bebas dari pengaruh suhu ruang, maka proteksi ini lebih cenderung untuk proteksi hubung singkat.

3) Thermal – Magnetic

Circuit breaker type ini dilengkapi dengan thermal element untuk mendapatkan karakteristik dengan kelembaban waktu pemutusan (time delay characteristic) dari fasilitas pengaruh temperatur ruang. Sedangkan action magnetik diperlukan untuk pemutusan segera. Bila terjadi beban lebih, maka diperlukan waktu untuk memanasi elemen bimetal (time delay)

Dengan beban lebih yang sangat besar atau hubung singkat, maka elemen magnetik yang akan mempengaruhi waktu tripping dan diatur 10 kali arus nominal untuk melengkapi secara lengkap pemutusan instanteneuous dengan interrupting time 0,01.

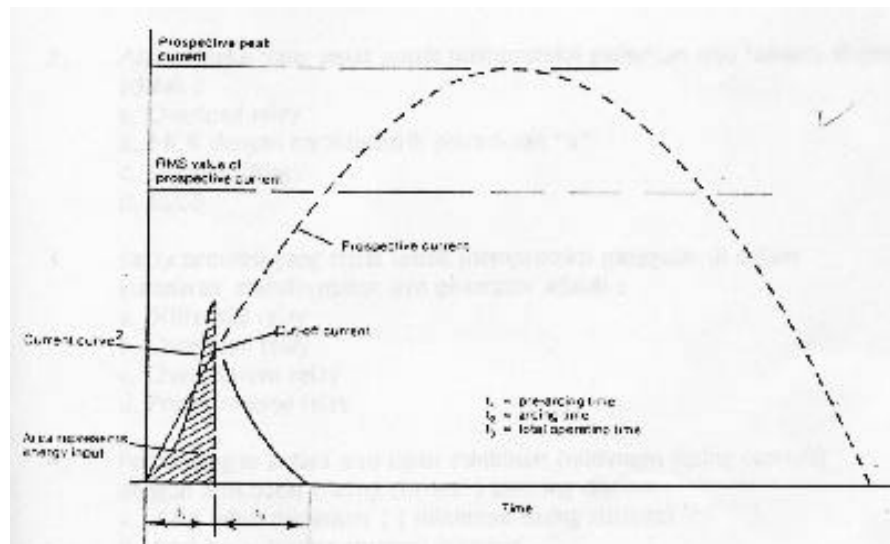
3.4. Sakering (Fuse)

Sakering adalah suatu peralatan proteksi yang umum digunakan. Sekering adalah suatu peralatan proteksi kerusakan yang disebabkan oleh arus berlebihan yang mengalir dan memutuskan rangkaian dengan meleburannya elemen sekering.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan sekering :

1. Arus nominal sekering (current rating) adalah arus yang mengalir secara terus menerus tanpa terjadi panas yang berlebihan dan kerusakan
2. Tegangan nominal (voltage rating) yaitu tegangan kerja antar konduktor yang diproteksi atau peralatan
3. Time current protection yaitu suatu lengkung karakteristik untuk menentukan waktu pemutusan
4. Pre arcing time adalah waktu yang diperlukan oleh arus yang besar untuk dapat meleburkan elemen sekering
5. Arcing time adalah waktu elemen sekering melebur dan memutuskan rangkaian sehingga arus jatuh menjadi nol

6. Minimum fusing current adalah suatu harga minimum dari arus yang akan menyebabkan elemen sekering beroperasi (melebur)
7. Fusing factor adalah suatu perbandingan antara minimum fusing current dengan current rating dari sekering. Umumnya sekering yang tergolong pada semi enclosed mempunyai faktor 2 dan untuk type HRC mempunyai faktor serendah mungkin 1,2
8. Total operating time adalah waktu total yang diambil oleh sekering secara lengkap dapat mengisolasi dengan gangguan.
9. Cut off ini adalah satuan fungsi yang penting sekering HRC. Jika elemen sekering melebur dan membatasi harga arus yang dicapai ini kita kenal dengan sebutan “*arus cut off*”
10. Kategori of duty. Sekering diklasifikasikan pada kategori kesanggupan dalam menangani gangguan sesuai dengan harga arus prospective pada rangkaian. Katagori A1 dan A2 untuk arus propectif. 1.0.kA dan 4.0 kA. Sedangkan untuk kategori AC3, AC4 dan AC5 untuk arus 16,5 kA, 33 kA dan 46 kA.



