

Penggunaan Relay Arus Lebih Tipe Sel-351A Sebagai Proteksi Pada Motor Induksi 3 Phasa

Said Aiyub¹, Yaman², Aulia Kasyfi³

^{1,2,3} *Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA*

Abstrak- Relay Arus Lebih Tipe SEL-351A mempunyai 3 Karakteristik pengujian yaitu Karakteristik Normal *Invers*, *Very Invers*, *Extremely Invers*. Pada pengujian ini penulis hanya menguji dengan karakteristik Normal *Invers*. Relay Arus Lebih Tipe SEL-351A sebagai proteksi pada motor induksi 3 phasa cukup dengan menggunakan karakteristik Normal *Invers* waktu pengoperasiannya. Tujuan dari penelitian ini bagaimana cara mengoperasikan relay sebagai alat proteksi beban lebih dan hubung singkat, dan bagaimana software dari Relay yaitu SCADA Viewer dan Active Servo. Salah satu gangguan pada sistem tenaga listrik adalah over current (arus lebih). Kondisi yang menyebabkan adanya arus lebih yaitu *over load* (beban lebih) dan short circuit (hubung singkat). Pengujian yang dilakukan menguji waktu pemutusan Relay dengan karakteristik waktu Normal *Inverse*, dikarenakan Relay Arus Lebih Tipe SEL-351A sebagai proteksi Arus Lebih pada motor induksi 3 phasa serta mengoperasikan software SCADA dan Active Servo. Hasil pengujian Normal *Invers* dengan beban resistor setting arus 1.2 Ampere dan waktu tunda 0.1 detik, saat arus gangguan paling rendah 1.3 Ampere, waktu pemutusannya adalah 8.33 detik. Pada saat Arus Gangguan paling tinggi 1.5 Ampere, waktu pemutusannya 2.56 detik. Selanjutnya dari Hasil pengujian proteksi motor induksi 3 phasa setting 1.2 Ampere dan waktu tunda 0,01 detik. Saat Arus Gangguan paling rendah 1.3 Ampere, waktu pemutusan adalah 7.53 detik. Pada saat Arus Gangguan paling tinggi 1,5 Ampere, waktu pemutusan adalah 2,02 detik.

Kata kunci : Karakteristik Relay, Relay Arus Lebih, hubung singkat, beban lebih, Normal *Invers*

I. PENDAHULUAN

Penyetelan rele arus lebih meliputi penyetelan arus dan waktu. Penyetelan arus harus disesuaikan dengan kapasitas maksimum motor yang akan diamankan dan tata cara penyetelan disesuaikan dengan tipe relay yang digunakan, sedangkan penyetelan waktu disesuaikan dengan daerah (zone) kedudukan dari motor tersebut.

Penggunaan relay arus lebih tipe SEL-351A sebagai proteksi arus lebih dan hubung singkat pada motor induksi 3 phasa di Laboratorium Sistem Proteksi dan Distribusi Jurusan Teknik Elektro di Politeknik Negeri Lhokseumawe. Relay ini merupakan peralatan sistem proteksi jenis baru yang belum pernah dilakukan pengoperasian untuk praktikum di Laboratorium Sistem Proteksi dan Distribusi Jurusan Teknik Elektro di Politeknik Negeri Lhokseumawe .

Berdasarkan uraian diatas penulis ingin menguji dan meneliti bagaimana cara pengoperasian relay arus lebih tipe SEL-351A sebagai arus lebih yang ada di Laboratorium Proteksi dan Distribusi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe untuk dapat digunakan sebagai sistem proteksi peralatan praktikum di Laboratorium Sistem Proteksi dan Distribusi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berikut ini adalah beberapa rujukan penelitian yang pernah dilakukan untuk mendukung penulisan tugas akhir ini, antara lain :

Amin Harist (2016) melakukan penelitian mengenai Analisis Koordinasi Proteksi Pada Sistem Distribusi Radial. Dari penelitian ini di simpulkan bahwa proteksi yang digunakan pada jaringan distribusi adalah Relay arus lebih atau *Over Current*

Relay (OCR) dan Rele gangguan tanah (GFR). OCR berfungsi didasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dan dalam jangka waktu tertentu, sehingga rele ini dapat dipakai sebagai pengaman arus lebih. Hasil simulasi yang Aman lakukan menunjukkan bahwa koordinasi proteksi yang baik adalah relay yang terletak paling dekat dengan gangguan akan bekerja terlebih dahulu dan relay *incoming*nya menjadi backup.

Sedangkan Rezky Fajrian (2015) melakukan penelitian mengenai Analisa Koordinasi Proteksi *Overcurrent Relay* Pada Jaringan Distribusi SUTM 20 kV dengan Menggunakan Software Etap. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa prinsip kerja relay arus lebih akan bekerja apabila relay tersebut merasakan besar arus yang melebihi setting arus dari relay tersebut, maka dari itu relay akan bekerja dengan memerintahkan CB untuk trip .

Jurnal yang berjudul ‘Studi Koordinasi Relay Proteksi Pada Sistem Kelistrikan PT. BOC GASES Gresik Jawa Timur‘ (Albertus Rangga P. 2012) Pada jurnal ini dapat diketahui bahwa perlu dilakukan pengaturan ulang untuk rele arus lebih terutama pelindung motor dengan penambahan time delay ($t_{>>}$) sebesar 0,1 detik. Hal ini bertujuan agar agar pengamanan dapat berjalan dengan lebih tepat dalam mengatasi gangguan yang terjadi. Pada rele arus lebih yang terletak pada feeder dan generator juga dilakukan pengaturan ulang untuk $I_{>}$, $t_{>}$, $I_{>>}$, dan $t_{>>}$ sehingga keandalan sistem dapat terjaga dan bekerja lebih optimal.

Relay Proteksi

Relay 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 dilokalisasi dan dihilangkan sebelum menimbulkan akibat yang lebih luas.

Sehubungan dengan ini, Hazairin (2004:3) relay proteksi harus bekerja sesuai dengan yang diharapkan dengan waktu yang cepat sehingga tidak akan mengakibatkan kerusakan, ataupun kalau suatu peralatan terjadi kerusakan secara dini telah diketahui, atau walaupun terjadi gangguan tidak menimbulkan pemadaman bagi konsumen. Secara garis besar bagian dari relay proteksi pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk :

- a. Merasakan besaran-besaran listrik, seperti arus, tegangan, frekuensi, dan sebagainya tergantung relay yang dipergunakan. Pada bagian ini besaran yang masuk akan dirasakan keadaannya, apakah keadaan yang diproteksi itu mendapatkan gangguan atau dalam keadaan normal, untuk selanjutnya besaran tersebut dikirimkan ke elemen pembanding.
- b. Menerima besaran setelah terlebih dahulu besaran itu diterima oleh elemen oleh elemen pengindera untuk membandingkan besaran listrik pada saat keadaan normal dengan besaran arus kerja relay.
- c. Mengadakan perubahan secara cepat pada besaran ukurnya dan akan segera memberikan isyarat untuk membuka PMT atau memberikan sinyal.
- d. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- e. Memperkecil bahaya bagi manusia.

Tujuan Proteksi

Tujuan utama proteksi adalah untuk mencegah terjadinya gangguan atau memadamkan gangguan yang telah terjadi dan melokalisirnya, dan membatasi pengaruh-pengaruhnya, biasanya dengan mengisolir bagian-bagian yang terganggu tanpa mengganggu bagian-bagian yang lain.

