

Rancang Bangun *Over Current Relay* Pada Simulator Gardu Induk 70/20 kV Menggunakan PLC dan HMI

Isti Fauziah¹, Kartono Wijayanto², Supriyanto^{3*}

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail : isti.fauziah.tlis18@polban.ac.id

²E-mail : karwij@gmail.com

³E-mail: *supriyanto_suhono@polban.ac.id

*E-mail korespondensi

ABSTRAK

Keandalan dalam proteksi sangat diperlukan untuk meminimalisir terjadinya adanya kerusakan pada peralatan ataupun terjadinya kerugian saat penyaluran energi listrik di jaringan. Adanya suatu gangguan akan menyebabkan suatu sistem terganggu, maka dari itu dibutuhkan nya perangkat proteksi handal yang disebut *relay* proteksi arus lebih atau biasa disebut *over current relay*. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat rancang bangun *over current relay* menggunakan *power* meter dan Bahasa program PLC yang dipasang pada sebuah simulator gardu induk 70/20 KV. Metode penelitian ini menggunakan PLC yang berperan sebagai *relay* akan memerintahkan pemutusan bila nilai gangguan melebihi nilai arus *setting*. Didukung dengan adanya *display* HMI (*Human Machine Interface*) maka akan mempermudah monitoring apakah *over current relay* sedang bekerja atau tidak, fungsi lain dari adanya HMI yakni, bisa mengatur *setting* arus, serta TMS nya. Hasil dari rancang bangun ini adalah perangkat proteksi menggunakan PLC yang memenuhi karakteristik dari setiap jenis dari *over current relay definite time* dan *standard inverse*.

Kata Kunci

Over Current Relay, PLC, HMI

1. PENDAHULUAN

Energi listrik berperan besar dalam hampir keseluruhan kegiatan manusia dari mulai industri hingga pada skala kecil yakni pemukiman rumah tangga. Untuk memenuhi keandalan dan ketersediaan penyaluran energi listrik, dibutuhkan nya sistem proteksi yang memadai. Hal ini menyatakan bahwa sistem proteksi memegang peran yang sangat penting dalam penyaluran energi listrik, maka sistem proteksi yang ada khususnya pada gardu induk harus mempunyai syarat keandalan, kecepatan, keamanan serta sensitivitas yang benar-benar baik. Dengan adanya suatu proteksi maka stabilitas dalam penyaluran energi listrikpun akan tetap terjaga proteksi *relay* arus lebih atau disebut juga dengan *over current relay* (OCR) yaitu *relay* pengaman arus lebih yang akan bekerja karena adanya arus lebih yang terpasang pada jaringan tegangan tinggi, tegangan menengah juga pada pengaman transformator tenaga. *Over current relay* (OCR) memainkan peran penting dalam operasi perlindungan sistem distribusi tenaga listrik yaitu sebagai peralatan yang mensinyalir adanya arus lebih yang melebihi *setting* [1]. *Relay* ini sangat berfungsi untuk mengamankan peralatan listrik yang terkena gangguan fasa-fasa. Sebelum sistem proteksi diimplementasikan pada gardu induk, diperlukan nilai *setting* yang sesuai agar mencegah terjadinya kerusakan baik pada jaringan maupun peralatan, dan *relay* pun dapat bekerja dengan baik. Teknologi yang berkembang semakin kompleks, tetapi mempermudah dalam hal pengoperasiannya, tentu

mengurangi adanya *human error*. Oleh karena itu, metode kali ini *Programmable Logic Controller* (PLC) digunakan sebagai sistem *control* penggunaan *relay*. Interaksi antar operator yang memperlihatkan kondisi sistem ditunjukkan oleh HMI (*Human Machine Interface*).

