

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S - 1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK**



**ANALISA PENGGUNAAN RELE MHO UNTUK MENDETEKSI
HILANG PENGUAT MEDAN PADA GENERATOR PLTU
SURALAYA JAWA BARAT**

SKRIPSI

Disusun oleh :
**MUCHAMAD SUMAWAN
NIM. 97.12.079**

SEPTEMBER 2006

LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PENGGUNAAN RELE MHO UNTUK MENDETEKSI
HILANG PENGUAT MEDAN PADA GENERATOR PLTU
SURALAYA JAWA BARAT**

SKRIPSI

*Disusun Guna Melengkapi dan Memenuhi Syarat-Syarat
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik Elektro S-1*

Disusun Oleh :

**MUCHAMAD SUMAWAN
NIM. 97.12.097**



**Menggetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1**

**Diperiksa dan Disetujui
Dosen Pembimbing**

**(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)
NIP. Y. 10 9500274**

**(Ir. M. Abdul Hamid, MT)
NIP. 10 18800188**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

ABSTRAKSI

“ ANALISA PENGGUNAAN RELE MHO UNTUK MENDETEKSI HILANG PENGUAT MEDAN PADA GENERATOR PLTU SURALAYA JAWA BARAT “.

(M. Sumawan, Nim : 97.12.079, Teknik Energi Listrik)
(Dosen Pembimbing : Ir. M. Abdul Hamid, MT)

Kata kunci : Hilang penguat medan, *restraint tap setting*, daerah proteksi rele mho

Jika suatu generator kehilangan penguat, maka generator tersebut akan menarik daya reaktif dari sistem. Hal ini akan menyebabkan menurunnya tegangan yang mengakibatkan instabilitas pada sistem. Sebagai proteksi, rele arus kurang dapat dipakai pada sirkuit medan, karena jenis proteksi ini dipengaruhi oleh arus bolak – balik yang di induksikan dari luar sirkuit medan. Jenis proteksi yang dapat lebih diandalkan dan sesuai adalah rele impedansi dengan karakteristik kerja di daerah reaktansi negative. Dengan memilih rele Mho dengan karakteristik yang sesuai, maka proteksi ini dapat digunakan untuk mendeteksi hilang penguat medan pada generator

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia – NYA penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul :

“ANALISA PENGGUNAAN RELE MHO UNTUK MENDETEKSI HILANG PENGUAT MEDAN PADA GENERATOR PLTU SURALAYA JAWA BARAT “.

Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan untuk ujian tingkat sarjana S-1 di jurusan Teknik Elektro Energi Listrik, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Abraham Lomi, M.SEE, selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MT, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir.F. Yudi Limpraptono, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1, Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Ir. M. Abdul Hamid, MT, selaku Dosen Pembimbing.
5. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Elektro Energi Listrik, Institut Teknologi Nasional Malang.
6. Kedua Orang Tua yang telah memberikan doa dan dukungan

7. Rekan – rekan Mahasiswa Elektro dan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan – kekurangan baik isi maupun penyajian, hal ini tidak lain karena keterbatasan ilmu yang penulis miliki, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun guna kesempurnaan skripsi ini.

Pada akhirnya penulis berharap semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi yang membutuhkan.

Malang, September 2006

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAKSI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Pembahasan	3
1.6. Metodologi Pembahasan	4
BAB II PENGAMAN SISTEM TENAGA LISTRIK	5
2.1. Tinjauan Umum.....	5
2.2. Pemutus Rangkaian.....	6
2.2.1. Pemutus Tenaga	6
2.2.2. Pemisah	7
2.3. Transduser	9
2.4. Rele Pengaman	10

2.4.1.	Definisi Rele Pengaman	10
2.4.2.	Fungsi dan Peranan Rele Pengaman.....	12
2.4.3.	Syarat – syarat Rele Pengaman	13
2.5.	Macam – macam Rele Proteksi Generator Sinkron	14
2.6.	Sistem Proteksi Generator Sinkron	16
2.6.1.	Macam – macam Gangguan pada Generator Sinkron.....	17
BAB III GENERATOR SINKRON		23
3.1.	Tinjauan Umum	23
3.2.	Teori Dasar Generator Sinkron	23
3.2.1.	Stator	24
3.2.2.	Rotor.....	25
3.3.	Pembentukan Medan Magnet pada Generator Sinkron	26
3.3.1.	Medan Magnet Rotor	27
3.3.2.	Medan Magnet Stator	29
3.3.3.	Medan Magnet Total	30
3.4.	Sistem Penguatan dan Pengaturan Tegangan pada Generator Sinkron	32
3.4.1.	Sistem Penguatan Generator Sinkron	32
3.4.2.	Sistem Pengaturan Generator Sinkron	33
3.4.3.	Pengaruh Perubahan Penguatan pada Generator Sinkron	34
3.4.4.	Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi	36
3.4.4.1.	Pada Generator Kerja Tunggal	36
3.4.4.2.	Pada Generator Kerja Paralel	37

3.5.	Pengamanan Ketika Generator Hilang Penguat Medan.....	42
3.5.1.	Tidak Sinkronnya Generator Akibat Hilang Penguat Medan	46
BAB IV. ANALISA PENGGUNAAN RELE MHO UNTUK MENDETEKSI HILANG PENGUAT MEDAN PADA GENERATOR PLTU SURALAYA JAWA BARAT		
4.1.	Hilang Penguat Medan.....	50
4.1.1.	Tinjauan Umum	50
4.2.	Data Generator PLTU Suralaya Jawa Barat.....	51
4.3.	Data Rele Pengaman Mho Tipe CEH52A.....	52
4.4.	Perhitungan Setting Rele Pengaman	53
4.4.1.	Landasan Teori	53
4.4.2.	Flowchart	54
4.4.3.	Perhitungan Restraint Tap Setting	57
4.4.4.	Daerah Proteksi Rele Tipe CEH52A	59
4.4.5.	Analisa Hasil Perhitungan Daerah Proteksi Rele Mho Tipe CEH52A	64
BAB V KESIMPULAN		66
5.1.	Kesimpulan	66
5.2.	Saran	67
DAFTAR PUSTAKA		68
LAMPIRAN		69

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
3 – 1. Penampang Stator dengan a. Rotor Kutub Silinder dan b. Rotor Kutub Saliient	25
3 – 2. Diagram Vektor Fluksi Magnet	27
3 – 3. Fluksi Utama pada Rotor	28
3 – 4a. Pembagian Ruang dari Kerapatan Fluks	28
3 – 4b. Bentuk Gelombang dari Tegangan yang Dibangkitkan	28
3 – 5. Medan Magnet Utama dan Medan Magnet Jangkar Membujur	29
3 – 6. Medan Magnet Jangkar Melintang	30
3 – 7. Medan Magnet Total	31
3 – 8. Diagram Fasor Generator dengan Penguatan Berubah	35
3 – 9. Hubungan Kerja dari Dua Generator Serempak	38
3 – 10. Karakteristik Daya/ Kecepatan Pengerak Mula	40
3 – 11. Pengaruh Perubahan Medan Eksitasi pada Dua Generator Sinkron yang Bekerja Paralel	41
3 – 12. Proteksi Hilang Penguat Medan Menggunakan <i>Mho</i> Relay	43
3 – 13. Variasi Impedansi Untuk Macam – macam Pembebanan Generator	44
3 – 14. Daerah Proteksi Dua Relé <i>Mho</i> untuk Mengatasi Hilang Penguat Medan	46
3 – 15. Impedansi nyata (Z_{sp}) di titik A	47

3 – 16. Generator yang diproteksi dengan rele mho	49
4 – 1. Daerah Proteksi Rele Mho Tipe CEH52A	63

BAB I

PENDAHULUAN

Dalam bab ini disajikan latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, sistematika dan metode pembahasan yang menjelaskan mengenai pentingnya proteksi terhadap peralatan - peralatan listrik khususnya generator agar sistem dapat stabil sehingga pelayanan terhadap konsumen memuaskan.

1.1. Latar belakang

Gangguan yang terjadi dalam suatu sistem tenaga listrik adalah suatu hal yang sangat mungkin terjadi. Gangguan ini bisa terjadi pada generator, transformator, saluran transmisi dan sebagainya. Tetapi gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik harus dengan cepat diatasi agar pelayanan pemenuhan kebutuhan akan daya listrik optimal.

Gangguan yang bisa terjadi pada generator salah satunya adalah kehilangan penguat medan (*loss of excitation / loss of field*). Dan metode yang paling banyak digunakan untuk mendeteksi hilang penguat medan (*loss of excitation*) ini adalah menggunakan rele Mho untuk merasakan variasi impedansi dilihat dari terminal generator.

1.2. Permasalahan

Jika suatu generator kehilangan penguat, maka generator tersebut akan menarik daya reaktif dari sistem. Hal ini akan menyebabkan menurunnya tegangan yang mengakibatkan instabilitas pada sistem. Sebagai proteksi, rele arus kurang dapat dipakai pada sirkuit medan, karena jenis proteksi ini dipengaruhi oleh arus bolak-balik yang di induksikan dari luar sirkuit medan. Jenis proteksi yang dapat lebih diandalkan dan sesuai adalah rele impedansi dengan karakteristik kerja di daerah reaktansi negative. Dengan memilih rele Mho dengan karakteristik yang sesuai, maka proteksi ini dapat digunakan untuk mendeteksi hilang penguat medan pada generator.

Schingga yang menjadi masalahnya adalah bagaimana setting atau pengaturan rele Mho agar dapat mengatasi gangguan akibat hilang penguat medan (*loss of excitation*) pada generator.

1.3. Tujuan.

Tujuan dari pembahasan tugas akhir ini adalah untuk :

1. Menentukan pengaturan tap (*restraint tap setting*) yang tepat untuk rele Mho jika hilang penguat medan (*loss of excitation*) terjadi pada generator di PLTU Suralaya Jawa Barat.
 2. Menentukan gambar daerah proteksi rele Mho untuk mengatasi hilang penguat medan.
-

1.4. Batasan Masalah.

Dalam pembahasan masalah nanti akan dibatasi oleh hal – hal sebagai berikut :

- a. Perhitungan untuk generator pada PLTU Suralaya Unit 1.
- b. Rele yang digunakan adalah *loss of field relay* dengan tipe *CEH52A*, buatan general electric.
- c. Menghitung restraint tap setting.
- d. Menggambar daerah proteksi rele Mho untuk mengatasi hilang penguat medan.
- e. Investasi peralatan tidak diperhitungkan.
- f. Tidak membahas koordinasi rele pengaman.

1.5. Sistematika Pembahasan.

Dalam skripsi ini penulis menyusun sistematika pembahasan sebagai berikut :

BAB I. **Pendahuluan**

Berisi tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, sistematika pembahasan, dan metodologi.

BAB II. **Pengaman Sistem Tenaga Listrik**

Berisi tentang teori pengaman sistem tenaga listrik sebagai penunjang dalam analisa permasalahan.

BAB III. Generator Sinkron

Berisi tentang uraian generator sinkron dan teori hilang penguat medan sebagai penunjang dalam analisa permasalahan.

BAB IV. Analisa Penggunaan Rele Mho Untuk Mendeteksi Hilang Penguat Medan Pada Generator PLTU Suralaya Jawa Barat.

Berisi tentang data – data, dan perhitungan analisa penggunaan rele Mho untuk mendeteksi hilang penguat medan pada generator PLTU Suralaya Jawa Barat.

BAB V. Penutup.

Berisi tentang kesimpulan dan saran.

1.6. Metode Pembahasan.

Metode pembahasan yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Studi literatur, yaitu dengan analisa berdasarkan teori – teori yang terkait dengan masalah dalam tugas akhir ini melalui literatur yang sesuai.
 2. Studi lapangan, yaitu dengan mencari data – data di Suralaya sebagai acuan dalam melengkapi parameter – parameter yang digunakan untuk menghitung dan menganalisa masalah.
-

BAB II

PENGAMAN SISTEM TENAGA LISTRIK

2.1. Tinjauan Umum.

Dihilangkannya suatu gangguan dengan cepat oleh suatu sistem perlindungan / pengamanan memerlukan kerja yang benar dari beberapa sub sistem dari sistem perlindungan. Fungsi dari masing –masing sub sistem ini dapat dimengerti dengan baik, dengan melukiskan peristiwa –peristiwa yang terjadi dari saat timbulnya suatu gangguan hingga dihilangkannya gangguan tersebut dari sistem daya yang bersangkutan. Sistem perlindungan / pengamanan dapat dibagi menjadi tiga (3) sub sistem, yaitu :

1. Pemutus rangkaian.
2. Transduser.
3. Rele pengaman.

Rele adalah piranti yang mengindera (*sense*) adanya gangguan dan menyebabkan diberikannya daya pada rangkaian kemudi (*trip circuit*) dari pemutus rangkaian sehingga pemutus tersebut membuka kontaknya. Transduser memberikan masukan pada rele tersebut.

2.2 Pemutus Rangkaian

Pemutus rangkaian akan membantu menentukan batas daerah perlindungan. Batas setiap daerah menentukan bagian sistem daya sedemikian rupa sehingga untuk gangguan yang terjadi di dalam daerah tersebut, sistem perlindungan / pengamanan yang bertanggung jawab akan bertindak untuk memisahkan semua gangguan yang berada dalam daerah itu untuk seluruh bagian yang lain dari sistem. Karena pemisahan atau pemutusan daya (*deenergization*) dalam keadaan terganggu tadi dilakukan oleh pemutus rangkaian, jadi pada setiap titik hubungan antara peralatan didalam daerah itu dengan bagian lainnya dari sistem harus menyisipkan pemutus rangkaian.

2.2.1. Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga adalah saklar yang dapat digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus listrik sesuai dengan ratingnya. Pada waktu pemutusan / menghubungkan arus listrik akan terjadi busur api. Pemadaman busur api pada waktu pemutusan dapat dilakukan dengan beberapa macam media (minyak, udara, dan gas). PMT dapat dioperasikan dalam kondisi berbeban.

Macam – macam pemutus tenaga (PMT) :

- PMT dengan media minyak
 - PMT dengan menggunakan minyak dipergunakan pada sistem dengan tegangan sampai dengan 245 kV. Dalam hal ini minyak berfungsi sebagai :

- Peredam loncatan bunga api listrik selama pemutusan kontak -- kontak.
- Bahan isolasi antara bagian – bagian yang bertegangan dengan tangki.
- PMT dengan media hampa udara (*Vacuum Circuit Breaker*)
 - Kontak – kontak pemutus dari PMT terdiri dari kontak tetap dan kontak bergerak yang ditempatkan dalam ruangan hampa udara. Ruang hampa udara mempunyai kekuatan dielektrik yang kuat dan media pemadaman busur api yang baik.
- PMT dengan media gas
 - Media gas yang digunakan adalah gas SF₆ (*Sulphur Hexafluoride*). Sifat – sifat gas ini adalah tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak beracun, serta tidak mudah terbakar. Pada temperature diatas 150 °C, gas SF₆ mempunyai sifat tidak merusak metal dan plastic. Gas SF₆ mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi dan kekuatan dielektrik bertambah dengan penambahan tekanan.

