



JASEE

Journal of Application and Science on Electrical Engineering

<https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index>



Perencanaan Dan Pembuatan Simulator Rele Arus Lebih Elektronik Berbasis Microcontroller

Fachrudin Hunaini¹, Enos Kopa Rihi², M. Mukhsim³, Dedi Usman Effendy³

^{1,2,3,4}Teknik Elektro, Universitas Widyagama

Corresponding author, email: fachrudin_h@widyagama.ac.id

Abstract

Electrical power distribution has risks that cannot be avoided, namely short circuit disturbances, both symmetrical and asymmetrical, temporary or permanent. Electricity providers' efforts to avoid or localize disturbances use protection systems, one of which is the Over Current Relay (OCR). The use of OCR in electric power transmission or distribution networks requires careful current and time settings according to the characteristics of the fault and the location of the fault. As an effort to facilitate operators and academics in the process of understanding and providing learning media or training to be able to simulate the current and time settings of OCR in securing the electric power transmission/distribution network, an OCR setting simulator of the electric power transmission or distribution network system is needed. built electronically using a microcontroller. The simulator built represents a three-phase electrical network with treatment of single-phase, inter-phase and three-phase faults. In each type of short circuit treatment, the fault current that occurs in section I (upstream) is greater than the fault current that occurs downstream, namely section II and section III. The working time of the relay in each section is faster at greater fault current values which are influenced by the variable TMS (Time Multiple Setting) and setting current (IS) values.

Keywords: Over Current Relay, Short Circuit Current, Microcontroller



p-ISSN : 2721-3625

e-ISSN : 2721-320X

1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu bentuk energi yang sangat penting untuk menunjang keberlangsungan proses di industri maupun kehidupan masyarakat. Proses penyediaan energi listrik mulai dari pembangkitan sampai dengan ke konsumen atau ke beban melalui jaringan transmisi sistem tenaga listrik [1], [2]. Distribusi tenaga listrik memiliki resiko yang tidak dapat dihindari yaitu gangguan hubung singkat baik simetri maupun asimetri, temporer maupun permanen [3]. Upaya penyedia listrik untuk menghindari maupun melokalisir gangguan menggunakan sistem proteksi yang salah satunya adalah Relay Arus Lebih (RAL). Penggunaan RAL dalam jaringan transmisi atau distribusi tenaga listrik memerlukan setting arus dan waktu secara cermat sesuai dengan karakteristik gangguan dan lokasi gangguan [4]. Oleh karena itu diperlukan suatu simulator sebagai media pembelajaran atau pelatihan

<https://doi.org/10.31328/jasee>

Received: 20-07-2024

Revised: 20-07-2024

Accepted: 21-07-2024, published by ©UWG Press tahun

bagi operator maupun akademisi untuk mensimulasikan setting arus dan waktu RAL untuk mengamankan jaringan transmisi/distribusi tenaga listrik [5].

RAL merupakan sistem yang dibangun secara mekanik ataupun kombinasi mekanik dan elektronik yang diproduksi oleh suatu industri dan tentunya kurang ekonomis bila digunakan pada skala laboratorium. Perancangan RAL didukung oleh teknologi mikrokontroler AVR Atmega 8535 yang diprogram dengan BASCOM-AVR telah dilakukan oleh Cahayahati, dkk., 2012, prototipe proteksi arus lebih digital (Digital over current protection) dengan karakteristik invers dengan RAL dirancang dengan menggunakan Hall Effect Current Sensor tipe ACS706 ELC020 sebagai pendeteksi arus [6].

Beberapa riset lain juga telah dilakukan yaotu membangun RAL berbasis mikrokontroler yang difungsikan sebagai fuse maupun eengaman peralatan seperti motor induksi dengan waktu tunda yang linier terhadap variabel Arus [7], [8].

Berbeda dengan riset sebelumnya yang hanya mengkhususkan pada setting arus saja maupun setting waktu tunda saja, Majumber R, dkk (2018) telah membangun sistem proteksi tenaga listrik dengan RAL menggunakan mikrokontroler dengan metode Inverse Definite Minimum Time (IDMT) [9].

Dalam rangka memfasilitasi pembelajaran / pelatihan para operator untuk setting arus dan waktu Zulfahrain, dkk., 2022 telah membangun simulator koordinasi proteksi transformator tenaga, untuk keperluan bahan ajar dan modul praktikum yang terdiri dari Over Current Relay (OCR) dan Ground Fault Relay (GFR) sebagai relai proteksi arus lebih gangguan fasa dan gangguan tanah. Relai proteksi arus lebih yang digunakan dipasangkan pada sisi primer transformator tenaga. Simulasi percobaan yang dilakukan adalah simulasi gangguan internal (hubung singkat tiga fasa, hubung singkat dua fasa, dan hubung singkat satu fasa ke tanah) dan simulasi gangguan eksternal (hubung singkat tiga fasa) menggunakan tahanan [5].