Pada laporan tugas akhir milik Doni Irifan sebagai penulis, tahun 2017, sama-sama membahas berkaitan dengan pengaman pada transformator gardu induk menggunakan *programmable logic controller*. Perbedaan nya jika pada jurnal tersebut membahas mengenai pengaman beban lebih, sedangkan pada laporan tugas akhir penulis ini membahas mengenai perancangan dan implementasi pengaman arus lebih pada simulator gardu induk 70/20 KV menggunakan PLC (*Programmable Logic Controller*).[2]

Penelitian tugas akhir milik Fikri Faudzie, tahun 2020. Membahas mengenai simulator yang mensimulasikan peralatan hubung di gardu induk seperti Pemutus Tenaga (PMT) dan Pemisah (PMS) yang disimulasikan dengan menggunakan kontaktor tiga fasa. Simulator ini dilengkapi dengan *Human Machine Interface* (HMI). *Display* HMI dibangun dengan PLC Siemens S7-200. Simulator yang dibuat memiliki sistem *Interlock* yang persis dengan kondisi di lapangan serta dapat dioperasikan dan di monitor secara *Real Time*. *Display Power Meter* mampu menampilkan besaran – besaran listrik dalam bentuk numerik, fasor, atau gelombang

dengan error tertinggi terdapat pada sensor arus fasa S sebesar 6,47%. [3]

Tulisan ini menampilkan rancang bangun *over current relay* pada simulator gardu induk 70/20 kV menggunakan PLC dan HMI. Protipe alat ini terdiri dari Power Meter 2100, PLC tipe amsamotion S7-200, dengan perangkat lunak nya *step 7 Micro/WIN32*, dan HMI *wecon 700EM*.

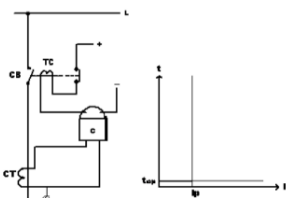
2. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

2.1 Relai Arus Lebih

Relai arus lebih adalah suatu relai yang bekerja berdasarkan pada kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengamanan tertentu dan dalam jangka waktu tertentu. Relai ini pada dasarnya mengamankan adanya arus lebih yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat atau bisa juga beban lebih. Relai arus lebih akan bekerja apabila besar arus input telah melebihi suatu harga tertentu (arus kerja) yang dapat diatur dan dinyatakan menurut kumparan sekunder dari trafo arus. Relai arus lebih ini akan memberi isyarat kepada PMT untuk melakukan pemutusan pada jaringan bilamana terjadi gangguan hubung singkat.

2.2 Relai arus lebih waktu seketika / Instantaneous

Relai ini akan memberi perintah kepada Pemutus Tenaga (PMT) ketika adanya gangguan, yakni bila besarnya arus gangguan melampaui besar arus penyetelannya, dan jangka waktu kerja relai mulai *pick-up* sampai kerja relai sangat singkat tanpa penundaan waktu yaitu 20 – 60 ms.

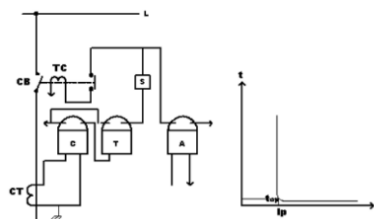


Gambar 1. Kurva Karakteristik *Instantaneous*

Dengan keterangan C adalah relai arus lebih, TC adalah *tripping coil*, dan I_p adalah arus *setting relay*. Pada gambar terlihat bahwa waktu kerja relai sangat cepat tanpa adanya penundaan waktu.

2.3 Relai arus lebih waktu tertentu / Definite Time

Relai ini akan memberi perintah kepada Pemutus Tenaga (PMT) ketika adanya gangguan,, yakni bila besarnya arus gangguan melampaui besar arus penyetelannya, dan jangka waktu kerja *relay* mulai *pick-up* sampai kerja *relay* waktunya ditunda dengan harga tertentu tidak dipengaruhi oleh besarnya arus gangguan.

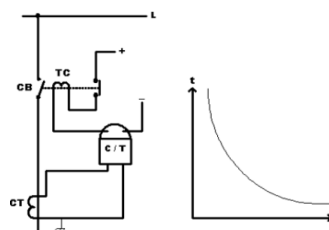


Gambar 2. Kurva Karakteristik **Definite Time**

Dengan keterangan top adalah waktu operasi, I_p adalah arus *setting* (arus kerja), C adalah *relay* arus lebih, S adalah *relay* sinyal, T adalah *relay* waktu tunda, A adalah *relay* bantu. Pada gambar terlihat bahwa waktu kerja *relay* tidak bergantung pada besarnya arus gangguan.