2.2.2. Pemisah (PMS)

Pemisah (PMS) adalah alat yang dipergunakan untuk menyatakan secara visual bahwa suatu peralatan listrik sudah bebas dari tegangan kerja. PMS tidak diperbolehkan untuk di masukkan atau di keluarkan pada rangkaian listrik

dalam keadaan berbeban. PMS line dilengkapi PMS ground diantaranya terdapat alat yang disebut *interlock* sehingga dengan alat ini kesalahan operasi dapat dihindarkan.

Macam – macam pemisah (PMS) :

- Menurut fungsinya PMS dibagi :

1. PMS Ground

Berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik dari sisa tegangan yang timbul, yaitu sesudah SUTT diputuskan atau induksi tegangan dari penghantar atau kabel lainnya.

2. PMS Peralatan

Berfungsi untuk mengisolasi peralatan listrik dari peralatan lain atau instalasi yang bertegangan yang dimasukkan dan dibuka dalam keadaan tanpa beban.

- Menurut gerakan lengan PMS dibagi :

1. PMS Engsel

PMS yang gerakannya seperti engsel.

2. PMS Putar

Terdapat dua buah kontak diam dan dua buah kontak gerak yang dapat berputar pada sumbunya.

- Menurut penempatannya PMS dibagi :

1. PMS Line

PMS yang terpasang di sisi line.

2. PMS bus

PMS yang terpasang di sisi line.

3. PMS ground

PMS yang terpasang pada line untuk menghubungkan ke tanah / ground.

2.3. Transduser

Arus dan tegangan pada peralatan daya yang harus di lindungi biasanya diubah oleh transformator arus dan tegangan ke tingkat yang lebih rendah untuk pengoperasian rele. Tingkat - tingkat yang lebih rendah ini diperlukan karena :^[6]

- (1).Tingkat masukan yang lebih rendah ke rele tadi memastikan bahwa komponen yang digunakan untuk konstruksi rele tersebut secara fisik akan menjadi cukup kecil dan karenanya lebih murah.
- (2). Operator yang bekerja dengan rele dapat bekerja dalam lingkungan yang aman.

Ada dua macam transduser (transformator pengukuran) yaitu :

- (1). Transformator arus (*Current Transformer* - *CT*)

Transformator arus digunakan untuk menurunkan arus beban dengan perbandingan tertentu. Transformator arus mempunyai kesalahan perbandingan yang pada beberapa jenis dapat dihitung dan pada jenis - jenis yang lain harus ditentukan dengan pengujian. Kesalahan ini dapat menjadi cukup tinggi jika muatan impedansinya terlalu besar, tetapi

dengan pemilihan transformator arus yang tepat terhadap muatannya, kesalahan tersebut dapat dipertahankan pada suatu nilai yang dapat diterima. Rating arus normal untuk sekunder CT telah dibakukan 5 A, dengan standart kedua sebesar 1 A yang dipakai di Eropa, dan juga di Amerika Serikat dalam lingkungan yang lebih terbatas. Rating gulungan sekunder CT ini dapat dilampaui untuk periode waktu yang singkat tanpa merusak gulungan tersebut. Arus yang lebih dari 10 sampai dengan 20 kali arus normal sering dijumpai dalam gulungan CT pada saat hubung singkat pada sistem tenaga listrik.

(2). Transformator tegangan (*Voltage Transformer - VT*)

Transformator tegangan digunakan untuk menurunkan tegangan beban dengan perbandingan tertentu. Transformator tegangan biasanya jauh lebih teliti dari pada transformator arus, dan kesalahan perbandingan serta sudut phasanya biasanya diabaikan. Tetapi yang perlu diperhatikan pada VT ini adalah tanggap peralihannya (*Transient response*) pada waktu ada gangguan, karena dalam keadaan semacam ini mungkin timbul kesalahan - kesalahan.

2.4. Rele Pengaman

2.4.1. Definisi Rele Pengaman

Nilai investasi peralatan listrik pada suatu pembangkit listrik sedemikian besar, sehingga perhatian khusus harus diutamakan agar setiap

peralatan tidak hanya beroperasi dengan efisiensi yang optimal, tetapi juga harus aman dari kecelakaan dan kerusakan fatal yang dapat menimbulkan :

- Kerugian biaya investasi
- Kerusakan operasi
- Terganggunya pelayanan terhadap konsumen.

Untuk itu rele pengaman (rele proteksi) sangat diperlukan pada peralatan pembangkit. Hampir semua peralatan listrik pembangkit tidak dibiarkan beroperasi tanpa pengaman / proteksi.

Rele pengaman (rele proteksi) adalah piranti yang mengindera (*sense*) adalah gangguan dan menyebabkan diberikannya daya pada rangkaian kemudi (*trip circuit*) dari pemutus rangkaian sehingga pemutus tersebut membuka kontaknya.

Tugas suatu rele adalah membedakan gangguan di dalam daerah perlindungannya dengan semua keadaan sistem yang lain. Rele ini harus digerakkan agar memberikan daya pada kumparan pemutus (*trip coil*) dari pemutus rangkaian yang berhubungan dengannya, secara pasti dan mantap untuk gangguan di daerah perlindungannya, dan menyediakan pengamanan terhadap pemutusan yang keliru untuk gangguan yang terjadi di luar daerah tersebut. Suatu rele dapat dibuat mantap dan aman dengan merencanakan kedalamnya suatu kemampuan membuat keputusan yang logis (*logical = sesuai dengan jalan pikiran yang lurus*) sedemikian sehingga berdasarkan keadaan sinyal masukannya, rele tersebut mampu menghasilkan keluaran yang benar untuk setiap kemungkinan keadaan sinyal masukannya.

2.4.2. Fungsi dan Peranan Rele Pengaman

Fungsi dan peranan rele pengaman adalah sebagai berikut :

- a. Memberikan sinyal alarm atau melepas pemutus tenaga (*circuit breaker*) dengan tujuan mengisolir gangguan atau kondisi tidak normal, seperti adanya beban lebih, tegangan lebih, kenaikan temperatur, beban tidak seimbang, daya balik, frekuensi rendah, hubung singkat, dan kondisi tidak normal lainnya
- b. Melepas atau mentrip peralatan yang tidak normal untuk mencegah timbulnya kerusakan
- c. Melepas atau mentrip peralatan yang terganggu secara cepat dengan tujuan mengurangi kerusakan yang lebih berat.
- d. Melepas peralatan atau bagian - bagian yang terganggu secara cepat dengan maksud menjaga stabilitas sistem, kontinuitas pelayanan, dan unjuk kerja sistem.

Secara umum fungsi dan peranan rele pengaman adalah sebagai berikut:

- a. Mencegah kerusakan ,
 - b. Membatasi kerusakan,
 - c. Mencegah meluasnya gangguan sistem.
-

2.4.3. Syarat – syarat Rele Pengaman

Agar rele pengaman dapat menjalankan fungsi dan peranannya dengan baik, maka rele pengaman harus memenuhi syarat – syarat sebagai berikut :

a. Sensitif.

Rele pengaman harus peka sehingga dapat bekerja dengan pasti pada saat diperlukan dan dalam keadaan yang memberikan rangsangan minimum.

b. Selektif.

Rele pengaman harus dapat membedakan keadaan yang memerlukan pemutusan segera dalam waktu tunda atau tidak perlu pemutusan. Sehingga bagian yang terganggu saja yang dipisahkan, sedangkan yang normal tetap beroperasi.

c. Cepat.

Rele pengaman harus bekerja dengan cepat agar waktu gangguan minimum dan bahaya untuk peralatan dapat di minimalkan.

d. Andal.

Rele pengaman dapat mempertahankan kemampuan yang semula ada padanya dalam kurun waktu tertentu. Pada dasarnya keandalan mencakup keamanan dan dapat dipercaya (*reliable*).

e. Sederhana

Rele pengaman rangkaianannya tidak rumit, sehingga mudah dipahami dan diperbaiki serta fleksibel terhadap segala perubahan atau perkembangan selanjutnya.

f. Ekonomis

Dengan biaya yang sekecil mungkin namun dapat diperoleh kemampuan rele pengaman yang semaksimal mungkin dan tidak memerlukan peralatan penunjang khusus.

2.5. Macam – macam Rele Proteksi Generator Sinkron

Setelah mengetahui fungsi dan peranan rele pengaman, kita juga harus mengetahui rele – rele pengaman / proteksi apa saja yang terdapat pada pembangkit listrik khususnya PLTU. Adapun macam – macam rele generator adalah sebagai berikut :

1. *Distance Relay*

- a. untuk mendeteksi gangguan dua atau tiga fasa di muka generator sampai batas jangkauannya.
- b. mendeteksi normalan besar arus yang dihasilkan maupun impedansi generator yang melebihi batas maksimalnya.

2. *Synchronous Check Relay*

Berfungsi sebagai pengaman Bantu generator untuk mendeteksi persyaratan sinkronisasi.

3. *Under Voltage Relay*

Berfungsi mendeteksi turunnya tegangan hingga dibawah nilai yang telah ditentukan / diijinkan.

4. *Reverse Power Relay*

Berfungsi mendeteksi daya balik, mencegah generator bekerja sebagai motor (anti motoring).

5. *Loss of Excitation Relay*

Berfungsi mendeteksi kestabilan sistem atau kehilangan penguat medan generator.

6. *Negative Phase Sequence Relay*

Berfungsi mendeteksi adanya arus lebih fasa urutan negative yang terjadi karena ketidak seimbangan beban masing – masing fasa atau satu fasa terbuka.

7. *Instantaneous Over Current Relay*

Berfungsi mendeteksi besar arus yang melebihi batas dan memutus pemutus dalam waktu seketika.

8. *Time Over Current Relay*

Berfungsi mendeteksi besar arus yang melebihi batas dan memutus pemutus dalam waktu tertentu.

9. *Over Excitation Relay*

Berfungsi mendeteksi penguatan lebih pada generator.

10. *Over Voltage Relay*

- a. jika dipasang di titik netral generator yang di hubungkan delta berfungsi untuk mendeteksi gangguan stator hubung tanah.
 - b. jika dipasang pada terminal generator berfungsi mendeteksi tegangan lebih.
-

11. Voltage Balance Relay

Berfungsi mendeteksi hilangnya tegangan dari AVR ke potensial transformator dan ke rele.

12. Time Delay Relay

Berfungsi mengatur dan mensetting waktu pemutusan.

13. Stator Ground Fault Relay

Berfungsi mendeteksi gangguan hubung tanah pada stator.

14. Out of Step Relay

Berfungsi mendeteksi kondisi sinkron generator yang telah paralel pada sistem.

15. Frequency Relay

Berfungsi mendeteksi perubahan frekuensi yang melebihi batas.

16. Differential Relay

Berfungsi mendeteksi gangguan internal generator dengan membandingkan arus input dan output generator.

17. Lock Out Relay

Berfungsi menerima dan mengunci sinyal trip dari rele-rele proteksi dan meneruskannya ke PMT, alarm dan peralatan lainnya

2.6. Sistem Proteksi Generator Sinkron

Generator sebagai sumber energi listrik dalam sistem energi listrik perlu diamankan / diproteksi agar jangan sampai mengalami kerusakan. Secara garis besar sistem proteksi generator meliputi :

- a. Proteksi terhadap gangguan yang terjadi di dalam generator.
- b. Proteksi terhadap gangguan dalam mesin penggerak yang memerlukan tripnya PMT generator.
- c. Proteksi terhadap gangguan di luar generator yaitu gangguan dalam sistem yang dihubungkan dengan generator.

2.6.1. Macam – macam Gangguan pada Generator Sinkron

Di dalam suatu generator yang merupakan peralatan penting dari suatu pembangkit listrik, tentunya terdapat beberapa gangguan dalam pengoperasiannya. Adapun macam - macam gangguan di dalam generator pada suatu pusat pembangkit listrik dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Gangguan listrik (*Electrical Fault*)

Gangguan ini adalah gangguan yang terjadi pada bagian - bagian listrik dari generator.

Gangguan - gangguan tersebut antara lain:

1). Hubung singkat 3 (tiga) fasa

Terjadinya arus lebih pada stator yang dimaksud adalah arus lebih yang timbul akibat terjadinya hubung singkat 3 (tiga) fasa. Gangguan ini akan menimbulkan loncatan bunga api dengan suhu yang tinggi yang akan melelehkan belitan dengan resiko terjadinya kebakaran jika isolasi tidak terbuat dari bahan yang anti api.

2). Hubung singkat 2 (dua) fasa

Gangguan hubung singkat dua fasa (*unbalance fault*) lebih berbahaya dibanding hubung singkat tiga fasa (*balance fault*), karena disamping terjadi kerusakan pada belitan akan timbul juga fibrasi pada kumparan stator. Kerusakan lain yang timbul adalah momen puntir yang besar pada poros (*shafi*) dan kopling turbin.

3). Stator hubung singkat satu fasa ke tanah (*Stator ground fault*)

Kerusakan akibat gangguan dua fasa atau antara konduktor, kadang kadang masih dapat diperbaiki dengan menyambung atau mengganti sebagian konduktor. Tetapi, kerusakan laminasi besi (*iron lamination*) akibat gangguan satu fasa ke tanah yang menimbulkan bunga api, merusak isolasi dan inti besi adalah kerusakan serius yang perbaikannya dilakukan secara total. Gangguan jenis ini meskipun kecil harus segera diproteksi.

4). Rotor hubung tanah (*Field ground*)

Pada rotor generator yang belitannya tidak dihubungkan ke tanah (*ungrounded system*) bila salah satu sisi terhubung ke tanah belum menjadi masalah. Tetapi, bila sisi lainnya kemudian terhubung ke tanah, sementara sisi lainnya tidak terselesaikan maka akan terjadi kehilangan arus pada bagian belitan yang terhubung singkat melalui tanah. Akibatnya terjadi ketidakseimbangan fluksi yang menimbulkan fibrasi yang berlebihan dan kerusakan fatal pada rotor.

mover). Dampak kerusakan akibat peristiwa motoring adalah lebih kepada penggerak itu sendiri. Pada turbin uap (*steam turbine*) peristiwa motoring akan mengakibatkan pemanasan lebih pada sudu – sudunya.

2). Pemanasan lebih setempat

Pemanasan lebih setempat pada stator dapat disebabkan karena :

- a. kerusakan laminasi
- b. kendornya bagian – bagian tertentu didalam generator seperti pasak pasak stator (*stator wedges*), terminal ujung – ujung belitan dan sebagainya.

3). Kesalahan pararel

Kesalahan dalam mempararel generator dapat mengakibatkan kerusakan pada poros dan kopling generator dan penggerak utamanya karena terjadinya momen puntir. Kemungkinan kerusakan lain yang dapat timbul adalah kerusakan PMT (pemutus) dan kerusakan pada kumparan stator akibat adanya kenaikan tegangan sesaat.