Ada pula tujuan lainnya yaitu:

1. Memperkecil luas daerah lokalisir pada saat terjadi gangguan.
2. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memutuskan dengan waktu seminimal mungkin.
3. Untuk mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.
4. Memberikan pelayanan listrik yang memiliki keandalan tinggi terhadap beban yang terpasang.

Persyaratan Sistem Proteksi

1. Kepekaan (Sensitivity)
Sensitifitas adalah kepekaan rele proteksi terhadap segala macam gangguan dengan tepat yakni gangguan yang terjadi di daerah perlindungannya. Kepekaan suatu sistem proteksi ditentukan oleh nilai terkecil dari besaran penggerak saat peralatan proteksi mulai beroperasi. Nilai terkecil besaran

penggerak berhubungan dengan nilai minimum arus gangguan dalam daerah yang dilindunginya .

2. Keandalan (Reliability)

Suatu sistem proteksi dapat dikatakan andal jika selalu berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Sistem proteksi disebut tidak andal bila gagal bekerja pada saat dibutuhkan dan bekerja pada saat proteksi itu tidak seharusnya bekerja. Keandalan rele dikatakan cukup baik bila mempunyai harga 90-99 %. Keandalan dapat dibagi 2 macam, yaitu :

a. Dependability

Yaitu tingkat kepastian untuk mampu bekerja saat terjadi gangguan tinggi. Dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu secara pasti dan tidak gagal bekerja.

b. Security

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja tinggi.

3. Selektivitas (Selectivity) dan Diskriminatif

Selektif berarti suatu sistem proteksi harus dapat memilih bagian sistem yang harus diisolir apabila rele proteksi mendeteksi gangguan. Bagian yang dipisahkan dari sistem yang sehat sebisanya adalah bagian yang terganggu saja. Diskriminatif berarti suatu sistem proteksi harus mampu membedakan antara kondisi normal dan kondisi abnormal. Ataupun membedakan apakah kondisi abnormal tersebut terjadi di dalam atau di luar daerah proteksinya, dengan demikian segala tindakannya akan tepat.

4. Kecepatan (speed)

Sistem proteksi perlu memiliki tingkat kecepatan sebagaimana ditentukan sehingga meningkatkan mutu pelayanan, keamanan manusia, peralatan dan stabilitas operasi. Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dilepaskan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Keterlambatan melepaskan sistem yang terganggu dapat mengakibatkan gangguan kestabilan pada sistem atau dapat merusak peralatan dan komponen jaringan yang disebabkan oleh thermal stress.

5. Ekonomis

Suatu perencanaan teknik yang baik tidak terlepas tentunya dari pertimbangan nilai ekonomisnya. Suatu rele proteksi yang digunakan hendaknya memiliki nilai seekonomis mungkin dengan tidak mengesampingkan fungsi dan keandalannya. Tipe Proteksi Ada dua kategori proteksi yang dikenal yaitu proteksi utama (main protection) dan proteksi pembantu (back up protection). Proteksi utama adalah pertahanan utama dan akan membebaskan gangguan pada bagian yang akan diproteksi secepat mungkin. Mengingat keandalan 100 % tidak hanya dari perlindungan tetapi juga dari trafo arus, trafo tegangan dan pemutus rangkaian yang tidak dapat dijamin, untuk itu diperlukan perlindungan pembantu (auxiliary protection) pada alat proteksi tersebut.

Jenis - Jenis Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Jenis gangguan yang terjadi dalam sistem tenaga listrik diantaranya sebagai berikut :

1. Gangguan Tegangan Lebih (Over Voltage)

Tegangan lebih merupakan suatu gangguan akibat tegangan pada sistem tenaga listrik lebih besar dari yang telah ditetapkan. Gangguan tegangan lebih dapat terjadi karena kondisi external dan internal. Kondisi internal terutama karena isolasi akibat perubahan yang mendadak dari kondisi rangkaian. Misalnya operasi hubung pada saluran tanpa beban, perubahan beban yang mendadak, operasi pelepasan pemutus tenaga yang mendadak akibat hubungan singkat pada jaringan, kegagalan isolasi, dan sebagainya. Kondisi external terutama akibat adanya sambaran petir. Petir terjadi disebabkan oleh terkumpulnya muatan listrik, yang mengakibatkan bertemunya muatan positif dan negatif. Pertemuan ini berakibat terjadinya beda tegangan antara awan bermuatan positif dengan muatan negatif, atau awan bermuatan positif atau negatif dengan tanah. Bila beda tegangan ini cukup tinggi maka akan terjadi loncatan muatan listrik dari awan ke awan atau dari awan ke tanah. Jika ada menara (tiang) listrik yang cukup tinggi maka awan bermuatan yang menuju ke bumi ada kemungkinan akan menyambar menara atau kawat tanah dari saluran transmisi dan mengalir ke tanah melalui menara- dan tahanan pentanahan menara. Bila arus petir ini besar, sedangkan tahanan tanah menara kurang baik maka akan timbul tegangan tinggi pada menaranya. Keadaan ini akan berakibat dapat terjadinya loncatan muatan dari menara ke penghantar fasa.

Pada penghantar fasa ini akan terjadi tegangan tinggi dan gelombang tegangan tinggi petir yang sering disebut surja petir. Surja petir ini akan merambat atau mengalir menuju ke peralatan pada jaringan.

2. Gangguan Hubung Singkat (Short Circuit)

Hubung singkat adalah terjadinya hubungan antar penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung yang tidak melalui media (resistor/ beban) sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). Hubung singkat merupakan jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Arus listrik yang terjadi akibat hubung singkat dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan jika rele proteksi dan pemutus tenaga tidak tersedia untuk mengamankan jaringan.

3. Gangguan Beban Lebih

Gangguan beban lebih adalah jenis gangguan yang tidak murni. Gangguan ini mengakibatkan adanya kenaikan arus yang mengalir pada sistem yang disebabkan oleh beban berlebih. Meskipun gangguan beban lebih adalah bukan gangguan yang murni, namun jika gangguan ini

dibiarkan terus-menerus berlangsung maka gangguan ini dapat merusak peralatan yang terhubung pada sistem tenaga listrik.

4. Gangguan Frekuensi Jatuh

Gangguan frekuensi jatuh adalah gangguan yang menyebabkan frekuensi pada sistem bernilai lebih rendah dibandingkan dengan frekuensi yang seharusnya. Gangguan ini dapat disebabkan karena lepasnya pembangkit akibat adanya gangguan di sisi pembangkit.

Pemutus Tenaga (Circuit Breaker)

Pemutus Tenaga (PMT) atau circuit breaker (CB) merupakan peralatan yang dapat digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus listrik sesuai dengan kapasitas ratingnya. CB mempunyai kemampuan untuk memutuskan arus beban dan arus gangguan hubung singkat pada tegangan tinggi dalam waktu yang relative cepat. Energi mekanik yang diperlukan untuk membuka kontak utama diperoleh dari gaya pegas, tekanan hidrolik, tekanan pneumatic atau dari kombinasi diantaranya. Pada saat CB memutuskan atau menghubungkan arus listrik akan timbul busur api sehingga digunakan beberapa bahan isolator seperti minyak , udara, gas , dan lain sebagainya.