2.4 Relai arus lebih berbanding terbalik / Inverse

Relai ini akan memberikan perintah kepada Pemutus Tenaga (PMT) ketika adanya gangguan, yakni bila besarnya arus gangguan melampaui besar arus penyetelannya, dan jangka waktu kerja *relay* tundanya berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan.



Gambar 3. Kurva Karakteristik *Inverse*

Dengan keterangan C adalah *relay* arus lebih, T adalah *relay* waktu tunda, TC adalah *tripping coil*. *Relay* arus lebih jenis ini lama waktu kerjanya bergantung pada besarnya arus gangguan.

Terdapat 4 macam karakteristik *Relay Inverse* :

1. Standard Normal Inverse

Merupakan suatu karakteristik yang menunjukkan perbandingan antara besar arus dengan waktu kerja *relay* yang *standard*, ditulis dengan rumus:

$$t = \frac{0.14}{I^{0.02-1}} \times tms \quad (1)$$

2. Very Inverse

Merupakan suatu karakteristik yang menunjukkan perbandingan antara besar arus dengan waktu kerja *relay* yang lebih cepat/tinggi dari *standard invers*, ditulis dengan rumus :

$$t = \frac{13.5}{I-1} \times tms \quad (2)$$

3. Extremely Inverse

Merupakan suatu karakteristik yang menunjukkan perbandingan antara besar arus dengan waktu kerja *relay* yang lebih cepat/tinggi dari *standard* dan *very invers*, ditulis dengan rumus :

$$t = \frac{80}{I^2 - 1} X tms \quad (3)$$

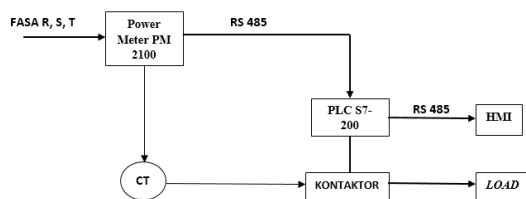
4. Long Time Inverse

Merupakan suatu karakteristik yang menunjukkan perbandingan antara besar arus dengan waktu kerja *relay* yang lebih lambat/rendah diantara karakteristik yang lain, ditulis dengan rumus :

$$t = \frac{120}{I - 1} X tms \quad (4)$$

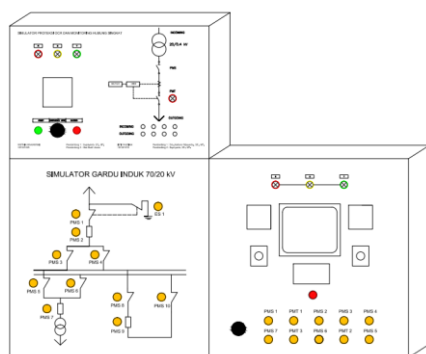
2.5 Rancangan Fungsional Simulator

Gambaran untuk rancang bangun alat proteksi *over current relay* ini, secara garis besar *over current relay* akan bekerja ketika arus yang terbaca oleh *Power meter* melebihi arus *setting* nya. Dengan *power meter* sebagai pembaca arus, kemudian PLC yang berperan sebagai *relay* akan memproses dan memerintahkan trip pada kontaktor ketika terjadi lonjakan arus yang melebihi nilai aris *setting* nya, sesuai apa yang telah deprogram dalam PLC, dengan waktu yang telah diatur. Untuk menampilkan kondisi *circuit breaker* yang trip dan pemilihan *setting* digunakan perangkat lunak LeviStudio pada HMI. Alat ini dirancang sedemikian rupa sehingga mendekati fungsi dari *over current relay* pada umumnya. Diagram blok sistem alat diperlihatkan pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Blok Sistem

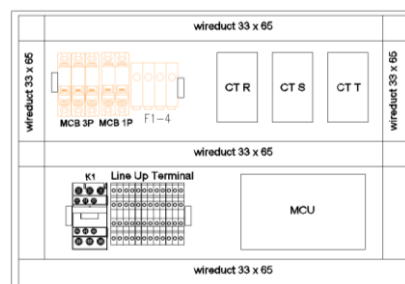
2.6 Rancangan Konstruksi Simulator



Gambar 5. Konstruksi Simulator

2.7 Perancangan dan Implementasi Panel Kontrol

Perancangan dan Implementasi Panel Kontrol Untuk meletakkan *Power Meter*, PLC, kontaktor, dan peralatan lainnya, maka dirancang panel kontrol seperti diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Rancangan Panel Kontrol