4). Gangguan pendingin stator

Gangguan pada pendingin stator akan menyebabkan kenaikan suhu belitan stator. Apabila suhu belitan melampaui batas ratingnya akan berakibat kerusakan belitan.

c. Gangguan sistem (*System fault*)

Generator dapat terganggu akibat adanya gangguan yang datang atau terjadi pada sistem. Gangguan gangguan sistem yang biasanya terjadi antara lain sebagai berikut :

1). Frekuensi operasi yang tidak normal (*abnormal frequency operation*)

Perubahan frekuensi di luar batas – batas yang normal di sistem dapat berakibat ketidak-stabilan pada turbin generator. Perubahan frekuensi sistem dapat disebabkan oleh tripnya unit – unit pembangkit atau penghantar (transmisi).

2). Lepas sinkron (*loss of synchron*)

Adanya gangguan di sistem akibat perubahan beban mendadak, switching, hubung singkat dan peristiwa lainnya yang cukup besar dapat menimbulkan ketidak-stabilan pada sistem. Apabila peristiwa tersebut berlangsung cukup lama dan melampaui batas – batas ketidak-stabilan generator maka generator akan kehilangan kondisi paralel. Keadaan ini akan menghasilkan arus puncak yang tinggi dan penyimpangan frekuensi operasi keluar dari kondisi normalnya, sehingga akan menyebabkan / menimbulkan terjadinya stress pada belitan generator, gaya puntir yang berfluktuasi dan resonansi yang akan merusak turbin generator. Pada kondisi ini generator harus dilepas dari sistem.

3). Pengaman cadangan (*back-up protection*)

Kegagalan fungsi pengaman didpan generator pada saat terjadi gangguan di sistem akan menyebabkan gangguan masuk dan dirasakan oleh generator. Untuk itu diperlukan pemasangan pengaman cadangan.

4). Arus beban kumparan yang tidak seimbang (*unbalanced armature current*)

Pembebanan yang tidak seimbang pada sistem atau adanya gangguan satu fasa dan dua fasa pada sistem yang menyebabkan beban generator tidak seimbang dan menimbulkan arus urutan negative. Arus urutan negative akan menginduksi arus medan dengan arah berlawanan dengan putaran rotor dan akan menginduksi arus pada rotor dan akan menyebabkan adanya pemanasan lebih dan kerusakan pada bagian – bagian konstruksi rotor.

BAB III

GENERATOR SINKRON

3.1. Tinjauan Umum

Generator adalah suatu mesin listrik yang dapat mengubah daya mekanik menjadi daya listrik. Generator sinkron masih merupakan mesin utama dalam pembangkitan tenaga listrik, karena generator sinkron dapat dibuat dalam kapasitas daya yang besar dengan tegangan yang tinggi. Sebagai penggerak mula (*prime mover*) generator dapat dipergunakan mesin diesel untuk kapasitas daya kecil dan mempergunakan turbin air atau turbin uap untuk kapasitas daya yang besar.

3.2. Teori Dasar Generator Sinkron

Kedua bagian utama sebuah generator sinkron adalah susunan ferromagnetic. Bagian yang diam, pada dasarnya adalah sebuah silinder kosong dinamakan stator atau jangkar (*armature*) dan mempunyai parit-parit (*slots*) memanjang yang di dalamnya terdapat lilitan kumparan stator. Lilitan ini membawa arus yang diberikan pada suatu beban listrik atau sistem oleh sebuah generator. Rotor adalah bagian dari generator yang dipasang pada poros dan berputar di dalam stator yang kosong. Lilitan pada rotor dinamakan lilitan medan (*field winding*) dan dicatu dengan arus dc. Mmf (*magnetomotive force*) yang sangat tinggi dihasilkan oleh lilitan medan ini berinteraksi dengan mmf yang

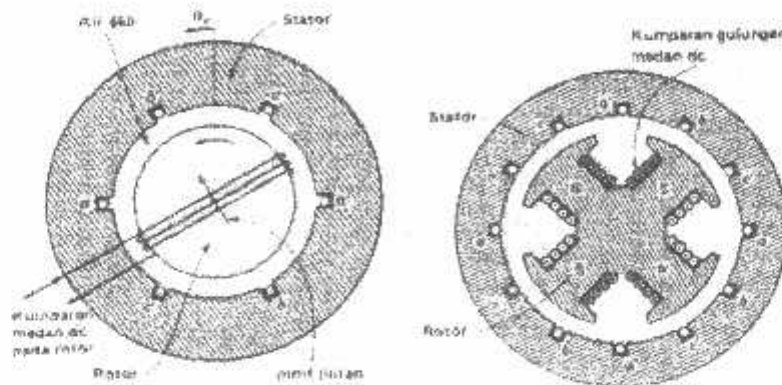
dihasilkan oleh arus dalam lilitan stator. Fluks resultan pada celah udara antara stator dan rotor membangkitkan tegangan dalam kumparan lilitan stator dan menyebabkan terjadinya momen putar atau (*torque*) antara stator dan rotor. Arus dc dicatu pada lilitan medan oleh sebuah dinamo – medan (*exciter – penguat*) yang dapat berupa sebuah generator yang terpasang pada poros atau sebuah sumber dc tersendiri yang dihubungkan pada lilitan medan melalui sikat (*brush horstel*) pada gelang – gelang seret (*slip-rings*). Generator AC yang besar biasanya mempunyai penguat yang terdiri dari sebuah sumber AC dengan perata arus solid-state.

Pada gambar 3 - 1a menunjukkan sebuah generator tiga fasa yang sederhana. Lilitan medan digambarkan sebagai sebuah kumparan. Generator pada gambar ini disebut sebuah mesin berkutub non salien, karena rotornya berbentuk silinder. Pada mesin yang sebenarnya kumparan mempunyai lilitan yang besar jumlahnya tersebar didalam parit disekeliling rotor. Medan magnet kuat yang ditimbulkan menggandeng kumparan stator untuk mengimbas tegangan pada lilitan stator ketika poros diputar oleh penggerak mula.

3.2.1. Stator

Stator adalah bagian dari generator yang tidak bergerak, dimana pada stator inilah GGL (gaya gerak listrik) timbul akibat terpotongnya garis – garis gaya dari medan magnet rotor oleh belitan kumparan jangkar yang ada pada stator. Penampang stator dapat dilihat pada gambar 3 - 1 a, sisi – sisi yang berhadapan dari sebuah kumparan terletak di dalam parit a dan a' , yang terpisah

sejauh 180° . Kumputan yang sama terdapat juga di dalam parit b dan b' dan c dan c' .



Gambar 3 – 1

Penampang Stator dengan [6]

- a. Rotor Kutub Silinder**
- b. Rotor Kutub Salien**

3.2.2. Rotor

Rotor adalah bagian dari generator yang bergerak (diputar oleh penggerak mula). Pada rotor terdapat kumparan medan. Kumparan medan ini dapat berbentuk kutub menonjol (*salient*) atau kutub dengan celah udara sama rata (*silinder*). Rotor terdiri susunan plat - plat dirangkai menjadi satu kemudian dibaut, pada rotor dipasang pole atau kutub. Untuk pole / kutub tersebut diikat dengan pen atau pasak, di samping itu pada bagian dalam pole tersebut diberi plat baja yang bisa mengeper atau pegas. Adapun pole tersebut disambungkan satu sama lain dengan plat tembaga yang disebut *dampar winding*. Pada bagian rotor inilah terdapat penguatan dari suplai dc melalui sikat arang sehingga pada rotor

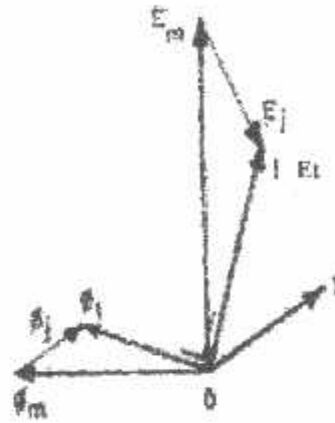
timbul medan magnet. Gambar 3 – 1b memperlihatkan mesin berkutub salien yang mempunyai empat buah kutub. Sisi – sisi yang berhadapan dari sebuah kumparan stator terpisah sejauh 90° . Jadi ada 2 buah kumparan untuk masing – masing fasa. Sisi – sisi kumparan a, b, dan c dari kumparan yang berdekatan terpisah 60° .

3.3. Pembentukan Medan Magnet Pada Generator Sinkron

Medan magnet utama (Φ_m) pada generator sinkron dihasilkan oleh magnet permanen atau belitan medan yang dialiri arus. Kekurangan dari penggunaan magnet permanen adalah besar fluksi (garis – garis gaya) magnetnya tidak dapat diatur, oleh karena itu pada generator sinkron medan magnet utama biasanya dihasilkan oleh kumparan medan pada rotor atau yang dinamakan medan magnet rotor.

Ketika generator dibebani maka pada stator mengalir arus yang mengakibatkan pada kumparan jangkar timbul gaya gerak magnet (ggm) disebut fluksi jangkar (Φ_j). Fluksi jangkar akan memperlemah atau memperkuat fluksi utama pada rotor. Interaksi antar fluksi utama (Φ_m) dengan fluksi jangkar (Φ_j) ini dinamakan reaksi jangkar. Fluksi magnet utama (Φ_m) dari rotor menginduksikan dalam belitan stator suatu gaya gerak listrik sebesar E_m . gaya gerak listrik ini akan menyebabkan mengalirnya arus induksi dalam belitan stator. Dan arus induksi ini akan mengakibatkan adanya fluksi jangkar (Φ_j) pada stator, sehingga akan menghasilkan gaya gerak listrik jangkar (E_j) dalam belitan stator.

Fluksi medan (Φ_m) dan fluksi jangkar (Φ_j) menghasilkan fluksi total (Φ_t). Gaya gerak listrik (E_m) dan gaya gerak jangkar (E_j) menghasilkan gaya gerak listrik total (E_t) dengan arus mengalir sebesar (I).

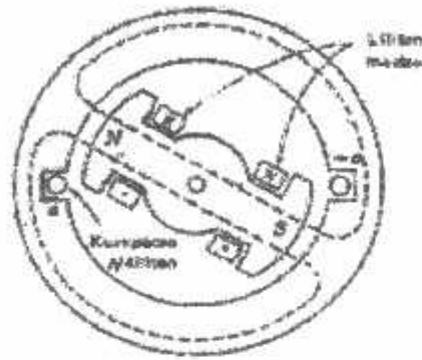


Gambar 3-2

Diagram Vektor Fluksi Magnet^[9]

3.3.1. Medan Magnet Rotor

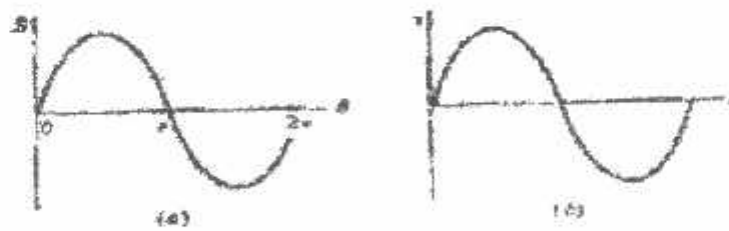
lilitan medan pada rotor diteral / dikuatkan oleh arus searah yang dialirkan melalui sikat arang yang berada pada cincin slip atau cincin pengumpul. Rotor diputar pada suatu kecepatan tetap oleh sebuah sumber daya mekanis yang dihubungkan pada sumbunya.



Gambar 3 – 3

Fluks Utama pada Motor^[8]

Lintasan fluks tampak berupa garis putus – putus pada gambar 3 – 3, sedangkan pembagian radial dari kerapatan fluks sela udara B tampak pada gambar 3 – 4a yang bentuknya menyerupai bentuk gelombang sinus. Tegangan kumparan a dan $-a$ yang terjadi merupakan fungsi waktu yang mempunyai bentuk gelombang yang sama seperti pembagian ruang B seperti gambar 3 – 4b.



Gambar 3 – 4

(a) Pembagian Ruang dari Kerapatan Fluks^[8]

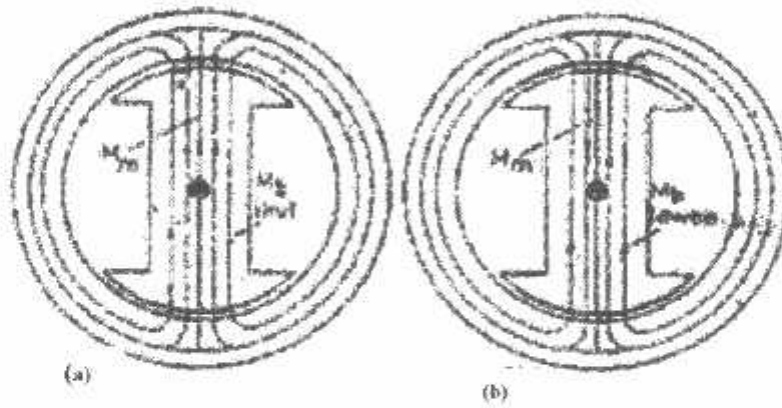
(b) Bentuk Gelombang dari Tegangan yang Dibangkitkan^[8]

3.3.2. Medan Magnet Stator

Medan magnet jangkar timbul akibat mengalirnya arus dalam kumparan jangkar, medan magnet jangkar terdiri dari :

a. Medan magnet jangkar membujur

Medan magnet ini adalah yang sefasa maupun yang berlawanan fasa dengan medan magnet utama. Hal ini tergantung dari macam beban pada kumparan jangkar. Apabila bebannya bersifat kapasitif, maka medan magnet membujur akan memperkuat medan magnet utama (sefasa). Secara visual keadaan ini dapat terlihat pada gambar 3 – 5 berikut ini :



Gambar 3 – 5 :

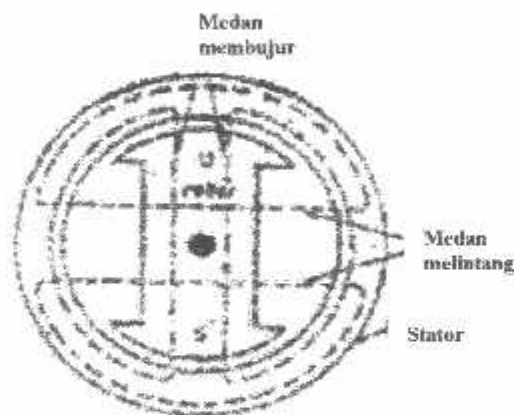
Medan Magnet Utama dan Medan Magnet Jangkar Membujur^(b)

(a) searah dan (b) berlawanan arah

b. Medan magnet jangkar melintang

Medan magnet jangkar melintang adalah yang tegak lurus dengan medan utama (mempunyai selisih 90^0). Secara visual medan magnet melintang dapat dilihat pada gambar 3 – 6.

Pada gambar 3 – 6 diperlihatkan garis – garis gaya medan magnet membujur dan garis – garis gaya medan magnet melintang. Garis gaya medan magnet membujur mengikuti panjang rotor dan hanya sedikit melintasi celah udara antara kutub dan stator. Sedangkan garis gaya medan magnet melintang memang melintangi rotor dan lebih banyak melintasi celah udara.



