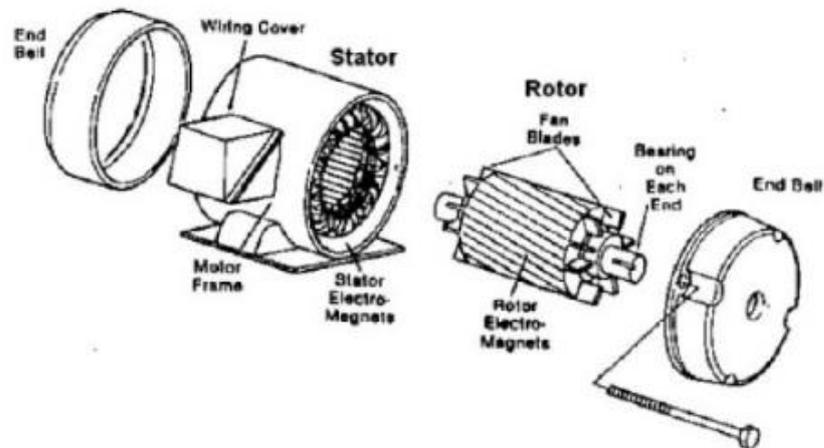


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Listrik

Motor listrik adalah sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi gerak (mekanik). Energi mekanik ini digunakan untuk kebutuhan beban seperti, memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dan lain – lain. Motor listrik merupakan motor yang paling banyak dijumpai dalam industri. Motor listrik sering disebut sebagai “kuda kerja” nya industri sebab diperkirakan motor listrik ini digunakan hingga 70% beban listrik total di industri.

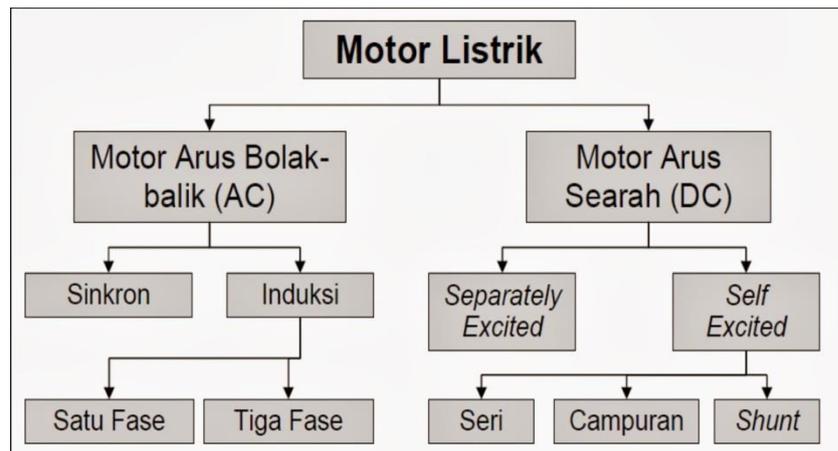


Gambar 2.1 Motor Listrik

(Sumber : <http://hendri-21-16.blogspot.co.id>)

Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum sama, arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya. Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran (*loop*) maka kedua sisi loop, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.

Pasangan gaya tersebut menghasilkan tenaga putar (*torque*) untuk memutar kumparan. Motor listrik mempunyai beberapa jenis yang secara garis besar dibagi menjadi motor listrik arus searah (DC) dan motor listrik arus bolak balik (AC). Berikut merupakan gambar pembagian dari jenis – jenis motor listrik.



Gambar 2.2 Jenis – jenis Motor Listrik

(Sumber : <http://elektronika-dasar.web.id>)

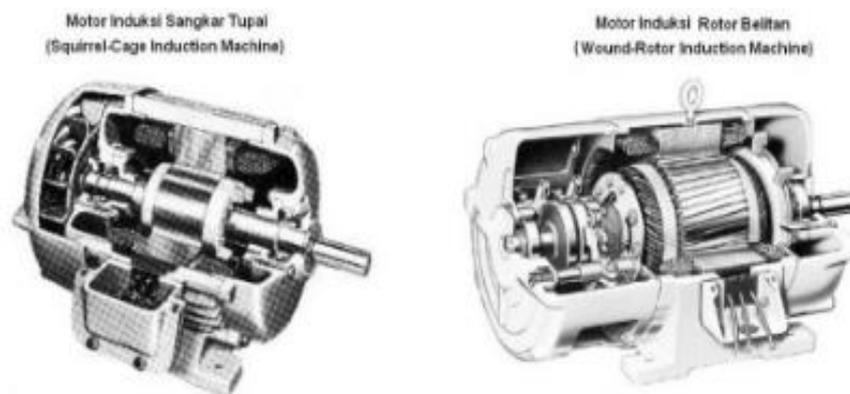
2.2 Motor Induksi^[1]

Motor induksi adalah motor listrik arus bolak balik (AC) yang putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan putar pada stator, dengan kata lain putaran rotor dengan putaran medan pada stator terdapat selisih putaran yang disebut slip. Motor induksi merupakan motor yang memiliki konstruksi yang baik, harganya lebih murah dan mudah dalam pengaturan kecepatan, stabil ketika berbeban dan mempunyai efisiensi tinggi. Motor induksi adalah motor (AC) yang paling banyak digunakan dalam industri dengan skala besar maupun kecil, dan dalam rumah tangga. Motor induksi ini pada umumnya hanya memiliki satu suplai tenaga yang mengeksitasi belitan stator. Belitan rotornya tidak terhubung langsung dengan sumber tenaga listrik, melainkan belitan ini dieksitasi oleh

^[1] Didit Very Kuswoyo, *Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa dari Gangguan Tidak Seimbang dan Temperatur Lebih Menggunakan Mikrokontroler*, Universitas Lampung, 2016, hlm. 6-7

induksi dari perubahan medan magnetik yang disebabkan oleh arus pada belitan stator.

Jika pada belitan stator diberi tegangan tiga fasa, maka pada belitan stator akan mengalir arus tiga fasa, arus ini menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron (n_s). medan magnet ini akan memotong belitan rotor, sehingga pada belitan rotor akan diinduksikan tegangan seperti halnya tegangan yang diinduksikan dalam lilitan sekunder transformator oleh fluksi yang dihasilkan arus pada belitan primer. Rangkaian rotor merupakan rangkaian tertutup, baik melalui cincin ujung atau tahanan luar. Tegangan induksi pada rotor akan menghasilkan arus yang mengalir pada belitan rotor. Arus yang mengalir pada belitan rotor berada dalam medan magnet yang dihasilkan stator, sehingga pada belitan rotor akan dihasilkan gaya (F). gaya ini akan menghasilkan torsi (τ) dan jika torsi yang dihasilkan lebih besar dari torsi beban, maka rotor akan berputar dengan kecepatan n_r yang searah dengan medan putar stator.



Gambar 2.3 Motor Induksi

2.3 Pompa Sentrifugal

Pompa sentrifugal adalah salah satu tipe pompa yang memanfaatkan energi kecepatan yang kemudian diubah menjadi energi tekanan sehingga dapat menggerakkan fluida cair dari lokasi sumber menuju lokasi target dengan menggunakan *impeller*. Jadi pompa sentrifugal pada prinsipnya dapat mengubah

energi mekanik dalam bentuk kerja poros menjadi energi fluida oleh gerakan sudu – sudu yang ada dalam *volute*. Energi yang dihasilkan dapat menghasilkan head tekanan, *head* kecepatan dan *head* potensial pada fluida cair yang mengalir secara kontinu.

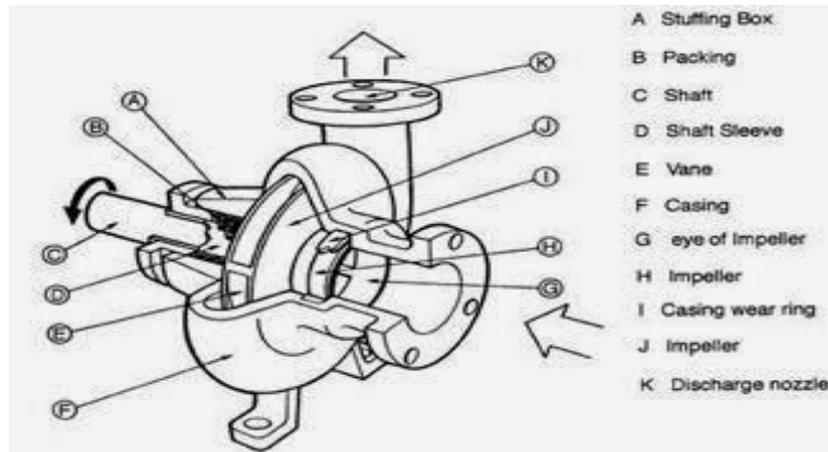


Gambar 2.4 Pompa Sentrifugal

(Sumber : <http://sunwins.com>)

Pompa digerakkan oleh motor. Daya dari motor diberikan kepada poros pompa untuk memutar impeller yang terpasang pada poros tersebut. Zat cair yang ada didalam impeller akan ikut berputar karena dorongan sudu-sudu. Karena timbul gaya sentrifugal maka zat cair mengalir dari tengah impeller keluar melalui saluran diantara sudu – sudu dan meninggalkan impeller dengan kecepatan tinggi. Zat cair yang keluar dari impeller dengan kecepatan tinggi ini kemudian akan keluar melalui saluran yang penampangnya makin membesar (*volute/difuser*) sehingga terjadi perubahan dari head kecepatan menjadi head tekanan. Oleh sebab itu zat cair yang keluar dari flens pompa memiliki head total yang lebih besar.

Secara umum bagian-bagian utama pompa sentrifugal dapat dilihat seperti gambar berikut :^[2]



Gambar 2.5 Bagian – Bagian Pompa Sentrifugal

(Sumber : <http://www.maritimeworld.web.id>)

Tabel 2.1 Bagian – Bagian Pompa Sentrifugal dan Fungsinya

Nama Bagian	Fungsi
<i>Stuffing Box</i>	<i>Stuffing Box</i> berfungsi untuk mencegah kebocoran pada daerah dimana poros pompa menembus <i>casing</i> .
<i>Packing</i>	Digunakan untuk mencegah dan mengurangi bocoran cairan dari <i>casing</i> pompa melalui poros. Biasanya terbuat dari asbes atau teflon.
<i>Shaft</i> (poros)	Poros berfungsi untuk meneruskan momen puntir dari penggerak selama beroperasi dan tempat kedudukan <i>impeller</i> dan bagian-bagian berputar lainnya.
<i>Shaft sleeve</i>	<i>Shaft sleeve</i> berfungsi untuk melindungi poros dari erosi, korosi dan keausan pada <i>stuffing box</i> . Pada pompa multi stage dapat sebagai <i>leakage joint</i> , <i>internal bearing</i> dan <i>interstage</i> atau <i>distance sleever</i> .

^[2] <http://www.maritimeworld.web.id/2014/04/apa-yang-dimaksud-dengan-pompa-centrifugal.html>.
Diakses Pada 3 Mei 2017, 15:30 WIB



<i>Vane</i>	Sudu dari <i>impeller</i> sebagai tempat berlalunya cairan pada <i>impeller</i> .
<i>Casing</i>	Merupakan bagian paling luar dari pompa yang berfungsi sebagai pelindung elemen yang berputar, tempat kedudukan diffusor (<i>guide vane</i>), inlet dan outlet nozel serta tempat memberikan arah aliran dari <i>impeller</i> dan mengkonversikan energi kecepatan cairan menjadi energi dinamis (<i>single stage</i>).
<i>Eye of Impeller</i>	Bagian sisi masuk pada arah isap <i>impeller</i> .
<i>Impeller</i>	<i>Impeller</i> berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari pompa menjadi energi kecepatan pada cairan yang dipompakan secara kontinyu, sehingga cairan pada sisi isap secara terus menerus akan masuk mengisi kekosongan akibat perpindahan dari cairan yang masuk sebelumnya.
<i>Wearing Ring</i>	<i>Wearing ring</i> berfungsi untuk memperkecil kebocoran cairan yang melewati bagian depan <i>impeller</i> maupun bagian belakang <i>impeller</i> , dengan cara memperkecil celah antara casing dengan <i>impeller</i> .
<i>Bearing</i>	<i>Bearing</i> (bantalan) berfungsi untuk menumpu dan menahan beban dari poros agar dapat berputar, baik berupa beban radial maupun beban axial. <i>Bearing</i> juga memungkinkan poros untuk dapat berputar dengan lancar dan tetap pada tempatnya, sehingga kerugian gesek menjadi kecil.

Motor pompa sentrifugal merupakan suatu bagian dari sistem sirkulasi yang ada di banyak pabrik atau industri. Dengan digerakkan oleh motor induksi, pompa sentrifugal dapat menjalankan kerjanya dengan cara memompa fluida



dengan kecepatan putar motor sehingga fungsional dari pompa ini bermacam – macam sesuai pengaplikasiannya di setiap industri. Di JOB Pertamina – Talisman Jambi Merang terdapat beberapa motor pompa sentrifugal baik dari kelas *Medium Voltage* (MV) maupun *Low Voltage* (LV). Dan berikut merupakan daftar motor pompa sentrifugal *Medium Voltage* dan motor pompa *Low Voltage* yang ada di JOB Pertamina – Talisman Jambi Merang.

Tabel 2.2 Data Sheet Motor Pompa Medium Voltage

(Sumber : JOB Pertamina - Talisman Jambi Merang)

No	Serial Tag Number	Description	Induction Motor Listing											
			Bearing		Speed (rpm)	Voltage (V)	Ampere (A)	Frequency (Hz)	Power (kw)	Cos Q	Manufacturer	Weight (KG)	Motor type	Reff no
			DE	NDE										
1	SK-65-PM-01A/B	Hot Oil Circulation Pump A/B	6317 M/C3	6317 M/C3	2981	6600	43	50	425	0.9	ABB	3870	AMD 400L2 R BABg M	80900 03722 .1
2	SK-55-PM-01A/B	NGL Shipping Pump A/B	6217 M/C3 J20AA	7217 BEM	2996	6600	36	50	339	0.89	ABB	5908.3 2 lb	AMD 400L2 R VABg M	80900 04694 .01
3	SK-25-PM-05A/B	Lean Solvent Circulation Pump A/B	6317 M/C3	6317 M/C3 J20AA	2975	6600	60	50	600	0.92	ABB	3800	AMD5 00L2 T BAB M	87081 01610 .01
4	SK-25-PM-03A/B	Lean Solvent Booster Pump A/B	6316 M/C3	6316 M/C3 VL024 1	2977	6600	19	50	185	0.9	ABB	2170	AMD 355L2 R BABg M	87081 01562 .1
5	SK-35-KM-01A/B	Stabilizer Overhead Compressor A/B	6324/ C3	6322/ C3	742	6600	49	50	430	0.8	ABB	4540	HXR 450L G8	7805 HF30 0 or 46088 55

Tabel 2.3 Data Sheet Motor Pompa Low Voltage Process

(Sumber : JOB Pertamina - Talisman Jambi Merang)

No.Unit	Keterangan Alat	η	pf	V	kW	kVAR	kVA
SK-25-PM-02A	Rich Solvent Pump A	0.95	0.87	400	75	24.6	78.95
SK-25-PM-02B	Rich Solvent Pump B	0.95	0.87	400	75	24.6	78.95
SK-25-PM-04A	Amine Regenerator Reflux Pump A	0.87	0.92	400	7.5	4.25	8.62
SK-25-PM-04B	Amine Regenerator Reflux Pump B	0.87	0.92	400	7.5	4.25	8.62
SK-25-PM-07A	Solvent Drain Pump A	0.86	0.92	400	5.5	3.26	6.39