Berdasarkan uraian riset terdahulu maka direncanakan modul pembelajaran setting koordinasi sistem proteksi menggunakan RAL *invers time* berbasis mikrokontroler untuk mengamankan gangguan satu fasa, antar fasa maupun tiga fasa pada jaringan transmisi/didtribusi tenaga listrik.

2. STUDI PUSTAKA

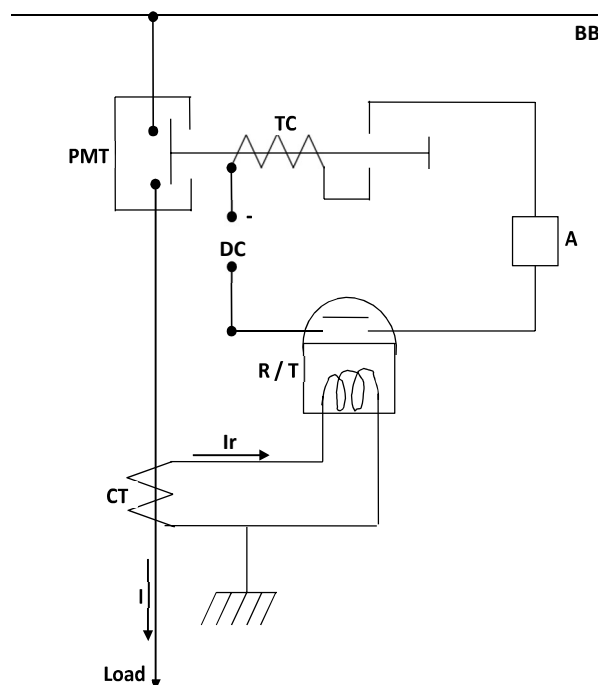
2.1 Relay Pengaman

Relay pengaman adalah suatu alat yang dapat membuka dan menutup kontak secara elektrik dengan tujuan menghubungkan fungsi dari rangkaian satu ke rangkaian lainnya. *Relay* pengaman mempunyai impedansi rendah yang nilai impedansi kumparan-kumparannya berkisar antara beberapa puluh sampai beberapa ratus *ohm*, sedangkan sumber sinyal penggerak masukan umumnya memiliki impedansi yang jauh lebih tinggi [1].

Fungsi dari *relay* pengaman pada alat ini adalah untuk menentukan dengan segera pemutusan/penutupan pelayanan penyaluran sistem tenaga listrik bila mendapatkan gangguan atau kondisi kerja yang *abnormal*, yang dapat mengakibatkan kerusakan alat atau akan mempengaruhi sistem/sebagian sistem yang masih beroperasi *normal* [3].

Berdasarkan prinsip kerja dan karakteristik pengamanannya, *RAL* dibagi menjadi tiga (3) jenis [5]:

- RAL* waktu seketika (*Moment – Instantaneous*)
RAL yang paling sederhana, dimana jangka waktu kerja *relay* tersebut yaitu mulai saat *relay* mengalami *pick-up* sampai selesainya kerja *relay* sangat singkat yaitu sekitar $20 \gg 100$ mili second tanpa adanya penundaan waktu.
- RAL* waktu tertentu (*definite time*)
RAL dimana jangka waktu *relay* mulai *pick – up* sampai selesainya kerja *relay* dapat diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung dari besarnya arus yang mengerjakannya (tergantung dari besarnya arus gangguan, bila arus gangguan melebihi arus *setting*, maka waktu kerja *relay* akan ditentukan oleh waktu *setting* nya).
- RAL* berbanding terbalik (*inverse*)
RAL dimana jangka waktu *relay* mulai *pick – up* sampai dengan selesainya kerja *relay* tergantung dari besarnya arus yang melewati kumparan *relay* tersebut.



Gambar 1. Rangkaian *RAL*

Keterangan gambar:

- BB = Bus - Bar
TC = Tripping coil
PMT = Pemutus (*Circuit Breaker/CB*)
DC = Sumber arus searah
T = Relay definite time
R = *RAL*
I = Arus beban
Ir = Arus yang melewati relay

Prinsip dasar perhitungan penyetelan arus kerja dan waktu operasional [4].

a. Penyetelan arus (*Arus Setting*)

Penyetelan arus *setting* (I_s) dapat dilakukan dengan rumus perhitungan dibawah ini:

$$I_s = \frac{k_{fk}}{k_d} \times I_{maks} \quad (1)$$

I_s = Penyetelan arus (*Arus Setting*) Ampere
 k_{fk} = Faktor keamanan. Mempunyai nilai antara 1,1 – 1,2
 k_d = Faktor arus kembali. Mempunyai nilai antara 0,7 – 0,9
 I_{maks} = Arus maksimum atau nilai arus nominalnya.

b. Penyetelan waktu pemutusan (Δt kerja)

1. Penyetelan waktu (Δt) pada *RAL* waktu seketika:

RAL waktu seketika bekerja pada saat terjadi gangguan arus lebih tanpa penundaan waktu, Δt kerja berkisar antara 20 – 100 mili sekon.