Gambar 3 – 6

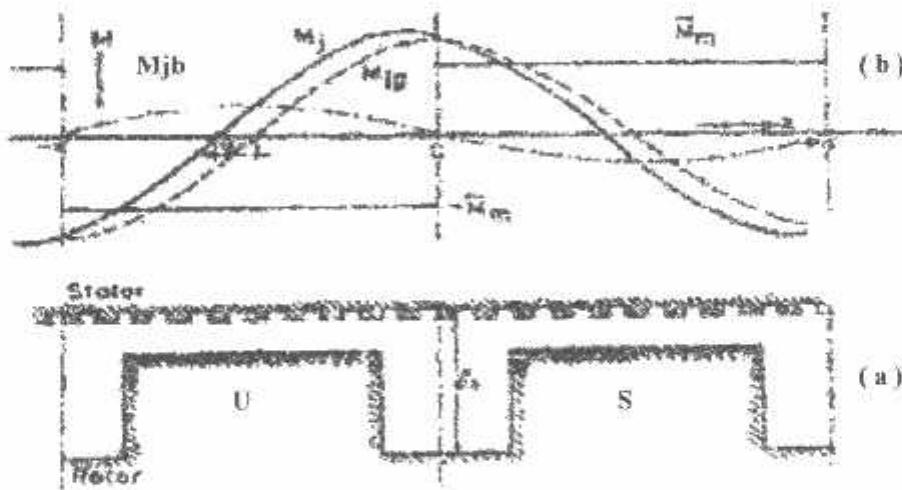
Medan Magnet Jangkar Melintang^[9]

3.3.3. Medan Magnet Total

Medan magnet total adalah penjumlahan antara medan magnet utama dengan medan magnet jangkar. Untuk melukiskan medan magnet total pada generator yang mempunyai rotor jenis menonjol adalah seperti pada gambar 3 – 7.

Untuk mempermudah, kutub utara diberi notasi " U " dan kutub selatan diberi notasi " S ".

Pada stator tampak alur-alur sepanjang keliling stator, pada gambar 3-7 bagian (b) tercantum bagian gaya gerak magnet M sebagai fungsi dari tempat x . Gaya gerak magnet yang berasal dari kutub rotor adalah M_m , besar M_m pada gambar adalah dari $x = 0$ sampai $x = +n$ dengan mengambil nilai rata-rata, sedangkan $x = -n$ sampai $x = 0$ adalah $-M_m$. Gaya gerak magnet jangkar M_a dilukiskan sebagai suatu fungsi harmonisasi tunggal.



Gambar 3-7

Medan Magnet Total^[9]

Gaya gerak magnet M_a terdiri dari dua komponen, yaitu komponen gaya gerak magnet membujur (M_b) dan gaya gerak magnet melintang (M_g), sehingga dapat dituliskan sebagai berikut:^[9]

$$M_a = M_b + M_g$$

Sedangkan gaya gerak magnet totalnya adalah :⁽⁹⁾

$$\mathbf{M}_t = \mathbf{M}_m + \mathbf{M}_a$$

Dengan : M_a = Gaya gerak magnet jangkar

M_b = Gaya gerak magnet menbujur

M_g = Gaya gerak magnet jangkar melintang

M_m = Gaya gerak magnet rotor

M_t = Gaya gerak magnet total

Bentuk vector dari interaksi antara fluksi utama (Φ_m) pada rotor dengan fluksi jangkar (Φ_j) pada stator atau yang disebut dengan fluksi total (Φ) seperti terlihat pada gambar 3 - 2 diatas.

3.4. Sistem Penguatan dan Pengaturan Tegangan Pada generator sinkron

3.4.1. Sistem Penguatan Generator

Sistem penguatan disini adalah suatu sistem untuk menyalurkan arus searah (DC) ke belitan atau kumparan medan pada rotor untuk menghasilkan medan magnet. Dan secara garis besar sistem penguatan generator dapat dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu sebagai berikut :

a. Penguatan terpisah (*Separate Excitation*)

Penguatan terpisah ini artinya adalah arus searah sebagai pembangkit medan magnet rotor diambil atau berasal dari luar generator, contohnya dari baterai penyimpan generator DC Shunt yang rotornya dikopel dan berputar bersama – sama dengan rotor generator sinkron tersebut.

b. Penguatan sendiri (*Individual Excitation*)

Pada sistem penguatan sendiri ini, arus untuk menghasilkan medan magnet diambil atau berasal dari generator itu sendiri yaitu dengan merubah arus bolak – balik (AC) yang dihasilkan menjadi arus searah (DC) dengan menggunakan alat penyearah (*rectifier*).

3.4.2. Sistem Pengaturan Tegangan Generator

Pengaturan tegangan merupakan kelengkapan utama sistem tenaga listrik. Apabila terjadi perubahan beban, maka tegangan pun akan ikut berubah. Jika putaran generator sudah stabil, maka arus medannya harus diatur dan di sinilah fungsi dari pengaturan tegangan. Untuk mengatur besarnya tegangan yang dihasilkan dapat dilakukan dengan mengatur besar / banyaknya garis – garis medan magnet yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir pada kumparan medan. Jadi untuk mengatur besarnya tegangan yang dihasilkan dapat dilakukan dengan mengatur besarnya arus penguat.

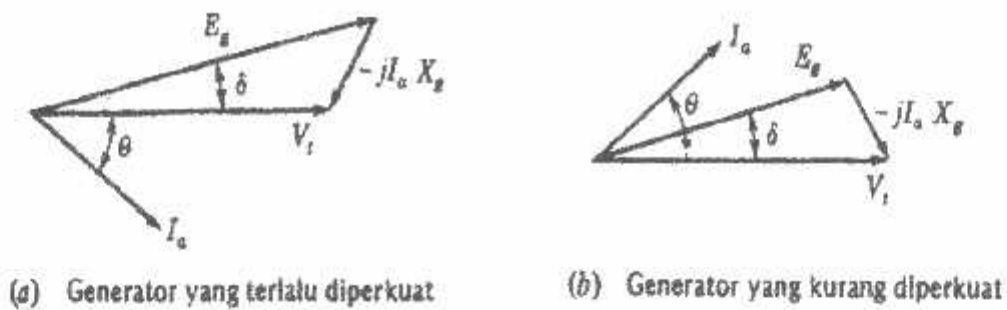
Pengatur tegangan ini bekerja secara otomatis dan dikenal dengan *AVR* (*Automatic Voltage Regulator*). Disamping sebagai pengatur tegangan agar tetap stabil, AVR juga berfungsi untuk mempertinggi kapasitas muatan pada saluran transmisi, mengatur besarnya daya reaktif dan menaikkan batas daya stabilitas peralihan. Setiap terjadi penambahan beban yang mengakibatkan turunnya tegangan terminal generator maka AVR akan menambah arus penguatan medan pada *exciter*, sebaliknya jika terjadi pengurangan beban yang menyebabkan naiknya tegangan terminal generator maka AVR akan mengurangi arus penguatan

medan pada *exciter*. Hal ini dapat terjadi karena AVR mempunyai rangkaian untuk membandingkan tegangan terminal generator dengan tegangan referensi yang telah diatur pada rangkaian AVR tersebut.

3.4.3. Pengaruh Perubahan Penguatan Pada Generator Sinkron

Perubahan penguatan atau eksitasi generator sinkron adalah faktor paling penting dalam pengaturan aliran daya reaktif. Sebuah generator yang terminalnya dihubungkan ke suatu sistem daya yang sangat besar, bahkan sedemikian besarnya sehingga tegangan V_t pada terminal generator tidak akan berubah karena adanya perubahan medan eksitasi generator. Rel tempat generator tersebut dihubungkan kadang – kadang disebut rel yang tak terhingga (*Infinite bus*), yang berarti bahwa tegangan akan tetap konstan dan tidak akan terjadi perubahan frekuensi meskipun ada perubahan yang dilakukan pada daya masukan (power input) atau eksitasi medan generator sinkron yang dihubungkan padanya. Jika untuk mempertahankan suatu daya masukan tertentu dari generator ke sistem, $[V_t] \cdot [I_a] \cos \theta$ akan tetap konstan sementara mengubah – ubah medan eksitasi d_c yang akan mengubah $[E_g]$. Maka untuk suatu nilai ubah $[E_g]$ yang tinggi dan yang rendah, diagram diagram fasor generator di perhatikan pada gambar 3-8.

Sudut δ dinamakan sudut moments (*torque angle*) atau sudut daya (*power angle*) dari generator tersebut.



Gambar 3 – 8

Diagram Fasor Generator Dengan Penguatan Berubah^[6]

Eksitasi atau penguatan wajar (*normal excitation*) didefinisikan sebagai penguatan dengan persamaan sebagai berikut :

$$| E_g | \cos \delta = V_t$$

Dimana : E_g – Tegangan yang dibangkitkan pada generator.

δ = Sudut momen (torque angle) atau sudut daya (power angle)

V_t – Tegangan terminal pada generator.

Untuk keadaan pada gambar 3 – 8a generator terlalu diperkuat (*over excited*) dan mencatu arus tertinggal ke sistem. Generator itu juga dapat dipandang sebagai menarik arus mandahului dari sistem. Seperti sebuah kapasitor generator ini mencatu daya reaktif ke sistem. Gambar 3-8b adalah untuk sebuah generator yang kurang diperkuat (*under excited*) yang mencatu arus mendahului ke sistem atau dapat dianggap juga menarik arus tetinggal dari sistem.

Generator yang kurang diperkuat menarik daya reaktif dari sistem. Peristiwa ini dapat diterangkan dengan mmf reaksi jangkar. Misalnya, ketika generator terlalu diperkuat, generator itu harus memberikan arus tertinggal karena

arus tertinggal menghasilkan suatu mmf yang berlawanan untuk mengurangi penguatan yang berlebihan. Gambar 3-8 menjelaskan bahwa E_g mendahului V_t , hal ini selalu demikian untuk generator dan memang diperlukan untuk memenuhi persamaan :

$$V_t = E_g - jI_a X_g$$

Jadi pada dasarnya generator yang terlalu diperkuat akan mencatu daya reaktif pada sistem sedangkan pada generator yang kurang diperkuat akan menyerap daya reaktif dari sistem. ^[6]

3.4.4. Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi

3.4.4.1. Pada Generator Kerja Tunggal

Setelah generator diputar oleh penggerak mula (*prime mover*) hingga mencapai putarannya maka arus eksitasi mulai dialirkan ke generator tersebut.

Ketika kutub medan magnet lewat dibawah medan jangkar yang berada pada stator, fuksi medan yang memotong konduktor menginduksi gaya gerak listrik pada medan jangkar.

Gaya gerak listrik yang di bangkitkan bergantung pada laju pemotongan garis gaya magnet, dengan kata lain besarnya gaya listrik bergantung pada kuat medan dan kecepatan rotor, karena generator bekerja pada kecepatan konstan, maka besarnya gaya gerak listrik yang dibangkitkan menjadi bergantung pada besar kecilnya pengaturan atau perubahan dari medan eksitasi. Ini berarti bahwa besarnya gaya gerak listrik yang dibangkitkan dapat dikendalikan dengan mengatur besarnya medan eksitasi yang diberikan pada generator.

Frekuensi gaya gerak listrik yang dibangkitkan tergantung pada jumlah kutub medan magnet dan putaran generator, pada kumparan tertentu akan dibangkitkan tegangan satu siklus lengkap bila sepasang kutub rotor digerakkan melewati kumparan.

Maka jumlah siklus yang dibangkitkan dalam satu putaran rotor sama dengan jumlah pasangan kutub rotor atau $\frac{P}{2}$, dimana P adalah jumlah kutub. Jika n adalah putaran rotor, maka $\frac{n}{60}$ adalah putaran rotor per detik.

Sehingga frekuensi dalam Hz adalah :

$$f = \frac{P}{2} \times \frac{n}{60} \text{ atau } f = \frac{P \cdot n}{120}$$

3.4.4.2. Pada Generator Kerja Paralel

Untuk memberi gambaran tentang bentuk dasar kerja paralel generator, kerja paralel dalam skala yang sangat sederhana, terdiri dari dua buah generator 3 fasa yang sepadan, generator 1 (G - 1) dan generator 2 (G - 2) dengan penerak mula masing - masing PMI dan PM2 mencatu daya pada beban L, frekuensi yang diijinkan dan generator 2 (G - 2) terputus. Generator 2 (G - 2) dapat diparalelkan dengan generator 1 (G - 1) dan menggerakannya pada kecepatan serempak serta mengatur peneraan medan eksitasinya, sehingga tegangan terminalnya sama dengan yang berasal dari busbar.

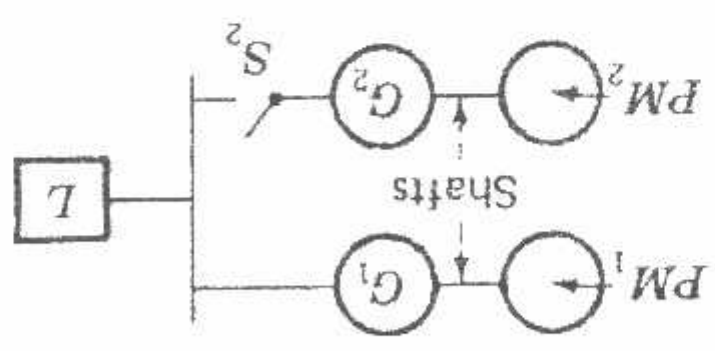
Berlawanan dengan generator arus searah (DC), generator serempak
 yang diparalelkan harus bekerja pada kecepatan keadaan yang mantap yang sama
 seimbang

penalaran (penguatan) medan eksitasi untuk mengambil jatah beban yang
 masing – masing mesin dapat diatur melalui kutub pengatur penggerak utama dan
 sinkronoskop, seteah generator 2 (G – 2) diserepakan dengan cara demikian,
 Suatu pranti untuk menunjukkan saat yang sama disebut
 sementara tegangan penyambungan besarnya nol.

Penyambungan arus S_2 harus tertutup pada saat kedua tegangan se – phasa,
 tegangan yang besarnya mungkin kurang dari satu putaran hap detik.
 dari busbar akan berubah selaras dengan percedaan antara frekuensi dari kedua
 yang berasal dari busbar, maka hubungan phasa antara tegangannya dan tegangan
 Bila frekuensi dari mesin yang dihubungkan tidak tepat sama dengan

GENERATOR SEREMPAK⁽⁸⁾
HUBUNGAN KERJA DARI DUA BUAH

Gambar 3 – 9



tepat (untuk jumlah kutub yang sama). Karenanya, bagaimana daya reaktif terbagi diantara mesin – mesin tersebut yang hampir sepenuhnya tergantung pada karakteristik daya kecepatan dari masing – masing penggerak mula.