2.8 Perancangan Power Meter PM-2100

Pada *power meter* PM-2100 ini akan melakukan pembacaan setiap nilai besaran listrik yang sudah memiliki data *register*. Data *register* ini yang kemudian akan disimpan dalam memori PLC untuk kemudian digunakan sebagai komunikasi serial RS-485. Berikut beberapa data register yang akan digunakan.

Tabel 1. Data Register Power Meter PM-2100

Deskripsi	Register	Unit	Data type
Current A	43000	A	FLOAT32
Current B	43002	A	FLOAT32
Current C	43004	A	FLOAT32
Current N	43006	A	FLOAT32
Voltage A-B	43022	V	FLOAT32
Voltage B-C	43024	V	FLOAT32
Voltage C-A	43026	V	FLOAT32
Frekuensi	43110	Hz	FLOAT32

2.9 Perancangan Program Step-7 Micro/ Win32

Instruksi utama pada perangkat lunak Step-7 Micro/ Win32 yang digunakan untuk mengeksekusi *sequence read/write* yakni instruksi berupa pemutusan *Over Current Relay* sesuai dengan karakteristik yang nantinya dipilih pada *display* HMI. Adapun program pembacaan besaran listrik yang diprogram dan dibaca dengan program Step-7 Micro/ Win32 dibagi atas enam *counter* dengan mengacu pada Tabel *Modbus Register* PM 2100.

- Counter 1: Holding Register*, untuk pembacaan *Realtime Data Voltage*, *Curent*, frekuensi, *Phase Rotation*, dan *Power Factor*.
- Counter 2: Holding Register*, untuk pembacaan *Realtime Data Arus*.
- Counter 3: Holding Register*, untuk pembacaan *Realtime Data Tegangan*.
- Counter 4: Holding Register*, untuk pembacaan *Realtime Data Tegangan tidak seimbang*.
- Counter 5 : Holding Register*, untuk pembacaan *Realtime Daya aktif*, daya reaktif dan daya semu.
- Counter 6 : Holding Register* untuk pembacaan *Realtime* frekuensi dan *power factor*.

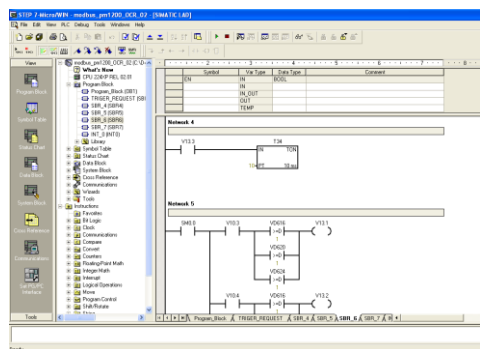
Untuk komunikasi antara PLC dengan *Power Meter* digunakan protokol *modbus* dengan cara menghubungkan *output* RS485 *power meter* PM-2100 ke *port 1* PLC *Amsamotion S7-200*, protokol *modbus*

merupakan protokol komunikasi dua arah yang paling umum digunakan sebagai media penghubung dengan perangkat industri atau media elektronik lainnya dengan komputer. Untuk dapat berkomunikasi melalui protokol *modbus* maka *master* harus mengirimkan permintaan terhadap *slave*.

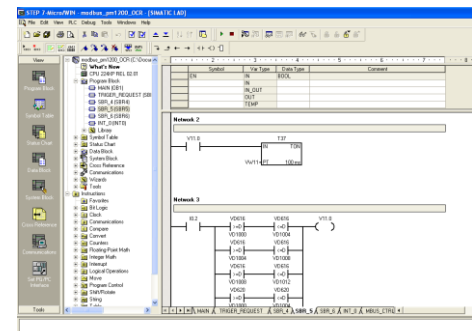
Tabel 2 memperlihatkan contoh tabel memori data untuk pembacaan arus. Selanjutnya dilakukan pemrograman OCR dengan ladder diagram diperlihatkan pada Gambar 7 untuk karakteristik kombinasi *Instantaneous*, Gambar 8 untuk karakteristik *Standard Inverse*, dan Gambar 9 untuk karakteristik *Definite Time*.