2. Penyetelan waktu (Δt) pada *RAL Definite Time*:

RAL Definite Time bekerja apabila Δt Arus Gangguan (I_f) melebihi nilai *setting* waktu (Δt kerja) yang diinginkan, tidak dipengaruhi oleh besar atau kecilnya arus gangguan (I_f).

3. Penyetingan waktu (Δt) pada *RAL Inverse*:

RAL Lebih *Inverse* bekerja sesuai dengan nilai *setting* arus yang diinginkan, sehingga apa bila arus gangguan (I_f) jauh lebih besar dari pada arus nominal *relay*, maka waktu kerja *relay* akan semakin jauh lebih singkat, dan sebaliknya maka untuk mendapatkan pengamanan yang baik (selektif) adalah dapat dilakukan dengan *setting* nilai T_d (*Time dial*) atau TMS (*Time Multiple Setting*) dari *RAL* tersebut dengan karakteristik waktu terbalik.

$$T_s = \frac{\beta}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right)^\alpha - 1} \times TMS \quad (2)$$

Dimana:

T_s = Setting waktu (*second*)

TMS = *Time Multiple Setting* (*second*)

I_f = Arus gangguan = I_{maks} = I nominal (*Ampere*)

I_s = Arus *setting* (*Ampere*)

Sedangkan α dan β merupakan konstanta pada *relay* tersebut yang nilainya dapat di *setting* secara bebas.

Tabel 1. Konstanta α dan β RAL

Tipe inverse	α	β
Normal inverse	0,02	0,14
Very inverse	1,0	13,5
Extremely inverse	2,0	80,0
Long time inverse	1,0	120,0

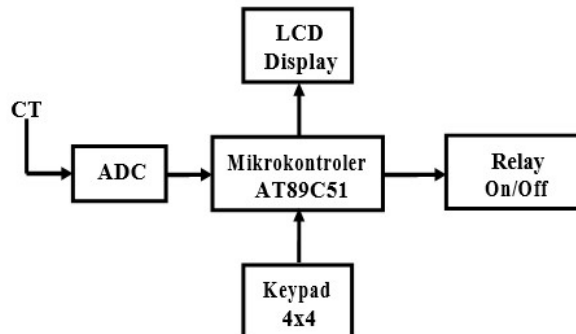
2.2 Microcontroller AT89C51

Mikrokontroler yang digunakan adalah *microcontroller* ATMEL *compatible* penuh dengan *microcontroller* keluarga MCS-51, membutuhkan daya yang rendah, memiliki *performance* yang tinggi, dan merupakan *microcontroller* 8 bit yang dilengkapi 4 K byte EPROM (*Enable and Programable Read Only*) dan 128 byte RAM *internal*. Program *memory* dapat diprogram ulang dalam sistem, atau dengan menggunakan *programmer nonfolatile memory* konvensional. Dalam sistem *microcontroller* terdapat dua hal yang mendasar, yaitu perangkat yang keras dan perangkat yang lunak yang keduanya saling terkait dan mendukung [8].

Organisasi *memory* pada *microcontroller* AT89C51 dapat dibagi menjadi dua bagian besar yaitu *memory program* dan *memory data*. Pembagian tersebut didasarkan atas fungsi dari penyimpanan data maupun program. *Memory program* digunakan untuk menyimpan instruksi-instruksi yang akan dijalankan oleh *microcontroller*, sedangkan *memory data* digunakan sebagai tempat penyimpanan data yang sedang diolah *microcontroller* [7].

3. METODE

Blok diagram perencanaan dan pembuatan RAL Elektronik yang meliputi RAL Waktu Seketika, RAL Waktu Tertentu dan RAL Waktu *Invers* berbasis *microcontroller* AT89C51 adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Blok Diagram Alat

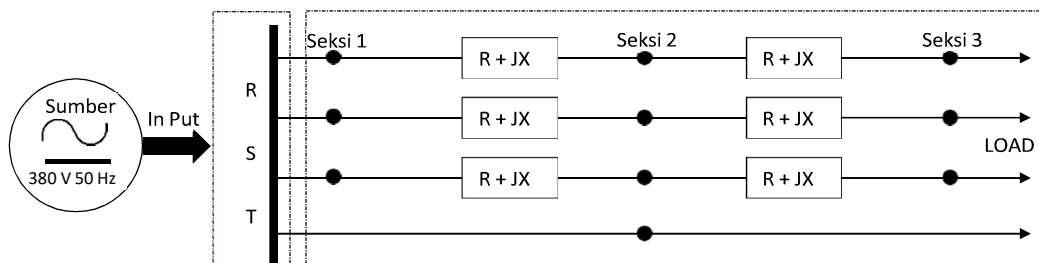
Arus mengalir melalui CT (*Current Transformator*), nilai kuat arus tersebut masih dalam bentuk sinyal *Analog*, selanjutnya dirubah oleh ADC (*Analog Digital Converter*) menjadi sinyal *Digital* sehingga mampu dibaca oleh *Microcontroller*. Nilai kuat arus *setting* (I_s), waktu pemutusan (Δt), *Time Multiple Setting* (TMS) dan nomer jenis *relay* yang akan diaktifkan, akan di *setting* melalui *Keypad* dan diproses oleh *microcontroller* selanjutnya ditampilkan melalui LCD. Apabila nilai kuat arus dari CT tersebut adalah melebihi nilai kuat arus nominal *Relay*, maka *Microcontroller* tersebut akan memerintahkan *Relay On-Off* untuk memutuskan saluran sesuai dengan prinsip kerja jenis *relay* yang telah di *setting*.