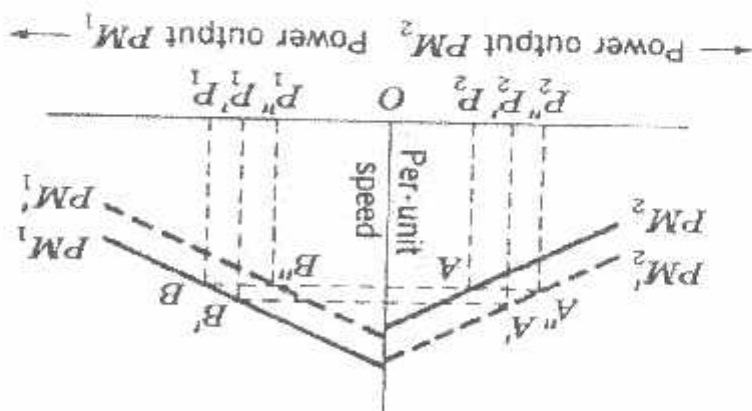
Pada gambar 3-10 garis – garis utuh yang miring PM_1 dan PM_2

menyatakan karakteristik daya kecepatan dari kedua penggerak mula dengan kutub pengatur terbuka tetap. Semua penggerak mula mempunyai karakteristik daya – kecepatan yang condong ke bawah. Beban keseluruhan P_T terlihat sebagai garis datar AB, dan keluaran daya generator adalah P_1 dan P_2 (ruti – ruti diabaikan). Kita misalkan bila membuka kutub pengatur PM_2 diperbesar, maka kurva daya – kecepatan bergeser ke atas pada garis putus – putus PM_2' . Selanjutnya garis putus – putus A'B' menyatakan daya beban keluaran dari generator 2 telah bertambah besar dari P_2 ke P_2' , sedangkan yang berasal dari generator 1 telah berkurang dari P_1 ke P_1' . Pada saat yang sama, frekuensi sistem telah bertambah besar. Frekuensi dapat dikembalikan ke normal dengan menggeser beban dari generator 1 ke generator 2 dengan menutup kutub pengatur pada generator 1, sehingga kurva daya – kecepatan bergeser kebawah pada garis putus – putus PM_1' . Pada keadaan demikian daya beban dinyatakan oleh A''B'', dan keluaran daya dari masing – masing generator adalah P_1'' dan P_2'' . Jadi frekuensi dari sistem dan pembagian daya aktif diantara generator dapat diatur dengan mengatur kutub pengatur penggerak mula.

Perubahan perubahan pada penguatan medan eksitasi akan berpengaruh terhadap tegangan terminal dan pembagian daya reaktif. Sebagai contoh, kedua generator sepadan pada gambar 3-9, kedua generator dialur sehingga beban terbagi sama rata. Diagram fasornya tampak sebagai garis utuh, seperti terlihat pada gambar 3-11 berikut ini :

KARAKTERISTIK DAYA - KECEPATAN
PENGERAK MULA [8]

Gambar 3 - 10



Misalkan medan eksitasi dari generator 1 diperbesar, maka tegangan busbar V_{a1} akan bertambah besar pula. Tegangan tersebut akan dapat kembali normal dengan mengurangi medan eksitasi pada generator 2. keadaan akhir terlihat berupa garis putus-putus pada gambar 3-11. Tegangan terminal, arus beban dan factor daya beban tidak berubah. Dan karena katup pengatur tidak dapat – apakah, maka keluaran daya dan komponen sephasa arus gandar kumparan generator tidak berubah. Tegangan penguatan E_{a1} dan E_{a2} telah

H_{af} : Tegangan penguatan

I_a : Arus gandar – kumparan masing – masing generator

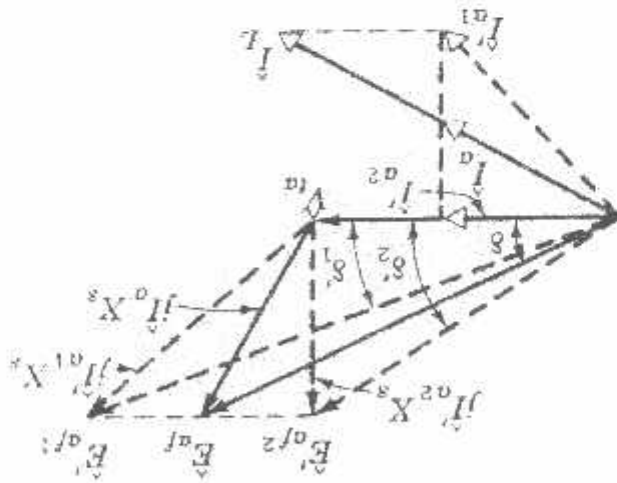
I_b : Arus beban

Dimana: V_{a1} : Tegangan terminal

Bekerja Parelel^[8]

Pengaruh Perubahan Medan Eksitasi Pada Dua Generator Sinkron Yang

Gambar 3 – 11



Generator modern yang besar mungkin dibutuhkan untuk beroperasi dengan eksitasi rendah. Ketika generator sinkronisasinya, yang paling banyak berubah adalah impedansinya diukur pada terminal statornya. Hilang penguat medan akan menyebabkan tegangan terminal generator turun, di samping itu arus akan meningkat. Impedansi nyata (*apparent impedance*) dari generator akan menurun dan factor daya juga berubah. Retic yang didesain untuk mendeteksi

♦ **Protaksi Hilang Penguat Medan Menggunakan Who Relay** ³¹

hilang penguat medan (*loss of excitation / loss of field*) yaitu:

Metode yang digunakan untuk mengamankan generator ketika terjadi

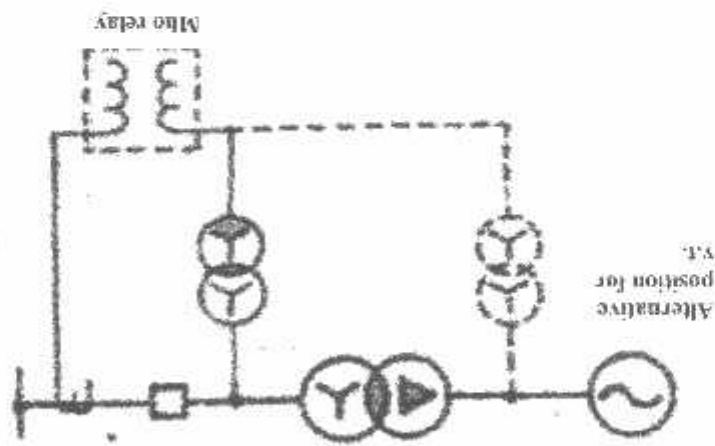
3.5. Pengamanan Ketika Generator Hilang Penguat Medan

Biasanya katup pengatur penggerak mula diatur melalui pengatur frekuensi otomatis sedemikian sehingga frekuensi konstan dan daya terbagi rata di antara generator yang bekerja paralel. Dan aliran daya reaktif dan tegangan diatur secara otomatis oleh pengatur tegangan yang bekerja pada rangkaian medan generator. ^[8]

Keadaan yang digambarkan sebagai fasor garis putus – putus pada gambar 3-11, generator 1 mencaatu semua kVar, dan generator 2 bekerja pada faktor daya 1. Jadi tegangan terminal dan pembagian daya reaktif di antara generator dapat diatur dengan pengaturan penguatan medan eksitasi.

Untuk penguatan membesar mengambil lebih banyak beban kVar tertinggal. Untuk sephasa sedemikian sehingga $E_{af} \sin \delta$ tetap nilainya. Generator dengan

perubahan impedansi dari beban normal bisa digunakan untuk proteksi terhadap operasi tidak sinkron dari hilang penguat medan.



Gambar 3 – 12

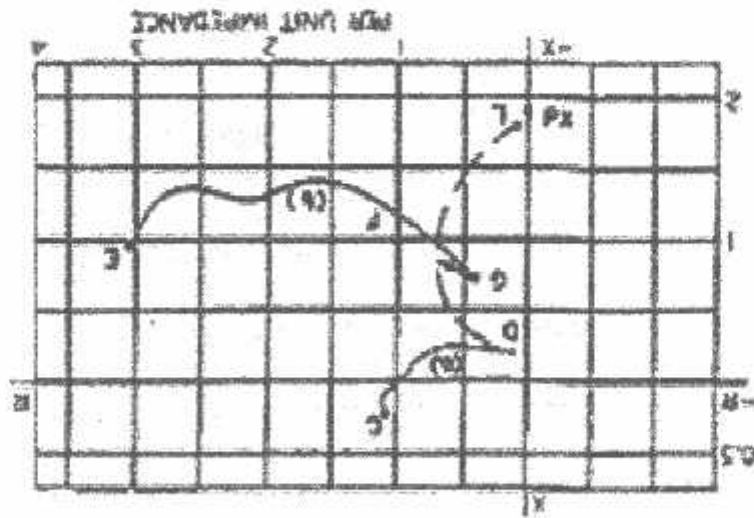
Proteksi Hilang Penguat Medan Menggunakan Mho Relay

Metode yang paling banyak diaplikasikan untuk mendeteksi hilang penguat medan (*loss of excitation*) adalah menggunakan relc Mho untuk merasakan / mendeteksi variasi impedansi terminal dari terminal generator. Hal ini dapat menjelaskan bahwa ketika hilang penguat medan (*loss of excitation*) terjadi pada generator yang beroperasi pada level beban yang bervariasi, maka variasi impedansi dilihat dari terminal generator akan mempunyai karakteristik dalam diagram R – X seperti pada gambar 3 – 13 berikut ini :

Dalam diagram R X di atas, kurva (a) memperhatikan impedansi perukaan operasi generator pada atau mendekati beban penuh. Titik mula beban pada titik C dan letak (locus) impedansi mengikuti garis C - D. Letak (locus) impedansi akan berakhir di D sesudahlah kanan dari koordinat (- X) dan akan mendekati nilai impedansi yang agak lebih tinggi dari rata - rata yang sebenarnya dan kuadrat dari impedansi subtransien generator. Kurva (b) mengilustrasikan kasus di mana generator mula - mula beroperasi pada 30 % beban dan *underexcited*. Pada kasus ini, letak (locus) impedansi mengikuti garis E - F - G dan akan berkisar pada daerah antara titik F dan G. Untuk kasus hilang penguat medan ketika generator beroperasi pada keadaan tanpa beban, maka impedansi di tinjau dari terminal generator akan bervariasi antara sumbu reaktansi sinkron sebenarnya dan kuadrat reaktansi sinkron (X_d'' , X_d'). Umumnya untuk beberapa

Variasi Impedansi Untuk Macam - macam Pembebanan Generator [1]

Gambar 3 - 13



macam pembebanan generator, variasi impedansi ditinjau dari terminal generator

akan berkisar pada kurva D – L.

Cara yang akan digunakan untuk membahas permasalahan diatas

adalah menggunakan satu atau dua rele Mho untuk mendeteksi variasi impedansi

pada waktu kondisi hilang penguat medan (*loss of excitation*) seperti ditunjukkan

pada gambar 3 – 14. rele ini diaplikasikan pada terminal generator dan diatur

untuk melindungi mesin bila terjadi gangguan hilang penguat medan, dengan

diameter dan karakteristik lingkarannya (*circular characteristic*) diatur sama

dengan reaktansi sinkron dari generator (X_d) dan dengan peralatan pengganti rele

(*offset mho*) sama dengan setengah dari reaktansi transien ($\frac{1}{2}X_d'$). Waktu

tunda (*time delay*) 0.5 sampai dengan 0.6 sekon untuk unit rele mho ini dalam

lugasnya untuk mencegah gangguan pada ayunan tetap (*stable swings*).

Penggunaan dua rele mho tergantung dari parameter generator dan sistem, rele

mho dengan diameter impedansi 1.0 pu akan mendeteksi hilang penguat medan

dari beban penuh turun ke 30 % beban. Rele ini umumnya diperbolehkan *trip*

dengan waktu tunda 0.1 sekon dan melakukan proteksi cepat untuk keadaan yang

lebih berat, dalam hubungan dengan kemungkinan kerusakan mesin dan ctk yang

merugikan bagi sistem. Sedangkan rele kedua diatur dengan diameter sama

dengan X_d' dan dengan waktu tunda 0.5 sampai dengan 0.6 sekon. Kedua unit rele

ini diatur dengan peralatan pengganti (*offset*) sama dengan $\frac{1}{2}$ reaktansi transien

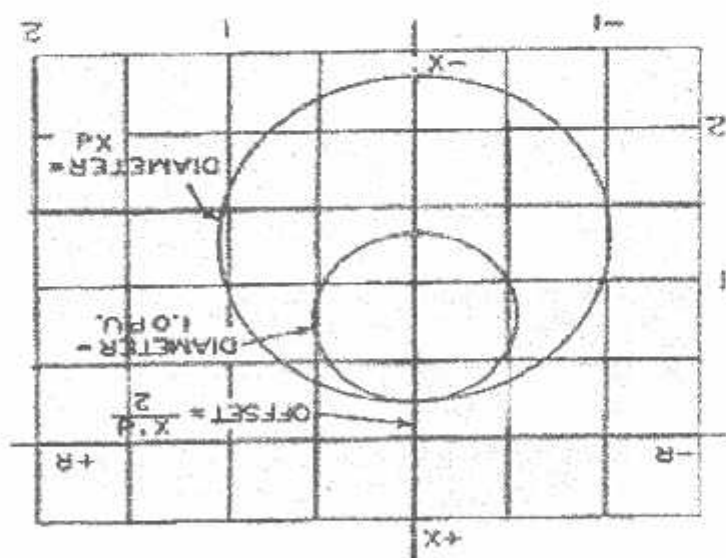
($\frac{1}{2}X_d'$)

Generator berjalan / beroperasi tidak sinkron bisa disebabkan karena penguatan medannya (*excitation*) turun dibawah level kritis / terendahnya, tergantung dari berapa daya yang harus disuplainya. Jika generator di bebani ringan, akan tetap bekerja sinkron pada factor daya *leading* yang rendah, meskipun dengan penguatan medan yang rendah. Contohnya jika penggerak utamanya hanya menyuplai dalam jumlah kecil daya. Rеле akan dioperasikan dalam keadaan hilang penguat medan secara keseluruhan, baik itu karena rangkaian terbuka (*open circuit*) atau kegagalan dari penguat medannya (*exciter*). Generator harus mempunyai *selling* yang rendah misalnya 5 % dari rating rangkaian, untuk memastikan generator tidak dilepas ketika generator

3.5.1. Tidak Sinkronnya Generator Akibat Hilang Penguat Medan

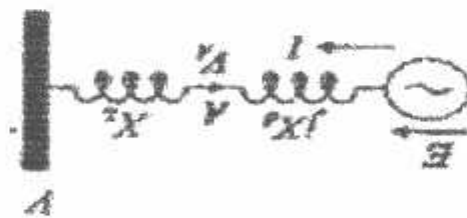
Daerah Proteksi Dua Rela Mho untuk Mengatasi Hilang Penguat Medan [1]

Gambar 3 - 14



masih dapat melanjutkan untuk beroperasi sinkron. Sinkronisasi generator mungkin akan hilang pada level medan arus yang lebih tinggi jika daya keluarannya lebih besar.