Rele Arus Lebih (Over Current Relay)

Rele arus lebih adalah rele yang bekerja berdasarkan arus, yang mana rele ini akan bekerja apabila terjadi arus yang melampaui batas tertentu yang telah ditetapkan yang disebut arus kerja atau arus setting rele. Didalam distribusi, rele arus lebih ini sering juga disebut pengaman gangguan antar fasa yang dipergunakan untuk mengamankan sistem distribusi, jika ada gangguan hubung singkat 3 fasa atau 2 fasa. Pemasangan rele ini terdapat di incoming feeder (penyulang masuk), outgoing feeder (penyulang keluar) atau di gardu hubung. Keuntungan dari penggunaan proteksi rele arus lebih ini antara lain :

- a. Sederhana dan murah.
- b. Mudah Penyetelan.
- c. Dapat berfungsi sebagai pengaman utama dan cadangan.
- d. Mengamankan gangguan hubung singkat antar fasa atau satu fasa ke tanah.

Pengaman cadangan untuk generator, trafo, dan saluran transmisi.

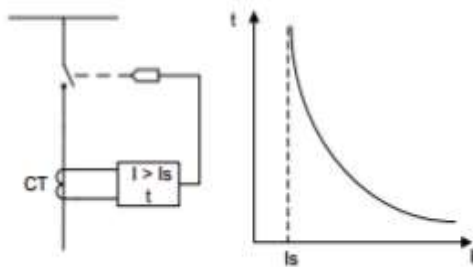
Proteksi Overcurrent Relay (OCR)

Relay arus lebih atau OCR adalah rele yang melindungi sistem dari gangguan arus lebih dimana waktu kerjanya tergantung dari arus gangguan dan waktu. Rele ini akan memberikan perintah kepada PMT (pemutus tenaga) pada saat terjadi gangguan bila besar gangguannya melampaui arus penyetelannya berdasarkan perbandingan arus setting pada rele terhadap arus primer pada jaringan. Jika

arus primer lebih kecil dari arus setting maka rele tidak akan bekerja. Sebaliknya bila arus primer melebihi arus setting maka rele akan bekerja/ beroperasi. OCR dapat dibedakan menjadi beberapa jenis karakteristik yaitu :

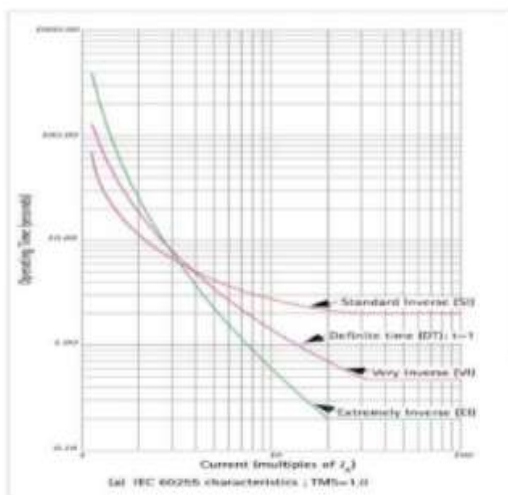
1. *Invers time*

OCR Invers adalah rele dimana waktu tundanya memiliki karakteristik tergantung pada besarnya arus gangguan. Semakin besar arus gangguannya maka waktu kerja rele akan semakin singkat atau cepat. Nilai arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja rele. Karakteristik Overcurrent Relay invers dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Karakteristik *Tripping* relay arus lebih waktu invers.

Rele invers dapat diklasifikasikan menjadi empat tipe karakteristik yaitu *standard invers, very invers, extremely invers, longtime invers*. Berikut ini adalah Gambar 2. Grafik hubung karakteristik *invers*,

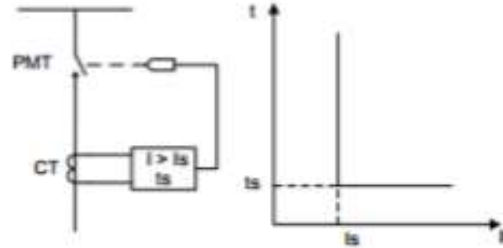


Gambar 2. Tipe karakteristik Overcurrent Relay *invers*

1. *Definite time*

OCR tipe ini bekerja tidak tergantung pada nilai arus gangguan. Rele ini memberikan perintah kepada PMT pada saat terjadi gangguan bila besar gangguannya melampaui arus penyetelannya, dan jangka waktu rele ini mulai pickup sampai kerja diperpanjang dengan waktu tidak tergantung pada

besarnya arus. Berikut ini adalah Gambar 3. Grafik hubung OCR *definite time*,

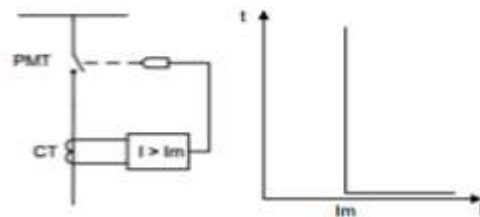


Gambar 3. Karakteristik *tripping* relay arus lebih waktu *definite*.

Sifat atau karakteristik dari *rele definite* adalah rele baru akan bekerja bila arus yang mengalir pada rele tersebut melebihi besarnya arus setting (I_s) yang telah ditentukan. Dan lamanya selang waktu rele bekerja untuk memberikan komando *tripping* sesuai dengan waktu setting (T_s) yang diinginkan. Pada rele ini waktu bekerjanya ($T_{tripping} = T_s$) tetap konstan, tidak dipengaruhi oleh besarnya arus yang mengerjakan rele tersebut.

2. *Instantaneous time*

Karakteristik OCR ini bekerja tanpa tunda waktu. Rele ini akan memberikan perintah pada PMT untuk memutuskan jaringan yang mengalami gangguan bila besarnya arus gangguan melebihi arus pengaturannya, dan jangka waktu kerja tanpa penundaan. dibawah ini adalah grafik karakteristiknya, dikarenakan rele ini tanpa penundaan waktu, maka koordinasi untuk mendapatkan selektifitas yang tinggi didasari pada tingkat beda arusnya. Karakteristik OCR *instantaneous time* dapat dilihat pada Gambar 4..



Gambar 4. Karakteristik OCR *instantaneous time*

Pengaturan Overcurrent Relay (OCR)

Terdapat beberapa tahapan untuk pengaturan proteksi rele OCR (*Over Current Relay*). Berikut adalah tahapan yang harus dilakukan untuk mendapatkan setting rele:

a. Penghitungan Impedansi

1. Kabel

Perhitungan impedansi kabel bergantung pada besaran nilai tahanan yang telah ditetapkan oleh data

sheet pabrik. Dimana nilai tersebut ditentukan dari jenis penghantar yang digunakan. Dengan persamaan rumus :

$$Z = \sqrt{R^2 + JX^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

Z = Impedansi kabel

R = Resistansi kabel

X= Reaktansi kabel

2. Transformator

Komponen hitung yang diperlukan dapat dilihat pada spesifikasi trafo yang digunakan. Perhitungan impedansi trafo dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$Z_{trafo} = Z\% \times \frac{V_p^2}{P} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

Ztrafo = Impedansi transformer (Ω)

Z% = Persentase impedansi transformer (%)

Vp = Tegangan pada sisi primer trafo (V)

P = Kapasitas daya maksimal trafo (VA)

3. Sumber

Pada sisi sumber juga terdapat nilai impedansi. Berikut adalah rumus yang dapat menentukan besaran nilainya :

$$Z_s = \frac{V^2}{P_{sc}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

Zs = Impedansi Sumber (Ω)