Perancangan RAL ini memerlukan tahap-tahap perancanganyang harus dijalani untuk

menjamin kesuksesan pembuatan alat. Seperti dijelaskan pada bab-bab sebelumnya. Alat ini dirancang untuk dapat beroperasi dalam 3 mode. Yaitu mode *relay* waktu seketika, mode *relay* waktu tertentu dan mode *relay inverse*.

Pada bagian ini dibahas tentang perancangan simulator jaringan transmisi 3 fasa jarak jauh. Jaringan transmisi mempunyai komponen resistansi, dan induktansi kapasitansi. Komponen resistansi biasanya terdapat pada resistansi kawat yang digunakan. Komponen ini juga terpengaruh oleh jenis bahan kawat dan diameternya. Komponen induktansi diakibatkan oleh induktansi kawat yang berpilin dan juga oleh adanya liku-liku jalur transmisi yang tidak dapat dihindari. Selain itu komponen ini ada karena sistem tegangan yang dipakai adalah tegangan bolak-balik.

Komponen ini dibuat 2 tingkat untuk menunjukkan 2 jarak yang saling berjauhan. Simulator ini tidak mewakili panjang jarak transmisi yang sesungguhnya karena hanya akan digunakan untuk mencoba sistem *relay* elektronik yang akan dibuat. Rangkaian simulator jaringan transmisi dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Blok diagram jaringan transmisi 3 fasa

Direncanakan:

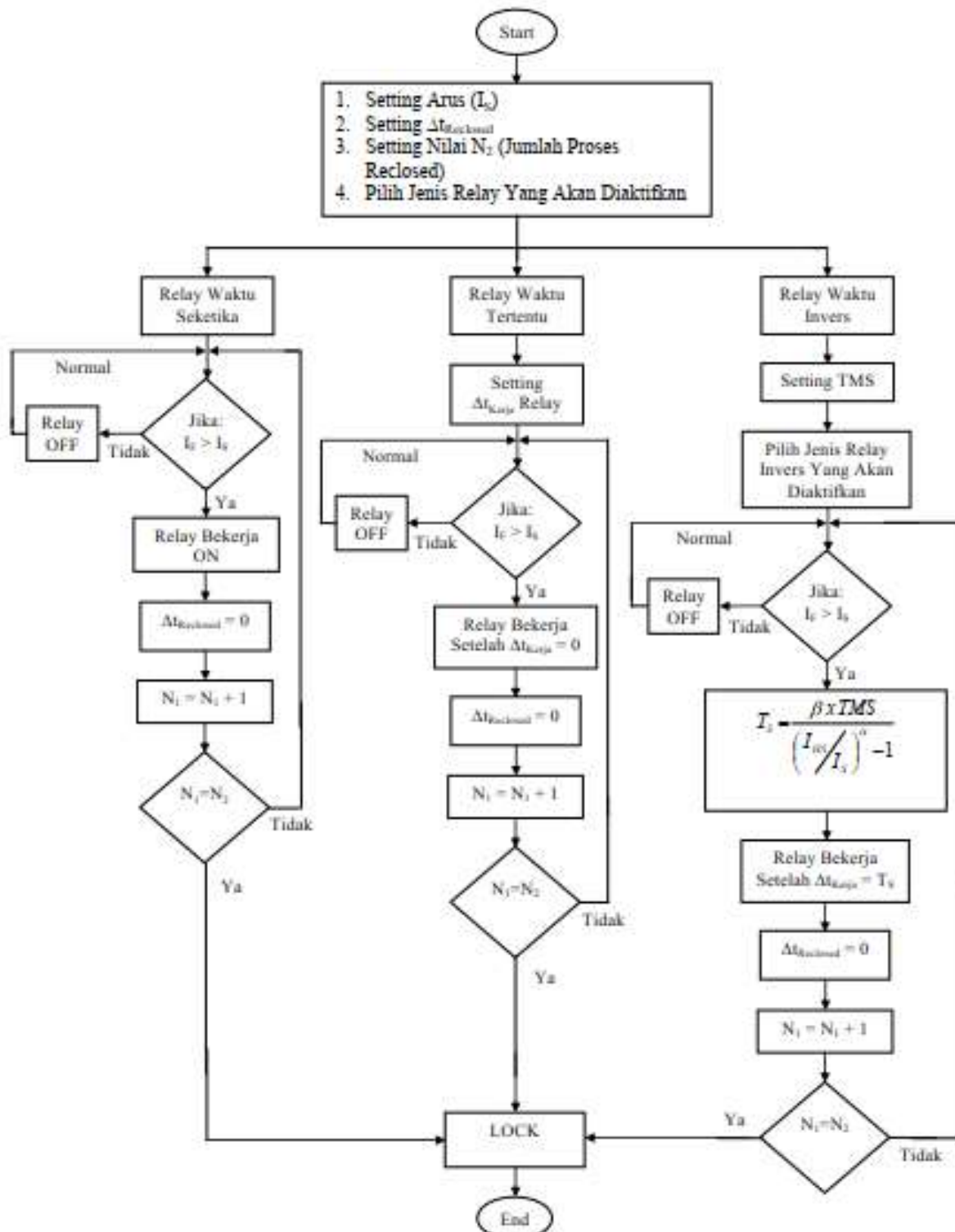
$$R = 10 \text{ Ohm}, L = 52 \text{ mH} = 0,052 \text{ H}$$

