

RANCANG BANGUN SIMULATOR RELE OCR SISTEM CASCADE DAN NON CASCADE

Edy Supriyadi dan Bangkit Mulyo Kuncoro

edy_syadi@istn.ac.id ; bmkbangkit@gmail.com

Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jalan Moh. Kahfi II Jagakarsa Jakarta Selatan

ABSTRAK: Simulator Rele OCR Sistem Cascade dan Non cascade merupakan alat yang dirancang untuk mensimulasikan cara kerja rele OCR (over current relay) di bagian incoming dan peyulang dengan sistem cascade maupun non cascade pada suatu sistem penyaluran tenaga listrik. Simulator ini dibuat dengan menggunakan AT MEGA 2560 yang terpasang pada Board Arduino sebagai pengatur dari semua sistem yang dirancang. Terdapat 4 board yang dibuat untuk mendukung sistem yang dirancang, board tersebut adalah main board, board switching rele, board rangkaian gerbang logika dan board sensor servo. Main board berisikan button serta LCD 16 x 2 dan konektor untuk menghubungkan ke board lainnya. Board switching rele berisikan rele 12 VDC dan sistem switching transistor untuk menjalankannya. Board rangkaian gerbang logika berisi gerbang – gerbang logika untuk memenuhi kondisi yang diinginkan. Board sensor servo yaitu board yang berisikan sensor posisi dari servo yang mensimulasikan pergerakan dari konduktor yang mendekati konduktor lainnya.

Kata Kunci: Simulator, Rele, OCR, Arduino Mega, ATmega 2560, Arduino IDE

ABSTRACT: OCR Relay Simulator Cascade and Non cascade systems are tools designed to simulate the workings of OCR (over current relay) relays in the incoming and repeated parts with a cascade or non cascade system on an electrical power distribution system. This simulator is made using AT MEGA 2560 installed on the Arduino Board as a controller of all systems designed. There are 4 boards made to support the designed system, the board is the main board, switching relay board, logic gate circuit board and servo board. The main board contains a button and a 16 x 2 LCD and a connector to connect to the other board. Board switching relay contains 12 VDC relay and transistor switching system to run it. The logic gate circuit board contains logic gates to meet the desired conditions. Servo sensor board is a board containing a position sensor from the servo that simulates the movement of the conductor that approaches the other conductors.

Keyword: Simulator, Relay, OCR, Arduino Mega, ATmega 2560, Arduino IDE

1. PENDAHULUAN

Penyaluran tenaga listrik semakin hari semakin bertambah. Sistem proteksi, merupakan rangkaian peralatan yang dipasang pada instalasi tenaga listrik yang bertujuan untuk mengidentifikasi adanya gangguan atau ketidak normalan pada sistem kelistrikan dan memisahkan bagian yang terganggu dari bagian yang masih normal agar gangguan tidak meluas serta mengurangi kerusakan. Oleh karena itu, sangat diperlukan sistem proteksi yang bekerja secara andal, selektif, peka dan cepat sehingga tercapai tuntutan mutu energi listrik yang diperlukan untuk keandalan bagi semua peralatan yang terpasang.

Transformator di gardu induk merupakan peralatan utama dengan nilai aset tertinggi, bila mengalami kerusakan akan menimbulkan kerugian besar dan mengakibatkan pemadaman yang lama. Dengan mempertimbangkan keamanan peralatan,

sistem dan pelayanan konsumen, maka diperlukan sistem proteksi yang terkoordinasi dengan lebih memperhatikan faktor keamanan dari sebuah transformator.

Gangguan pada satu trafo dapat menyebabkan pemadaman yang dapat mengganggu stabilitas sistem. Gangguan tersebut terjadi dikarenakan kurang adanya keserempakan sistem proteksi, antara sisi incoming dan sisi penyulang. Kurangnya koordinasi waktu yang sesuai dengan setting menjadi salah satu penyebab utama terjadinya gangguan.

Selain itu faktor yang dapat menyebabkan penurunan kualitas pada trafo adalah gangguan yang diakibatkan oleh penyulang berupa PMT gagal trip (macet atau terlambat membukanya PMT) serta miskoordinasi grading time rele antara sisi incoming dan penyulang 20kV.