Tabel 2. Memori Data PLC

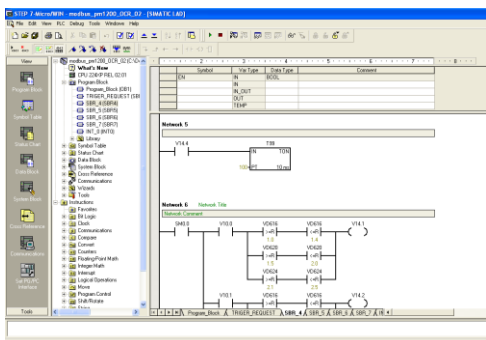
Deskripsi	Register	Unit	Word Address
Current A	43000	A	VW616
Current B	43002	A	VW620
Current C	43004	A	VW624
Current N	43006	A	VW628
Voltage A-B	43022	V	VW656
Voltage B-C	43024	V	VW660
Voltage C-A	43026	V	VW664
Frekuensi	43110	Hz	VW772



Gambar 7. Ladder Diagram *Instantaneous*



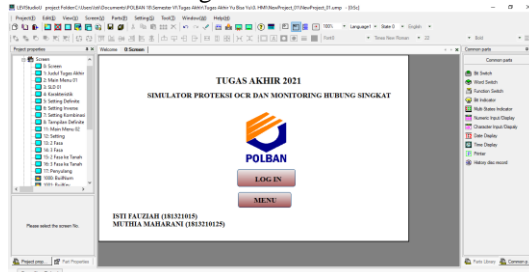
Gambar 8. Ladder Diagram *Standard Inverse*



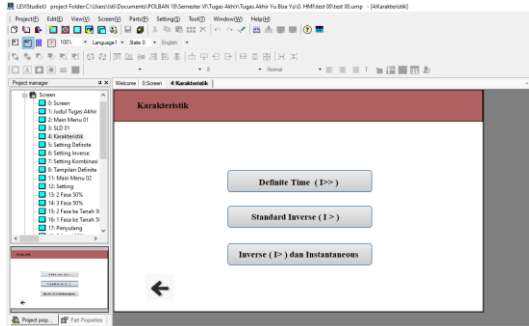
Gambar 9. Ladder Diagram *Definite Time*

2.10 Perancangan Tampilan HMI dengan LeviStudio

Tampilan *Human Machine Interface* terdiri dari beberapa layer yaitu: *Home*, *Log In*, *Overview*, *Single Line Diagram*, *Setting* dan *Exit*. Bentuk tampilan HMI dengan LeviStudio untuk *main screen* diperlihatkan pada Gambar 10 dan gambar 11.