$$\text{Maka } X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = (2)(3,14)(50)(0,052) = 16,3 \text{ Ohm}$$

Didapat

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{10^2 + 16,3^2} = 19 \text{ Ohm}$$

Bagan Alir Proses Kerja *Microcontroller* AT89C51



Gambar 4. Flow Chart Setting Arus dan Waktu

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah merancang keseluruhan sistem dan merealisasikannya dalam perangkat yang nyata, maka selanjutnya dilakukan pengujian sistem untuk mengetahui prinsip kerja *RAL*.

4.1 Penyetelan arus kerja dan kelambatan waktu

4.1.1 Penyetelan arus

a. Penyetelan Arus (I_s) dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (1).

$$I_s = \frac{k_{fk}}{k_d} \times I_{maks}$$

I_{maks} disetting pada = 0,50 Amp.

Penyetelan Arus (I_s) untuk *RAL* waktu seketika dan waktu tertentu.

$$k_{fk} = 1,1$$

$k_d = 0,8$ (untuk *RAL* Definite Time)

$$I_s = \frac{k_{fk}}{k_d} \times I_{maks} = \frac{1,1}{0,8} \times 0,50 = 0,6875 \approx 0,69 \text{ Amp}$$

b. Penyetelan Arus *Setting* (I_s) untuk *RAL Inverse time*:

$$k_{fk} = 1,1$$

$k_d = 1,0$ (untuk *RAL Inverse Time*)

$$I_s = \frac{k_{fk}}{k_d} \times I_{maks} = \frac{1,1}{1,0} \times 0,50 = 0,55 \text{ Amp}$$

4.1.2 Penyetelan waktu pemutusan (Δt kerja)

a. Penyetelan waktu (Δt kerja) pada *RAL* waktu seketika

Δt kerja antara 20 – 100 *mili second* tanpa adanya penundaan waktu/tidak perlu di *setting*.

b. Penyetelan waktu (Δt kerja) pada *RAL* waktu tertentu

Δt kerja di *setting* pada kurang lebih 4 *second* dan bertingkat pada masing-masing seksi sebesar 4 *second*; Seksi I = 4 *second*; Seksi II = 8 *second*; Seksi III = 12 *second*;

c. *Setting* waktu (Δt) pada *RAL* waktu terbalik

Setting nilai T_d (*Time dial*) atau TMS (*Time Multiple Setting*), Seperti pada persamaan (2) dan tabel 1.

4.2 Hasil Pengujian

4.2.1 RAL waktu seketika (*Moment – Instantaneous*) dan waktu tertentu (*Definite Time*)

Hasil pengujian prinsip kerja RAL waktu seketika (*Moment – Instantaneous*) dan waktu tertentu (*Definite Time*) adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Percobaan RAL