SK-25-PM-09A	Transfer pump A	0.87	0.92	400	7.5	4.25	8.62
SK-25-PM-11A	LP Anti foam injection pump A	0.77	0.76	400	0.55	0.46	0.7
SK-25-PM-11B	LP Anti foam injection pump B	0.77	0.76	400	0.55	0.46	0.7
SK-25-PM-12A	HP Anti foam injection pump A	0.77	0.76	400	0.55	0.46	0.7
SK-25-PM-12B	HP Anti foam injection pump B	0.77	0.76	400	0.55	0.46	0.7
SK-30-K-01-PM-01	Lube Oil Pump	0.72	0.8	400	0.55	0.53	0.76
SK-35-K-01A-PM-01	Stabilizer Overhead Compressor Lube Oil Pump A	0.8	0.82	400	4	3	5
SK-35-K-01B-PM-01	Stabilizer Overhead Compressor Lube Oil Pump B	0.8	0.82	400	4	3	5
SK-45-PM-02A	Expander/Recompr LO Pump A	0.86	0.84	400	7.5	4.4	8.7
SK-45-PM-02B	Expander/Recompr LO Pump B	0.86	0.84	400	7.5	4.4	8.7
SK-45-PM-03	Expander/Recompr Fill Pump	0.83	0.82	400	4	2.69	4.82
SK-45-PM-01A	De-ethanizer Reflux Pump A	0.87	0.85	400	11	6.23	12.6
SK-45-PM-01B	De-ethanizer Reflux Pump B	0.87	0.85	400	11	6.23	12.6
SK-25-P-03A-EM-01	Seal Cooler Lean Solvent Booster Pump A	0.72	0.58	400	0.55	0.5	0.76
SK-25-P-03B-EM-01	Seal Cooler Lean Solvent Booster Pump B	0.72	0.58	400	0.55	0.5	0.76
SK-65-P-01-EM-01A	Seal Cooler Hot Oil Circulation Pump 1A	0.77	0.8	400	1.5	1.24	1.95
SK-65-P-01-EM-02A	Seal Cooler Hot Oil Circulation Pump 1A	0.77	0.8	400	1.5	1.24	1.95
SK-65-P-01-EM-01B	Seal Cooler Hot Oil Circulation Pump 1B	0.77	0.8	400	1.5	1.24	1.95
SK-65-P-01-EM-02B	Seal Cooler Hot Oil Circulation Pump 2B	0.77	0.8	400	1.5	1.24	1.95

Tabel 2.4 Data Sheet Motor Pompa Low Voltage Utility

(Sumber : JOB Pertamina - Talisman Jambi Merang)

No.Unit	Keterangan Alat	η	pf	V	kW	kVAR	kVA
SK-25-PM-01A	Water Wash Pump A	0.83	0.82	400	3.7	2.58	4.51
SK-25-PM-01B	Water Wash Pump B	0.83	0.82	400	3.7	2.58	4.51



SK-25-PM-06A	Water Make Up Pump A	0.89	0.81	400	7.5	5.43	9.26
SK-25-PM-06B	Water Make Up Pump B	0.89	0.81	400	7.5	5.43	9.26
SK-25-PM-06C	Water Make Up Pump C	0.89	0.81	400	7.5	5.43	9.26
SK-25-PM-13A	Solvent Drain Drum Sump Pump A	0.83	0.82	400	4	2.79	4.88
SK-65-PM-02	Hot Oil Make-up Pump	0.78	0.8	400	2.2	1.65	2.75
SK-75-PM-01A	LP Flare KO Drum Pump A	0.83	0.82	400	4	2.79	4.88
SK-75-PM-02A	LP Flare KO Drum Booster Pump A	0.93	0.86	400	37	21.95	43.02
SK-75-PM-03	LP Flare KO Drum Sump Pump B	0.83	0.82	400	4	2.79	4.88
SK-90-PM-03A	Demineralized Water Pump A	0.73	0.81	400	11	7.96	13.58
SK-90-PM-03B	Demineralized Water Pump B	0.73	0.81	400	11	7.96	13.58
SK-96-PM-03	Cold Close Drain Pump	0.8	0.82	400	3	2.09	3.66
SK-97-PM-01	Skim Oil Pump	0.78	0.8	400	2.2	1.65	2.75
SK-98-PM-02A	Methanol Injection Pump A	0.86	0.84	400	7.5	4.84	8.93
SK-98-PM-02B	Methanol Injection Pump B	0.86	0.84	400	7.5	4.84	8.93
SK-98-PM-02C	Methanol Injection Pump C	0.86	0.84	400	7.5	4.84	8.93
SK-98-PM-02D	Methanol Injection Pump D	0.86	0.84	400	7.5	4.84	8.93
SK-98-PM-02F	Methanol Injection Pump F	0.73	0.81	400	7.5	5.43	9.26

Tabel 2.5 Data Sheet Motor Pompa Low Voltage Accomodation

(Sumber : JOB Pertamina - Talisman Jambi Merang)

No.Unit	Keterangan Alat	η	pf	V	kW	kVAR	kVA
SK-90-PM-01A	Deep Well Pump A	0.86	0.84	400	7.5	4.84	8.93
SK-90-PM-01B	Deep Well Pump B	0.86	0.84	400	7.5	4.84	8.93
SK-90-PM-02A	Potable Water Pump A	0.86	0.83	400	5.5	3.7	6.63
SK-90-PM-02B	Potable Water Pump B	0.86	0.83	400	5.5	3.7	6.63



Tabel 2.6 Data Sheet Motor Pompa Low Voltage Essential

(Sumber : JOB Pertamina - Talisman Jambi Merang)

No.Unit	Keterangan Alat	η	Pf	V	kW	kVAR	kVA
G01A-B321	Pre/Post LO Pump GTG-A	0.77	0.8	400	1.5	1.125	1.875
G01B-B321	Pre/Post LO Pump GTG-B	0.77	0.8	400	1.5	1.125	1.875
SK-81-PM-01A	Fuel Booster Pump A	0.73	0.79	400	0.75	0.58	0.95
SK-81-PM-01B	Fuel Booster Pump B	0.73	0.79	400	0.75	0.58	0.95
G01A-B343	Primary Fuel Pump A	0.86	0.84	400	7.5	4.84	8.93
G01B-B343	Primary Fuel Pump B	0.86	0.84	400	7.5	4.84	8.93
SK-71-PM-03A	Diesel Pump A	0.86	0.83	400	5.5	3.7	6.63
SK-71-PM-03B	Diesel Pump B	0.86	0.83	400	5.5	3.7	6.63
SK-75-PM-01B	LP Flare KO Drum Pump B	0.83	0.82	400	4	2.8	4.88
SK-75-PM-02B	LP Flare KO Drum Booster Pump B	0.93	0.86	400	37	21.9	43
SK-95-PM-03	Jockey Pump	0.87	0.85	400	7.5	4.65	8.8

2.4 Gangguan Pada Motor Pompa Sentrifugal

Dalam kondisi kerja normal, temperatur motor yang pada kondisi baik cenderung konstan dan saat terjadi ketidakberesan karena pengaruh elektrik atau mekanik maka akan terjadi kenaikan temperatur. Pada beberapa tipe motor, terdapat batasan kenaikan temperatur maksimal yang boleh diijinkan, namun apabila terjadi kenaikan yang diluar diijinkan motor, harus segera berhenti atau terlepas dari sumber agar kerusakan yang lebih fatal dapat dihindari.

Pompa sentrifugal adalah salah satu jenis pompa *Non-Positif Displacement Pump (Dynamic)* yang berarti energi yang diberikan secara terus menerus untuk meningkatkan kecepatan cairan yang berada dipompa saat mendekati discharge kecepatan cairan tersebut diubah menjadi tekanan. Pompa sentrifugal adalah alat yang berfungsi untuk memindahkan fluida yang berupa cairan dari suatu tempat ke tempat lain melalui media pipa (saluran) dan berlangsung secara kontinyu dengan cara menambah energi pada cairan yang akan dipindahkan dengan sumber tenaga (*driver*) motor listrik atau *steam turbin*. Prinsip Kerja Pompa sentrifugal merubah energi mekanis yang berasal dari penggerak menjadi energi Kinetis



(kecepatan) pada cairan melalui sudu-sudu pompa, kemudian merubah energi kinetis tersebut dirubah menjadi energi potensial (dinamis). Gangguan yang sering terjadi pada motor pompa sentrifugal yaitu :

- a. Gangguan arus lebih yang terdiri dari arus lebih hubung singkat dan arus beban lebih, gangguan ini disebabkan oleh beban lebih.
- b. Gangguan dari komponen mekanis motor, gangguan ini lebih bersifat kepada gangguan pada *bearingnya*, *fan* pendingin dan lain – lain, jika dibiarkan dalam waktu yang lama sangat berbahaya bagi motor tersebut.

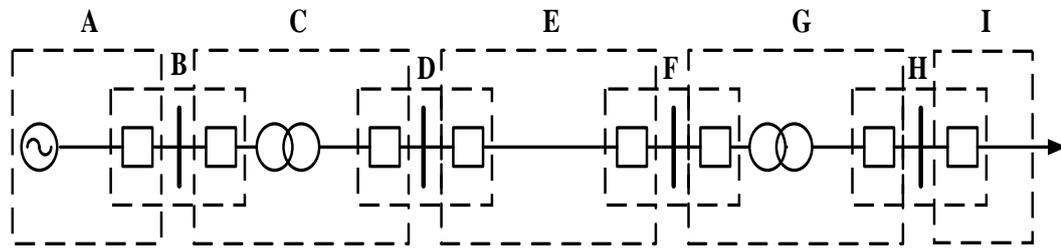
2.5 Sistem Proteksi^[3]

Sistem merupakan beberapa komponen yang saling berhubungan dan bekerja sama dengan tujuan tertentu. Sedangkan proteksi adalah pengamanan. Jadi, sistem proteksi merupakan beberapa komponen yang saling berhubungan dan bekerja sama untuk tujuan pengamanan.

2.5.1 Pembagian Daerah Proteksi

Peralatan sistem pengaman ini ditempatkan pada bagian – bagian sistem tenaga listrik yang memberikan suatu konsep daerah pengaman. Batas suatu daerah menentukan suatu bagian dari sistem sehingga untuk suatu gangguan dimanapun didalam daerah tersebut, sistem pengaman bertanggung jawab untuk memisahkan bagian yang terganggu dari sistem tenaga listrik. Oleh karena pemisahan atau pemutusan daya dalam keadaan terganggu itu dilakukan oleh pemutus rangkaian, maka pada tiap titik hubung antara peralatan dengan bagian lain harus disisipkan suatu pemutus rangkaian atau pemutus tenaga, dengan kata lain pemutus tenaga akan membantu penentuan batas daerah perlindungan.

^[3] Carlos R. Sitompul, *Praktikum Sistem Proteksi*, Palembang, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2013, hlm. 3-18



- | | |
|--|--|
| A. Pengaman generator | F. Pengaman switchgear tegangan tinggi |
| B. Pengaman switchgear tegangan rendah | G. Pengaman transformator daya |
| C. Pengaman transformator daya | H. Pengaman switchgear tegangan rendah |
| D. Pengaman switchgear tegangan tinggi | I. Pengaman saluran distribusi |
| E. Pengaman saluran transmisi | |

Gambar 2.6 Daerah – Daerah Pengaman^[3]

Aspek penting lain dari daerah perlindungan adalah daerah yang berdekatan selalu saling melindungi (*overlap*). Hal ini perlu karena suatu bagian sistem yang berada di daerah – daerah yang berdekatan betapapun kecilnya tidak boleh dibiarkan tanpa perlindungan seperti diperlihatkan pada gambar 2.6 namun jelas pula bahwa jika terjadi gangguan dibagian yang saling melindungi tersebut, suatu bagian yang lebih besar dari sistem tenaga akan dipisahkan dan tidak dapat memberikan pelayanan. Untuk mengurangi kemungkinan seperti itu, bagian yang menutupi dibuat sekecil mungkin.

2.5.2 Pembagian Tugas Dalam Sistem Proteksi

Dalam sistem proteksi pembagian tugas dapat diuraikan menjadi :

- Proteksi utama, berfungsi untuk mempertinggi keandalan, kecepatan kerja, dan fleksibilitas sistem proteksi dalam melakukan proteksi terhadap sistem tenaga.
- Proteksi pengganti, Berfungsi jika proteksi utama menghadapi kerusakan untuk mengatasi gangguan yang terjadi.
- Proteksi tambahan, berfungsi un/tuk pemakaian pada waktu tertentu sebagai pembantu proteksi utama pada daerah tertentu yang dibutuhkan.



2.5.3 Komponen Peralatan Proteksi

Seperangkat peralatan/komponen proteksi utama berdasarkan fungsinya dapat dibedakan menjadi :

- a. Rele Proteksi
- b. Pemutus tenaga (PMT) : Sebagai pemutus arus untuk mengisolir sirkuit yang terganggu.
- c. Transformator ukur
 - Trafo Arus : Meneruskan arus ke sirkuit relay.
 - Trafo Tegangan : Meneruskan tegangan ke sirkuit relay

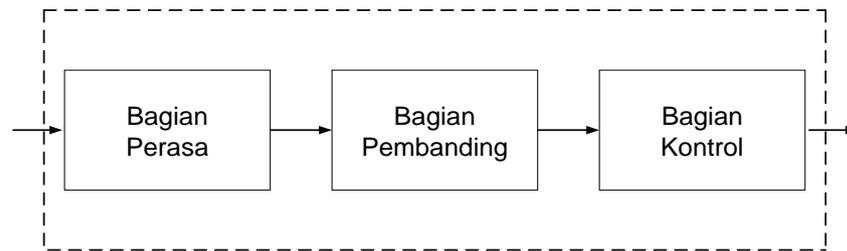
2.6 Rele Proteksi^[4]

Rele proteksi adalah sebuah peralatan listrik yang dirancang untuk mendeteksi bila terjadi gangguan atau sistem tenaga listrik tidak normal. Rele pengaman merupakan kunci kelangsungan kerja dari suatu sistem tenaga listrik, dimana gangguan segera dapat dilokalisir dan dihilangkan sebelum menimbulkan akibat yang lebih luas.

Rele proteksi mempunyai tiga elemen dasar yang bekerja saling terkait untuk memutuskan arus gangguan diantaranya adalah :

1. Bagian Perasa (*sensing element*)
Pada bagian ini, perubahan dari besaran ukur yang dirasakan selanjutnya diteruskan kebagian pembanding.
2. Bagian Pembanding (*comparing element*)
Yang akan membandingkan dan menentukan apakah besaran ukur itu masih dalam keadaan normat atau tidak.
3. Bagian Kontrol
Pada bagian ini pembukaan *circuit breaker* (PMT) atau pemberi tanda/signal diatur dan dilaksanakanKetiga elemen dasar rele proteksi di atas dapat dijelaskan oleh gambar 2.8 di bawah ini :

^[4] Hazairin Samaulah, 2004, *Dasar – Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Universitas Negeri Sriwijaya, hal 70-116



Gambar 2.7 Bagian Umum dari Suatu Rele Proteksi^[4]

2.6.1 Rele Proteksi Pada Generator^[5]

Generator adalah sebuah objek yang memiliki potensi bahaya yang sangat banyak, untuk itu dibutuhkan atensi dan perhatian lebih dalam hal proteksi. Potensi bahaya/masalah dalam generator dapat dikelompokkan dalam dua kategori, yaitu gangguan internal dalam daerah proteksi dan kondisi sistem tidak normal dan atau operasi tidak normal. Jadi pada dasarnya proteksi generator akan sama, baik untuk generator dengan penggerak mula *hydro*, batubara, gas atau nuklir. Ukuran Generator sangat bervariasi dan lokasi generator pada gardu atau pusat pembangkit umumnya dekat atau pada suplai penggerak mulanya dan atau sedekat mungkin dengan pusat beban.