Vp = Tegangan (V)

Psc = Daya hubung singkat (VA_{sc})

b. Penghitungan Arus Nominal Beban (Full Load Ampere)

Penghitungan arus beban penuh ini bergantung pada besaran nilai beban yang terpasang pada suatu instalasi listrik. Untuk mengetahuinya dapat dilakukan dengan dua cara :

1. Diketahui Daya Semu beban

$$I_{nominal} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

S = Daya Semu beban dengan satuan (VA)

V = Tegangan pada beban dengan satuan (V)

2. Diketahui Daya Aktif Beban

$$I_{nominal} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \text{eff} \cdot \text{pf}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

P = Daya Aktif beban dengan satuan (Watt)

V = Tegangan pada beban dengan satuan (V)

eff = Efisiensi Motor

pf = Faktor Daya Motor

Untuk besaran nilai yang dibutuhkan dalam hitungan terdapat pada data sheet beban yang digunakan.

c. Penghitungan Nilai Time Dial Lowset

Setelan time dial menentukan waktu operasi rele. Untuk menentukan time dial dari masing-masing kurva karakteristik invers rele arus lebih dapat digunakan persamaannya sebagai berikut yang sesuai dengan standart BS 142 dan IEC 60225-3 :

$$T_{ms} = \frac{t \times \left[\frac{I_{sc}}{I_{set(primer)}} \right]^{\alpha} - 1}{\beta} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

Tms = Time dial / Time multiple setting

t = waktu trip (s)

Isc = Arus hubung singkat bus (A)

Iset(primer) = Arus pickup lowset primer (A)

Nilai α dan β dapat dilihat pada tabel 2.1 .dibawah ini :

Tabel 1. Konstanta Karakteristik Rele Arus Lebih

Tipe Kurva	β	α
<i>Standart Inverse</i>	0.14	0.02
<i>Very Inverse</i>	13.50	1.00
<i>Extremely Inverse</i>	80.00	2.00

(Sumber : Muhammad Iqbal, 2015)

Untuk Jaringan yang memiliki lebih dari satu rele pada feeder yang sama maka harus diberikan grading time agar tidak terjadi trip pada rele secara bersamaan. Standar IEEE Std 242-2001 menyebutkan bahwa nilai grading time sebesar 0.2-0.4 detik. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu :

- a. Kesalahan kerja rele
- b. Waktu pembukaan PMT sampai hilang bunga api
- c. Faktor keamanan

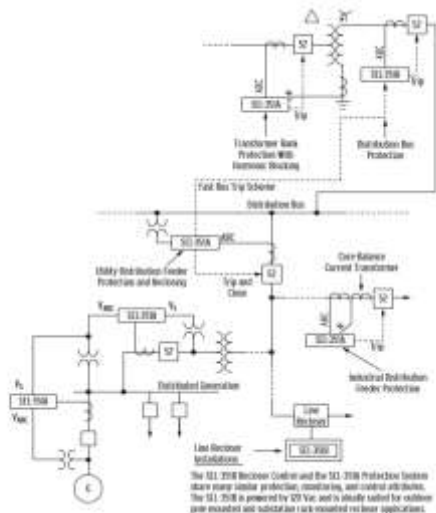
Aplikasi Relay Arus Lebih Tipe SEL-351A

Sistem Perlindungan SEL-351A memiliki banyak aplikasi proteksi, pemantauan, dan kontrol daya sistem. Gambar 5 menunjukkan beberapa aplikasi perlindungan khas yang sesuai untuk SEL-351A. Fungsi arus balik *directional dan nondirectional* SEL-351A dapat digunakan untuk melindungi hampir semua rangkaian sistem tenaga atau perangkat termasuk jalur, pengumpan, pemutus, transformer, bank kapasitor, reaktor, dan generator. Versi relay khusus dapat dipesan di SEL-351A untuk memberikan perlindungan ground fault yang tidak berarah pada sistem grounding impedansi tinggi, dan perlindungan ground overprotection ground fault pada sistem grounding dan impedansi tinggi (Petersen Coil).

Elemen over / underfrequency, over / undervoltage, elemen rate-of-change-of-frequency dan synchronism-check (SEL-351A saja) sangat sesuai untuk aplikasi pada situs generasi terdistribusi. Elemen daya *directional* pada model SEL-351A juga membuat relay sesuai untuk perlindungan utilitas /

perlindungan pelanggan dimana generasi pelanggan hadir.

Persamaan kontrol *SELOGIC* yang kuat dalam Sistem Perlindungan SEL-351A dapat digunakan untuk memberikan aplikasi perlindungan dan kontrol khusus. SEL Panduan Aplikasi dan personel dukungan teknis tersedia untuk membantu dengan banyak aplikasi yang unik. SEL-351A Sistem Perlindungan Terapan Sepanjang Sistem Daya dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. SEL-351A Sistem Perlindungan Terapan Sepanjang Sistem Daya

Fitur perlindungan Relay SEL-351A
a. Elemen Lebih Lancar

SEL-351A mencakup banyak elemen arus fasa, berurutan negatif, *residu*, dan elemen arus netral, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. SEL-351A Fasa, Negatif-Urutan, *Residual-Ground*, dan Elemen Arus Lebih Netral

Elemen Kuantitas Arus Beralih	Jumlah Elemen	Directional Control	Kontrol Torsi	Pastinya waktu tunda
Fasa arum Maksimum	1 -	Ya	Ya	Tidak Aktif
(IA, IB, atau IC)	6 seketika (50P1-50P6)	Ya, pada 4 pertama	Ya, pada 4 pertama	Ya, pada 4 pertama

Fasa phase-phase maksimum (IAB, IBC, atau ICA)	4 seketika (50PP1 - 50PP4)	Tidak	Tidak	Tidak
Fase arus independen	3 inverse-time (51A, 51B, 51C)	Ya	Ya	Tidak Aktif
<i>Residual-ground current</i> (3I0)	2 invers-time (51G, 51G2) 6 seketika (50G1-50G6)	Ya, pada 4 pertama	Ya, pada 4 pertama	Tidak Aktif
Arus urutan negatif (3I2)	1 invers-time (51Q) 6 seketika (50Q1-50Q6)	Ya, pada 4 pertama	Ya, pada 4 pertama	Tidak Aktif
Arus netral (IN)	1 inversi waktu (51N) 6 seketika (50N1-50N6)	Ya, pada 4 pertama	Ya, pada 4 pertama	Tidak Aktif

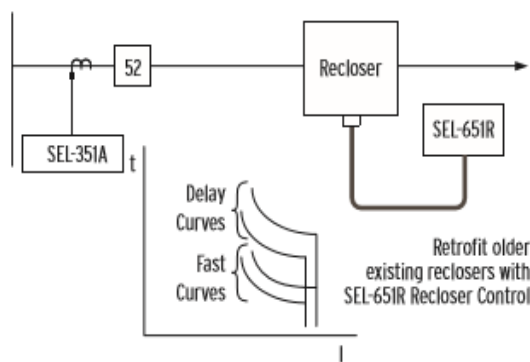
Pengaturan elemen arus lebih inversal mencakup rentang arus *pickup* yang lebar dan terus menerus, rentang pengaturan waktu yang kontinyu, dan pilihan kurva arus waktu dari kurva standar AS (IEEE) dan IEC yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kurva *Current Overcurrent Inverse*