I_s	Jenis Hubung Singkat	Lokasi Hubung Singkat	I _{HS} (A)	Waktu Seketika	Waktu Tertentu (sec)
0,69 Amp	Salah Satu Fasa Dengan Netral	Seksi I	1.67 A	Relay Bekerja tanpa penundaan waktu	4
		Seksi II	1.64 A		8
		Seksi III	1.60 A		12
	Salah Satu Fasa Dengan Fasa Yang Lain	Seksi I	1.80 A		4
		Seksi II	1.76 A		8
		Seksi III	1.70 A		12
	Semua Fasa R, S,T Di Hubung Singkat	Seksi I	1.95 A		4
		Seksi II	1.91 A		8
		Seksi III	1.85 A		12
	Salah Satu Fasa Dengan Netral	Seksi I	1.67 A		4
		Seksi II	1.64 A		8
		Seksi III	1.60 A		12
0,83 Amp	Salah Satu Fasa Dengan Fasa Yang Lain	Seksi I	1.80 A		4
		Seksi II	1.76 A		8
		Seksi III	1.70 A		12
	Semua Fasa R, S,T Di Hubung Singkat	Seksi I	1.95 A		4
		Seksi II	1.91 A		8
		Seksi III	1.85 A		12
0,96 Amp	Salah Satu Fasa Dengan Netral	Seksi I	1.67 A		4
		Seksi II	1.64 A		8
		Seksi III	1.60 A		12
	Salah Satu Fasa Dengan Fasa Yang Lain	Seksi I	1.80 A		4
		Seksi II	1.76 A		8
		Seksi III	1.70 A		12
	Semua Fasa R, S,T Di Hubung Singkat	Seksi I	1.95 A		4
		Seksi II	1.91 A		8
		Seksi III	1.85 A		12

RAL Waktu Seketika langsung bekerja tanpa penundaan waktu ketika terjadi arus gangguan berlaku pada semua seksi dan tidak tergantung pada besarnya arus gangguan.

RAL Waktu Tertentu selalu bekerja dengan penundaan waktu setelah Δt kerja *relay* = 4 *second* sesuai setting dalam perencanaan dan bertingkat setiap seksi dengan selisih 4 *second* serta tidak tergantung pada besarnya arus gangguan.

4.2.2 RAL berbanding terbalik (*Inverse*)

Sesuai dengan prinsip kerja *RAL* jenis *Inverse* dilakukan dengan *setting* nilai T_d (*Time dial*) atau *TMS* (*Time Multiple Setting*) dari *RAL* tersebut dengan karakteristik waktu terbalik sesuai dengan persamaan (2). Pada paper ini akan ditampilkan pengujian hanya pada tipe *Normal Inverse* yaitu dengan nilai $\alpha = 0,02$ dan $\beta = 0,14$ sebagaimana pada tabel 1.

TMS di *setting constant* pada 0,50

I_s Diubah-ubah dari 0,44; 0,55 dan 0,66 Amp

Untuk mendapatkan $I_s = 0,44$ Amp, diperoleh dari I_{maks} di *setting* pada 0,40 Amp.

Dimana:

$$k_{fk} = 1,1$$

$$k_d = 1,0 \text{ (untuk RAL Inverse Time)}$$

$$I_s = \frac{k_{fk}}{k_d} \times I_{maks} = \frac{1,1}{1,0} \times 0,40 = 0,44 \text{ Amp}$$

Maka waktu yang dibutuhkan *relay* untuk bekerja (T_s) adalah:

Lokasi Hubung Singkat Pada Seksi I ($I_{hs} = 1,67$ Amp)

$$T_s = \frac{\beta}{\left(I_{HS}/I_s\right)^\alpha - 1} \times TMS = \frac{0,14}{\left(1,67/0,44\right)^{0,02} - 1} \times 0,50 = 2,589 \approx 2,59 \text{ detik}$$

Lokasi Hubung Singkat Pada Seksi II ($I_{hs} = 1,64$ Amp)

$$T_s = \frac{\beta}{\left(I_{HS}/I_s\right)^\alpha - 1} \times TMS = \frac{0,14}{\left(1,64/0,44\right)^{0,02} - 1} \times 0,50 = 2,625 \approx 2,63 \text{ detik}$$

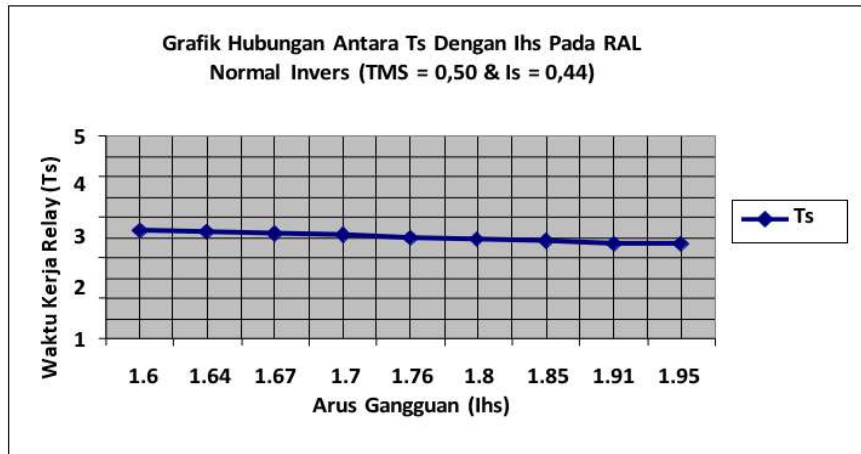
Lokasi Hubung Singkat Pada Seksi III ($I_{hs} = 1,60$ Amp)

$$T_s = \frac{\beta}{\left(I_{HS}/I_s\right)^\alpha - 1} \times TMS = \frac{0,14}{\left(1,60/0,44\right)^{0,02} - 1} \times 0,50 = 2,676 \approx 2,68 \text{ detik}$$