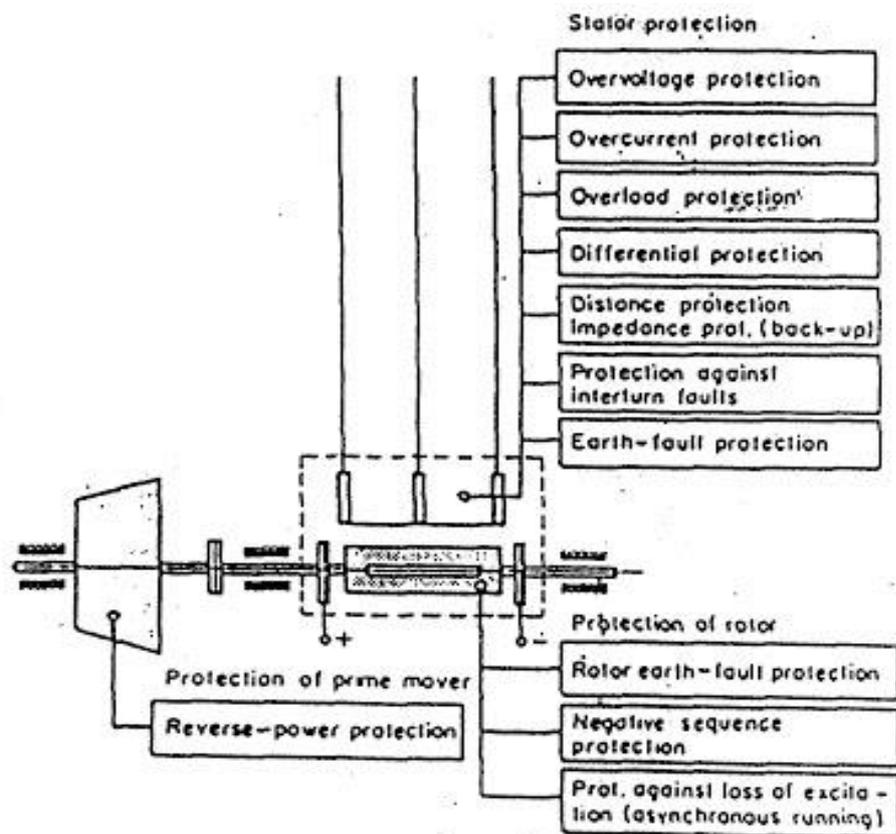
Masalah dari bahaya gangguan pada generator antara lain :

1. Gangguan Internal
 - a. Gangguan fasa dan atau gangguan tanah pada stator dan daerah proteksi yang berhubungan.
 - b. Gangguan tanah pada rotor (belitan medan)
2. Kondisi sistem dan atau operasi tidak normal
 - a. Kehilangan eksitasi (kehilangan medan) atau eksitasi kurang
 - b. Beban lebih
 - c. Tegangan lebih
 - d. Frekuensi kurang atau lebih

^[5] Hendra Marta Yudha, *Proteksi Rele : Prinsip dan Aplikasi*, Universitas Sriwijaya, 2008, hlm. 137-138

- e. Arus tidak seimbang-fasa tunggal
- f. Kehilangan penggerak mula
- g. Unit hubungan ketidak serempakan
- h. *Out-of step* (kehilangan sinkronisasi)
- i. Osilasi subsinkronisasi

Terdapat beberapa macam rele yang umum digunakan sebagai pengaman listrik pada generator. Adapun penempatan peralatan pengaman listrik pada generator secara umum adalah sebagai berikut :



Gambar 2.8 Penempatan Peralatan Pengaman Listrik pada Generator

(Sumber : <http://projects87.blogspot.co.id>)



Jenis rele yang umum digunakan pada sistem pengamanan elektris generator yang memiliki rating daya output yang cukup besar adalah :

1. Rele Tegangan Lebih (*Over Voltage Relay*)

Pada generator yang besar umumnya menggunakan sistem pentanahan netral melalui transformator dengan tahanan di sisi sekunder. Sistem pentanahan ini dimaksudkan untuk mendapatkan nilai impedansi yang tinggi sehingga dapat membatasi arus hubung singkat agar tidak menimbulkan bahaya kerusakan pada belitan dan saat terjadi gangguan hubung singkat stator ke tanah.

Arus hubung singkat yang terjadi di sekitar titik netral relatif kecil sehingga sulit untuk dideteksi oleh rele differensial. Dengan dipasang transformator tegangan, arus yang kecil tersebut akan mengalir dan menginduksikan tegangan pada sisi sekunder transformator. Untuk mengatasi hal tersebut digunakan rele pendeteksi tegangan lebih yang dipasang pada sisi sekunder transformator tegangan.

Tegangan yang muncul pada sisi sekunder transformator tegangan akan membuat rele tegangan berada pada kondisi mendeteksi apabila perubahan tegangan melebihi nilai settingnya dan generator akan *trip*. Rangkaian ini sangat baik karena dapat membatasi aliran arus nol yang mengalir ke dalam generator ketika terjadi hubung singkat fasa ke tanah di sisi tegangan tinggi transformator tegangan. Akan tetapi karena efek kapasitansi pada kedua belitan transformator dapat menyebabkan adanya arus bocor urutan nol yang dapat mengaktifkan rele tegangan lebih di sisi netral generator. Dengan demikian rele tegangan lebih yang dipasang harus mempunyai waktu tunda yang dapat dikoordinasikan dengan rele di luar generator

2. Rele Gangguan Stator Hubung Tanah (*Stator Earth Fault Relay*)

Gangguan hubungan tanah adalah gangguan yang paling banyak terjadi. Arus gangguan hubung tanah yang terjadi belum tentu cukup besar untuk dapat mengoperasikan rele arus lebih.

Rele gangguan tanah ini dipasang pada sirkuit stator seperti umumnya rele hubung tanah pada sirkuit 3 fasa yaitu dengan menjumlah melalui transformator



arus ke 3 fasa yang ada. Jika tidak terdapat gangguan hubung tanah jumlah ini sama dengan 0, tapi jika terdapat gangguan hubung tanah maka jumlah ini tidak sama dengan 0 lalu rele akan bekerja.

Rele ini akan mendeteksi gangguan hubung tanah yang terjadi pada sirkuit yang terhubung dengan sirkuit stator dari generator. Untuk membatasi pendeteksian gangguan hubung tanah yang terjadi pada stator generator saja dipakai rele hubung tanah terbatas, dimana jumlah arus dari 3 fasa tersebut dijumlah lagi dengan arus yang dideteksi transformator arus pada konduktor pentanahan titik netral generator.

3. Rele Daya Balik (*Reverse Power Relay*)

Rele daya balik berfungsi untuk mendeteksi aliran daya balik aktif yang masuk pada generator. Berubahnya aliran daya aktif pada arah generator akan membuat generator menjadi motor, dikenal sebagai peristiwa *motoring*. Pengaruh ini disebabkan oleh pengaruh rendahnya input daya dari *prime mover*. Bila daya input ini tidak dapat mengatasi rugi-rugi daya yang ada maka kekurangan daya dapat diperoleh dengan menyerap daya aktif dari jaringan. Selama penguatan masih ada maka aliran daya aktif generator sama halnya dengan saat generator bekerja sebagai motor, sehingga daya aktif masuk ke generator dan daya reaktif dapat masuk atau keluar dari generator.

Peristiwa *motoring* ini dapat juga menimbulkan kerusakan lebih parah pada turbin ketika aliran uap berhenti. Temperatur sudu-sudu akan naik akibat rugi gesekan turbin dengan udara. Untuk itu di dalam turbin gas dan uap dilengkapi sensor aliran dan temperatur yang dapat memberikan pesan pada rele untuk *trip*. Akan tetapi pada generator juga dipasang rele daya balik yang berfungsi sebagai cadangan bila pengaman di turbin gagal bekerja.

4. Rele Gangguan Rotor Hubung Tanah (*Rotor Earth Fault Relay*)

Hubung tanah dalam sirkuit rotor, yaitu hubung singkat antara konduktor rotor dengan badan rotor dimana dapat menimbulkan distorsi medan magnet yang dihasilkan rotor dan selanjutnya dapat menimbulkan getaran (vibrasi) berlebihan



dalam generator. Oleh karena itu, hal ini harus dihentikan oleh rele rotor hubung tanah. Karena sirkuit rotor adalah sirkuit arus searah, maka rele rotor hubung tanah pada prinsipnya merupakan rele arus lebih untuk arus searah.

5. Rele Fasa Urutan Negatif (*Negative Phase Sequence Relay*)

Arus yang tidak seimbang pada stator akan menimbulkan arus urutan negatif dalam stator. Arus urutan negatif ini akan menimbulkan medan magnet yang berlawanan arah terhadap rotor dan menghasilkan arus putar eddy. Pada permukaan rotor, arus pusar ini akan menimbulkan panas yang pada akhirnya dapat menyebabkan *over-heat*. Efek pemanasan yang ditimbulkan dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur bagian-bagian rotor yang juga dapat menimbulkan getaran pada rotor.

6. Rele Diferensial (*Differential Relay*)

Rele ini berfungsi untuk mendeteksi gangguan dalam kumparan stator generator dan harus bekerja lebih cepat daripada rele arus lebih agar terdapat selektifitas. Prinsip kerja rele ini adalah membandingkan arus yang masuk dan keluar dari kumparan stator generator. Apabila terdapat selisih, berarti terdapat gangguan dalam kumparan stator generator. CT pertama dipasang pada bagian dekat pentanahan stator, sedangkan CT kedua dipasang pada bagian output stator. Selisih arus yang terdeteksi di antara kedua zona inilah yang mengoperasikan rele diferensial.

7. Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Rele arus lebih adalah suatu rele yang bekerja berdasarkan kenaikan besaran arus yang melebihi suatu nilai pengamanan tertentu dan dalam jangka waktu tertentu, sehingga dapat digunakan sebagai pola pengamanan arus lebih atau hubung singkat. Rele arus lebih tidak hanya bekerja karena adanya kenaikan arus tetapi yang terpenting adalah kemampuan rele untuk mendeteksi atau memonitor kenaikan arus bila telah melampaui batas arus dan waktu yang telah



ditentukan. Ujuk kerja (*performance*) rele dipengaruhi oleh konstruksinya yaitu prinsip elektromekanik atau elektronik dengan saklar statis.

8. Rele Gangguan Frekuensi (*Frequency Fault Relay*)

Rele ini berfungsi untuk mendeteksi adanya perubahan frekuensi dalam nilai yang besar secara tiba – tiba. Kisaran frekuensi yang diijinkan adalah $\pm 3\%$ sampai $\pm 7\%$ dari nilai frekuensi nominal. Penurunan frekuensi disebabkan oleh adanya kelebihan permintaan daya aktif di jaringan atau kerusakan regulator frekuensi. Frekuensi yang turun menyebabkan naiknya arus magnetisasi pada generator yang akan menaikkan temperatur. Pada turbin uap, hal tersebut akan mereduksi umur *blade* pada rotor. Kenaikan frekuensi disebabkan oleh adanya penurunan permintaan daya aktif pada jaringan atau kerusakan regulator frekuensi. Frekuensi yang naik akan menyebabkan turunnya nilai arus magnetisasi pada generator yang akan menyebabkan generator kekurangan medan penguat. Sensor rele frekuensi dipasang pada tiap fasa yang keluar dari generator.

9. Rele Impedansi (*Impedance Relay*)

Rele ini berfungsi untuk mendeteksi gangguan antar fasa pada posisi output generator (di saluran penghantar atau *feeder*). Dengan adanya setting keterlambatan waktu, rele ini memberi kesempatan terlebih dahulu pada relay penghantar untuk mengatasi gangguan tersebut. Sensor rele ini berupa transformator tegangan, transformator arus, serta elemen *directional* yang hanya melihat gangguan yang ada pada posisi output generator saja, sehingga apabila terjadi gangguan dalam generator itu sendiri atau pada input generator (turbin atau *exciter*), rele tidak akan bekerja karena zona tersebut tidak berada dalam zona pengamanan yang dapat diamankan oleh rele impedansi.

10. Rele Kehilangan Medan Penguat Rotor (*Lost of Rotor Excitation Relay*)

Hilangnya medan penguat pada rotor akan mengakibatkan generator kehilangan sinkronisasi dan berputar di luar kecepatan sinkronnya sehingga generator beroperasi sebagai generator asinkron. Daya reaktif yang diambil dari



sistem ini akan dapat melebihi *rating* generator sehingga menimbulkan *overload* pada belitan stator dan menimbulkan *overheat* yang menimbulkan penurunan tegangan generator. Hilangnya medan penguat rotor dapat dideteksi dengan kumparan yang dipasang paralel dengan *main exciter* dan kumparan rotor generator. Pada kumparan ini akan mengalir arus yang apabila nilainya kurang dari arus *setting* yang diinginkan, maka akan membuat rele mengeluarkan sinyal alarm atau *trip*.

11. Rele Kehilangan Sinkronisasi (*Out of Synchronism Relay*)

Peristiwa lepasnya sinkronisasi pada generator yang sedang beroperasi disebabkan oleh generator yang beroperasi melampaui batas stabilnya. Yang dimaksud dengan stabilitas adalah kemampuan sistem untuk kembali bekerja normal setelah mengalami sesuatu seperti perubahan beban, *switching*, dan gangguan lain. Gangguan tersebut akan berdampak pada tidak sinkronnya tegangan generator dan sistem. Untuk mengamankan generator yang berkapasitas beban besar terhadap peristiwa ayunan beban dari kondisi tak sinkron digunakan rele lepas sinkron. Rele ini mendeteksi besar impedansi (arus dan tegangan sistem). Apabila kondisi sistem akan memasuki impedansi generator maka rele tersebut akan mengaktifkan rele untuk *trip* PMT generator. Rele impedansi merupakan *backup* bagi rele ini.

2.6.2 Rele Proteksi Pada Transformator^[4]

Proteksi transformator penaik tegangan generator sudah tercakup dalam proteksi generator. Apabila dalam suatu pusat listrik terdapat transformator antar rel, maka transformator semacam ini umumnya mempunyai proteksi yang meliputi :

1. Rele Arus Lebih di sisi primer dan sisi sekunder

Rele ini berfungsi melindungi transformator terhadap arus lebih yang dapat terjadi karena pembebanan yang berlebihan dan terjadi gangguan hubung singkat antar fasa diluar maupun didalam transformator.

2. Rele Hubung Tanah



Rele ini berfungsi melindungi transformator terhadap gangguan hubung tanah yang terjadi di dalam maupun di luar transformator. Gangguan hubung tanah adalah gangguan yang paling banyak terjadi. Rele hubung tanah pada prinsipnya adalah rele yang mendeteksi adanya arus urutan nol karena gangguan hubung tanah menghasilkan arus urutan nol.

3. Rele Differensial

Rele ini berfungsi melindungi transformator terhadap gangguan dari dalam (internal) transformator tersebut. Apabila terjadi gangguan dalam transformator, maka timbul selisih antara arus yang masuk dan keluar dari transformator bersangkutan dan selisih arus inilah yang mengoperasikan rele differensial ini. Rele differensial transformator pada prinsipnya sama dengan rele differensial generator.

4. Rele Hubung Tanah Terbatas

Rele ini berfungsi melindungi transformator terhadap gangguan hubung tanah yang terjadi dalam transformator. Prinsip kerjanya hampir sama dengan rele differensial tetapi yang dideteksi adalah selisih antara arus urutan nol yang masuk dan yang keluar dari transformator, mengingat bahwa gangguan hubung tanah menghasilkan arus urutan nol.

5. Rele Buchholz

Rele ini mendeteksi terjadinya gelembung-gelembung gas dalam transformator. Apabila terjadi gelembung gas yang banyak dalam transformator (yang menandakan terjadinya loncatan busur listrik yang cukup banyak), maka rele ini bekerja dan men-*trip* pemutus tenaga (PMT) baik di sisi primer maupun sekunder.

6. Rele Suhu

Rele suhu ini mengukur suhu kumparan transformator. Cara kerja dan fungsinya serupa dengan rele suhu pada generator. Pada suhu tertentu rele ini akan membunyikan alarm. Jika suhu kumparan transformator terus naik, maka rele ini kemudian men-*trip* PMT transformator di sisi primer dan sekunder.



7. Rele Tekanan Mendadak

Rele ini fungsinya sama dengan rele Buchholz, hanya saja yang dideteksi adalah tekanan gas dalam transformator yang naik secara mendadak.

8. Rele Tangki Tanah

Karena bagian-bagian logam (misalnya inti kumparan) dan transformator ditanahkan melalui tangki transformator, maka rele tangki tanah yang mendeteksi arus yang mengalir antara tangki dan tanah sesungguhnya juga merupakan rele gangguan hubung tanah.

9. Rele Arus Urutan Negatif

Apabila salah satu kawat fasa putus atau lepas kontak, maka timbul arus urutan negatif yang dapat dideteksi oleh rele arus urutan negatif ini. (Marsudi, 2011 : 40)

2.6.3 Rele Proteksi Pada Transmisi^[4]

Sistem proteksi saluran transmisi ada dua jenis, yaitu : Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT). Adapun relay proteksi yang terdapat pada jaringan transmisi (SUTT/SKTT) adalah sebagai berikut :

1. Rele Jarak

Rele ini berfungsi untuk memproteksi SUTT terhadap gangguan antar fasa maupun gangguan hubung tanah.

2. Rele Differensial Pilot Kabel

Rele ini berfungsi untuk memproteksi SKTT dan juga SUTT yang pendek terhadap gangguan antar fasa, maupun gangguan hubung singkat.

3. Rele Arus Lebih Berarah

Rele ini berfungsi untuk memproteksi SUTT terhadap gangguan antar fasa dan hanya bekerja pada satu arah saja. Karena relay ini dapat membedakan arah arus gangguan.



4. Rele Arus Lebih

Rele ini berfungsi untuk memproteksi SUTT/SKTT terhadap gangguan antar fasa, maupun gangguan hubung tanah dan rele ini berfungsi sebagai pengaman cadangan bagi SUTT dan SKTT.

5. Rele Gangguan Tanah Berarah

Rele ini berfungsi untuk memproteksi SUTT terhadap gangguan hubung tanah.

6. Rele Gangguan Tanah Selektif

Rele ini berfungsi untuk memproteksi SUTT (saluran ganda) terhadap gangguan hubung tanah.

7. Rele Tegangan Lebih

Rele ini berfungsi untuk memproteksi SUTT/SKTT terhadap tegangan lebih.

8. Rele Penutup Balik (*Recloser*)

Rele ini berfungsi untuk menormalkan kembali SUTT akibat gangguan hubung singkat yang temporer.