IEEE	IEC
Sedang <i>Inverse</i> (U1)	Standar <i>Inverse</i> (C1)
<i>Inverse</i> (U2)	<i>Very Inverse</i> (C2)
<i>Very Inverse</i> (U3)	<i>Extremely Inverse</i> (C3)
<i>Extremely Inverse</i> (U4)	<i>Long - Time Inverse</i> (C4)

<i>Short- Time Inverse</i> (U5)	<i>Short- Time Inverse</i> (C5)
------------------------------------	------------------------------------

Gunakan beberapa kurva *inverse* untuk berkoordinasi dengan kurva reclose fast and delay di hilir. Logika koordinasi urutan juga disertakan untuk memberikan koordinasi antara kurva cepat dan tertunda pada SEL-351A dan recloser hilir. Gambar 6 mewakili SEL-351A yang dikoordinasikan ke Kontrol Perendaman SEL-351R hilir. Pengaturan kurva relay *inverse-time* mencakup rentang *pickup* arus dan putaran arus yang luas dan terus menerus (pengganda vertikal). Mengkoordinasikan Alat Pelindung Arus Berlebih dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Mengkoordinasikan Alat Pelindung Arus Berlebih

Pengaturan kurva relay arus balik AD-351A Protection menawarkan dua alternatif pilihan reset untuk setiap elemen. Pengaturan EM Reset Delay = Y mengemulasi elemen *disc induksi* elektromekanik, di mana waktu reset tergantung pada pengaturan *timedial*, persentase perjalanan disk, dan jumlah arus. Mengatur *Delay Reset* EM = N mengatur ulang elemen segera jika arus turun di bawah *pickup* setidaknya selama satu siklus.

III. METODE PENELITIAN

Langkah Pengujian Individual Karakteristik Relay Arus Lebih Tipe SEL-351A

Pengujian relay arus lebih tipe SEL-351A sebagai proteksi arus lebih pada motor induksi untuk tugas akhir di laboratorium sistem proteksi dan distribusi tenaga listrik, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1.Menyiapkan alat dan bahan

Pada pengujian ini alat yang dipakai merupakan multimer tiga fasa, power supply, power switch module, jumper dan kabel penghubung. Sedangkan bahan dipakai Motor induksi 3 fasa, Beban resistive, dan Relay SEL-351A, Motor Servo.

2.Merangkai rangkaian pengujian

a. Rangkaian pengujian relay arus lebih SEL 351 A sebelum diaplikasikan pada motor 3 fasa.

b. Rangkaian pengujian relay arus lebih SEL 351 A yang telah diaplikasikan padamotor 3 fasa.

3. Menyetting relay arus lebih SEL351A karakteristik waktu normal inverse.

4. Mensimulasikan arus gangguan dari 1,3 A sampai 1,5 A.

5. Mencatat data hasil yang diperoleh dari hasil pengujian.

6. Jika sesuai hasil yang diperoleh lanjut ke simpan data kemudian selesai.

7. Jika tidak sesuai hasil yang diperoleh kembali lagi menyetting relay arus lebih SEL351A karakteristik waktu normal inverse.

Kurva Waktu Arus Lebih

Informasi berikut menggambarkan waktu kurva untuk pengaturan kurva dan pengaturan waktu yang dibuat untuk elemen arus-arus lebih. Kurva relay arus waktu *invers* pada Gambar 3. 4 sesuai dengan IEEE C37.112-1996 Persamaan Karakteristik *Inverse-Time* IEEE untuk Relay Arus Lebih.

dimana:

t_p = waktu operasi dalam detik

t_r = waktu pengambilan *induksi-disk* emulasi elektromekanik dalam hitungan detik (jika Anda memilih pengaturan reset elektromekanis)

TD = pengaturan pemanggilan waktu

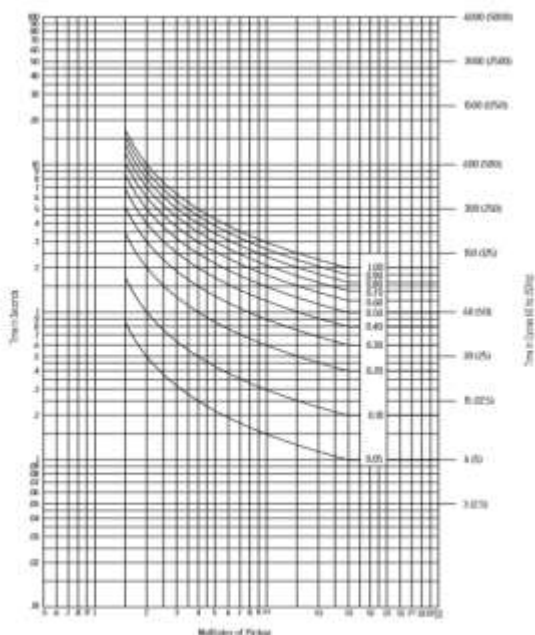
M = kelipatan arus *pickup* yang diterapkan [untuk waktu operasi (t_p), $M > 1$; untuk waktu reset (t_r), $M \leq 1$].

Tabel 4. Persamaan yang Terkait dengan Kurva IEC

Jenis Curve	Waktu operasi	Reset Waktu	Gambar
C1 (Standar <i>Invers</i>)	$t_p = TD \cdot [0.14] \cdot M^{0.02-1}$	$t_r = TD \cdot [135] \cdot M^2$	Gambar 7.

Waktu Inverse Normal

Relay arus lebih yang disetting dengan karakteristik ini dapat juga menghitung waktu pemutusannya berdasarkan standar IEC, yaitu dengan menggunakan persamaan yang terkait dengan kurva IEC pada Tabel 4. Bentuk grafik karakteristik ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. I.E.C. Kurva Kelas A (Standar Invers): C1.

Cara pengujian untuk mendapatkan karakteristik inverse normal yaitu :

- Meng-onkan fungsi inverse normal pada relay arus lebih SEL-351A.
- Menentukan arus setting relay yaitu dengan Is pada 1,2 A.
- Menentukan waktu tunda kerja relay dengan range 0 -1 s dengan mensetting TD.
- Merangkai rangkaian pengujian untuk mensimulasikan arus gangguan seperti gambar rangkaian pengujian.
- Membuka software SCADA viewer. Pengaturan setingan arus dan waktu tunda dapat dilihat pada software agar setingan tepat pada nilai yang diinginkan dan karakteristik waktu *inverse* normal yang disetting dapat diketahui pada tampilan SCADA viewer.
- Menaikkan arus gangguan secara bertahap pada nilai yang telah ditentukan.
- Mencatat waktu pemutusan masing-masing tahap arus gangguan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Normal *Inverse* dengan Waktu Tunda 0,1 s

I (A)	Is (A)	Td (s)	Waktu trip (s)
1,3	1,2	0,1	8,33
1,35	1,2	0,1	5,35
1,4	1,2	0,1	4,03
1,45	1,2	0,1	3,25
1,5	1,2	0,1	2,56

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Hasil Pengujian Relay

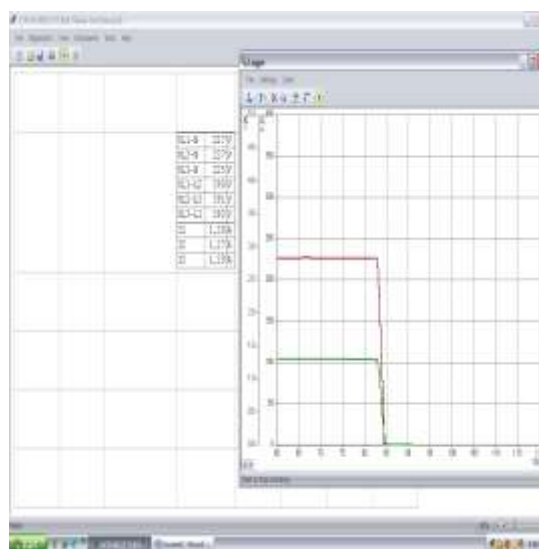
Pada bab ini akan membahas tentang analisa hasil dari pengujian relay arus lebih tipe SEL-351A dengan mensimulasikan arus gangguan serta mengoperasikan software SCADA Viewer dan Active Servo. Tahapan pengujian yang dilakukan pada karakteristik Normal *Inverse* dan pengujian dengan mensimulasi gangguan pada motor induksi.