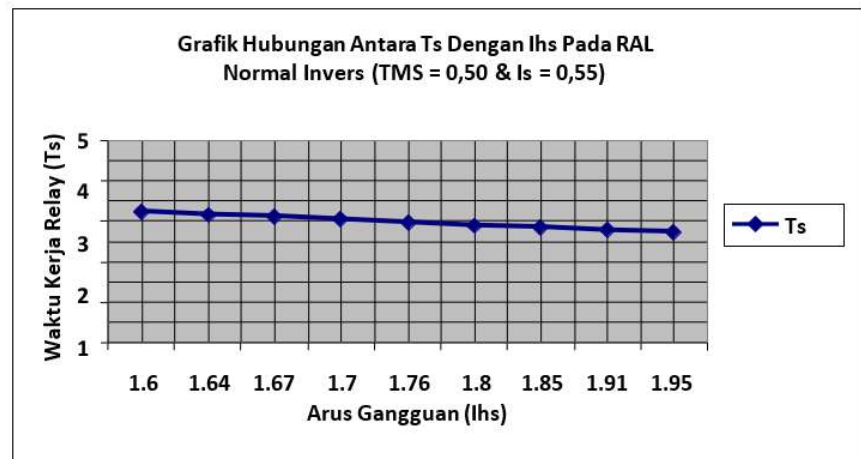
Dengan perhitungan yang sama untuk nilai T_s pada I_s 0,55 dan 0,66 dapat diperoleh seperti pada tabel 3:

Tabel 3. Tabel hasil pengujian pada *RAL normal inverse*

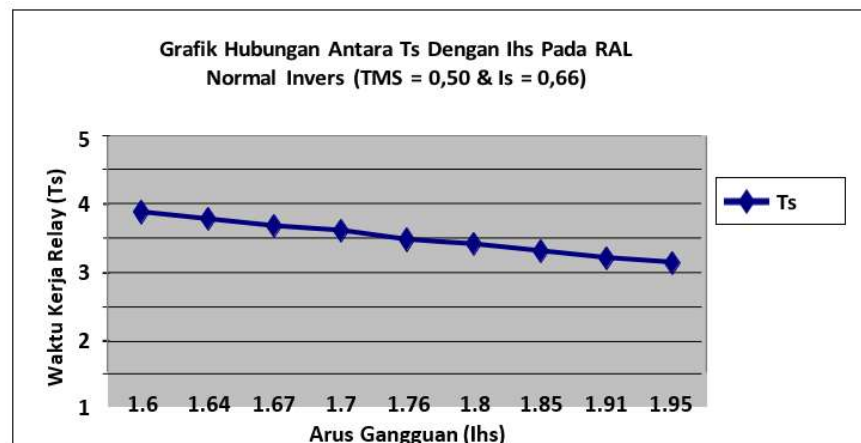
I_s	Jenis Hubung Singkat	Lokasi Hubung Singkat	I_{HS}	T_s
0,44	Salah Satu Fasa Dengan Netral	Seksi I	1.67	2.59
		Seksi II	1.64	2.63
		Seksi III	1.60	2.68
	Salah Satu Fasa Dengan Fasa Yang Lain	Seksi I	1.80	2.45
		Seksi II	1.76	2.49
		Seksi III	1.70	2.55
	Semua Fasa R, S dan Fasa T di Hubung Singkat	Seksi I	1.95	2.32
		Seksi II	1.91	2.35
		Seksi III	1.85	2.40
0,55	Salah Satu Fasa Dengan Netral	Seksi I	1.67	3.12
		Seksi II	1.64	3.17
		Seksi III	1.60	3.24
	Salah Satu Fasa Dengan Fasa Yang Lain	Seksi I	1.80	2.92
		Seksi II	1.76	2.97
		Seksi III	1.70	3.07
	Semua Fasa R, S dan Fasa T di Hubung Singkat	Seksi I	1.95	2.73
		Seksi II	1.91	2.78
		Seksi III	1.85	2.85
0,66	Salah Satu Fasa Dengan Netral	Seksi I	1.67	3.74
		Seksi II	1.64	3.81
		Seksi III	1.60	3.92
	Salah Satu Fasa Dengan Fasa Yang Lain	Seksi I	1.80	3.45
		Seksi II	1.76	3.53
		Seksi III	1.70	3.66
	Semua Fasa R, S dan Fasa T di Hubung Singkat	Seksi I	1.95	3.20
		Seksi II	1.91	3.26
		Seksi III	1.85	3.36



Grafik 5. Grafik hubungan antara T_s dengan I_{HS} pada RAL *normal inverse* ($TMS = 0,50$ second dan $I_s = 0,44$ ampere)