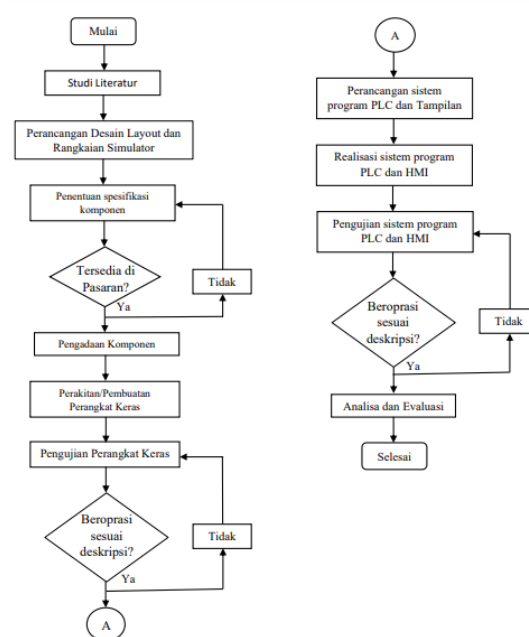
Gambar 10. Main screen



Gambar 11. Pemilihan Karakteristik

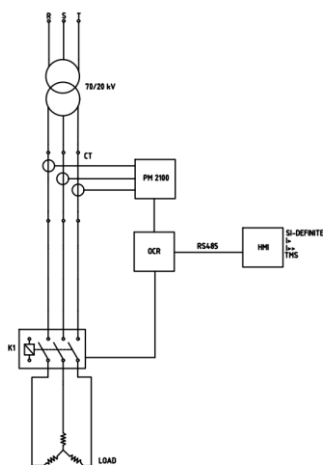
3. DISKUSI DAN PEMBAHASAN

3.1 Model (Diagram Alir)



Gambar 12. Diagram Alir

Bentuk single line diagram untuk rangkaian pengujian, dengan beban dihubungkan bintang diperlihatkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Rangkaian Pengujian

3.2 Pengujian Karakteristik *Standard Inverse*

Tabel 3. Pengujian Karakteristik *Standard Inverse*

Arus Beban (A)	TMS	I set (A)	Waktu Pemutusan (s)	Waktu Perhitungan (s)	Error (%)
1.5	0.1	0.5	0.67	0.64	4.68
2	0.1	0.5	0.53	0.51	3.92
2.5	0.1	0.5	0.46	0.44	4.54
1	0.5	0.5	5.28	5.08	3.93
1.5	0.5	0.5	3.17	3.22	1.55
2	0.5	0.5	2.58	2.55	1.17
2.5	0.5	0.5	2.23	2.20	1.36
1	1	0.5	10.32	10.16	1.57
1.5	1	0.5	6.51	6.44	1.08
2	1	0.5	5.23	5.11	2.34
2.5	1	0.5	4.53	4.41	2.72

Tabel diatas merupakan hasil dari pengujian karakteristik *standard inverse*, didapatkan rata-rata persentase *error* sebesar 2.62% , parameter yang digunakan adalah hasil perhitungan. Dengan waktu perhitungan :

$$t(s) = \frac{k \times \beta}{(I/I_{set})^{\alpha} - 1} \quad (5)$$

Keterangan :

- k = waktu setting tms
- β = 0.14
- I = Arus Beban (A)
- I_{set} = Arus Setting (A)

3.3 Pengujian Karakteristik *Definite Time*

Tabel 4. Pengujian Karakteristik *Definite Time*

Arus Beban (A)	T (s)	I set (A)	Waktu Pemutusan (s)	Waktu Perhitungan (s)	Error (%)
1	0.1	0.5	0.10	0.1	0
1.5	0.1	0.5	0.10	0.1	0
2	0.1	0.5	0.12	0.1	20
2.5	0.1	0.5	0.10	0.1	10
1	0.5	0.5	0.52	0.5	2.4
1.5	0.5	0.5	0.53	0.5	6
2	0.5	0.5	0.52	0.5	2.4
2.5	0.5	0.5	0.50	0.5	0
1	1	0.5	1.1	1	10
1.5	1	0.5	1.1	1	10
2	1	0.5	1	1	0
2.5	1	0.5	1	1	0

Pada pengujian karakteristik *Definite Time* bertujuan untuk mengetahui keberhasilan alat proteksi OCR. Dari hasil tabel 4 dapat diketahui bahwa hasil pengujian sudah mendekati dengan deskripsi kerja alat yang diinginkan. Variabel yang dibandingkan yaitu waktu pemutusan alat proteksi OCR dengan alat ukur waktu. Hasil dari perbandingan variabel adalah nilai persentase *error* 5.6 (%) nya.

3.4 Pengujian Karakteristik Kombinasi *instantaneous* dengan *Standard Inverse*

Tabel 5. Pengujian Karakteristik Kombinasi

Arus Beban (A)	TMS	I set (A)	Waktu Pemutusan (s)	Waktu Perhitungan (s)	Error (%)
1	0.1	0.5	0.10	0.1	0
1.5	0.1	0.5	0.10	0.1	0
2	0.1	0.5	0.11	0.1	10
2.5	0.1	0.5	0.11	0.1	10
1	0.5	0.5	0.10	0.1	0
1.5	0.5	0.5	0.10	0.1	0
2	0.5	0.5	0.12	0.1	20
2.5	0.5	0.5	0.10	0.1	0
1	1	0.5	0.11	0.1	10
1.5	1	0.5	0.12	0.1	20
2	1	0.5	0.11	0.1	10
2.5	1	0.5	0.11	0.1	10

Pada pengujian karakteristik *instantaneous* bertujuan untuk mengetahui keberhasilan alat proteksi OCR. Dari hasil tabel dapat diketahui bahwa hasil pengujian sudah sesuai dengan deskripsi kerja. Nilai I_{set} dengan waktu pemutusan hanya selisih sepermilisekon, dengan rata-rata *error* mencapai 7.5%.