Analisa Hasil Pengujian Relay Normal *Inverse*

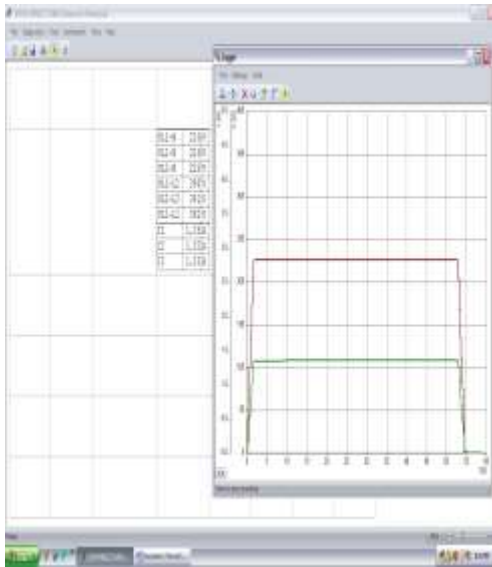
Hasil Pengujian relay dengan karakteristik waktu Normal *Inverse* dapat dilihat pada Tabel 5 dan karakteristiknya dapat dilihat pada Gambar 1 – Gambar 6

Tabel 6. Tabel Pengujian Normal *Inverse*

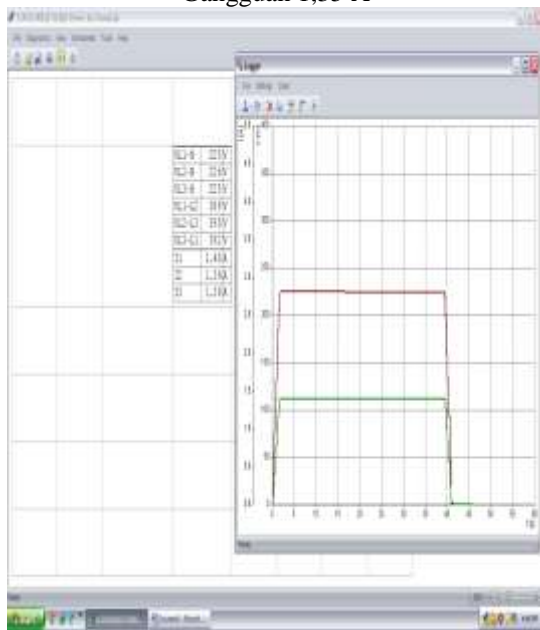
I (A)	Is (A)	Td (s)	Waktu trip (s)
1,3	1,2	0,1	8,33
1,35	1,2	0,1	5,35
1,4	1,2	0,1	4,03
1,45	1,2	0,1	3,25
1,5	1,2	0,1	2,56



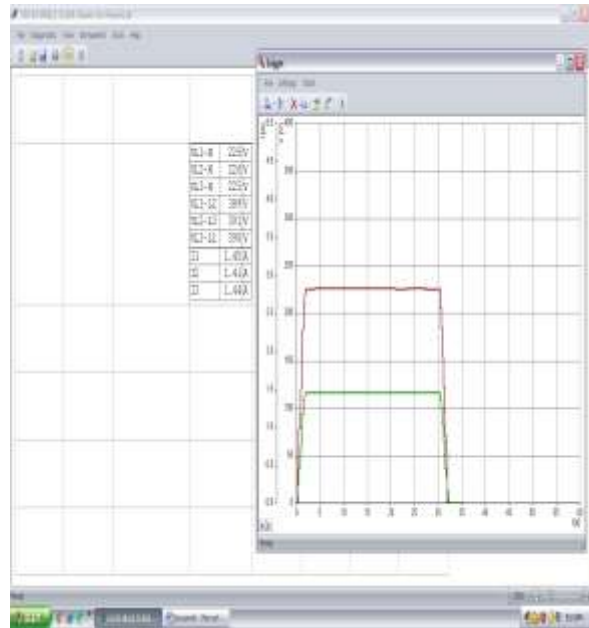
Gambar 8. Karakteristik Relay Arus Lebih Tipe SEL 351A yang Didapat dari Hasil Pengujian Normal *Inverse* dengan Arus Gangguan 1,30 A



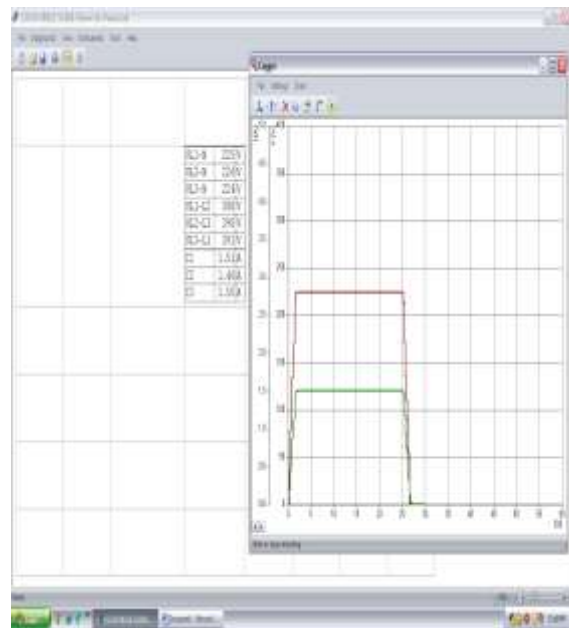
Gambar 9. Karakteristik Relay Arus Lebih Tipe SEL-351A yang Didapat dari Hasil Pengujian Normal *Inverse* dengan Arus Gangguan 1,35 A



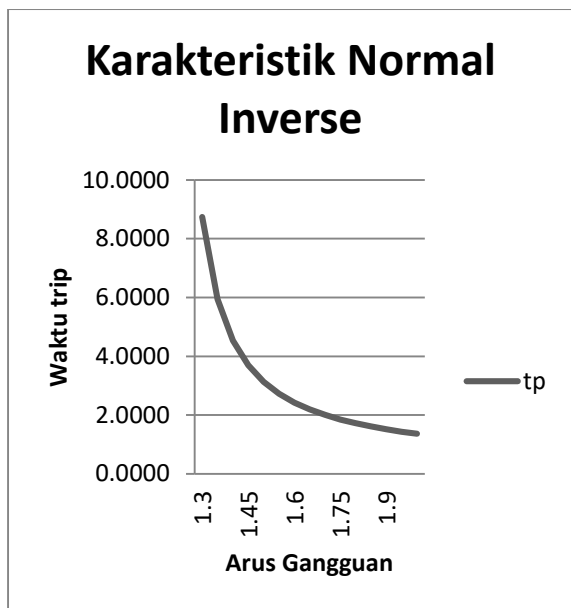
Gambar 10. Karakteristik Relay Arus Lebih Tipe SEL-351A yang didapat dari Hasil Pengujian Normal *Inverse* dengan Arus Gangguan 1,40 A