9. Rele Frekuensi Kurang

Rele ini berfungsi untuk melepas SUTT/SKTT bila terjadi penurunan frekuensi sistem. (Samaulah, 2004 : 102-103)

2.6.4 Rele Proteksi Pada Distribusi^[4]

Adapun proteksi distribusi memiliki alat pengaman sebagai berikut :

1. Fuse (Sekring)

Merupakan pengaman bagian dari saluran dan peralatan dari gangguan hubung singkat antar fasa. Dapat pula sebagai pengaman hubung tanah bagi sistem yang diketanahkan langsung dan bagi peralatan pada sistem dengan tahanan rendah.

2. CB dengan Rele arus lebih



Sebagai pengaman utama sistem terhadap gangguan hubung singkat antar fasa dan hubung tanah bagi sistem yang diketanahkan langsung.

3. CB dengan Rele arus tanah dengan arah

Pengaman utama terhadap gangguan hubung tanah bagi sistem yang diketanahkan langsung dan diketanahkan dengan tahanan rendah.

4. CB dengan Rele arus tanah

Pengaman utama terhadap gangguan hubung tanah bagi sistem yang diketanahkan langsung dan diketanahkan dengan tahanan tinggi.

5. CB dengan Rele *Recloser* atau *Automatic Circuit Recloser* (disingkat ACR atau *Recloser*)

Pengaman pelengkap untuk membebaskan gangguan yang bersifat temporer. Dengan ACR jumlah pemutusan tetap dapat diperkecil 95 % dari gangguan yang bersifat temporer dapat dibebaskan.

6. ACR ke-2 dst

Disamping sebagai pengaman gangguan temporer, juga sebagai pembatas daerah yang padam karena gangguan.

7. Pemisah manual

Alat pemutus untuk mengurangi daerah yang padam karena gangguan dan mengurangi lamanya pemadaman.

8. AS (*Automatic Sectionalizer*)

Alat pemutus otomatis untuk mengurangi/membatasi daerah yang padam karena gangguan.

9. Indikator gangguan

Untuk mempercepat lokalisasi gangguan.



2.6.5 Rele Proteksi Pada Motor Listrik^[6]

Proteksi motor sangat variatif dan sedikit berbeda dengan proteksi peralatan sistem tenaga lainnya. Hal ini disebabkan sangat variatifnya ukuran, jenis dan aplikasi motor. Proteksi sangat tergantung dari seberapa berharganya motor tersebut, yang umumnya sangat erat kaitannya dengan ukuran motor.

Potensi-potensi bahaya yang umum diperhatikan, antara lain:

1. Gangguan - phasa dan atau tanah.
2. Kerusakan termis akibat :
 - a. Beban lebih (kontinyu atau *intermitent*)
 - b. Rotor terkunci (gagal asut atau *jamming*)
3. Kondisi tidak normal
 - a. Operasi tidak seimbang
 - b. Tegangan lebih dan tegangan kurang
 - c. Pembalikan phasa
 - d. Penutupan balik kecepatan tinggi (*re-energize* sewaktu sedang jalan)
 - e. Temperatur yang tidak lazim dan atau lingkungan (dingin, panas, damp)
 - f. Urutan pengasutan yang tidak lengkap.

Potensi diatas umumnya terjadi untuk motor induksi, yang penggunaannya sangat umum dan banyak dipakai. Untuk motor-motor sinkron, potensi bahaya tambahan yang mungkin terjadi adalah:

1. Kehilangan eksitasi (kehilangan medan)
2. Operasi diluar sinkronisasi
3. Kehilangan sinkronisasi

Potensi-potensi bahaya ini dapat diklasifikasikan menurut asal, sebagai berikut:

1. Pengaruh Motor
 - a. Kegagalan isolasi
 - b. Kegagalan *bearing*
 - c. Kegagalan mekanis

^[6] <http://rakhman.net/relay-proteksi-pada-motor/> Diakses Pada : 12 Juni 2017. 15:35 WIB



- d. Kehilangan medan (untuk motor sinkron)
- 2. Pengaruh beban
 - 1. Beban lebih (dan beban berkurang)
 - 2. *Jamming*
 - 3. Inersia tinggi
- C. Pengaruh Lingkungan
 - 1. Temperatur ambein yang tinggi
 - 2. Tingkat kontaminasi yang tinggi
 - 3. Temperatur ambient yang terlalu dingin
- D. Pengaruh sumber atau sistem
 - 1. Kegagalan phasa (phasa terbuka)
 - 2. Tegangan lebih
 - 3. Tegangan kurang
 - 4. Pembalikan phasa
 - 5. Kondisi kehilangan sinkronisasi akibat gangguan dari sistem
- E. Pengaruh operasi dan aplikasi
 - 1. Sinkronisasi, penutupan atau penutupan balik phasa
 - 2. Siklus kerja tinggi
 - 3. *Jogging*
 - 4. Pembalikan cepat atau plug

Mayoritas beban pemakaian sendiri pada pembangkit listrik adalah motor listrik. Motor listrik digunakan sebagai penggerak pompa, *fan*, *valve*, dan lain sebagainya. Oleh karena itu motor listrik harus dilindungi dari ancaman gangguan yang mungkin terjadi pada motor tersebut. Berikut merupakan rele proteksi pada motor listrik :

1. Rele Arus Lebih

Rele arus lebih merupakan relay proteksi pada motor yang berfungsi untuk melindungi dari gangguan hubung singkat antar fasa. Gangguan hubung singkat dapat menyebabkan kerusakan pada belitan motor. Relay arus lebih bersifat instant, jadi jika ada gangguan harus segera mengisolasi motor yang dilindungi tersebut. *Overload* pada motor listrik disebabkan oleh pembebanan berlebih pada motor



sehingga putaran motor semakin berat. Semakin berat beban motor maka konsumsi arus listrik motor semakin besar, sehingga jika dibiarkan dalam waktu yang lama maka arus *overload* menyebabkan pemanasan pada belitan yang dapat merusak belitan tersebut

2. Rele *Unbalance*

Unbalance pada motor terjadi apabila ada ketidakseimbangan arus pada fasa sumber. Fenomena ini akan menyebabkan timbulnya arus urutan negative (*negative sequence*) yang dapat menyebabkan pemanasan pada motor.

3. Rele Hubung Singkat ke Tanah

Rele hubung singkat ke tanah berfungsi untuk mengamankan motor dari gangguan arus hubung singkat antara fasa dengan tanah.

4. Rele *Long Start*

Rele *long start current* adalah rele proteksi pada motor yang digunakan untuk mengamankan motor dari gangguan arus start yang lama. Seperti kita ketahui ketika motor listrik pertama kali dhidupkan maka akan mengkonsumsi arus yang lebih besar dari arus nominal. Arus start tersebut bias mencapai 6 kali dari arus nominalnya. Pada kondisi normal, arus start tersebut hanya berlangsung sesaat saja dan arus kembali ke arus nominal setelah motor berputar pada putaran nominal. Rele *long start* berfungsi mengamankan motor ketika arus *start* tersebut berlangsung lebih lama dari kondisi normal agar tidak terjadi pemanasan pada belitan motor. Relay longstart bersifat *definite time* (karakteristik tunda waktu).

5. Rele Temperatur

Rele temperatur merupakan rele proteksi pada motor yang digunakan untuk mengamankan motor listrik dari gangguan temperatur yang berlebih. Temperatur berlebih bias disebabkan oleh gangguan mekanik maupun gangguan elektrik. Gangguan mekanik contohnya adalah kegagalan sistem pendingin dan lain



sebagainya sedangkan gangguan elektrik contohnya adalah *overload*, *longstart* dan lain sebagainya.

2.7 Fungsi Rele Proteksi^[4]

Fungsi rele proteksi pada suatu sistem tenaga listrik antara lain :

- a. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sistem lain yang tidak terganggu, sehingga dapat beroperasi secara normal.
- b. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- c. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d. Memperkecil bahaya bagi manusia.

2.8 Syarat Rele Proteksi^[7]

Rele proteksi dalam fungsinya sebagai pengaman memiliki beberapa syarat yang harus dipenuhi, yaitu :

1. Kepekaan (*sensitivity*)

Pada prinsipnya rele harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya meskipun gangguan yang ada relatif kecil.

2. Keandalan (*reliability*)

Maksud dari keandalan adalah bahwa sebuah rele proteksi harus selalu berada pada kondisi yang mampu melakukan pengamanan pada daerah yang diamankan.

Keandalan memiliki 3 aspek, antara lain :

- a. *Dependability*, adalah kemampuan suatu sistem rele untuk beroperasi dengan baik dan benar. Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu),

^[7] <http://www.scribd.com/doc/239483176/Syarat-syarat-Relay-Proteksi#scribd>. Diakses Pada : 23 April 2017, 21:00 WIB



tidak boleh gagal bekerja. Dengan kata lain *dependability*-nya harus tinggi.

- b. *Security*, adalah tingkat kepastian suatu sistem rele untuk tidak salah dalam bekerja. Salah kerja, misalnya lokasi gangguan berada di luar pengamanannya, tetapi salah kerja mengakibatkan pemadaman yang seharusnya tidak perlu terjadi.
- c. *Availability*, adalah perbandingan antara waktu di mana pengaman dalam keadaan siap kerja (*actually in service*) dan waktu total operasinya.

3. Selektifitas (*selectivity*)

Maksudnya pengaman harus dapat membedakan apakah gangguan terletak di daerah proteksi utama dimana pengaman harus bekerja cepat atau terletak di luar zona proteksinya dimana pengaman harus bekerja dengan waktu tunda atau tidak bekerja sama sekali.

4. Kecepatan kerja (*Speed Of Operation*)

Untuk memperkecil kerugian atau kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Selang waktu sejak dideteksinya gangguan sampai dilakukan pemisahan gangguan merupakan penjumlahan dari waktu kerja rele dan waktu kerja pemutus daya. Namun pengaman yang baik adalah pengaman yang mampu beroperasi dalam waktu kurang dari 50 ms.

5. Sederhana (*Simplicity*)

Rele pengaman harus disusun sesederhana mungkin namun tetap mampu bekerja sesuai dengan tujuannya.

6. Ekonomis (*Economic*)

Faktor ekonomi sangat mempengaruhi pengaman yang akan digunakan. Namun sebaiknya pilihlah suatu sistem proteksi yang memiliki perlindungan maksimum dengan biaya yang minimum.

2.9 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)^[8]

Rele arus lebih adalah suatu rele dimana bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melewatinya. Agar peralatan tidak rusak bila dilewati arus yang melebihi kemampuannya, selain peralatan tersebut diamankan terhadap kenaikan arusnya, maka peralatan pengamannya harus dapat bekerja pada jangka waktu yang telah ditentukan. Seperti yang telah disinggung di depan, maka pengaturan waktu ini selain untuk keamanan peralatan juga sering dikaitkan dengan masalah koordinasi pengamanan.

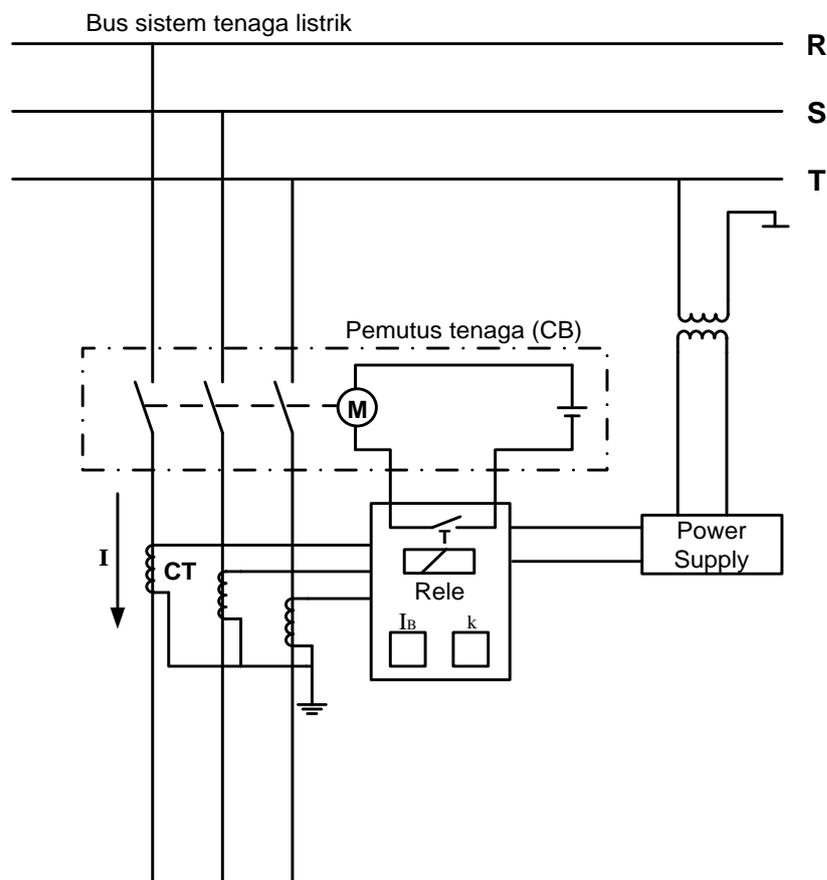
Berdasarkan pada prinsip kerja dan konstruksinya, maka rele jenis ini termasuk relay yang paling sederhana, murah dan mudah dalam penyetelannya. Rele jenis ini digunakan untuk mengamankan peralatan terhadap gangguan hubung singkat antar fasa, hubung singkat satu fasa ke tanah dan beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih.



Gambar 2.9 Rele Arus Lebih

(Sumber : <https://wiki.openelectrical.org>)

^[8] Muhammad Taqiyuddin Alawiy, *Proteksi Sistem Tenaga Listrik : Seri Relay Elektromagnetis*, Universitas Islam Malang, 2006. hlm. 20



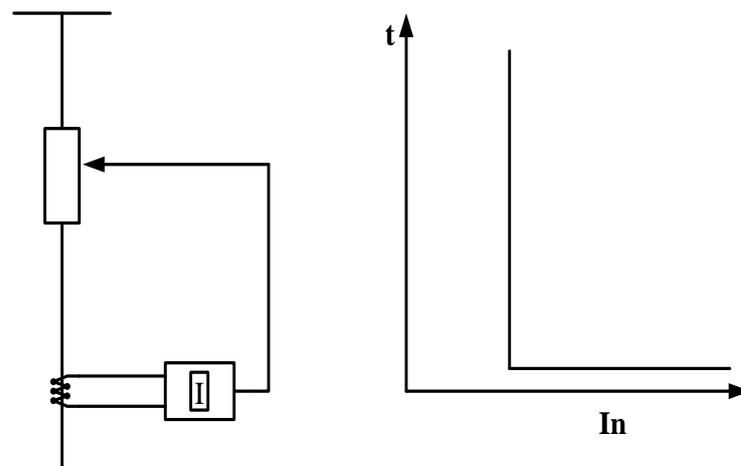
Gambar 2.10 Diagram Garis Rele Arus Lebih^[3]

Macam - macam karakteristik rele arus lebih :^[4]

- Rele arus lebih waktu seketika (*Instantaneous relay*)
- Rele arus lebih waktu tertentu (*Definite time relay*)
- Rele arus lebih waktu terbalik (*Inverse Relay*)

2.9.1 Rele Arus Lebih Waktu Seketika (*Instantaneous Time Relay*)

Rele yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, rele akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). Dapat kita lihat pada gambar dibawah ini.

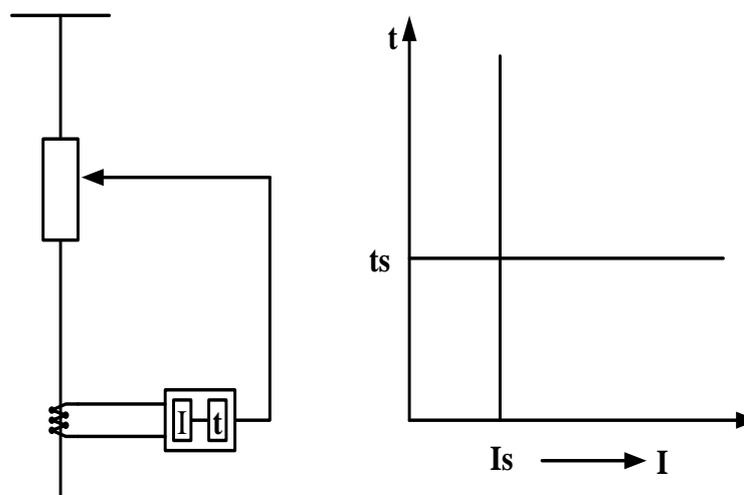


Gambar 2.11 Karakteristik Rele Waktu Seketika (*Instantaneous Relay*)

Rele ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik yang lain.