4. KESIMPULAN

Alat dengan pemrograman PLC ini dapat memproteksi dari gangguan arus lebih dengan cara mengatur nilai waktu dan arus sesuai karakteristik yang digunakan. Semua nilai pengaturan dapat dipilih pada display HMI. Pada pengujian, setelah membandingkan pengujian dan perhitungan karakteristik *Standard Inverse* dengan rata-rata nilai *error*

2.62%, sedangkan perbandingan pengujian dan perhitungan karakteristik definite time diperoleh rata-rata nilai *error* 5.6 %, dan pada pengujian kombinasi instantaneous dengan standard inverse diperoleh rata-rata nilai *error* 7.5%. Dengan diperoleh nya *error* tertinggi pada karakteristik kombinasi.

Lagrange” *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2, (2016) ISSN: 2337-3539*

[11] Hakim, Dadang Lukman, Yoyo Somantri, and Ade Gafar Abdullah. "Desain Dan Implementasi Modul Latih PLC Terintegrasi Dengan Human Machine Interface." 2018

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya Mahasiswa peneliti Tugas Akhir tahun akademik 2020/2021 pertama mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Bandung atas dukungan bantuan dana Tugas Akhir dan terlibat dalam Skema Penelitian Peningkatan Kapasitas Laboratorium, sesuai nomor kontrak No. B /74.8/PL1.R7/PG.00.03/202, lalu berterimakasih juga kepada Fiqri Faudzie Faturohman (171321012) yang telah mengkonstruksi simulator gardu induk berbasis PLC dan micro controller di laboratorium SDTL.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Tjahjono, A. Dkk, “ Optimum Coordination of Overcurrent Relays in Radial System with Distributed Generation Using Modified Firefly Algorithm,” 2015.
- [2] Irifan, Doni, “Pengaman pada transformator gardu induk menggunakan programmable logic controller” 2017.
- [3] Faturohman, Fiqri Faudzie. “RANCANG BANGUN HUMAN MACHINE INTERFACE SIMULATOR GARDU INDUK 70/20 KV BERBASIS PLC DAN MIKROKONTROLER,” Politeknik Negeri Bandung, 2020.
- [4] Yusmartato dan Yusniati, “Analisa Relai Arus Lebih Dan Relai Gangguan Tanah Pada Penyulang LM5 Di Gardu Induk Lamhotma,” Juni, 2016.
- [5] Mashuri, Fariz. Dkk, “over current relay sebagai Salah satu perangkat proteksi yang dapat menangani gangguan arus lebih,” 2018.
- [6] Sunarto, & Supriyanto. 2014. “Proteksi Sistem Tenaga”. Politeknik Negeri Bandung.
- [7] S.A. Ahmadi, coordination of overcurrent relays considering different relay characteristics, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 83, pp 443–449, (2016).H. Karamib, M.J. Sanjarib, H. Tarimoradib, G.B. Gharehpetianb, Application of hyper-spherical search algorithm for Optimal.
- [8] Zaman, T., and Akram Hossain, HMI Design : An Analysis of A Good Display for Seamless Integration between User Understanding and Automatic Controls, *Journal American Society for Engineering Education*. 2021
- [9] Ardy, Juni Putra. “PERANCANGAN HUMAN MACHINE INTERFACE DAN SISTEM KENDALI SIDE RECLAIMER MENGGUNAKAN PLC SIEMENS S7-300”. 2017.
- [10] Herlambang , Nurio, dkk, “Pemodelan Kurva Karakteristik Inverse Non-Standar Pada Rele Arus Lebih Digital Dengan Metode Interpolasi