Metode yang paling banyak untuk memantau / memonitor impedansi, disajikan pada terminal keluaran dari generator.



Gambar 3 - 15

Impedansi nyata (Z^{dp}) di titik A [4]

Pada gambar 3 15, tegangan induksi (E) dihasilkan oleh mesin sinkron, V adalah sumber sinkron, X_1 adalah reaktansi mesin dan X_2 adalah reaktansi sumber dan garis penghubung dari terminal generator ke titik A untuk menyederhanakan perhitungan maka resistansi generator diabaikan. Arus I dan tegangan terminal V dirumuskan sebagai berikut: [4]

$$I = \frac{E - V}{jX_1 + X_2}$$

$$V = E - \left\{ \frac{jX_1 + X_2}{jX_1 + X_2} \right\} (E - V) \quad [4]$$

Impedansi masukan nyata (Z^{dp}), dilihat pada terminal A adalah: [4]

Jika suatu generator kehilangan penguat medan, maka generator tersebut akan menarik daya reaktif dari sistem. Hal ini akan menyebabkan menurunnya tegangan yang mengakibatkan instabilitas pada sistem. Dengan memilih reaktor dengan karakteristik yang sesuai, maka proteksi ini dapat digunakan untuk mendeteksi hilangnya penguat medan pada generator.

$$Z_{op} = -jX_p$$

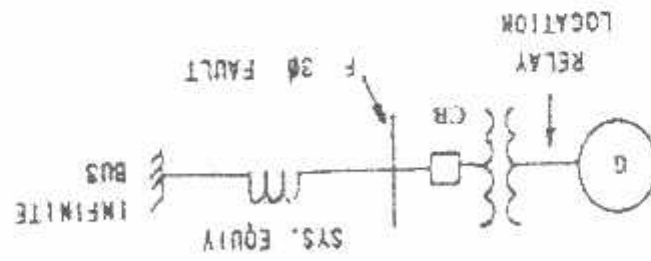
= 0 sehingga Z_{op} menjadi :

Dengan penguat medan (*excitation*) = 0, maka tegangan induksi mesin (E) akan

$$Z_{op} = \frac{I}{A} = \frac{E - V}{jX_p + V}$$

Sehingga :

$$Z_{op} = \frac{I}{A} = \frac{E - V}{jX_p + V} = \frac{E - V}{jX_p + V} \times \frac{jX_p + V}{jX_p + V} = \frac{E(jX_p + V) - V(jX_p + V)}{jX_p + V} = \frac{EjX_p + EV - VjX_p - V^2}{jX_p + V} = \frac{EjX_p - V^2}{jX_p + V}$$



Gambar 3 – 16

Generator yang diproteksi dengan rele mho [7]

Dengan penempatan rele diantara generator dengan transduser seperti pada gambar 3 – 16, maka rele dapat memerintahkan sistem proteksi untuk memutus rangkaian jika generator terjadi hilang penguat medan. Sehingga generator tidak akan menarik daya reaktif dari sistem, dan tidak akan terjadi gangguan yang meluas pada generator dan sistem.

Gangguan yang bisa terjadi pada generator salah satunya adalah kehilangan penguat medan (*loss of excitation / loss of field*). Ketika kehilangan penguat medan, suatu generator yang beroperasi pada beban penuh akan mencapai kecepatan 2% sampai dengan 5% di atas kecepatan normal.^[3] Dan tingkatan daya reaktif (kVar) yang mengalir dari sistem bisa sama dengan atau lebih besar dari rating generator. Pada umumnya, generator dan sistem beroperasi pada beban penuh ketika generator kehilangan penguat. Untuk kondisi ini, arus stator bisa meningkat menjadi 2 pu.^[3] Dan ketika generator kehilangan sinkromisasi, arus yang di induksikan ke dalam rotor akan mencapai tingkatan yang lebih tinggi. Tingkatan arus yang tinggi ini bisa menyebabkan *overheating* yang berbahaya pada kumparan stator dan rotor dalam waktu yang sangat singkat. Dengan kata lain, sejak kondisi generator hilang penguat medan akan mengakibatkan timbulnya *overheating* pada generator.

4.1. Hilang Penguat Medan 4.1.1. Tinjauan Umum

ANALISA PENGGUNAAN RELE MHO UNTUK MENDETEKSI HILANG PENGUAT MEDAN PADA GENERATOR PLTU SURALAYA JAWA BARAT BAB IV

Generator yang digunakan di PLTU Surabaya unit 1 memiliki data –

data sebagai berikut :

1. Type : Three phase, two poles Synchronous Generator.

Pabrik : General Electric Company

2. Rating

Kapasitas / Arus / Tegangan : 471000 kVA / 11800 Amp / 23000 volt

Putaran / Frekwensi : 3000 rpm / 50 Hertz

Faktor daya : 0,85

Penguatan generator : sistem penguatan luar statis

Tekanan gas H_2 rata – rata : 75 psig

3. Sistem pendingin

Lilitan stator : didinginkan langsung dengan air

Inti stator : didinginkan dengan gas H_2

Lilitan rotor : didinginkan dengan gas H_2

4. Gas pendingin

Inlet water temperature : 64°C

Water flow at rated load : 2500 gpm

Head loss through cooler : 32 ft

Gas space in generator : 2684 ft³

5. Reaktansi

Direct Axis Unsaturated Synchronous (X_d') : 2,140 pu

Direct Axis Unsaturated Transient (X_d'') : 0,245 pu

4.3. Data Rele Pengaman Mho Tipe CEH52A

Rele yang dipakai untuk mendeteksi hilang penguat medan pada generator di PLTU Surabaya unit 1 adalah *Loss of Field Relay* tipe CEH52A buatan General Electric. CEH52A adalah rele satu phasa dengan dua (2) fungsi mho independent yang di desain untuk mendeteksi hilang penguat medan (*loss of excitation / loss of field*). CEH52A mempunyai rating sebagai berikut :

1. Tegangan : 120 volt
2. Arus : 5 ampere
3. Frekwensi : 50 Hz

Cakupan (*range*) untuk penyesuaian jangkauan ohmic untuk kedua mho unit adalah 10 sampai dengan 100 ohm, phasa ke netral (dalam 1% langkah).
Cakupan (*range*) pengatur waktu (*timer*) standar adalah 0,05 sampai dengan 3,0 detik dengan titik kalibrasi pada 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 1, 2, 3 detik.
Pengaturan dan daerah kerja (*ranges*) dari rele mengikuti aturan – aturan sebagai berikut :

1. Offset : 0 – 6 ohm dalam 0,5 ohm steps
2. Small Diameter : 10 – 100 ohms, dalam 1% steps
3. Large Diameter : 10 – 100 ohms, dalam 1% steps
4. Timer : 0,05 – 3,0 detik

Setting untuk rele Mho tipe CEH52A di PLTU Surabaya sebagai berikut :

1. Offset (OM-1 dan OM-2) : 2,0 ohms
2. OM-1 Restraint (small diameter) : 62 %
3. OM-2 Restraint (large diameter) : 29 %

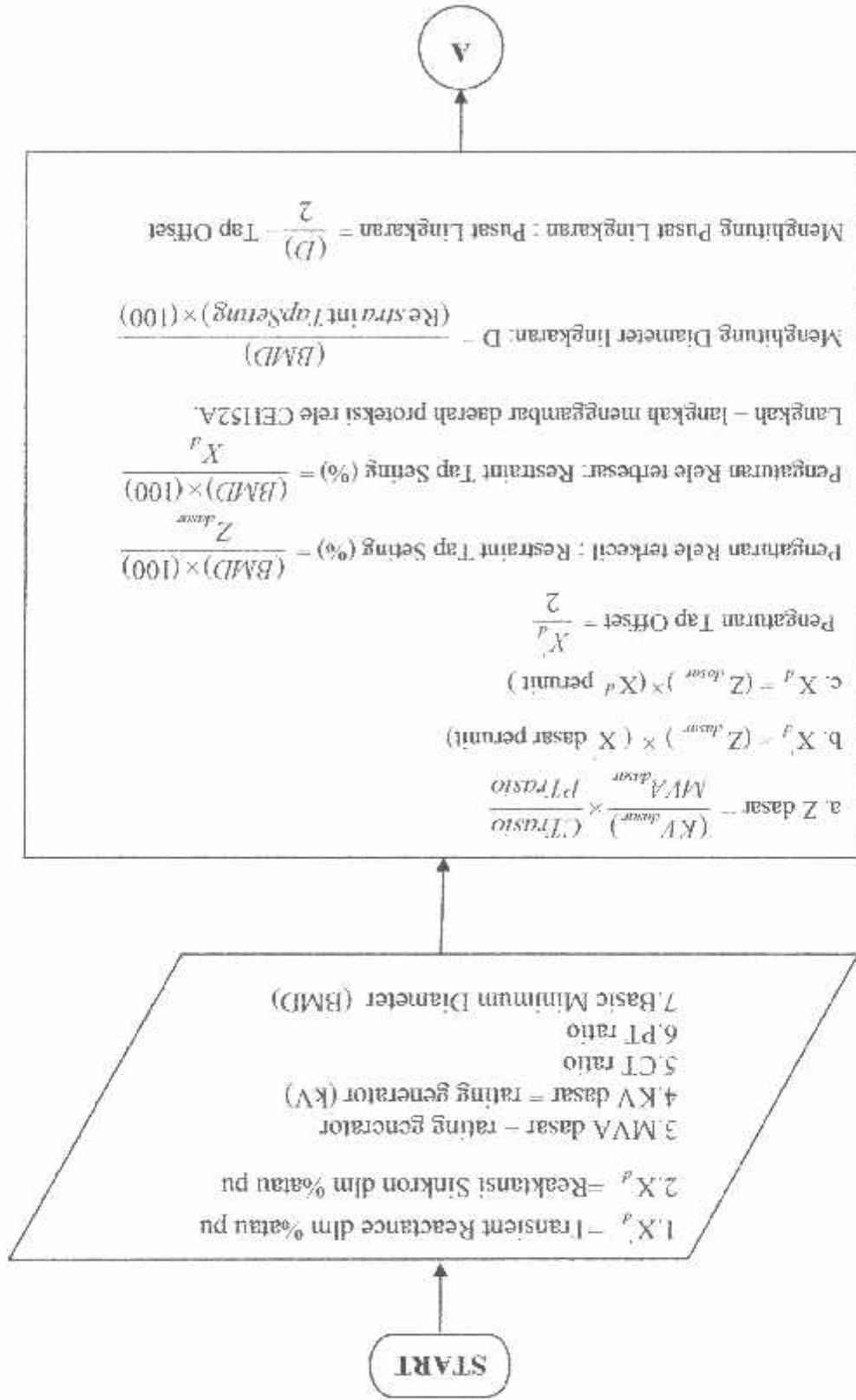
Pengaturan tap offset dibuat dalam range yang di indikasikan pada *nomplate* yaitu dalam 0,5 ohm steps. Catatan bahwa pengaturan offset adalah sama antara dua offset yang digunakan. Jika pengaturan tap offset tidak bisa dibuat persis, maka pengaturan tap tertinggi yang dapat digunakan. Pengaturan masing – masing diameter lingkaran dibuat melalui petunjuk atas dan bawah pada masing – masing tap block pengkangan (*restaint*). Pengaturan tap dinyatakan dalam persen. Diameter dasar minimum rele dan diameter yang diinginkan dinyatakan pada ohm dan dapat diatur dalam range 0 sampai dengan 100 ohm dalam satu persen langkah tetapi pengaturan tidak boleh dibawah 10 ohm.

4.4.1. Landasan Teori

4.4 Perhitungan Setting Rele Pengaman Mho Tipe CEH52A

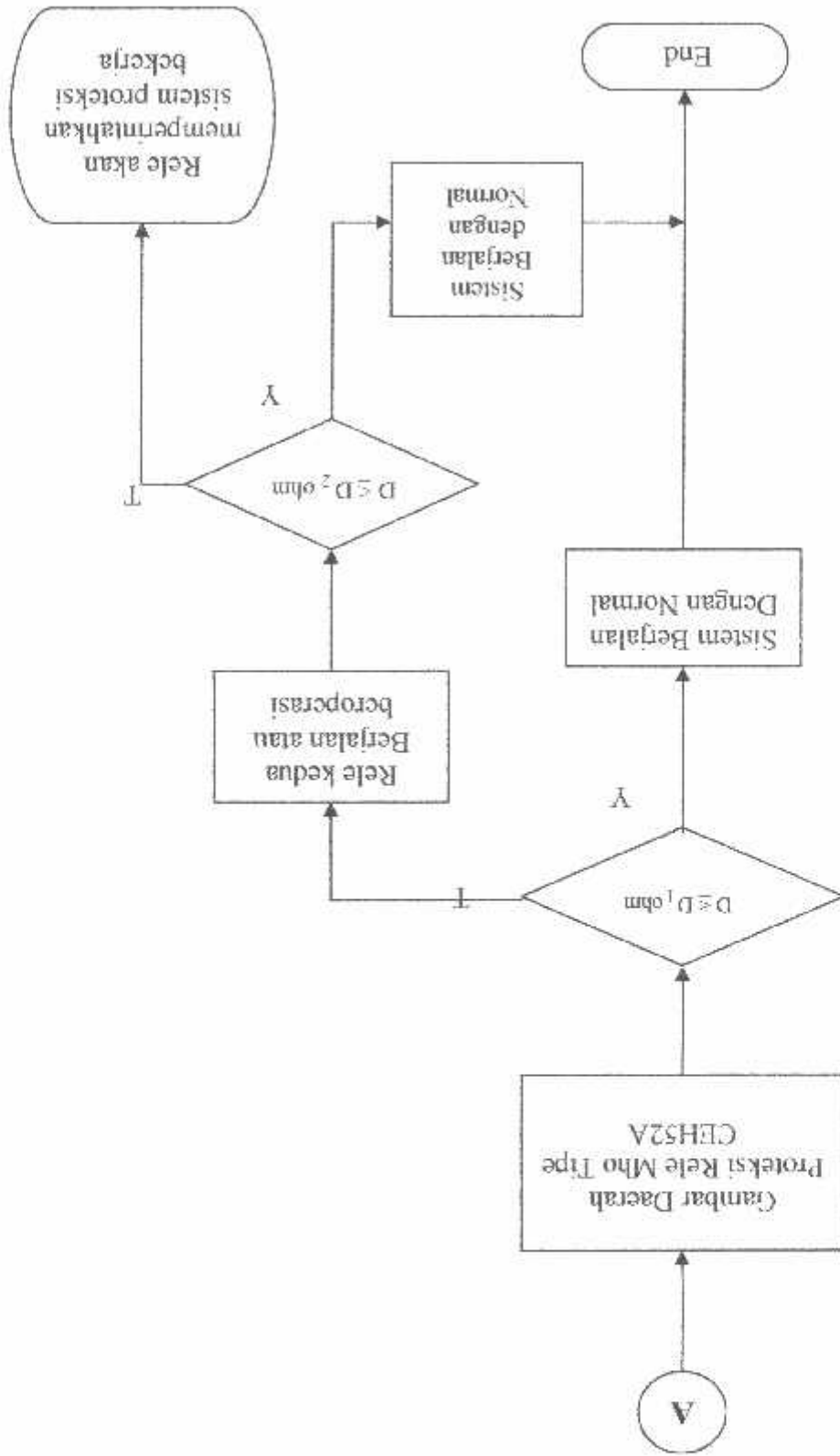
Adapun kriteria pengaturan rele pengaman CEH52A adalah sebagai berikut :

- Rele dengan dua fungsi mho digunakan untuk menyediakan pengamanan yang optimum dalam keadaan hilang penguat medan (loss of excitation). Fungsi mho yang perlarna harus diatur dengan diameter 1,0 pu pada dasar generator, offset $\frac{1}{2}$ dari *direct axis transient reactance* (X_d') generator dan tanpa waktu tunda tripping. Sedangkan fungsi mho yang ke dua harus diatur dengan diameter sama dengan *direct axis synchronous reactance* (X_d), offset $\frac{1}{2}$ dari *direct axis transient reactance generator* dan waktu tunda tripping adalah 0,5 sampai dengan 0,6 detik.