Oleh karena kelemahan PMT gagal trip (macet atau terlambat membukanya PMT) maka dirancang sistem non cascade untuk menanggulangi macetnya PMT penyulang 20kV dan agar menjadi lebih jelas terkait pola cascade dan non cascade maka di rancanglah alat simulator untuk memperlihatkan kedua pola tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. OVER CURRENT RELAY (OCR)

Over current relay (rele arus lebih) adalah rele yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dan jangka waktu tertentu. Fungsi utama dari rele arus lebih ini adalah untuk merasakan adanya arus lebih kemudian memberikan perintah kepada pemutus beban (PMT) untuk membuka.

Pada dasarnya rele arus lebih adalah suatu alat yang mendeteksi besaran arus yang melalui suatu jaringan dengan bantuan trafo arus. Harga atau besaran yang boleh melewatinya disebut dengan setting.

Prinsip kerja OCR adalah membandingkan arus hubung singkat yang terjadi dengan arus setelannya yang memiliki karakteristik waktu kerja tertentu. OCR pada umumnya memiliki dua tingkat setelan arus, yaitu tingkat rendah (low set), tingkat tinggi (high set) atau tingkat seketika (instantaneous).

Hubungan kerja antara besar arus yang dideteksi dengan waktu kerja OCR terdiri dari empat macam karakteristik, yaitu :

OCR seketika (Instantaneous)

Rele akan bekerja seketika tanpa waktu tunda, bila arus yang dideteksi melebihi setelan rele. Waktu bekerjanya rele antara 0,016 detik sampai dengan 0,1 detik dengan setelan arus sangat besar biasanya 4 sampai 6 kali arus nominal.

OCR dengan waktu tunda tertentu (Definite time)

Rele akan bekerja dengan waktu tunda tertentu yang tidak tergantung dari besarnya arus, asalkan arus yang dideteksi melebihi nilai setelan rele. Yang disetel adalah arus dan waktu tundanya.

OCR dengan waktu yang berbanding terbalik (Inverse time)

Rele akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus yang dideteksi

berbanding terbalik dengan waktu, makin besar arusnya makin kecil waktu tundanya.

Menurut standar terdapat empat karakteristik inverse, yaitu Standard Inverse (SI), Very Inverse (VI), Long Time Inverse (LTI) dan Extremely Inverse (EI). Persamaan kurva waktu terhadap arus untuk karakteristik inverse :

$$t = \frac{a \times (Tms)}{[I_F / I_S]^n - c}$$

dimana :

t = waktu dalam detik (second / s)

Tms= Time multiplier setting (Setelan kelipatan waktu / Skw)

I_F = Arus gangguan

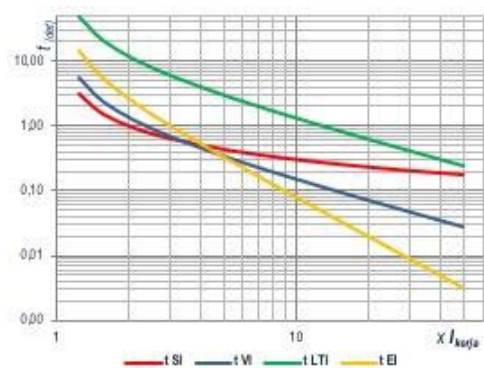
I_S = Arus setelan

C = 1 (standar rele)

a = konstanta

n = eksponensial

No.	Kurva Karakteristik	A	n
1	Standard Inverse / SI	0.14	0.02
2	Very Inverse / VI	13.5	1
3	Long Time Inverse / LTI	120	1
4	Extremely Inverse / EI	80	2



- OCR dengan waktu minimum berbanding terbalik (Inverse Definite Minimum Time / IDMT)

Rele memiliki karakteristik kombinasi antara waktu yang berbanding terbalik dan waktu tunda tertentu.

2.2. DESAIN RANGKAIAN GERBANG LOGIKA

Gerbang Logika atau Logic Gate adalah dasar pembentuk Sistem Elektronika Digital yang berfungsi untuk mengubah satu atau beberapa Input (masukan) menjadi sebuah sinyal Output (Keluaran) Logis. Gerbang Logika beroperasi berdasarkan sistem bilangan biner yaitu bilangan yang hanya memiliki 2 kode simbol yakni 0 dan 1. Untuk mensesederhanakan operasi operasi biner maka disusunlah metode k-map sebagai berikut.

Pengertian dari k-map adalah Suatu peralatan grafis yang digunakan untuk menyederhanakan persamaan logika atau mengkonversikan sebuah tabel kebenaran menjadi sebuah Rangkaian Logika.k-map ini adalah salah satu metode untuk mensesederhanakan Rangkaian Logika.