Grafik 6. Grafik hubungan antara T_s dengan I_{HS} pada RAL *normal inverse* ($TMS = 0,50$ second dan $I_s = 0,55$ Ampere)



Grafik 7. Grafik hubungan antara T_s dengan I_{HS} pada RAL *normal inverse* ($TMS = 0,50$ second dan $I_s = 0,66$ ampere)

Pada setiap jenis perlakuan hubung singkat, arus gangguan yang terjadi pada seksi I, Lebih besar dari pada arus gangguan yang terjadi pada seksi II dan Seksi III. Waktu *relay* bekerja pada setiap seksi semakin cepat pada nilai arus gangguan (I_{hs}) yang semakin besar, nilai TMS (*Time Multiple Setting*) dan besar kecilnya arus *setting* (I_s)

5. SIMPULAN

Simulator elektronik berbasis mikrokontroler yang dibangun merepresentasikan jaringan listrik tiga fasa untuk dengan perlakuan gangguan satu fasa, antar fasa dan tiga fasa dengan proteksi menggunakan RAL Waktu Seketika, RAL Waktu Tertentu dan RAL Waktu Terbalik, dan diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. RAL Waktu Seketika langsung bekerja tanpa penundaan waktu ketika terjadi arus gangguan berlaku pada semua seksi dan tidak tergantung pada besarnya arus gangguan.
2. RAL Waktu Tertentu selalu bekerja dengan penundaan waktu setelah Δt kerja *relay* = 4 *second* sesuai setting dalam perencanaan dan bertingkat setiap seksi dengan selisih 4 *second* serta tidak tergantung pada besarnya arus gangguan.
3. Pada RAL Waktu Berbanding Terbalik (*Inverse Time*), didapat bahwa arus gangguan yang terjadi pada seksi I (hulu), Lebih besar dari pada arus gangguan yang terjadi pada hilir atau seksi II dan Seksi III. Waktu *relay* bekerja pada setiap seksi semakin cepat pada nilai arus gangguan (I_{hs}) yang semakin besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada civitas program studi Teknik Elektro Universitas Widyagama Malang atas terselesaikannya penelitian ini sehingga sampai pada artikel yang di publish.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Y. Yusmartato and Y. Yusniati, "Analisa Relai Arus Lebih Dan Relai Gangguan Tanah Pada Penyulang LM5 Di Gardu Induk Lamhotma," *JET (Journal of Electrical Technology)*, vol. 1, no. 2, Art. no. 2, Jun. 2016.
- [2] C. Rizal and A. Azis, "Analisa Setting Relai Arus Lebih (OCR) Dan Relai Gangguan Tanah (GFR) Pada Penyulang Gurami Gardu Induk Sungai Kedukan Palembang," *Jurnal Ampere*, vol. 7, no. 1, Art. no. 1, Jul. 2022, doi: 10.31851/ampere.v7i1.7706.
- [3] M. Muhalan and B. Y. Husodo, "Analisa Perhitungan dan Pengaturan Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah pada Kubikel Cakra 20 KV di PT XYZ," *Sinergi*, vol. 18, no. 3, pp. 165–170, 2014.
- [4] A. ISTIMAROH, HARIYANTO NASRU, and SYAHRIAL, "Penentuan Setting Rele Arus Lebih Generator dan Rele Diferensial Transformator Unit 4 PLTA Cirata II," *Jurnal Reka Elkomika*, vol. 1, no. 2, pp. 131–141, Feb. 2013.
- [5] M. M. Zulfarhain, Supriyanto, and Y. P. Hikmat, "Proteksi Arus Lebih Gangguan Fasa dan Gangguan Tanah Untuk Simulator Koordinasi Proteksi Pada Transformator Tenaga," *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, vol. 13, no. 01, Art. no. 01, Aug. 2022, doi: 10.35313/irwns.v13i01.4271.
- [6] Cahayahati and M. Z. Zoni, "Perancangan Rele Arus Lebih Dengan Karakteristik Invers Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535," *JNTE*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, Sep. 2012, doi: 10.25077/jnte.v1n1.64.2012.

- [7] G. Nazhrullah and A. Kharisma, "Relay Proteksi Arus Lebih Berbasis Mikrokontroler Arduino," *PoliGrid*, vol. 4, no. 1, Art. no. 1, Nov. 2023, doi: 10.46964/poligrid.v4i1.9.
- [8] E. Panggabean and I. Roza, "Rancang alat over current relay digital dengan variable timer dan arus batas berbasis mikrokontroler atmega 8335," *JET (Journal of Electrical Technology)*, vol. 7, no. 2, Art. no. 2, Jun. 2022.
- [9] R. Majumder, S. Dolui, D. Agasti, and S. Biswas, "Micro-controller based over current relay using Hall Effect current sensor," in *2018 Emerging Trends in Electronic Devices and Computational Techniques (EDCT)*, Mar. 2018, pp. 1–4. doi: 10.1109/EDCT.2018.8405086.