Gambar

Type Sekering

Ada dua type dasar sekering :

1. Semi enclosed type adalah type untuk arus dengan rating yang rendah dan category of duty yang rendah
2. Cartridge type adalah merupakan type yang mempunyai kapasitas pemutusan yang tinggi (High-ruptring capacity) yang lebih dikenal dengan istilah HRC fuse.

c. Rangkuman 3

Sekering dan circuit breaker adalah peralatan proteksi untuk beban lebih dan hubung singkat.

Berdasarkan sistem pemutusan circuit breaker mempunyai beberapa tipe yaitu:

1. Tipe pemotasan thermal
2. Tipe pemutusan magnetic
3. Tipe pemutusan thermal-magnetik
4. tipe pemutusan solid state atau elektronik.

Sekering adalah suatu peralatan proteksi yang umum digunakan yang memproteksi sistem atau komponen terhadap kerusakan yang disebabkan oleh arus berlebihan.

Dalam pemilihan sekering harus diperhatikan criteria sebagai berikut:

1. Arus nominal sekering (current rating).
2. Tegangan nominal (voltage rating).
3. Karakteristik pemutusan sekering (time – current characteristics protection).
4. Pre arcing time
5. Arcing time
6. Minimum fusing current
7. Fusing factor
8. Total operating time
9. cut off
10. Category of duty

Berdasarkan pemutusan sekering ada dua tipe sekering yaitu:

1. Semi enclosed type
2. Cartridge type

Latihan 3

1. Jelaskan dengan singkat apa persamaan dan perbedaan sekering dan circuit breaker

Jawab:

.....
.....
.....

2. Sebutkan 4 type circuit breaker berdasarkan tipe pemutusannya.

Jawab:

.....
.....
.....

3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan 'pre arcing time' pada pemutusan sekering.

Jawab:

.....
.....
.....

4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan 'fusing factor' (factor sekering)

Jawab:

.....
.....
.....

5. Sebutkan dua tipe dasar sekering berdasarkan tipe pemutusannya.

Jawab:

.....
.....
.....
.....

e. Kunci Jawaban latihan 3.

Jawaban soal no.1

Persamaan sekering dan circuit breaker kedua-duanya adalah digunakan untuk memproteksi sistem dan komponen kelistrikan terhadap gangguan beban lebih dan hubung singkat.

Jawaban soal no.2

Tipe circuit breaker berdasarkan pemutusan adalah:

1. Tipe pemutusan thermal
2. Tipe pemutusan magnetic
3. Tipe pemutusan termal dan magnetic
4. Tipe pemutusan solid state atau elektronik

Jawaban soal no. 3

Pre arcing time adalah waktu yang diperlukan oleh arus yang besar untuk dapat meleburkan elemen sekering.

Jawaban soal no. 4

Fusing factor adalah suatu perbandingan antara minimum fusing current dengan current rating dari sekering.

Jawaban soal no. 5

Tipe dasar sekering berdasarkan pemutusan:

1. Semi enclosed type
2. Cartridge type.

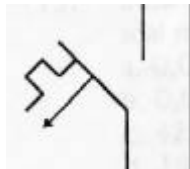
III. EVALUASI

a. Soal Objectif

Berilah tanda silang pada salah satu jawaban yang paling tepat.

1. Fungsi utama dari sistem proteksi pada satu sistem jaringan instalasi tenaga listrik adalah :
 - a. Mendeteksi adanya gangguan
 - b. Memutuskan gangguan dari sistem
 - c. Mendeteksi adanya gangguan dan memutuskan bagian yang terganggu dari sistem
 - d. Melakukan diskriminasi
2. Alat proteksi yang tepat untuk memproteksi gangguan arus hubung singkat adalah :
 - a. Overload relay
 - b. MCB dengan karakteristik pemutusan “a”
 - c. Sekering (fuse)
 - d. ELCB
3. Relay proteksi yang tepat untuk memproteksi gangguan di dalam kumparan transformator dan generator adalah :
 - a. Differensial relay
 - b. Over load relay
 - c. Over current relay
 - d. Power reverse relay
4. Perbandingan antara arus lebur minimum (minimum fusing current) dengan arus batas (rating current) sekering disebut :
 - a. Arus lebur minimum (minimum fusing current)
 - b. Arus batas (rating current) sekering