Gambar 11. Karakteristik Relay Arus Lebih Tipe SEL-351A yang didapat dari Hasil Pengujian Normal *Inverse* dengan Arus Gangguan 1,45 A



Gambar 12. Karakteristik Relay Arus Lebih Tipe SEL-351A yang Didapat dari Hasil Pengujian Normal *Inverse* dengan Arus Gangguan 1,5 A



Gambar 13. Karakteristik Relay Arus Lebih Tipe SEL-351A yang didapat dari Hasil Perhitungan Normal *Inverse*

Hasil pengujian karakteristik relay Normal *Inverse* dapat dilihat pada Tabel 5 Dan karakteristik grafik time dial Normal *Inverse* pada Gambar 1 – Gambar 5. Hasil perhitungan karakteristik relay Normal *Inverse* dan grafik time dial Normal *Inverse* yang didapat dari hasil perhitungan Normal *Inverse* dapat dilihat pada Gambar 6. Waktu trip relay berbanding terbalik dengan arus gangguan. Semakin besar arus gangguan, waktu trip relay dengan karakteristik Normal *Inverse* semakin cepat. Pada setting arus 1,2 A dan waktu tunda 0.1 s, saat arus gangguan sebesar 1,3 A, waktu pemutusannya adalah 8,33 s. Saat arus gangguan yang disimulasikan sebesar 1,35 A, waktu tripnya semakin cepat adalah 5,35 s, saat arus simulasi gangguan dinaikkan menjadi 1,4 A, waktu tripnya semakin lebih cepat dari sebelumnya yaitu 4,03 s. Pada saat arus gangguan sebesar 1,45 A, waktu tripnya menjadi 3,25 s, dan saat arus simulasi gangguan dinaikkan menjadi 1,5 A, waktu tripnya semakin cepat yaitu 2,56 s.

Analisa Hasil Pengujian Arus Gangguan dengan Arus Display pada Relay Normal *Inverse*

Hasil Pengujian Arus Gangguan dan Arus Display pada Relay dengan Karakteristik waktu Normal *Inverse* dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Arus Gangguan dan Arus Display

No.	I gangguan	I display
1.	1,5 A	IA = 180
	1,47 A	IB = 177
	1,48 A	IC = 178
2.	1,45 A	IA = 174
	1,43 A	IB = 171
	1,43 A	IC = 171

3.	1,40 A	IA = 168
	1,38 A	IB = 165
	1,38 A	IC = 165
4.	1,35 A	IA = 162
	1,32 A	IB = 158
	1,33 A	IC = 160
5.	1,31 A	IA = 156
	1,28 A	IB = 153
	1,28 A	IC = 153

Hasil pengujian arus gangguan dan arus display pada relay dengan karakteristik waktu Normal *Inverse* dapat dilihat pada Tabel 7. dan karakteristik grafik *time dial* Normal *Inverse* pada Gambar 1 – Gambar 5. Hasil pengujian arus gangguan dari 1,3 A sampai dengan 1,5 A dan arus display relay 180 sampai dengan 156 hasilnya sama dengan hasil perhitungan yang didapat dimana arus gangguan dari 1,3 A sampai dengan 1,5 A dan arus display relay 180 sampai dengan 156.

Pengujian Relay Arus Lebih Tipe SEL-351A Berbeban

Pada pengujian relay arus lebih tipe SEL-351A ini penulis menyetting relay arus dengan karakteristik waktu Normal *Inverse* untuk mengamankan motor dari gangguan over load dan gangguan hubung singkat.

Cara menyetting relay arus lebih tipe SEL-351A dengan karakteristik waktu normal inverse dengan beban motor ini adalah sebagai berikut :

- Pertama-tama tekan tombol SET pada relay arus lebih tipe SEL-351A, kemudian Pilih menu Global selanjutnya Group 1 yang ada pada relay arus lebih tipe SEL-351A.
- Masukkan nilai CTR 120 dan CTRN 120 pada relay arus lebih tipe SEL-351A, kemudian aktifkan E51P untuk karakteristik waktu Normal *Inverse*.
- Menentukan arus gangguan pada alat ukur 3 fasa sesuai dengan pengujian relay arus lebih tipe SEL-351A dengan beban resistive. Nilai arus gangguan 1,5 A sampai 1,3 A sesuai dengan name plate motor arus sebesar 1,5 A dengan hubungan While (Y).
- Menentukan setting arus karakteristik waktu inverse menurut Kurva Kelas A (Standar Invers) : C1 pada buku Schweitzer Engineering Laboratories, INC, 2017, dengan nilai setting arus 1,2 A disesuaikan juga dengan perhitungan pada Microsoft Excel yang didapat dengan nilai setting arus 1,2 A.
- Menentukan waktu tunda dengan melihat nilai arus setting 1,2 A pada buku *Schweitzer Engineering Laboratories*,

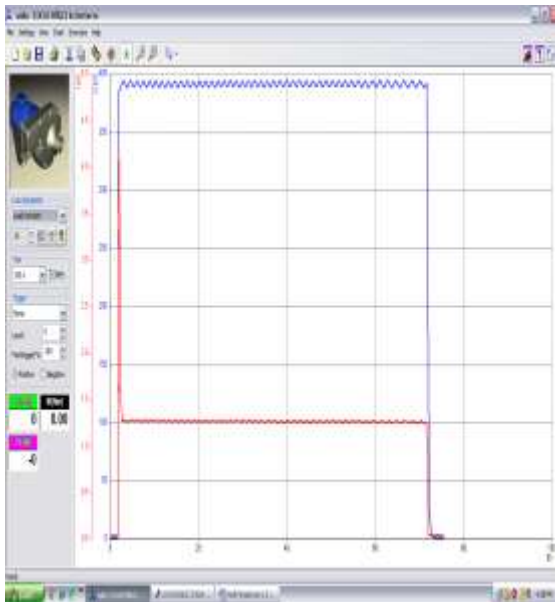
INC, 2017. Maka waktu tunda yang didapat 0,10 pada relay untuk faktor pengali x10.

Kemudian relay dihubungkan dengan software Active Servo dengan menggunakan Servo Machine Test System yang dihubungkan ke PC. Pengaturan settingan arus dan waktu tunda dapat dilihat pada software agar settingan tepat pada nilai yang diinginkan.