2.9.2 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time Relay*)

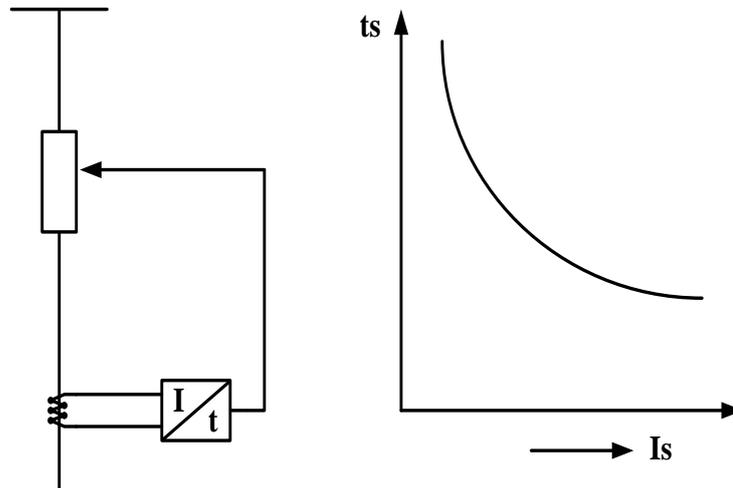
Rele ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya (I_s), dan jangka waktu kerja rele mulai *pick up* sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan rele, lihat gambar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



Gambar 2.12 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

2.9.3 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse Time Relay*)

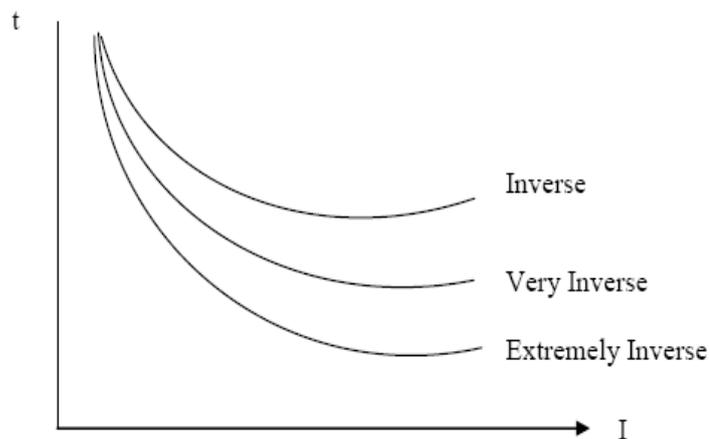
Rele ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya.



Gambar 2.13 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Terbalik

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

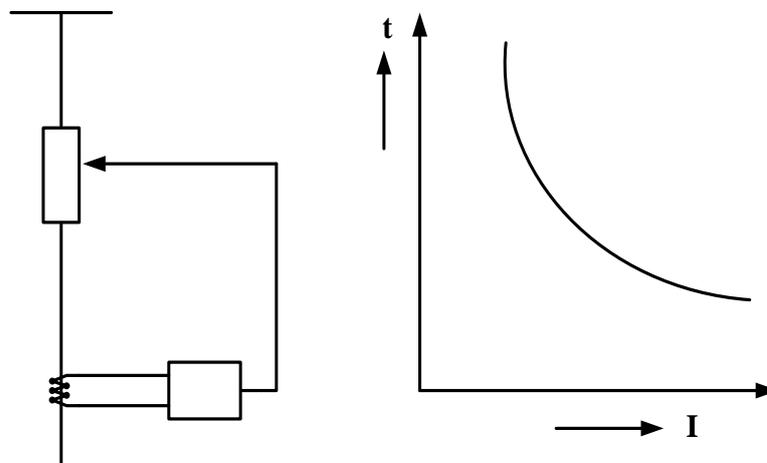
- *Standar inverse*
- *Very inverse*
- *Extreemely inverse*



Gambar 2.14 Kurva Perbandingan Waktu dan Arus *Inverse Relay*

2.9.4 Rele Arus Lebih *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT)

Rele arus lebih dengan karakteristik *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT) ialah jika jangka waktu rele arus mulai *pickup* sampai selesainya kerja rele mempunyai sifat waktu terbalik untuk nilai arus yang kecil setelah rele *pickup* dan kemudian mempunyai sifat waktu tertentu untuk nilai arus yang lebih besar. Rele arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu, berbanding terbalik dan IDMT dapat dikombinasikan dengan rele arus lebih dengan karakteristik seketika



Gambar 2.15 Rele Arus Lebih IDMT (*Inverse Definite Minimum Time*)

2.10 SEPAM 1000+^[9]

SEPAM atau *Square d'Electrical Protection and Monitoring* adalah suatu jajaran rele proteksi yang didesain untuk mengamankan operasional dari suatu mesin dan jaringan distribusi tenaga listrik pada instalasi industri.

Rele proteksi SEPAM yang digunakan di JOB Pertamina – Talisman Jambi Merang adalah tipe SEPAM 1000+ yang memiliki beberapa jenis dan kelas. Setiap kelas memiliki fitur dan fungsi yang berbeda-beda. SEPAM 1000+ memiliki 6 jenis yang berbeda dan tiap jenis memiliki 4 kelas. Berikut klasifikasi SEPAM berdasarkan jenis dan kelasnya :

^[9] *Electrical Network Protection SEPAM user manual*. Schneider Electric



- SEPAM 1000+ jenis S. Digunakan untuk proteksi *switchgear*.
- SEPAM 1000+ jenis B. Digunakan untuk proteksi *busbar*.
- SEPAM 1000+ jenis T. Digunakan untuk proteksi Transformator.
- SEPAM 1000+ jenis M. Digunakan untuk proteksi Motor listrik.
- SEPAM 1000+ jenis C. Digunakan untuk proteksi kapasitor bank.
- SEPAM 1000+ jenis G. Digunakan untuk proteksi generator.

Setiap jenis SEPAM 1000+ memiliki 4 kelas yang berbeda. Yaitu kelas 20, 40 dan 80. Setiap kelas memiliki fasilitas yang berbeda dalam beberapa hal seperti, fitur kelengkapan proteksi, fitur tampilan layar LCD, fitur kemampuan berkomunikasi, fitur diagnosis, fitur kartu ekspansi tambahan dan tentu saja fitur harga. Semakin besar jenis kelas SEPAM 1000+ semakin lengkap fitur proteksi yang dimiliki, semakin mudah untuk dihubungkan dengan perangkat lain dan semakin mahal harga per unitnya. Berikut adalah tabel karakteristik umum *relay* SEPAM 1000+ untuk seluruh jenis dan kelas yang dipasarkan :



Tabel 2.7 Karakteristik Umum SEPAM 1000+

Electrical characteristics				
analog inputs				
current transformer ⁽¹⁾		1 A CT		< 0.001 VA
1 A to 6250 A ratings		5 A CT		< 0.025 VA
voltage transformer		100 to 120 V		> 100 k Ω
220 V to 250 kV ratings				
input for RTDs ⁽²⁾ (MET 148 module)				
type of RTD		Pt 100		Ni 100 / 120
isolation from earth		no		no
logic inputs (MES 108 or MES 114 module)				
voltage ⁽²⁾		24 to 250 Vdc	-20/+10%	(from 19.2 to 275 Vdc)
consumption		3 mA typical		
control logic outputs (O1, O2, O11 contacts) ⁽²⁾				
voltage	DC	24 / 48 Vdc	127 Vdc	220 Vdc
	AC (47.5 to 63 Hz)			100 to 240 Vac
continuous rating		8 A	8 A	8 A
breaking capacity	resistive load	8 / 4 A	0.7 A	0.3 A
	L/R load < 20 ms	6 / 2 A	0.5 A	0.2 A
	L/R load < 40 ms	4 / 1 A	0.2 A	0.1 A
	resistive load			8 A
	load p.f. > 0.3			5 A
monitoring logic outputs (O3, O4, O12, O13, O14 contacts) ⁽²⁾				
voltage	DC	24 / 48 Vdc	127 Vdc	220 Vdc
	AC (47.5 to 63 Hz)			100 to 240 Vac
continuous rating		2 A	2 A	2 A
breaking capacity	L/R load < 20 ms	2 / 1 A	0.5 A	0.15 A
	load p.f. > 0.3			1 A
power supply ⁽²⁾				
	range	deactivated cons. ⁽³⁾	max. cons. ⁽³⁾	inrush current
24 Vdc	-20% +50 % (19.2 to 36 Vdc)	3 to 6 W	7 to 11 W	< 10 A for 10 ms
48 / 250 Vdc	-20% +10 %	2 to 4.5 W	6 to 8 W	< 10 A for 10 ms
110 / 240 Vac	-20% +10 % (47.5 to 63 Hz)	3 to 9 VA	9 to 15 VA	< 15 A for first half-period
analog output (MSA 141 module)				
current		4 - 20 mA, 0 - 20 mA, 0 - 10 mA		
load impedance		< 600 Ω (wiring included) ⁽²⁾		
accuracy		0.5%		

⁽¹⁾ wiring: maximum core section $\leq 6 \text{ mm}^2$ (\geq AWG 10) and ring lug terminal $\phi 4 \text{ mm}$.
⁽²⁾ wiring: 1 wire maximum core section 0.2 to 2.5 mm^2 (\geq AWG 24-12) or 2 wires maximum core section 0.2 to 1 mm^2 (\geq AWG 24-16).
⁽³⁾ according to configuration.

Pada SEPAM 1000+ mempunyai tipe 20, 40, dan 80 sesuai dengan fungsi dalam pengaplikasiannya dan dari tipe – tipe tersebut masih mempunyai

seri – seri yang berbeda yang dipergunakan di setiap industri. Berikut merupakan tabel seri – seri dari tipe SEPAM 1000+ berdasarkan fungsinya.^[10]

Tabel 2.8 Seri SEPAM 1000+ berdasarkan tipe dan fungsionalnya

Aplikasi	Series 20	Series 40	Series 80
Substation	S20	S40/S41/S42	S80/S81/S82
Transformer	T20	T40/T42	T81/T82/T87
Motor	M20	M41	M81/M87/M88
Generator		G40	G82/G87/G88
Busbar	B21/B22		

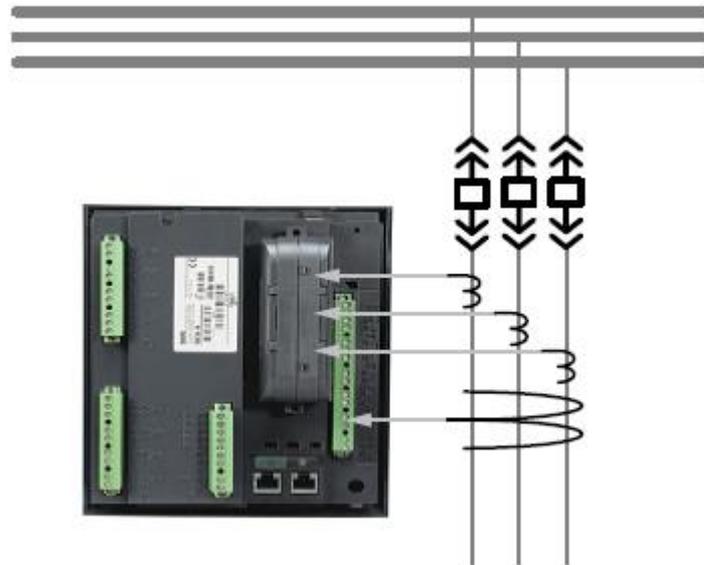
2.10.1 SEPAM 1000+ seri 20

SEPAM 1000+ seri 20 merupakan salah satu tipe dari SEPAM 1000+ yang dipergunakan sebagai proteksi pada motor, busbar, transformator, dan pada *substation*. Perangkat ini dapat melakukan pengukuran pada arus dan tegangan sesuai dengan pengaplikasiannya. SEPAM 1000+ seri 20 ini memiliki 10 *logic inputs* dan 8 *relay output*. Kontrol dayanya menggunakan tegangan berkisar 24/250 Vdc atau 110/240 Vac. Berikut merupakan bentuk fisik dan diagram garis SEPAM 1000+ seri 20.



Gambar 2.16 Bentuk Fisik SEPAM 1000+ seri 20

^[10] Alban Cambournac, 2008, *Protection Solution and Power Monitoring*, Schneider Electric, hlm 2-8



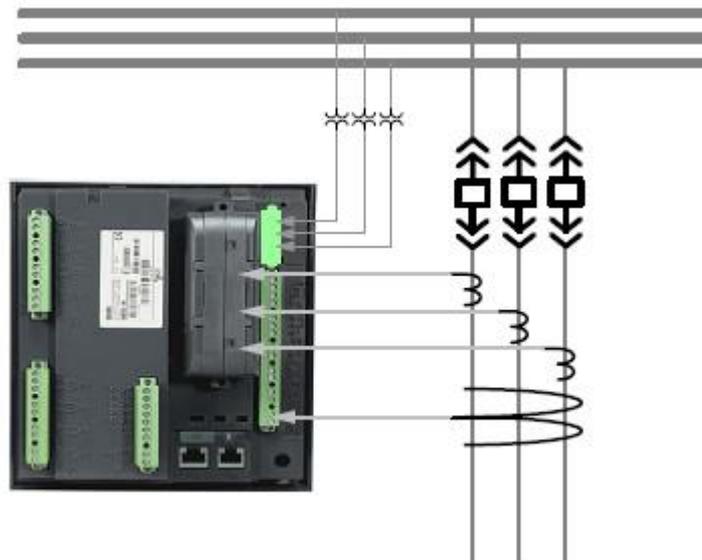
Gambar 2.17 Diagram Garis SEPAM 1000+ seri 20

2.6.2 SEPAM 1000+ seri 40

SEPAM 1000+ seri 40 merupakan salah satu tipe dari SEPAM 1000+ yang dipergunakan sebagai proteksi pada generator, motor, transformator, dan pada *substation*. Perangkat ini dapat melakukan semua pengukuran pada setiap pengaplikasiannya. Sama seperti seri 20, SEPAM 1000+ seri 40 ini memiliki 10 *logic inputs* dan 8 *relay output*. Kontrol dayanya menggunakan tegangan berkisar 24/250 Vdc atau 110/240 Vac. Berikut merupakan bentuk fisik dan diagram garis SEPAM 1000+ seri 40.



Gambar 2.18 Bentuk Fisik SEPAM 1000+ seri 40



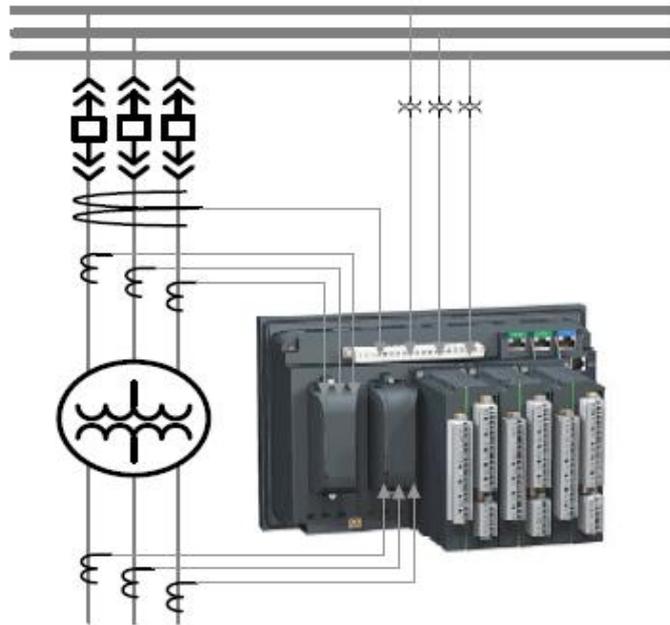
Gambar 2.19 Diagram Garis SEPAM 1000+ seri 40

2.6.1 SEPAM 1000+ seri 80

Pada kelasnya, SEPAM 1000+ seri 80 merupakan seri yang mempunyai banyak tipe sesuai dengan aplikasinya. Perangkat ini dipergunakan untuk proteksi pada motor, busbar, transformator, dan pada *substation*. SEPAM 1000+ seri 80 ini memiliki 42 *logic inputs* dan 23 *relay output*. Kontrol dayanya menggunakan tegangan berkisar 24/250 Vdc. Berikut merupakan bentuk fisik dan diagram garis SEPAM 1000+ seri 80.