FLOWCHART.

4.4.2. Urutan kerja rele mho tipe CEH52A dapat dilihat pada Flowchart



- PT ratio
 - CT ratio
 - kV dasar sama dengan rating generator dalam kV
 - MVA dasar sama dengan rating generator dalam MVA
- atau pu
- reaktansi sinkron (*Synchronous Reactance* – X^s) generator dalam persen
- atau pu
- reaktansi transien (*Transient Reactance* – X^d) generator dalam persen
- setting* / adalah sebagai berikut :
- Data – data yang diperlukan untuk pengaturan pengckangan tap (*restrain tap*

$$\text{Restrain tap setting (\%)} = \frac{(\text{DesiredAmeterInSecondary})(\text{In})}{(\text{BasicMinimumAmeter}) \times (100)}$$

Rumus yang dipakai untuk menghitung pengaturan tap (*restrain tap* *setting*) adalah sebagai berikut : [2]

4.4.3. Perhitungan Restraint Tap Setting Rele Mho Tipe CEH52A

Dari data – data yang ada dapat diketahui :

- $X'_{d'} = \text{Direct Axis Unsaturated Transient } (X'_{d'}) = 0,245 \text{ pu}$
- $X_{d'} = \text{Direct Axis Unsaturated Synchronous } (X_{d'}) = 2,140 \text{ pu}$

- MVA dasar = 471,000 MVA

- KVA dasar – 23 KV

- CT ratio = 15000 : 5

- PT ratio = 23000 : 110

- Basic minimum diameter = 10 ohm

Kemudian,

$$\diamond Z_{dasar} = \frac{(KV_{dasar})^2}{CTratio} \times \frac{MVA_{dasar}}{PTratio}$$

$$= \frac{23^2}{15000 : 5} \times \frac{471,000}{23000 : 110}$$

$$= 1,12 \times 14,34$$

$$= 16,06 \text{ ohm}$$

$$\diamond X'_{d'} = (Z_{dasar}) \times (X'_{d' \text{ (permanen)}})$$

$$= 16,06 \times 0,245$$

$$= 3,935 \text{ ohm}$$

$$\diamond X_{d'} = (Z_{dasar}) \times (X_{d' \text{ (permanen)}})$$

$$= 16,06 \times 2,140$$

$$= 34,36 \text{ ohm}$$

$$\blacklozenge 1.0 \text{ per unit } - Z_{drum}$$

$$= 16,06 \text{ ohm}$$

a. Pengaturan tap offset untuk kedua fungsi mho

$$\text{tap offset} - \frac{X'_d}{2}$$

$$= \frac{3,93}{2}$$

$$= 1,97 \text{ ohm}$$

Gunakan pengaturan tap tertinggi = 2 ohm

b. Pengaturan diameter kecil tap (restraint tap) fungsi mho (untuk reaktansi

1,0 pu).

$$\text{Restraint tap setting (\%)} = \frac{(\text{BasicMinimumDiameter}) \times (100)}{(\text{DesiredDiameterInSecondaryOhms})} = \frac{(Z_{drum})}{(\text{BasicMinimumDiameter}) \times (100)}$$

$$= \frac{16,06}{10 \times 100}$$

$$= 62,26 \%$$

Jadi pengaturan kecil tap (restraint tap) fungsi mho (untuk reaktansi 1,0

pu) = 62,26 %

Minimum ohms = 10 ohm

$$\text{Diameter lingkaran} = \frac{\text{MinimumOhm}}{\text{RestraintTapSetting}}$$

◆ Menghitung diameter lingkaran [7]

type CEH52A adalah sebagai berikut :

Dan langkah – langkah untuk menggambar daerah proteksi rele mho

gambar 3 - 14

mengacu pada gambar karakteristik lingkaran daerah proteksi rele mho seperti pada

Daerah proteksi rele mho untuk mengatasi hilang penguat medan

4.4.4. Daerah Proteksi Rele Mho Tipe CEH52A

$$(X_d = 34,36) = 29,10 \%$$

Jadi pengaturan diameter terbesar tap (restraint tap) fungsi mho untuk

$$= 29,10 \%$$

$$= \frac{34,36}{10 \times 100}$$

$$= \frac{(X_d)}{(\text{BasicMinimumDiameter}) \times (100)}$$

$$\text{Restraint tap setting (\%)} = \frac{(\text{DesiredDiameterInSecondaryOhms})}{(\text{BasicMinimumDiameter}) \times (100)}$$

34,36 ohm)

c. Pengaturan diameter terbesar tap (restraint tap) fungsi mho (untuk X_d –

$$\begin{aligned} &= 10,025 \text{ ohm} \\ &= 8,025 + 2 \\ \text{pusat lingkaran} &= \frac{16,05}{2} + 2 \end{aligned}$$

b. untuk *restaint tap setting* = 62,26 %

$$\begin{aligned} &= 19,18 \text{ ohm} \\ &= 17,18 + 2 \end{aligned}$$

$$\text{pusat lingkaran} = \frac{34,36}{2} + 2$$

a. untuk *restaint tap setting* = 29,10 %

$$\text{Radius} = \frac{\text{thiameter}}{2}$$

$$\text{Tap offset} = 2 \text{ ohm}$$

$$\text{Pusat lingkaran} = \text{radius} + \text{tap offset}$$

◆ Menghitung pusat lingkaran [1]

$$\text{diameter lingkaran} = \frac{10}{0,6226} - 16,05 \text{ ohm}$$

b. untuk *restaint tap setting* = 62,26 % = 0,6226

$$\text{diameter lingkaran} = \frac{10}{0,291} - 34,36 \text{ ohm}$$

a. untuk *restaint tap setting* = 29,1 % = 0,291

◆ Menghitung Minimum I (Min.I) [1]

Min.I adalah arus minimum ketika kontak relay tertutup.

$$\text{Min.I} = \frac{\text{Rating Tegangan Relay (EH52A)}}{2(\text{diameter} + \text{tap(Offset)})}$$

Rating tegangan relay CEH52A = 120 volt

Tap offset = 2 ohm

a. Untuk *resrain tap setting* = 29,10 %

diameter = 34,36 ohm

$$\text{Min.I} = \frac{120}{2(34,36 + 2)}$$

$$= \frac{120}{72,72}$$

= 1,65 ampere

b. Untuk *resrain setting tap* = 62,26 %

diameter = 16,05 ohm

$$\text{Min.I} = \frac{120}{2(16,05 + 2)}$$

$$= \frac{36,1}{120}$$

= 3,324 ampere

Daerah proteksi rele Mho untuk mengatasi hilang penguat medan berbentuk lingkaran dengan mengacu pada gambar 3 – 14, sehingga berdasarkan data – data di atas dapat digambarkan daerah proteksi rele Mho tipe *CEH52A* adalah seperti pada gambar 4 – 1 sebagai berikut :

- lingkaran dengan diameter yang besar (34,36 ohm) merupakan daerah kerja rele dengan *restraint tap setting* 29,10 %

- lingkaran dengan diameter yang kecil (16,05 ohm) merupakan daerah kerja rele dengan *restraint tap setting* 62,26 %

- Offset = $X'_{j/2} - 2 \text{ ohm}$

yaitu sebagai berikut :

a. Untuk *restraint tap setting* = 29,10 %

diameter = 34,36 ohm

radius = 17,18 ohm

pusat lingkaran – 19,18 ohm

b. Untuk *restraint tap setting* = 62,26 %

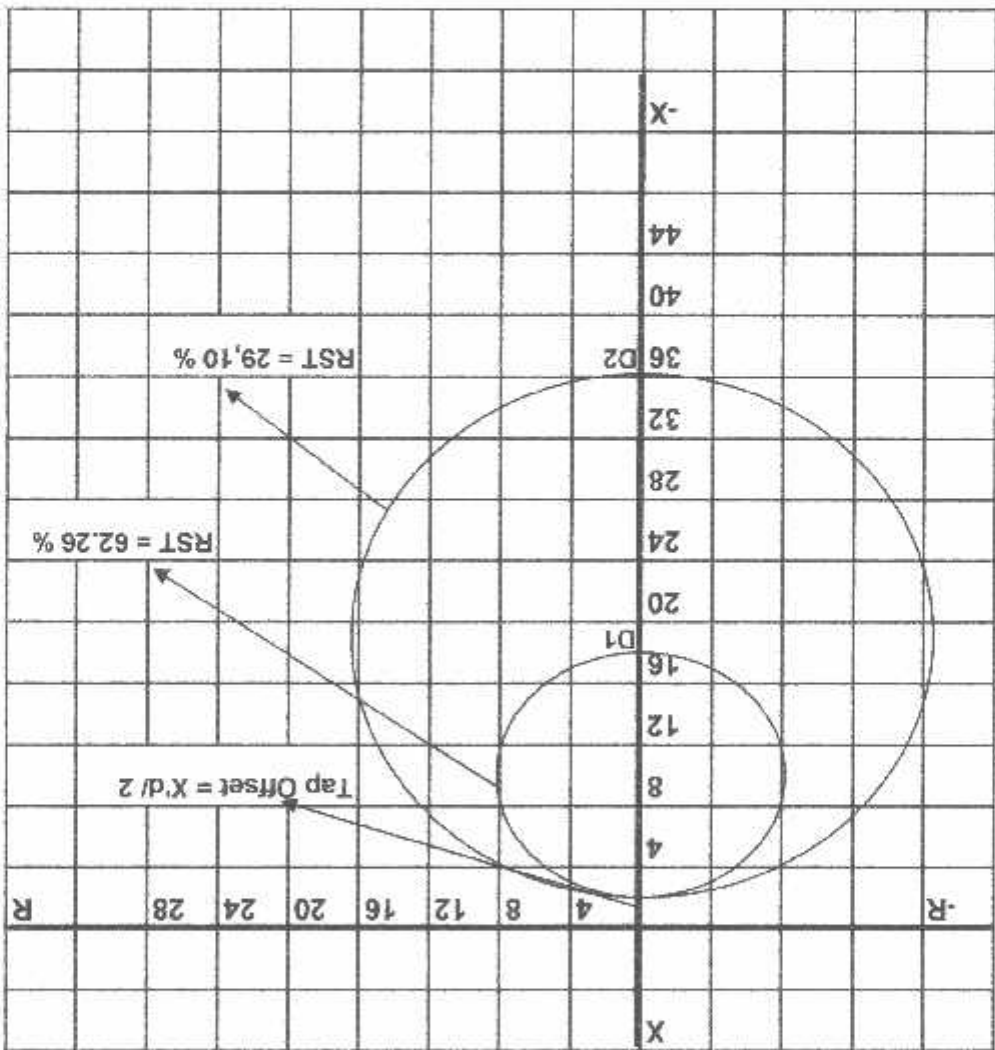
diameter – 16,05 ohm

radius = 8,025 ohm

pusat lingkaran = 10,025 ohm

◆ Membuat gambar daerah proteksi rele Mho Tipe CEH52A

Gambar 4 - 5
Daerah Proteksi Relé Mho Tipe CEH52A



Rele dengan dua fungsi mho digunakan untuk menyediakan

pengamanan yang optimum dalam keadaan hilang penguat medan (loss of excitation). Fungsi mho yang pertama harus diatur dengan diameter 1.0 pu pada

dasar generator, offset $\frac{1}{2}$ dari *direct axis transient reactance* (X_d') generator dan

tanpa waktu tunda tripping. Sedangkan fungsi mho yang ke dua harus diatur

dengan diameter sama dengan *direct axis synchronous reactance* (X_d), offset $\frac{1}{2}$

dari *direct axis transient reactance generator* dan waktu tunda tripping adalah 0.5

sampai dengan 0.6 detik. Dari hasil perhitungan dan gambar daerah proteksi rele

mho tipe CEH52A maka dapat dianalisa sebagai berikut:

1. Untuk pengaturan Rele pertama (rele terkecil) dapat diketahui:

a. Restrain tap setting (%) = 62,26 %

b. Diameter Lingkaran (D_1) = 16,05 ohm

c. Pusat Lingkaran = 10,025 ohm

d. Arus Minimum (Min I) ketika kontak rele tertutup = 3,324 ampere

2. Untuk pengaturan Rele kedua (rele terbesar) dapat diketahui :

a. Restrain tap setting (%) = 29,10 %

b. Diameter Lingkaran (D_2) = 34,36 ohm

c. Pusat Lingkaran = 17,18 ohm

d. Arus Minimum (Min I) ketika kontak rele tertutup = 1,65 ampere

3. Dengan Pengaturan Tap Offset Kedua Rele = 2 ohm

Dengan hasil diatas dapat di simpulkan bahwa Batas daerah kerja untuk rele terkecil adalah Diameter (D_1) = 16,05 ohm. Apabila generator terjadi hilang penguat medan, maka rele pertama akan bekerja dengan batasan $D < 16,05$ ohm, jika Diameter sistem lebih besar 16,05 ohm ($D > 16,05$ ohm) rele pertama akan berhenti bekerja. Maka rele kedua akan bekerja dengan batasan $D \leq 34,36$ ohm, jika Diameter sistem lebih besar 34,36 ohm ($D > 34,36$ ohm), maka rele akan memberikan perintah kepada sistem proteksi untuk bekerja.

Untuk menghindari terjadinya hilang penguat medan pada generator PLTU Surabaya, perlu adanya pengecekan secara teratur dan kontinyu alat penguat (exciter) generator sehingga generator tidak sampai kehilangan penguat medan.

titik pusat lingkaran = 10,025 ohm

radius = 8,025 ohm

diameter = 16,05 ohm

- lingkaran kecil :

e. daerah proteksi rele Mho tipe CFH52A :

- untuk restraint tap setting 62,26 % = 3,32 ampere

- untuk restraint tap setting 29,10 % = 1,65 ampere

d. arus minimum (Min. I) ketika kontak rele tertutup :

e. tap offset (mho - 1 dan mho - 2) = 2 ohm

b. restraint tap setting mho - 2 (Diameter besar) = 29,10 %

a. restraint tap setting mho - 1 (Diameter kecil) = 62,26 %

2. Dari hasil perhitungan maka dapat diperoleh :

gangguan akibat hilang penguat medan lebih maksimal.