- c. Faktor lebur (fusing factor)
 - d. Arus lebih (over load)
5. Minimum fusing current dari sebuah HRC 400 A tegangan 660 volt adalah:
- a. 800 ampere
 - b. 400 ampere
 - c. 333,3 ampere
 - d. 480 ampere
6. Relay proteksi untuk arus yang besar biasanya menggunakan transformator yang dikenal sebagai :
- a. Current transformator (CT)
 - b. Potensial transformator (PT)
 - c. Power transformator
 - d. Auto transformator
7. Gambar di bawah ini menunjukkan simbol MCB dengan karakteristik pemutusan :



- a. Inverse dan time definite time characteristic
 - b. Inverse time dan instantaneous time characteristic
 - c. Definite time dan instantaneous time characteristic
 - d. Inverse, definite dan instantaneous time characteristic
8. Klasifikasi circuit Breaker yang menggunakan coil sebagai tripping elemen (elemen pemutus) adalah :
- a. Thermal
 - b. Magnetic
 - c. Thermal – Magnetic
 - d. Electronic

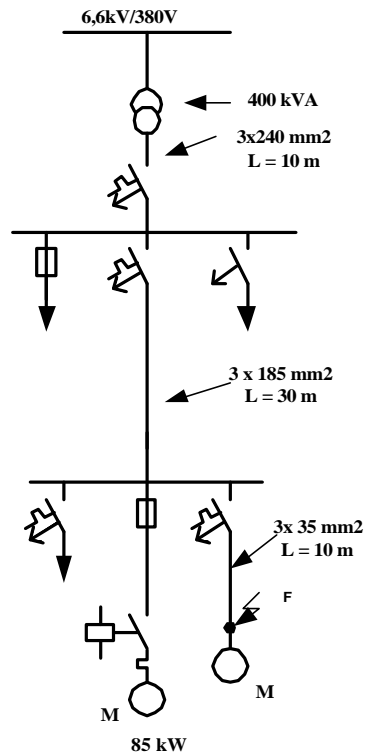
9. Tripping elemen (elemen pemutus) dari overload relay proteksi primer adalah :
- Bimetal
 - Elemen lebur
 - Coil – bimetal
 - Coil
10. Yang bukan merupakan sumber arus hubung singkat adalah :
- Transformator
 - Generator
 - Motor sinkron atau kondensor sinkron
 - Motor induksi
11. Besarnya arus hubung singkat pada suatu instalasi/jaringan tergantung pada:
- Besarnya tegangan kerja
 - Besarnya impedansi sampai pada titik gangguan
 - Besarnya daya supply
 - Jawaban a, b dan c benar
12. Transformator 500 kVa tegangan 415 volt dengan impedensi 4,25%. Besarnya impedensi jika dinyatakan dalam ohm adalah :
- 0,146 m²
 - 0,0146 m²
 - 146 m²
 - 14,6 m²
13. Besarnya impedansi transformator dalam Z_{p.u} untuk transformator pada soal no. 12 adalah :
- 0,0146 p.u
 - 0,045 p.u

- c. 425 p.u
 - d. 14,6 p.u
14. Transformator 500 kVA tegangan 415 volt impedansi 4,25%. Jika transformator tersebut dinyatakan dalam (kVA) base 1000, maka besarnya impedansi adalah :
- a. 0,004 %
 - b. 8,5%
 - c. 2,125%
 - d. 4,25%
15. Waktu yang diperlukan oleh arus yang besar untuk dapat meleburkan elemen sekering disebut :
- a. Pre arcing time
 - b. Arcing time
 - c. Time current protection
 - d. Total operating time