Gambar 2.20 Bentuk Fisik SEPAM 1000+ seri 80



Gambar 2.21 Diagram Garis SEPAM 1000+ seri 80

2.11 SEPAM 1000+ M41

Jenis SEPAM 1000+ yang digunakan di JOB Pertamina – Talisman sebagai proteksi motor adalah jenis SEPAM 1000+ M41. Hampir seluruh fungsi proteksi untuk motor terintegrasi didalamnya. SEPAM jenis ini juga mengusung fleksibilitas koneksi dengan perangkat lain, serta kemampuan *fault diagnosis* tingkat lanjut.



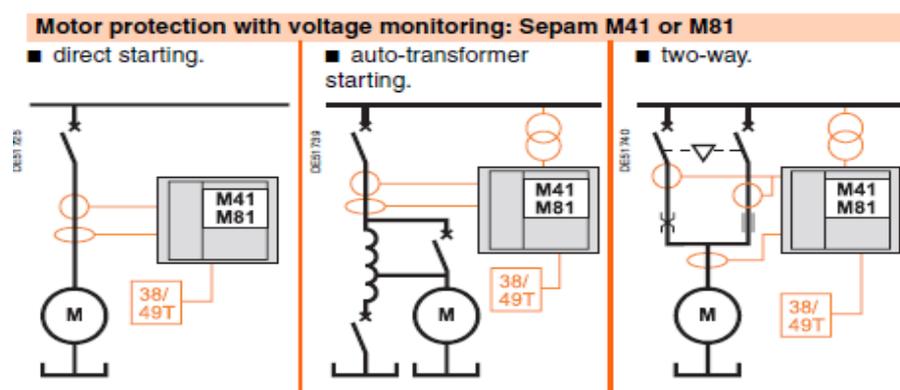
Gambar 2.22 Bentuk Fisik SEPAM 1000+ M41

SEPAM 1000+ M41 merupakan rele digital yang di desain memiliki pengaturan *setting* standar kurva yang diinginkan untuk memproteksi motor listrik dan *setpoint* untuk penyetelannya. Ada beberapa tipe kurva standar untuk arus lebih pada SEPAM 1000+ M41, diantaranya IEC, IEEE, RI dan IAC. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.^[11]

Tabel 2.9 Tipe Kurva Standar Untuk Arus Lebih

Name of curve
Standard inverse time (SIT)
Very inverse time (VIT or LTI)
Extremely inverse time (EIT)
Ultra inverse time (UIT)
RI curve
IEC standard inverse time SIT / A
IEC very inverse time VIT or LTI / B
IEC extremely inverse time EIT / C
IEEE moderately inverse (IEC / D)
IEEE very inverse (IEC / E)
IEEE extremely inverse (IEC / F)
IAC inverse
IAC very inverse
IAC extremely inverse

Dibawah ini merupakan diagram satu garis dari rangkaian sistem proteksi motor listrik menggunakan proteksi SEPAM 1000+ M41.^[12]



Gambar 2.23 Diagram Satu Garis Proteksi Motor Menggunakan SEPAM 1000+ M41

^[11] *Electrical Network Protection SEPAM series 40 user manual*. Schneider Electric, hlm 64-226

^[12] *Catalogue 2005 Electrical Network Protection*. Schneider Electric, hlm 25



2.12 Arus Masukan Motor

Daya output ataupun keluaran motor terdapat pada spesifikasi ataupun *nameplate* motor. Untuk mencari arus input motor, terlebih dahulu juga harus mengetahui berapa nilai dari tegangan operasi motor, power faktor ($\cos \varphi$), dan efisiensi motor. Untuk mengetahui daya input motor dapat menggunakan rumus:

$$I_{input} = \frac{P_{out}}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi} \dots\dots\dots(2.1)^{[13]}$$

Dimana:

I_{input} = Arus masukan pada motor (Ampere)

V = Tegangan operasi motor (Volt)

P_{out} = Daya output motor (Watt)

$\cos \varphi$ = Faktor daya motor

2.13 Daya Masukan Motor

Setelah didapatkannya besar nilai arus masukan motor, maka dapat diketahui nilai daya masukan ke motor. Untuk mengetahui daya masukan pada motor dapat menggunakan rumus :

$$P_{in} = V \times I_{nominal} \times \sqrt{3} \times \cos \varphi \dots\dots\dots(2.2)^{[14]}$$

Dimana :

P_{in} = Daya masukan motor (Watt)

V = Tegangan operasi motor (Volt)

$I_{nominal}$ = Arus nominal motor atau *full load ampere*(Ampere)

$\cos \varphi$ = Faktor daya motor

^[13] *Praktikum Mesin – Mesin Listrik*. Tim Laboratorium Teknik Listrik Politeknik Negeri Sriwijaya



2.14 Arus Nominal Motor

SEPAM 1000+ M41 mempunyai kemampuan dalam menggunakan berbagai macam kurva trip arus lebih untuk mengetahui besar arus lebih pada operasi motor listrik dan mengetahui bagaimana karakteristiknya. Untuk mengetahui arus nominal pada motor dapat menggunakan rumus :

$$I_{nominal} = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi} \dots\dots\dots(2.3)^{[14]}$$

Dimana:

I_n = Arus nominal motor (Ampere)

P_{in} = Daya masukan motor (Watt)

V = Tegangan operasi motor (Volt)

$\cos \varphi$ = Faktor daya motor

2.15 Arus Gangguan Motor

Rele SEPAM 1000+ M41 akan bekerja apabila terdapat gangguan berupa arus lebih pada motor. Besarnya arus gangguan dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$I_{fault} = I_n \text{ Motor} + (I_n \text{ Motor} \times \text{rasio pickup}) \dots\dots\dots(2.4)^{[12]}$$

Dimana :

I_{fault} = Arus gangguan (Ampere)

I_n = Arus nominal motor (Ampere)

Rasio *pickup* = Untuk rele SEPAM 1000+ 5% - 93,5% arus nominal



SEPAM 1000+ M41 merupakan sebuah rele pengaman digital yang di desain dengan jajaran rele dengan berbagai macam fungsi pengamanan. Berikut merupakan data rekomendasi *setting* SEPAM 1000+ M41.

Tabel 2.10 Data Rekomendasi *Setting* SEPAM 1000+ M41

(Sumber : SEPAM Series 40 User Manual)

Tripping curve		
Setting		Definite time, IDMT: chosen according to list on page 3/26
Confirmation		
Setting		by undervoltage (unit 1) by negative sequence overvoltage none, by confirmation
Is set point		
Setting	Definite time	$0.1 I_n \leq I_s \leq 24 I_n$ expressed in Amps
	IDMT	$0.1 I_n \leq I_s \leq 2.4 I_n$ expressed in Amps
Resolution		1 A or 1 digit
Accuracy ⁽¹⁾		$\pm 5\%$ or $\pm 0.01 I_n$
Drop out/pick-up ratio		$93.5\% \pm 5\%$ or $> (1 - 0.015 I_n/I_s) \times 100\%$
Time delay T (operation time at 10 Is)		
Setting	Definite time	inst., $50 \text{ ms} \leq T \leq 300 \text{ s}$
	IDMT	$100 \text{ ms} \leq T \leq 12.5 \text{ s}$ or TMS ⁽²⁾
Resolution		10 ms or 1 digit
Accuracy ⁽¹⁾	Definite time	$\pm 2\%$ or from -10 ms to +25 ms
	IDMT	Class 5 or from -10 ms to +25 ms
Timer hold delay T1		
Definite time (timer hold)		0; 0.05 to 300 s
IDMT ⁽³⁾		0.5 to 20 s
Characteristic times		
Operation time		Pick-up < 35 ms at 2 Is (typically 25 ms) Confirmed instantaneous: ■ inst. < 50 ms at 2 Is for $I_s \geq 0.3 I_n$ (typically 35 ms) ■ inst. < 70 ms at 2 Is for $I_s < 0.3 I_n$ (typically 50 ms)
Overshoot time		< 35 ms
Reset time		< 50 ms (for T1 = 0)

2.16 Arus Penyetelan pada SEPAM 1000+ M41

Pada data rekomendasi *setting* SEPAM 1000+ M41, besar arus *setting* dapat menggunakan *set point Definite Time* yaitu berkisar antara 0,1 Ampere hingga 24 Ampere dari arus nominal motor dan juga bisa menggunakan *set point IDMT* yaitu berkisar antara 0,1 Ampere hingga 2,4 Ampere dari arus nominal.



Untuk menghitung arus *setting* dan faktor keamanan reledapat menggunakan rumus :

$$I_{setting} = range\ setpoint \times I_{nominal} \dots\dots\dots(2.5)^{[12]}$$

Dimana :

$I_{setting}$ = Arus penyetelan (Ampere)

Range setpoint = batas *setpoint* arus penyetelan

$I_{nominal}$ = Arus nominal motor (Ampere)

$$K_{fk} = \frac{I_{fault}}{I_{setting}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

K_{fk} = Faktor keamanan rele

I_{fault} = Arus gangguan (Ampere)

$I_{setting}$ = Arus penyetelan (Ampere)

2.17 Waktu *Trip* pada SEPAM 1000+ M41

Untuk penyetelan waktu *trip* sendiri berbeda – beda tergantung dengan standar kurva yang digunakan. Berikut adalah penyetelan waktu *trip* sesuai dengan standarnya masing – masing.

2.17.1 Waktu *Trip* pada SEPAM 1000+ M41 dengan standar IEC

Kurva arus lebih standar IEC merupakan kurva standar eropa. Pada SEPAM 1000+ M41 kurva standar IEC dibagi menjadi *Standard Inverse Curve*, *Very Inverse Curve*, *Long Time Inverse Curve*, *Extremely Inverse Curve*, dan *Ultra Inverse Curve*. Dengan rumus waktu *trip* sebagai berikut:



$$t_d(I) = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times \frac{T}{\beta} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

t_d = Waktu *trip* (s)

k, α = Konstanta standar IEC

I = Arus nominal (A)

I_s = Arus *setting* (A)

$\frac{T}{\beta}$ = *Multiplier setpoint* atau TMS

Nilai konstanta standar IEC berbeda-beda sesuai dengan klasifikasinya.

Untuk konstanta standar IEC bisa dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.11 Konstanta Standar IEC

Tipe Kurva	Koefisien		
	k	α	β
<i>Standard Inverse / A</i>	0,14	0,02	2,97
<i>Very Inverse / B</i>	13,5	1	1,50
<i>Long Time Inverse / C</i>	120	1	13,33
<i>Extremely Inverse / D</i>	80	2	0,808
<i>Ultra Inverse</i>	315,2	2,5	1

2.17.2 Waktu *Trip* pada SEPAM 1000+ M41 dengan standar IEEE

Untuk aplikasi SEPAM 1000+ M41 kurva standar IEEE dibagi menjadi 3 klasifikasi yaitu *Moderately Inverse Curve*, *Very Inverse Curve*, dan *Extremely Inverse Curve*. Dengan rumus waktu *trip* sebagai berikut:



$$t_d(I) = \left(\frac{A}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^p - 1} + B \right) \times \frac{T}{\beta} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

t_d = Waktu *trip* (s)

A, B , p = Konstanta standar IEEE

I = Arus nominal (A)

I_s = Arus *setting* (A)

$\frac{T}{\beta}$ = *Multiplier setpoint* atau TMS

Nilai konstanta standar IEEE berbeda-beda sesuai dengan klasifikasinya.

Untuk konstanta standar IEEE bisa dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.12 Konstanta Standar IEEE

Tipe Kurva	Koefisien			
	A	B	p	β
<i>Moderately Inverse</i>	0,010	0,023	0,02	0,241
<i>Very Inverse</i>	3,922	0,098	2	0,138
<i>Extremely Inverse</i>	5,64	0,0243	2	0,081

2.10.3 Waktu *Trip* pada SEPAM 1000+ M41 dengan standar IAC

Untuk aplikasi SEPAM 1000+ M41 kurva standar IAC dibagi menjadi 3 klasifikasi yaitu *Inverse Curve*, *Very Inverse Curve*, dan *Extremely Inverse Curve*.

Dengan rumus waktu *trip* sebagai berikut:



$$t_d(I) = \left(A + \frac{B}{\left(\frac{I}{I_s} - C\right)} + \frac{D}{\left(\frac{I}{I_s} - C\right)^2} + \frac{E}{\left(\frac{I}{I_s} - C\right)^3} \right) \times \frac{T}{\beta} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

t_d = Waktu *trip* (s)

A, B , C, D, E = Konstanta standar IAC

I = Arus nominal (A)

I_s = Arus *setting* (A)

$\frac{T}{\beta}$ = *Multiplier setpoint* atau TMS

Nilai konstanta standar IAC berbeda-beda sesuai dengan klasifikasinya.

Untuk konstanta standar IAC bisa dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.13 Konstanta Standar IAC

Tipe Kurva	Koefisien					
	A	B	C	D	E	β
<i>Inverse</i>	0,208	0,863	0,800	-0,418	0,195	0,297
<i>Very Inverse</i>	0,090	0,795	0,100	-1,288	7,958	0,165
<i>Extremely Inverse</i>	0,004	0,638	0,620	1,787	0,246	0,092

2.10.4 Waktu *Trip* pada SEPAM 1000+ M41 dengan standar RI

Untuk aplikasi SEPAM 1000+ M41 kurva standar RI dapat dicari waktu *trip* nya dengan rumus sebagai berikut:

$$t_d(I) = \frac{1}{0.339 - 0.236\left(\frac{I}{I_s}\right)^{-1}} \times \frac{T}{3.1706} \dots\dots\dots(2.9)$$



Dimana:

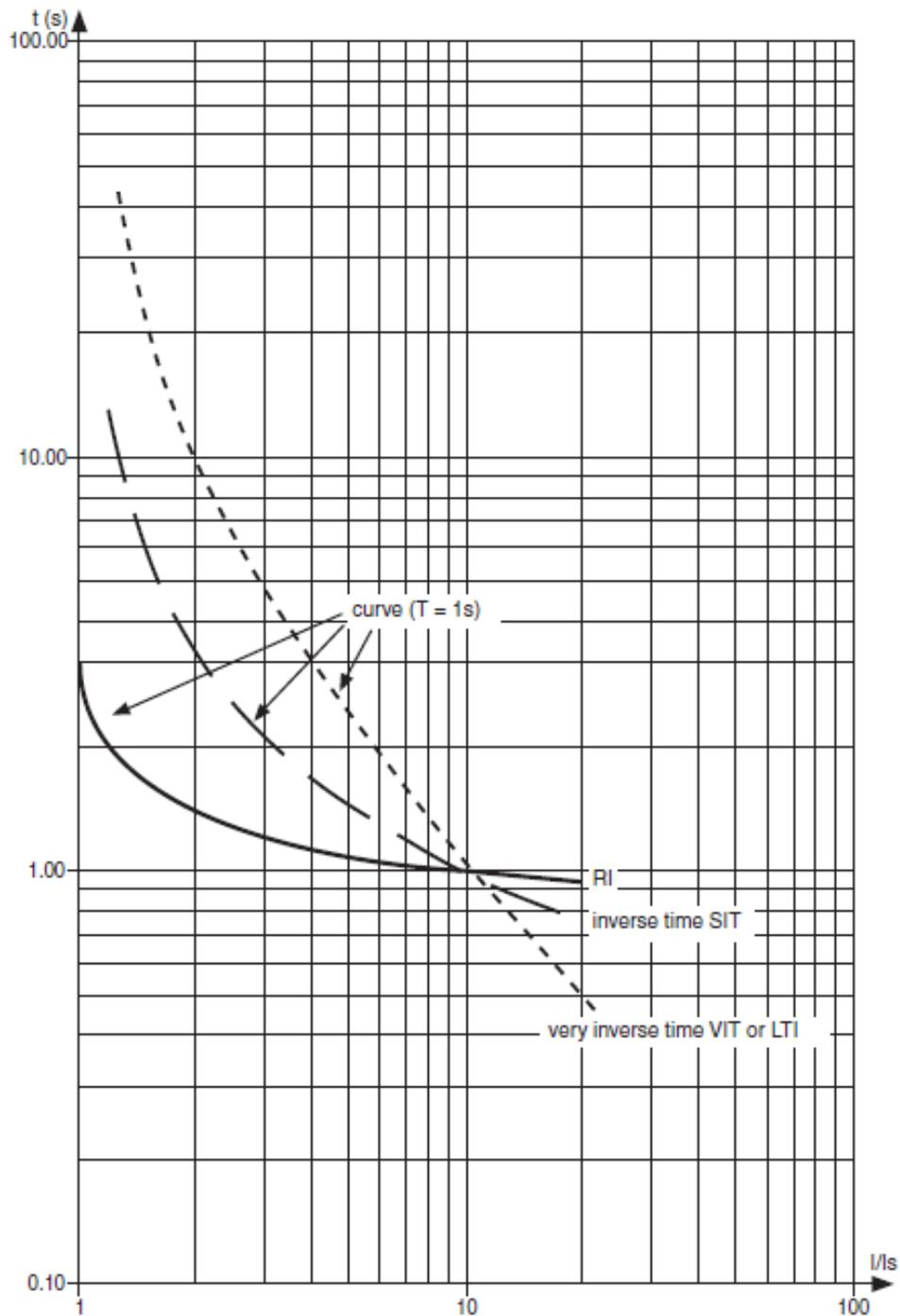
t_d = Waktu *trip* (s)