CFH52A akan membuat pengamanan generator PLTU Surabaya terhadap

1. Penggunaan 2 (dua) buah rele mho independent dalam *loss of field relay*

dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

Dari pembahasan pada bab – bab sebelumnya, maka

5.1. Kesimpulan

PENTUP

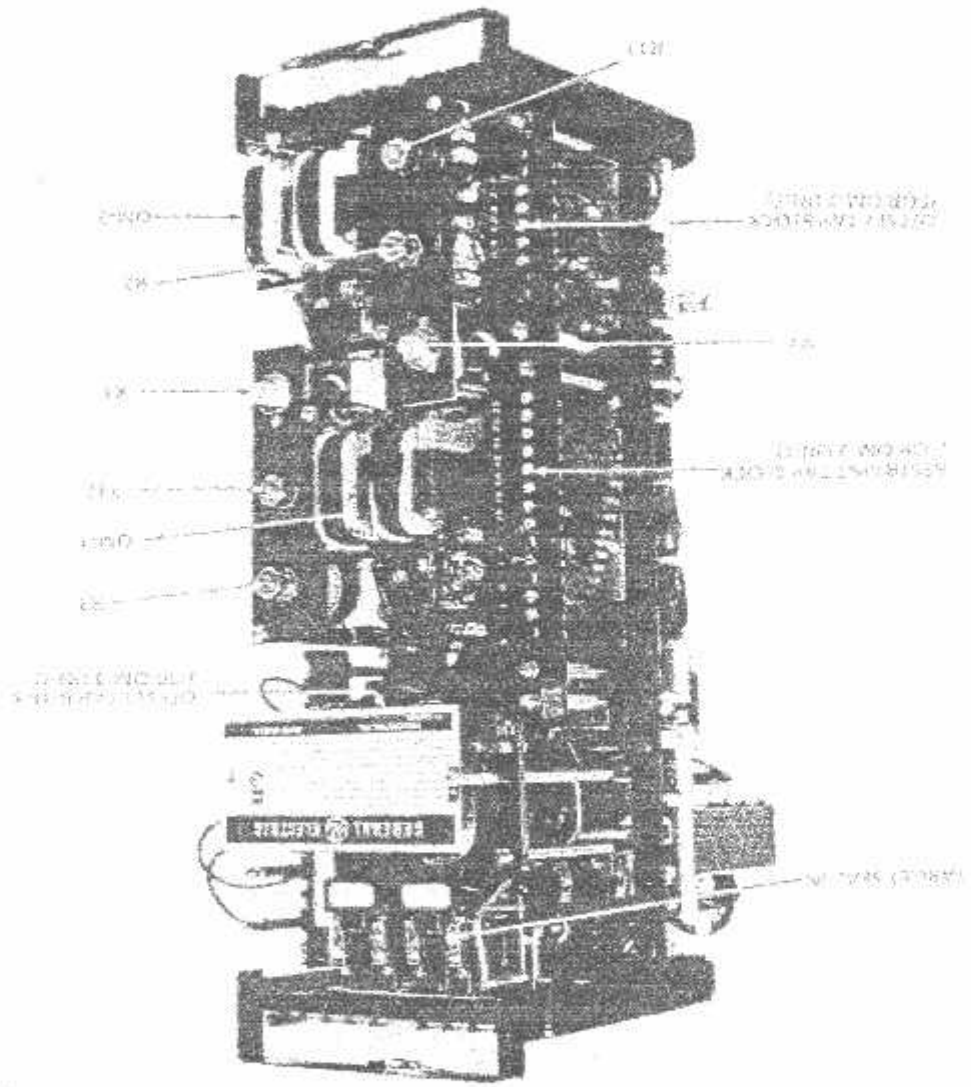
BAB V

- [1]. Working Group of IEEE Power System Relaying Committee, "Guide for Ac Generator Protection", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, no 2, April 1989.
- [2]. Working Group of IEEE Power System Relaying Committee, "Inadvertent Energizing Protection of Synchronous Generators", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No.2, April 1989.
- [3]. "Power System Protection", Vol. 3 : Application, The Electricity Training Association, 1995.
- [4]. Sriwidjojo, Dono Pamungkas, "The Analysis of Mho Relay Zone Area Protection for Loss of Field", Energy & Listrik, Vol. VI, No. 4, Desember 1996.
- [5]. Zuhai, "Dasar Tenaga Listrik", ITB Bandung, 1991.
- [6]. William D. Stevenson, Jr, "Analysis Sistem Tenaga Listrik", Edisi keempat, Erlangga, 1996.
- [7]. "Instructions Single Phase Relay CEH52A", GE Meter and Control, 205 Great Valley Parkway Malvern.
- [8]. Fitzgerald, A.F., Jr, Kingsley Charles, Umans D. Stephen, Achyanto Djoko Jr, "Mesin-mesin Listrik", Erlangga, Jakarta, 1997.
- [9]. Prof Ir. Abdul Kadir, "Mesin Serempak", Djambatan, Jakarta, 1991.
- [10]. Michael A. Anthony, "Electric Power System Protection and Coordination", Mc. Graw - Hill Inc, 1995.

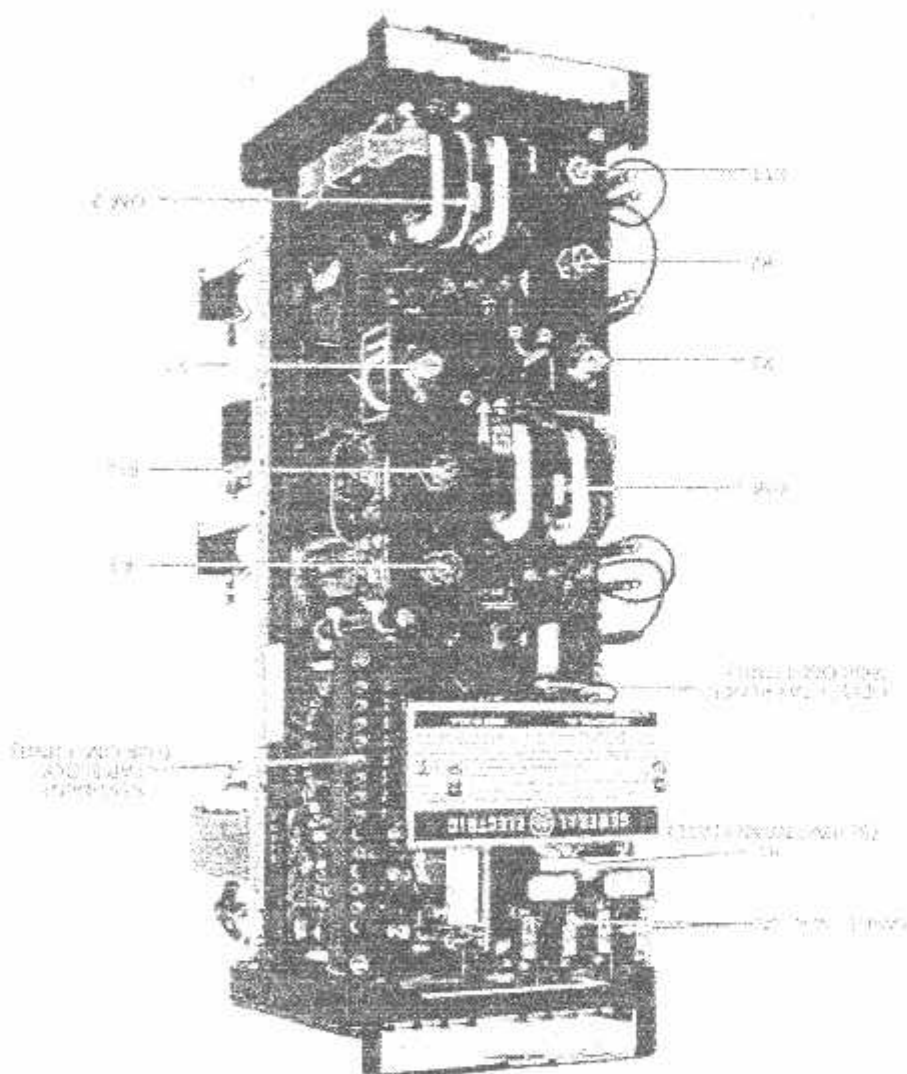
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

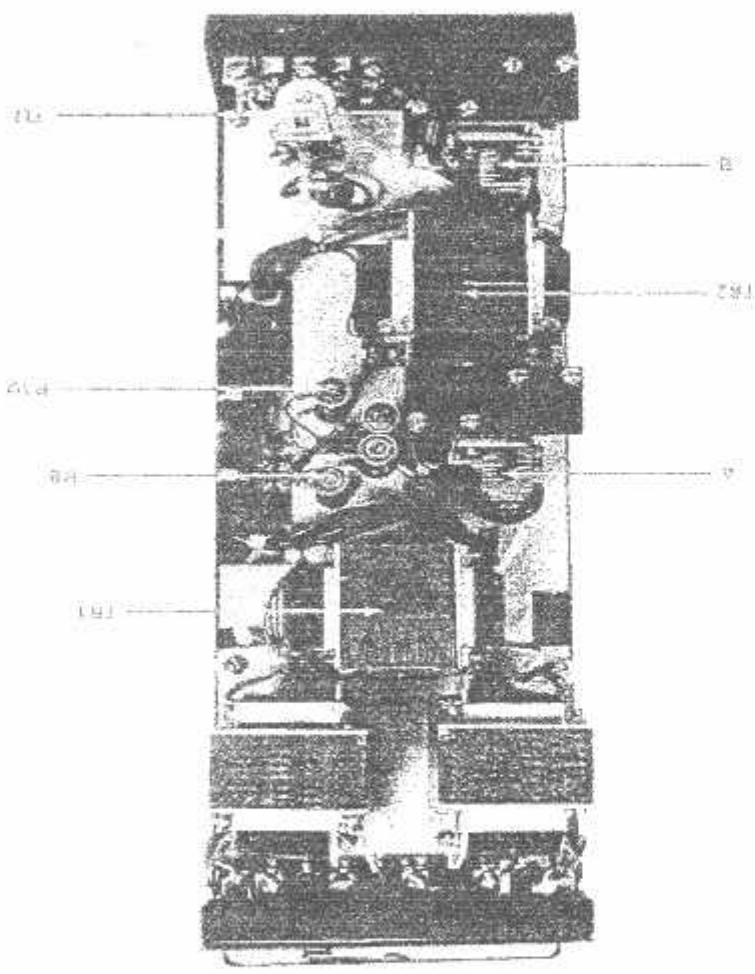
CBH52A Removed From Case



CH152A Removed From Case



CEHS2A Removed From Case, Rear View





BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Nama Mahasiswa : MUCHAMAD SUMAWAN

N.T.M. : 97.12.079

Jurusan : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Judul Skripsi :

ANALISA PENGGUNAAN RELE MHO UNTUK MENDETEKSI

HILANG PENGUAT MEDAN PADA GENERATOR PLTU

SURALAYA JAWA BARAT

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1)

Hari :

Kamis

Tanggal :

21 September 2006

Dengan Nilai :

77,8 (B+)

Panitia Ujian Skripsi

Sekretaris

(Ir. F. Yudi Lampiraptono, MT.)
NIP. Y. 10 9500274

Anggota Penguji

Penguji Kedua

(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT.)
NIP. 10 18800189

Penguji Pertama

(Ir. Widodo Pudi M, MT.)
NIP. 10 28700171

(Ir. Mochtar Asroni, MT.)
NIP. Y. 10 10100036





LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

1. Nama : MUHAMMAD SUMAWAN
2. NIM : 97.12.079
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
5. Judul Skripsi :

ANALISA PENGGUNAAN RELIE MHO UNTUK MENDETEKSI

TIHANG PENGUAT MEDAN PADA GENERATOR PLTU

SURABAYA JAWA BARAT

6. Tanggal Mengajukan Skripsi : 01 Juli 2006
7. Tanggal Menyelesaikan Skripsi : 21 September 2006
8. Dosen Pembimbing : Ir. M Abdul Hamid, MT.
9. Telah Dievaluasikan Dengan Nilai : 85 (Delapan Puluh Lima)

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT.
NIP. Y. 10 9500274

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

Ir. M Abdul Hamid, MT.
NIP. 10 18800188

Diperiksa dan Disetujui,
Dosen Pembimbing



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

PERSEPTUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi Jurusan Teknik Elektro jenjang strata satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 21 September 2006

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

1. Nama : MUCHAMAD SUAWAN

2. NIM : 97.12.079

3. Jurusan : Teknik Elektro S-1

4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

5. Judul Skripsi : ANALISA PENGGUNAAN RELE MHO UNTUK

MENDETEKSI HILANG PENGUAT MEDAN PADA
GENERATOR P1TU SURALAYA JAWA BARAT.

Perbaikan meliputi :

No	Materi Perbaikan	Ket
1.	Teori diletakkan di Bab II dan Bab III	ty
2.	Ditambahkan Gambar Generator yang diproteksi dengan rele Mho	ty
3.	Kesimpulan direvisi dari hasil perhitungan dan sesuai dengan tujuan	ty

Disetujui / diperiksa

(Dr. Widodo Pudji M., MT.)
Penguji I

(Dr. Yusuf Ismail Nahoda, MT.)
Penguji II

Mengetahui / menyetujui

Dosen Pembimbing

(Dr. M. Abdul Hamid, MT.)



FORMULIR Bimbingan Skripsi

Nama : MUHAMMAD SIMAWAN
 NIM : 97.12.079
 Masa Bimbingan : 01 Juli 2006 s/d 01 Januari 2007
 Judul Skripsi : ANALISA PENGGUNAAN RELIE MHO ENTER MENDETEKSI HILANG PENGUAT MEDAN PADA GENERATOR PLTU SURABAYA JAWA BARAT

No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	10-07-2006	Konsultasi Bab I dan Bab II	
2	15-07-2006	Konsultasi Bab III	
3	20-07-2006	Revisi Flowchart dan Tujuan	
4	26-07-2006	Konsultasi Bab IV	
5	05-08-2006	Revisi Gambar Hasil perhitungan	
6	14-08-2006	Penambahan Analisa Hasil Perhitungan	
7	20-08-2006	Konsultasi Bab V	
8	30-08-2006	Revisi Kesimpulan	
9	01-09-2006	Kontribusi Penambahan pada Kesimpulan	
10	04-09-2006	Sempurnakan tata tulis, dan kesimpulan, ACC daftar	

Malang, 21 September 2006

Dosen Pembimbing

(Ir. M. Abdul Hamid, MT)