b. Soal Essay

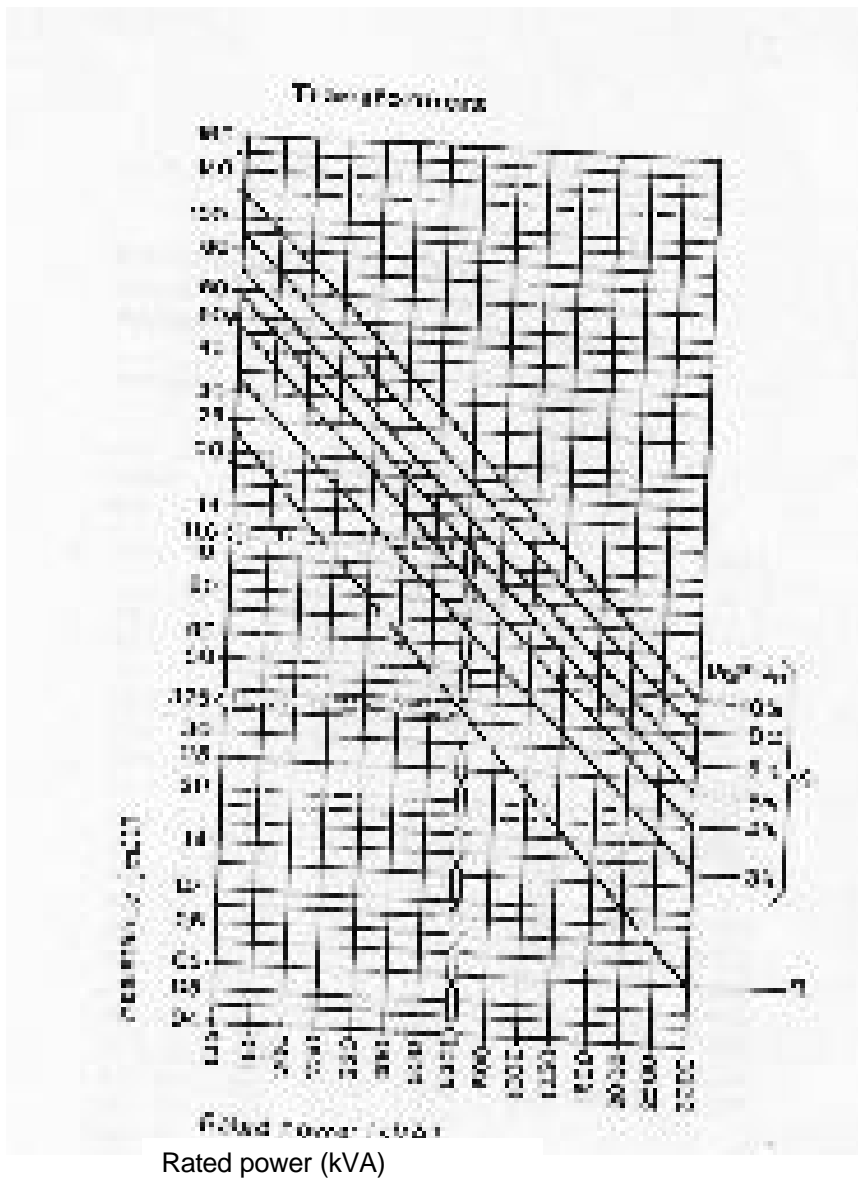
Suatu rangkaian distribusi tenaga melalui sebuah transformator distribusi 6,6 kV/380V, 400 kVA dengan impedansi 4%. Jika terjadi gangguan pada titik F hitunglah ! :

- a. Hitunglah impedansi total sampai pada titik gangguan F dengan menggunakan tabel terlampir, lengkap dengan rangkaian equivalent.
- b. Hitunglah besarnya arus hubung singkat dan arus hubung singkat maksimum dengan faktor transient.



Gambar

- c. Hitung impedansi total dalam %
- d. Hitung impedansi total dalam p.u



Ohmic resistances and reactances of transformers versus power at 380 V/50 Hz

Gambar

Cables and bus bars

Ohmic resistance of bus bars
Ohmic resistance and reactances of cables
Approximate values per conductor meter at 50 Hz

Bus bars				Cables (Cu) 4 conductors, plastic insulation		
Dimension [mm]	Cross section [mm ²]	Resistance R Cu [mΩ/m]	R Al [mΩ/m]	Cross section R [mm ²]	Resistance R [mΩ/m]	X [mΩ/m]
15 × 3	30	0.983	0.987	2.5	7.120	0.114
15 × 3	45	0.656	0.660	4	4.450	0.107
20 × 2	40	0.645	0.775	6	2.967	0.100
20 × 3	60	0.297	0.483	10	1.260	0.094
20 × 5	100	0.178	0.299	16	1.112	0.090
25 × 5	125	0.142	0.233	25	0.712	0.088
30 × 3	90	0.197	0.322	26	0.509	0.083
30 × 5	150	0.118	0.193	30	0.256	0.053
40 × 3	120	0.148	0.242	70	0.264	0.082
40 × 5	200	0.089	0.148	86	0.187	0.082
40 × 10	400	0.044	0.072	120	0.149	0.080
50 × 5	250	0.071	0.111	150	0.118	0.080
50 × 10	500	0.035	0.058	185	0.095	0.080
60 × 5	300	0.059	0.096	240	0.074	0.079
60 × 10	600	0.029	0.047	300	0.068	0.078
80 × 5	400	0.044	0.072	400	0.044	0.078
80 × 10	800	0.022	0.038	500	0.039	0.078
100 × 10	1000	0.017	0.029			
120 × 10	1200	0.014	0.024			
140 × 10	1400	0.012	0.020			
160 × 10	1600	0.011	0.018			