0,339 ; 0,236 ; 3,1706 = Konstanta standar RI

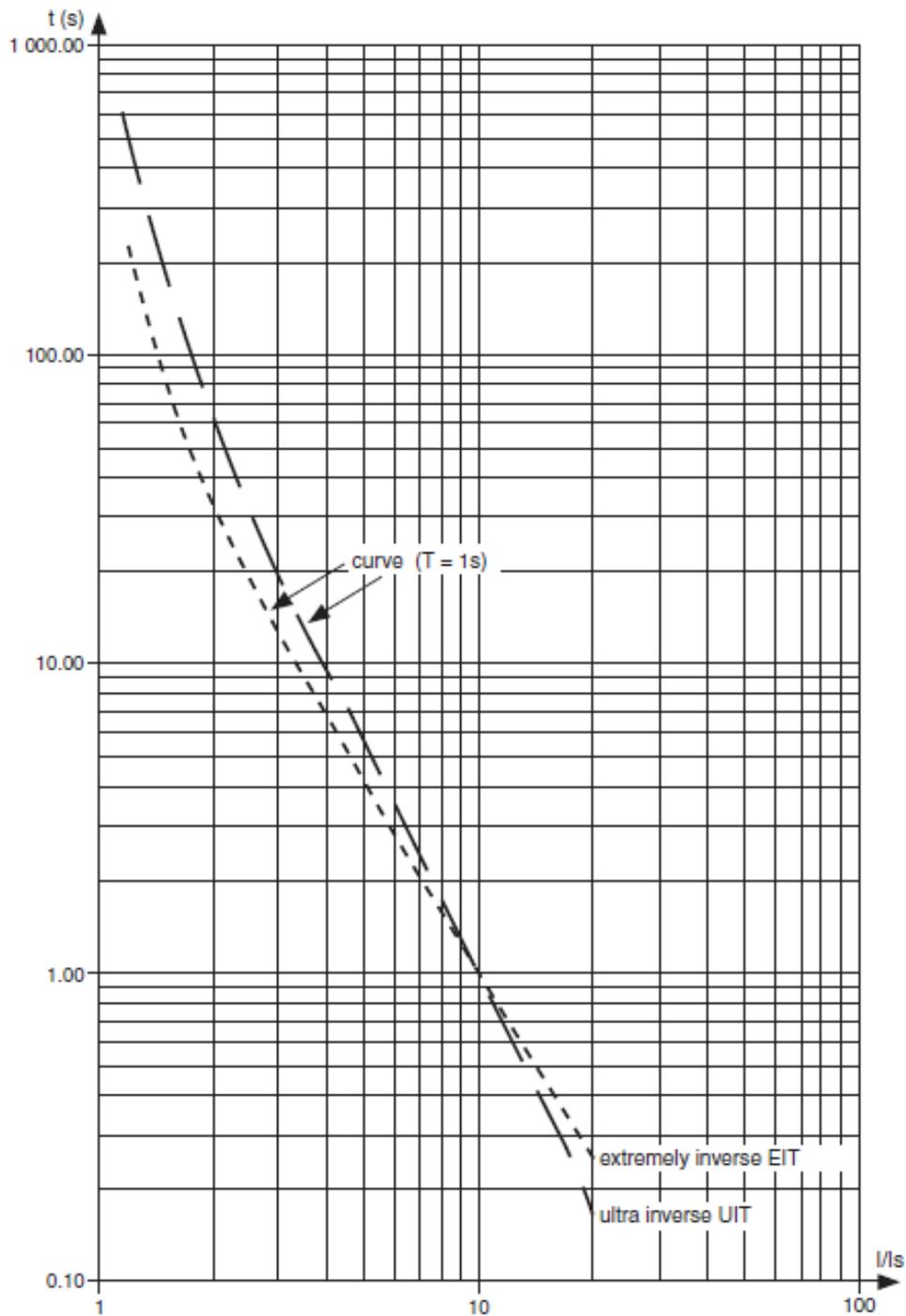
I = Arus nominal (A)

I_s = Arus *setting* (A)

Setiap standar yang digunakan memiliki kurva karakteristik yang berbeda – beda. Berikut merupakan kurva karakteristik dari setiap standar pada SEPAM 1000+ M41.

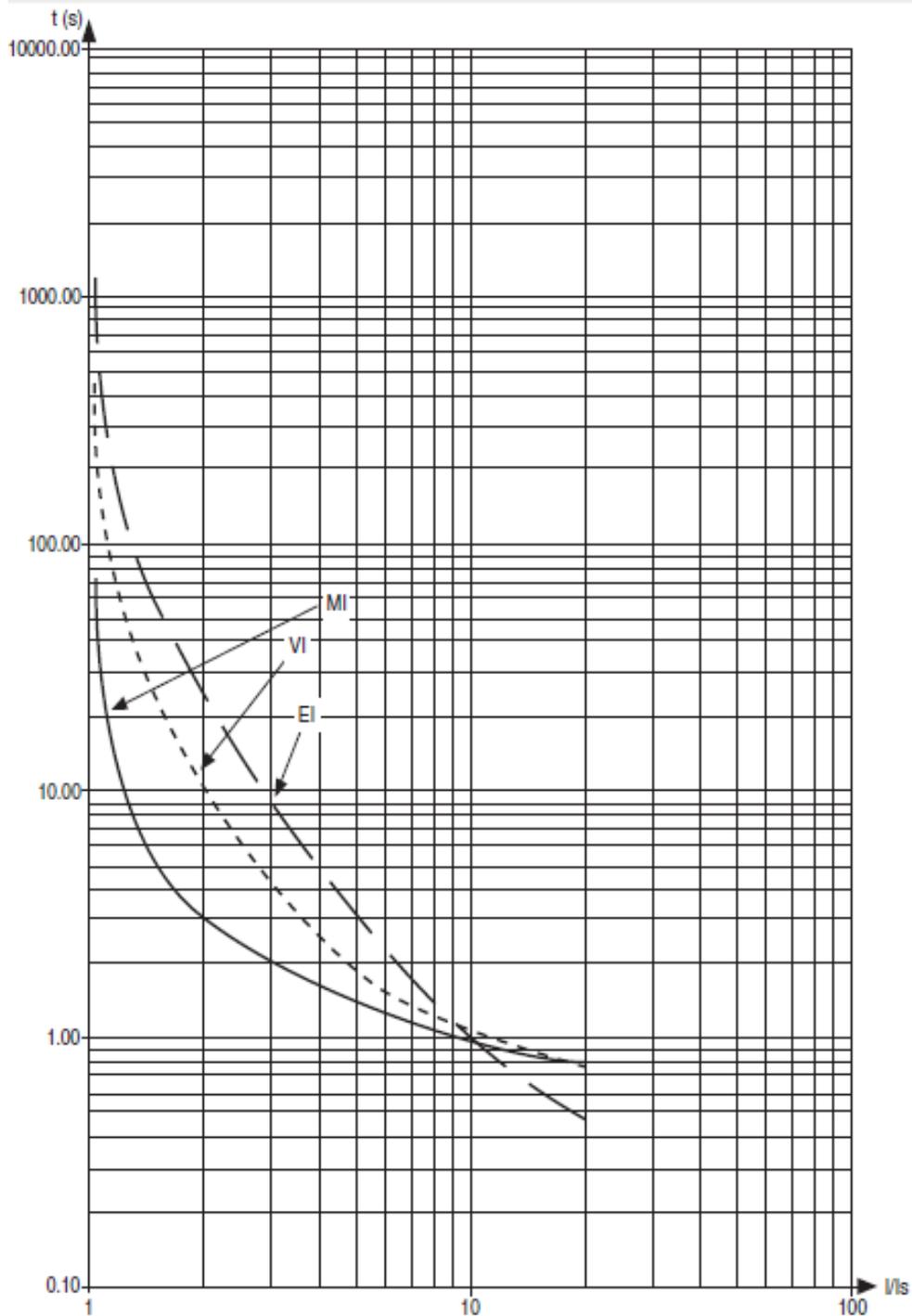


Gambar 2.24 Kurva Karakteristik *Standard Inverse Time* dan *Very Inverse Time* Standar IEC dan Kurva Standar RI
(Sumber : *SEPAM Series 40 Manual Book*)



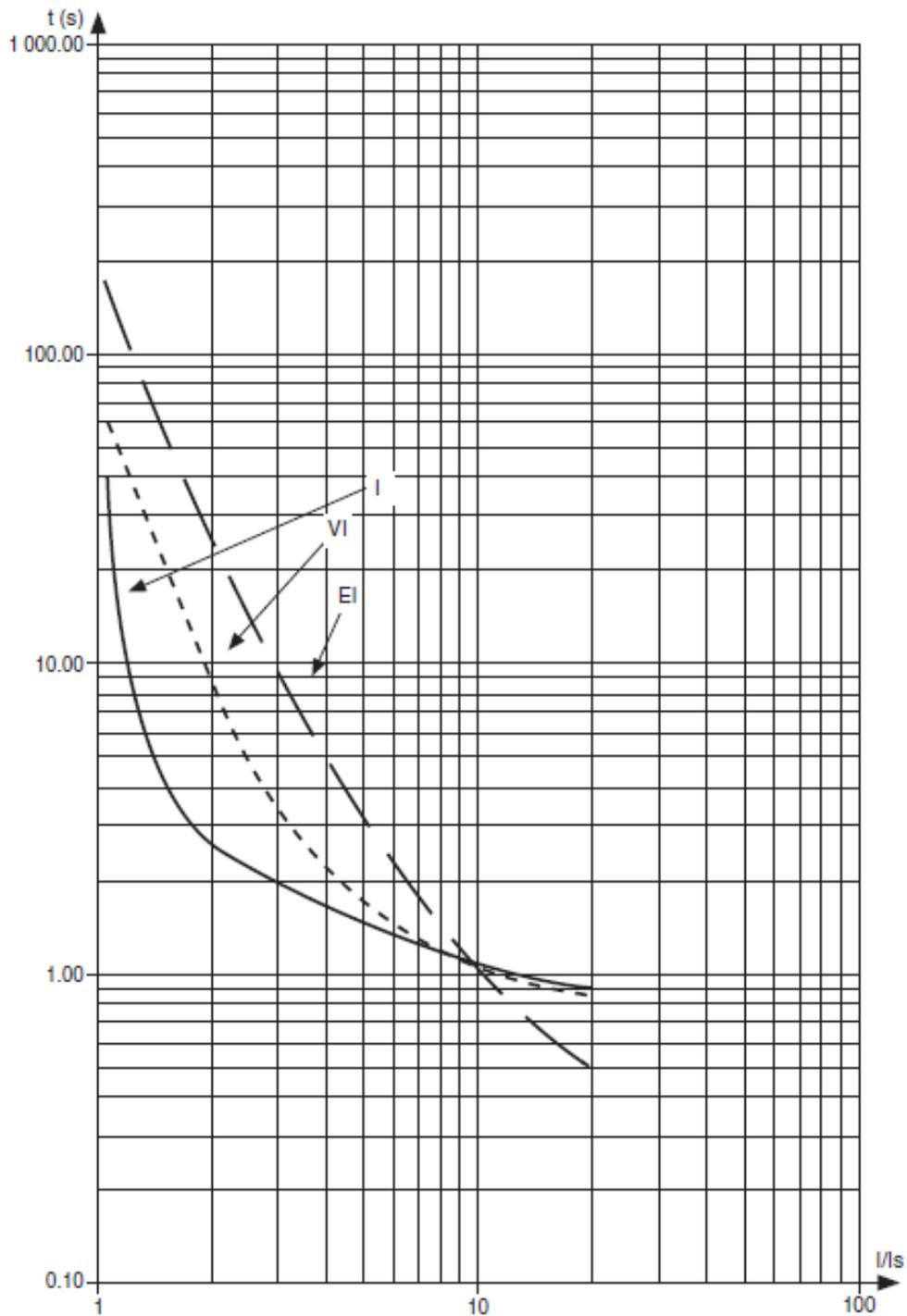
Gambar 2.25 Kurva Karakteristik *Extremely Inverse Time* dan *Ultra Inverse Time* Standar IEC

(Sumber : SEPAM Series 40 Manual Book)



Gambar 2.26 Kurva Karakteristik Moderately Inverse Time, Very Inverse Time, dan Extremely Inverse Time Standar IEEE

(Sumber : SEPAM Series 40 Manual Book)



Gambar 2.27 Kurva Karakteristik *Inverse Time*, *Very Inverse Time*, dan *Extremely Inverse Time* Standar IAC

(Sumber : SEPAM Series 40 Manual Book)



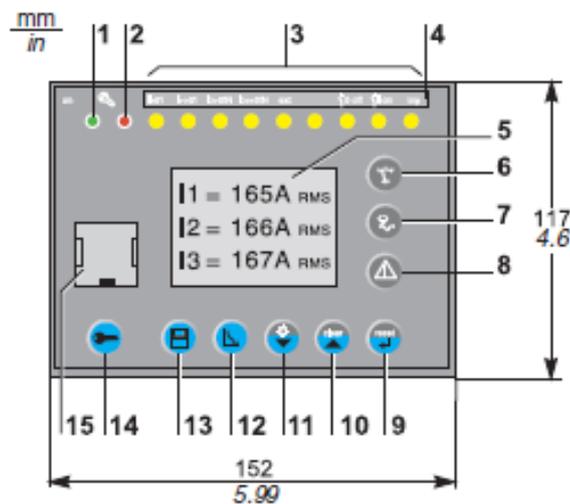
2.18 Penyetelan SEPAM 1000+

Rele SEPAM 1000+ M41 memiliki beberapa fitur yang diantaranya yaitu fitur pengukuran (*metering*), fitur pengawasan (*monitoring*), serta fitur untuk pengamanan beban (*protection*). Dari fitur – fitur tersebut hal yang dijadikan fungsionalnya yaitu dalam besaran arus, tegangan, daya, dan frekuensi. Terkhusus pada besaran arus, rele SEPAM 1000+ M41 mampu menjalankan fungsionalnya sebagai pengaman dari bahaya arus lebih (*overcurrent*) dan arus kurang (*undercurrent*) yang dapat berdampak pada kinerja motor.

Pada proteksi arus lebih dengan kode ANSI 50/51, rele SEPAM 1000+ M41 mampu menjalankan penyetelan arus hingga mencapai 6250 Ampere. Batas kemampuan pengamanan pada arus kerja (*Ipickup*) yang berkisar 5% hingga 93.5% dari arus nominal motor. Penyetelan arus pada SEPAM 1000+ M41 dapat menggunakan kurva karakteristik *Definite Time* dengan harga *setting* arus 0,1 hingga 24 Ampere dari arus nominal motor. Selain itu, dapat juga menggunakan karakteristik *Inverse Definite Minimum Time* (IDMT) dengan harga *setting* arus 0,1 hingga 2,4 Ampere dari arus nominal motor. Pada penyetelan waktu SEPAM 1000+ M41 juga dapat menggunakan karakteristik *Definite Time* dengan *range setting* waktu berkisar antara 50 ms hingga 300 s dan juga menggunakan karakteristik IDMT dengan harga *range setting* waktu berkisar 100 ms hingga 12,5 s. Pada penyetelan waktu *trip* rele SEPAM 1000+ M41 dapat juga menggunakan kurva karakteristik dengan standar yang bermacam – macam yang bisa *user* setel dengan sendirinya pada display SEPAM 1000+ M41. Standar – standar yang digunakan diantaranya yaitu standar IEC, standar IEEE, standar IAC, dan standar RI yang dapat dilihat pada tabel 2.9.

Rele SEPAM 1000+ M41 bisa digunakan secara manual yaitu dengan cara *user* atau pekerja yang langsung mengatur sendiri penyetelan pada perangkat ini dengan menekan tombol – tombol yang ada pada display. Selain dengan cara manual, rele SEPAM 1000+ M41 ini dapat digunakan dengan mengkoneksikan dengan program komputer. Jadi saat ingin melakukan penyetelan pada perangkat ini, kita bisa melakukannya dengan menggunakan software SFT2841 yang ada di

control room untuk menjalankan penyetelan SEPAM 1000+ M41 sama halnya dengan saat *user/pekerja* melakukan secara langsung.