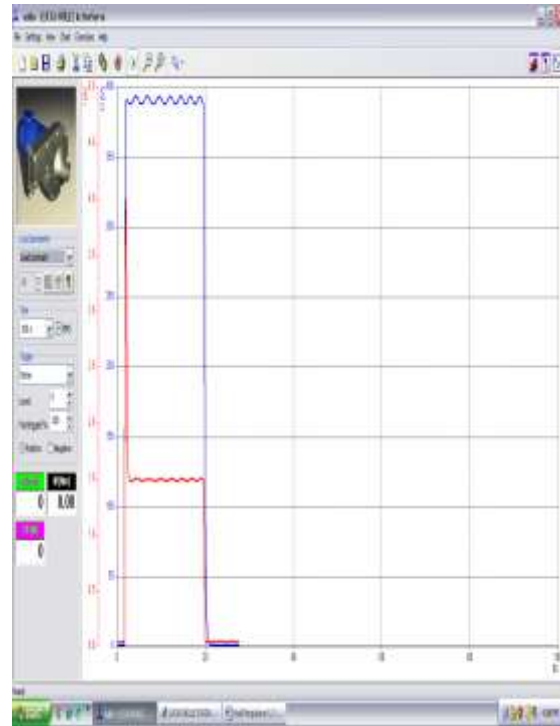
Dari hasil pengujian didapat hasil :

Tabel 8. Data Hasil Pengujian Relay Berbeban

Torsi Lawan (Nm)	Arus (A)	Waktu (s)	NINV
25	1,3	7,53	On
-	1,35	-	Off
-	1,4	-	Off
-	1,45	-	Off
30	1,5	2,02	On



Gambar 14. Data Grafik Hasil Pengujian Relay Berbeban dengan Arus Gangguan 1,3 A



Gambar 15. Data Grafik Hasil Pengujian Relay Berbeban dengan Arus Gangguan 1,5 A

Analisa Perhitungan Waktu Pemutusan Relay dengan Karakteristik Normal Inverse Pengujian Berbeban

Berdasarkan pengujian relay berbeban Gambar 14 dan Gambar 15.

Data relay : Simulasi arus gangguan:
 $I_s = 1,2 \text{ A}$; $I_1 = 1,3 \text{ A}$
 $\alpha = 0,02$; $I_5 = 1,5 \text{ A}$
 $k = 0,14$

$$t_d = 0,1 \times 1/10 = 0,01$$

Proses perhitungan waktu pemutusan adalah sebagai berikut :

Berdasarkan Persamaan Tabel 4. Waktu Operasi.

$$t_p = \left[\frac{k}{M^{0,02-1}} \right] \times TMS$$

Dimana $TMS = t_d / 0,05 = 0,01 / 0,05 = 0,2$

Untuk $I_1 = 1,3 \text{ A}$, maka waktu pemutusannya :

$$t_p = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{1,3}{1,2} \right)^{0,02-1}} \right] \times 0,2$$

$$t_p = 75 \text{ s}$$

Untuk $I_5 = 1,5 \text{ A}$, maka waktu pemutusannya :

$$t_p = \left[\frac{0,14}{\left(\frac{1,5}{1,2} \right)^{0,02-1}} \right] \times 0,2$$

$$t_p = 26 \text{ s}$$

Analisa Hasil Pengujian Relay Berbeban

Hasil dari pengujian yang dilakukan, didapat data waktu pemutusan beban. Pada saat arus belum melampaui batas settingan relay yaitu pada 1,2 A relay tidak akan pernah trip. Saat arus beban sama dengan arus setting relay waktu *inverse* normal 1,5 A maka relay hanya memberi sinyal trip. Saat arus beban melebihi setting arus yaitu 1,3 A, maka relay *inverse* mulai bekerja dan relay akan trip pada waktu 75,2 detik. Semakin besar arus beban, semakin cepat relay waktu *inverse* bekerja yaitu sebesar 1,5 A relay trip pada waktu 25,3 detik. Pada pengujian ini batasan arus beban lebih oleh arus hubung singkat yaitu pada 1,5 A. Maksudnya adalah saat arus melewati 1,5 A relay dengan karakteristik waktu normal *inverse* bekerja dan relay akan trip pada waktu tunda 0,1 detik sesuai dengan settingan waktu tunda.

Pada perhitungan didapatkan hasil waktu pemutusan. Pada arus beban lebih pertama 1,3 A hasil perhitungan waktu pemutusan yaitu pada 75 detik, sama dengan hasil pengujian yaitu 75 detik. Sedangkan untuk arus beban lebih lainnya 1,5 A hasil perhitungan waktu pemutusan tidak sama dengan hasil pengujian. Saat pengujian arus beban lebih 1,5 A, waktu pemutusannya adalah 20 detik sedangkan hasil perhitungan adalah 26 detik. Hal ini terjadi karena relay arus lebih SEL-351A ini memiliki batas akurasi waktu tunda 0,1 dan arus setting 1,2 A untuk karakteristik Normal *Inverse*. Perbedaan tersebut juga bisa terjadi karena ketidak-akuratan penulis membaca data hasil pengujian, sehingga kedua hasil memiliki perbedaan atau bisa disebabkan oleh keduanya.

Jadi dari hasil pengujian, relay arus lebih tipe SEL-351A dapat dioperasikan secara bersamaan sebagai beban lebih pada motor induksi 3 fasa dan hubung singkat

V.PENUTUP

Kesimpulan

Hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa :

1. Penggunaan relay arus lebih tipe SEL-351A dapat dioperasikan sebagai proteksi arus lebih pada motor induksi 3 fasa dan hubung singkat dengan karakteristik waktu *inverse* normal. Hasil pengujian Normal *Inverse* dengan setting arus 1.2 Ampere dan waktu tunda 0.2 detik, saat arus gangguan sebesar 1.5 Ampere, waktu pemutusannya adalah 2.56 detik. Pada saat arus gangguan sebesar 1.3 Ampere, waktu pemutusannya adalah 8.33 detik. Waktu trip relay berbanding terbalik dengan arus gangguan, semakin besar arus gangguan, waktu trip relay dengan karakteristik Normal *Inverse* semakin cepat.
2. Software Scada dan Active Servo hanya digunakan untuk melihat nilai settingan arus gangguan 1,3 A sampai 1,5 A dengan waktu tunda 0,1 s dan waktu trip pada relay arus lebih tipe SEL-351A .

Saran

Saran penulis setelah melakukan pengujian tugas akhir ini adalah relay yang ada di laboratorium proteksi dan distribusi teknik elektro segera dilakukan pengujian dan tugas akhir ini di kembangkan dengan mengkoodinasikan relay arus lebih tipe SEL-351A dengan menguji karakteristik waktu *very inverse*, dan karakteristik waktu *extremely inverse*. Karena relay arus lebih tipe SEL-351A tidak hanya berfungsi sebagai relay arus lebih tetapi banyak fungsi yang bisa diaktifkan pada relay arus lebih tipe SEL-351A.

Referensi

- [1]. Affandi, Irfan. 2009. *Analisa Setting Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah pada Penyulang Sadewa di GI Cawang*. Skripsi pada FT UI Depok.
- [2]. Muhalan, Budi. 2014. *Analisa Perhitungan dan Pengaturan Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah pada Kubikel Cakra 20 KV Di PT XYZ*. Universitas Mercu Buana. Jakarta.
- [3]. Silaban, Abraham. 2009. *Studi tentang Penggunaan Recloser pada Sistim Jaringan Distribusi 20 KV*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- [4]. Sukma, Cut 2012. *Pengujian Relay Woodward Tipe XII-I Sebagai Proteksi Beban ` Lebih Dan Hubung Singkat*. Politeknik Negeri Lhokseumawe.Aceh.
- [5].Syahrial, Tirza Nova 2013. *Perhitungan Setting Rele OCR dan GFR pada Sistem Interkoneksi Diesel Generator di Perusahaan "X"*. Institut Teknologi Nasional Bandung.