Gambar

KUNCI JAWABAN EVALUASI AKHIR

a. Kunci Jawaban Soal Objectif

1. c
2. c
3. a
4. c
5. d
6. a
7. b
8. b
9. a
10. a
11. d
12. b
13. b
14. b
15. a

b. Kunci Jawaban Soal Essay

a).

Data	Perhitungan	R(m ²)	Xn(?)
TR 400 kVA 6,6/380 X = 4%	Dari tabel R1 = 0,074 m ² /m X1 = 0,079 m ² /m	6	14
Kabel 3 x 240 mm ² L = 30 m	Dari tabel R2 = 0,07 m ² /m X2 = 0,079 m ² /m	0,74	0,79
Kabel 3 x 185 mm ² L = 30 m	Dari tabel R3 = 0,096 m ² /m X3 = 0,080 m ² /m	2,88	2,4
Kabel 3 x 35 mm ² L = 10 m	Dari tabel R4 = 0,508 m ² /m X4 = 0,083 m ² /m	5,08	0,83
	Total	1,47m ²	18,02 m ²

$$Z_r = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4$$

$$? \sqrt{(14,7)^2 + (18,02)^2}$$

$$? \sqrt{216,09 + 324,72}$$

$$? 23,255 \text{ m} ? 0,023 ?$$

b) $i_{h.s} ? \frac{\text{Tegangan}}{\sqrt{3} \cdot \text{Impedansi total}} ? \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 0,023} ? 953,83 \text{ A} ? 9,5 \text{ kA}$

$$i_{h.s} ? X \cdot \sqrt{2} \cdot i_{h.s} ? 1,09 \cdot \sqrt{2} \cdot 953,83 ? 14704,03 ? 14,7 \text{ kVA}$$

$$X ? \frac{R}{X} ? \frac{14,7}{18,02} ? 0,82 ? \text{ dengan tabel 1.09}$$

c) $\%Z ? \frac{Z(?) \cdot (\text{kVA})^2}{10 (\text{kVA})^2} ? \frac{0,023 \times 400}{10 \cdot (0,380)^2} ? \frac{9,2}{1,444} ? 6,37\%$

d) $Z_{p.u} ? \frac{Z(?) \cdot (\text{kVA})^2}{(\text{kV})^2} ? \frac{0,023 \times 400}{(0,380)^2 \times 1000} ? 0,06 \text{ p.u}$

IV. PENUTUP

Keandalan serta kontinuitas pelayanan sistem ketenagalistrikan sangat tergantung pada perencanaan dan penetapan sistem proteksi yang digunakan. Kegagalan sistem proteksi dapat mengakibatkan fatal terhadap peralatan sistem maupun manusia yang mengoperasikan/ menggunakan peralatan listrik.

Dengan mempelajari keseluruhan isi modul Performa Proteksi ini secara sistematis sesuai dengan anjuran pembelajaran modul ini, anda dapat memiliki kemampuan dasar untuk mempelajari modul proteksi selanjutnya yang lebih spesifik dalam unit kompetensi pemeliharaan peralatan proteksi pada sistem pembangkit tenaga listrik

DAFTAR PUSTAKA

Christian Mamesah, *Proteksi Sistem Tenaga Listrik 1*, Electrical Department TEDC Bandung, 1998.

Lucas – Nulle, *Study of Transmission Line Protection Techniques 1 st version*, Lucas Nulle for future – Oriented Education.

PT Schneider Ometraco, *Pemutusan daya dan pemilihannya*, Pusat Pendidikan Teknik Schneider, Jakarta, 1997.

Sprecher + Schuh, *Contacto Selection made easy*, Sprecher + Schuh Ltd, CH-5001 Aarau/ Switzerland, 1985