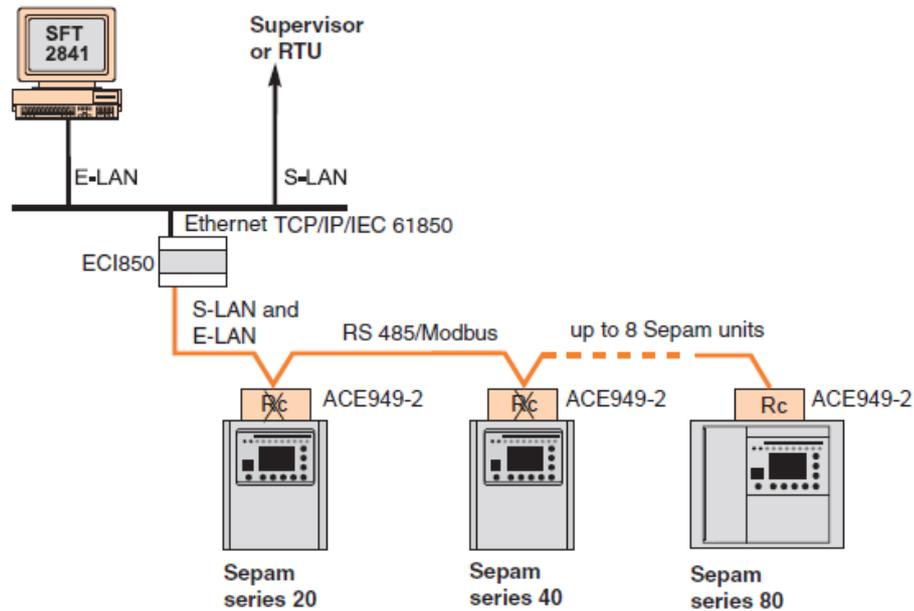


Gambar 2.28 *Display* SEPAM 1000+ M41

Berikut adalah keterangan dari gambar *display* SEPAM 1000+ M41 diatas antara lain :

1. LED berwarna hijau : SEPAM 1000+ M41 ON
2. LED berwarna merah :
Tidak berkedip : modul belum tersedia
Berkedip ; link SEPAM tidak ada
3. 9 buah LED berwarna kuning
4. Label identifikasi LED berwarna kuning
5. Tampilan layar
6. *Display* peralatan
7. *Display switchgear*, jaringan, dan data diagnosis mekanik
8. *Display* pesan alarm
9. *Reset* data SEPAM
10. Alarm
11. LED test

12. Akses ke penyetelan pengaman
13. Akses ke parameter SEPAM
14. Masuk dengan *password*
15. Port sambungan ke komputer



Gambar 2.29 Sistem Komputerisasi SEPAM 1000+

Berikut merupakan prosedur penyetelan arus dan waktu *trip* SEPAM 1000+ menggunakan *software* SFT2841.^[14]

1. Membuka *software* SFT2841 yang terdapat pada komputer server dengan cara *double click* ikon *software* SFT2841. Tunggu beberapa saat, lalu *software* SFT2841 akan terbuka.

^[14] *Using Software SFT 2841 to Operated SEPAM 1000+*, 2003, Schneider Electric, hlm. 2-12



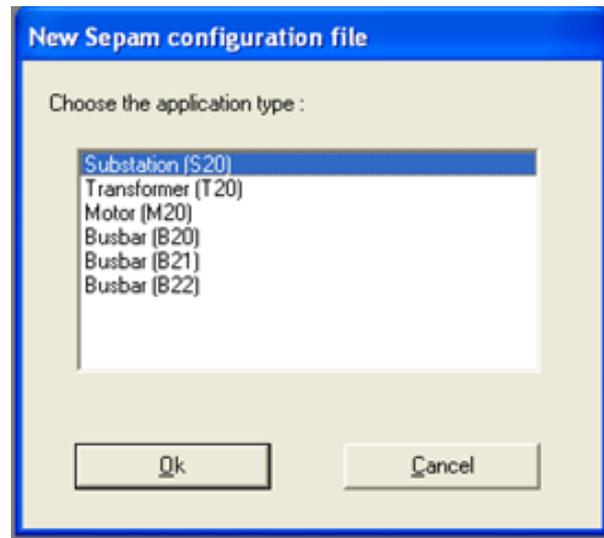
Gambar 2.30 Langkah 1 Penyetelan SEPAM 1000+

2. Menekan tombol *connect to SEPAM* untuk menghubungkan server ke perangkat SEPAM. Lalu pilih seri SEPAM yang akan digunakan.



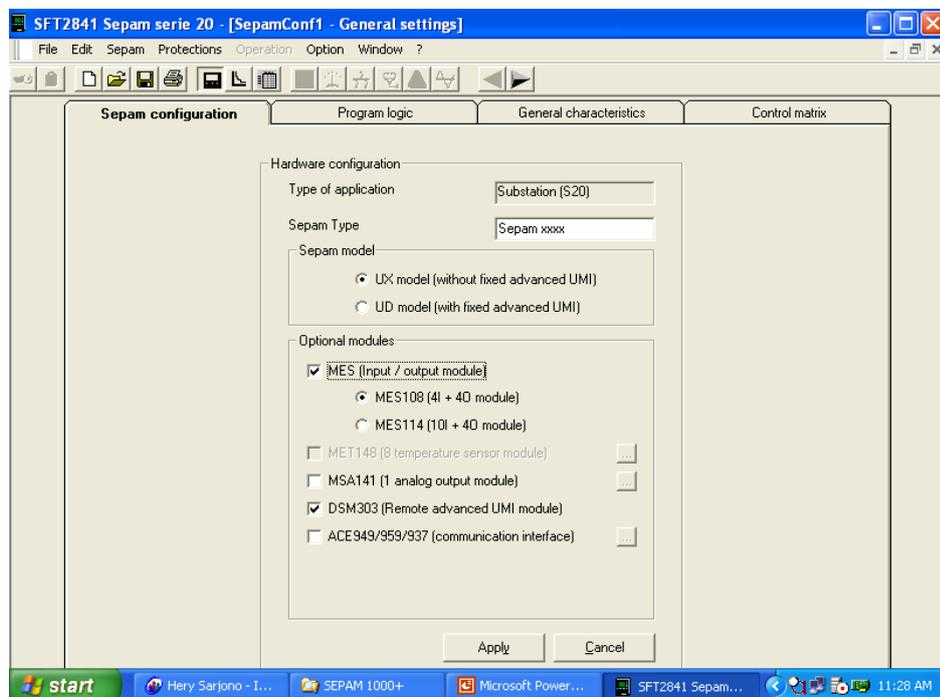
Gambar 2.31 Langkah 2 Penyetelan SEPAM 1000+

3. Memilih tipe SEPAM yang akan digunakan. Tipe ini diantaranya SEPAM untuk *substation*, motor, busbar, ataupun transformator. Lalu klik OK.



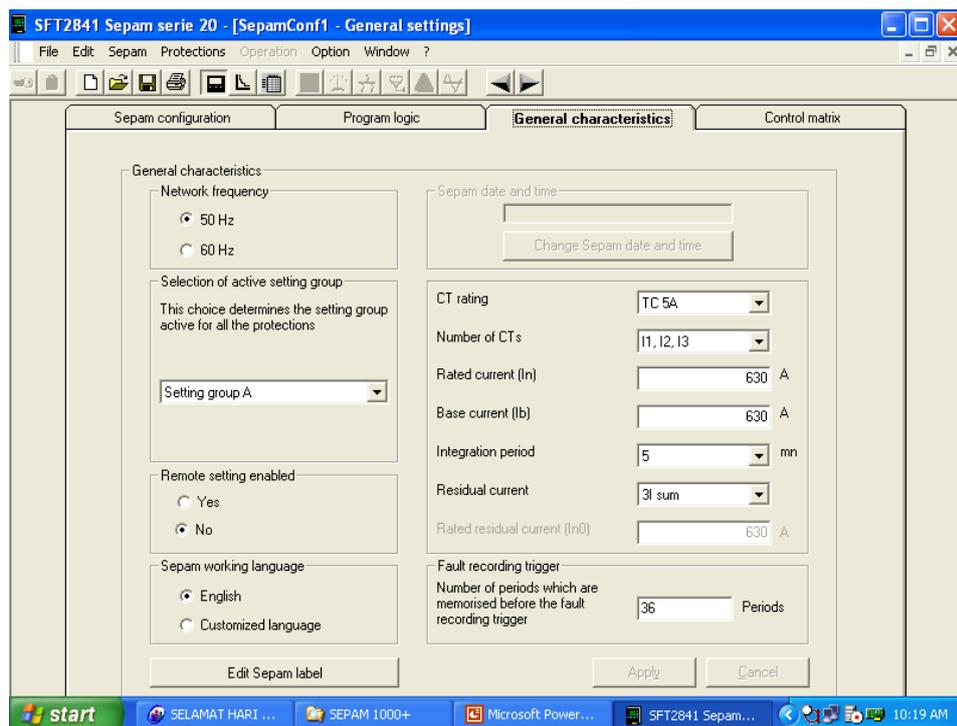
Gambar 2.32 Langkah 3 Penyetelan SEPAM 1000+

4. Klik SEPAM *configuration* untuk memilih module apa yang akan digunakan dalam penyetelan. Lalu klik *apply* untuk menyimpan penyetelan data.



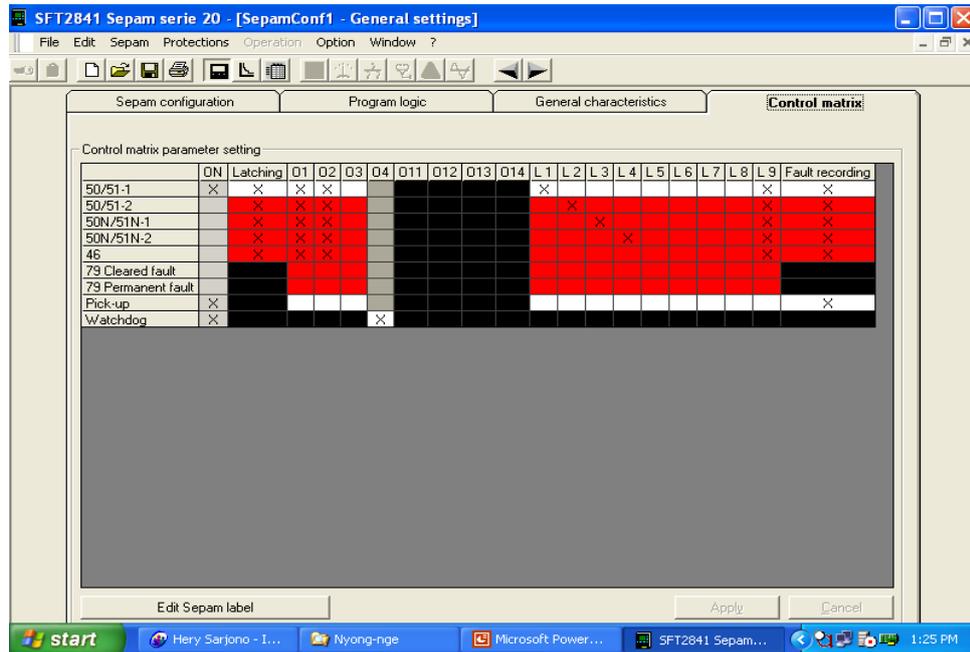
Gambar 2.33 Langkah 4 Penyetelan SEPAM 1000+

5. Klik *general characteristic* untuk menentukan nilai frekuensi yang digunakan. Di kolom ini juga kita bisa menentukan nilai CT, batas arus, dan penyetelan grup yang akan dipilih untuk diamankan. Pada *general characteristic* ini kita dapat menentukan bahasa apa yang akan kita gunakan pada SEPAM. Lalu klik *apply* apabila sudah ditentukan.



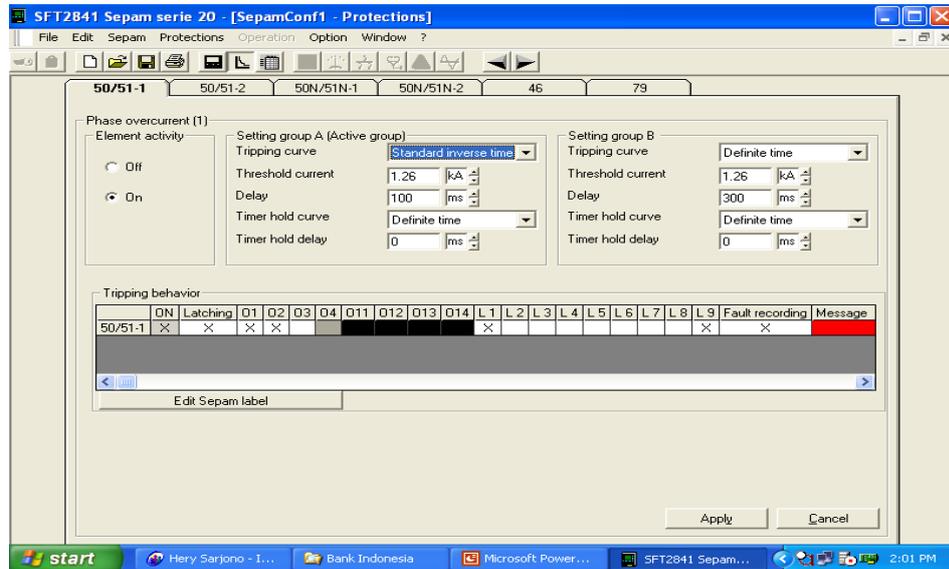
Gambar 2.34 Langkah 5 Penyetelan SEPAM 1000+

6. Menentukan apakah pengamanan SEPAM 1000+ sudah aktif atau belum sesuai kode pengamanan. Apabila *background* kolom berwarna putih artinya pengamanan sudah aktif. Sedangkan apabila *background* kolom berwarna merah artinya pengamanan belum aktif.



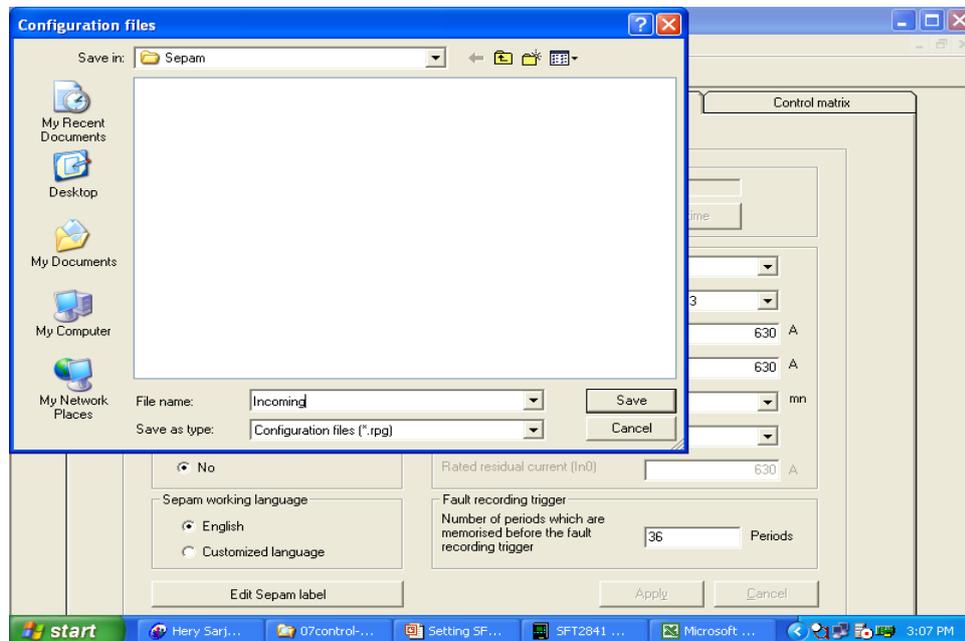
Gambar 2.35 Langkah 6 Penyetelan SEPAM 1000+

7. Buka menu *protection setting* untuk menentukan kode pengamanan sesuai dengan tujuan pengamanan serta mengkatifkan pengamanan tersebut. Dengan kode pengamanan seperti 50/51 untuk arus lebih, 46 untuk *unbalance*, 27 untuk *phase to phase undervoltage* dan kode pengamanan lainnya kita mampu melakukan penyetelan SEPAM 1000+. Apabila penyetelan pengamanan sudah selesai klik *apply* untuk menetapkan data penyetelan.



Gambar 2.36 Langkah 7 Penyetelan SEPAM 1000+

8. Simpan data penyetelan dengan cara mengklik “file” lalu pilih “save as” setelah itu buat judul file yang akan disimpan. Setelah itu klik OK dan file telah bekerja dan tersimpan.



Gambar 2.37 Langkah 8 Penyetelan SEPAM 1000+