Langkah – langkah pemetaan K-Map secara umum :

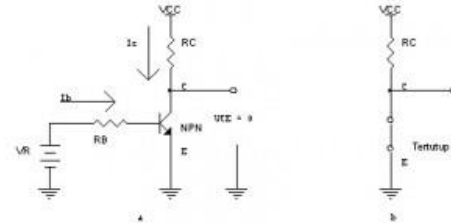
- Menyusun aljabar Boolean terlebih dahulu
- Menggambar rangkaian digital
- Membuat Table Kebenarannya
- Merumuskan Tabel Kebenarannya
- Lalu memasukkan rumus Tabel Kebenaran ke K-Map (Kotak-kotak)

2.3. TRANSISTOR SEBAGAI SAKLAR

Salah satu fungsi transistor adalah sebagai switching yaitu bila berada pada dua daerah kerjanya yaitu daerah jenuh (saturasi) dan daerah mati (cut-off). Transistor akan mengalami perubahan kondisi dari menyumbat ke jenuh dan sebaliknya. Transistor dalam keadaan menyumbat dapat dianalogikan

sebagai saklar dalam keadaan terbuka, sedangkan dalam keadaan jenuh seperti saklar yang menutup.

Gambar berikut merupakan rangkaian dasar transistor NPN, pada gambar ini transistor sedang dalam keadaan saturasi atau saklar tertutup.



Besarnya tegangan kolektor emitor Vce suatu transistor pada gambar diatas dapat diketahui sebagai berikut.

$$V_{ce} = V_{cc} - (I_c \times R_c)$$

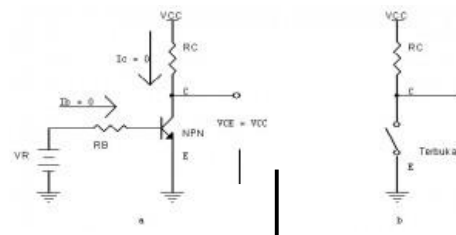
Karena kondisi jenuh Vce = 0V (transistor ideal) maka besarnya arus kolektor (Ic) adalah :

$$I_c = \frac{V_{cc}}{R_c}$$

Besarnya arus basis mengalir pada saat transistor jenuh (saturasi) adalah:

$$I_b = \frac{V_r - V_b}{R_b}$$

Gambar di atas merupakan rangkaian dasar transistor NPN, pada gambar 2.15 ini transistor sedang dalam keadaan cut off atau saklar terbuka.



Dengan mengatur Ib = 0 atau tidak memberi tegangan pada bias basis atau basis diberi tegangan mundur terhadap emitor maka transistor akan dalam kondisi mati (cut off), sehingga tak ada arus mengalir dari kolektor ke emitor (Ic≈0) dan Vce ≈ Vcc.

Keadaan ini menyerupai saklar pada kondisi terbuka seperti ditunjukkan pada gambar diatas.

Besarnya tegangan antara kolektor dan emitor transistor pada kondisi mati atau cut-off adalah:

$$V_{ce} = V_{cc} - (I_c \times R_c)$$

Karena kondisi mati $I_c = 0$ (transistor ideal) maka:

$$V_{ce} = V_{cc}$$

Besar arus basis I_b adalah:

$$I_b = 0$$

2.4. LCD 16X2

LCD (Liquid Cristal Display) adalah salah satu jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS logic yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap front-lit atau mentransmisikan cahaya dari back-lit. LCD (Liquid Cristal Display) berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik.



Adapun fitur yang disajikan dalam LCD ini adalah :

- Terdiri dari 16 karakter dan 2 baris.
- Mempunyai 192 karakter tersimpan.
- Terdapat karakter generator terprogram.
- Dapat dialamati dengan mode 4-bit dan 8-bit.
- Dilengkapi dengan back light.

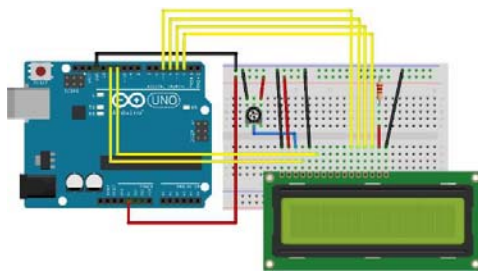
Pin, kaki atau jalur input dan kontrol dalam suatu LCD (Liquid Cristal Display) diantaranya adalah :

No Kaki/Pin	Nama	Keterangan
1	VCC	+5V
2	GND	0V
3	VEE	Tegangan Kontras LCD
4	RS	Register Select
5	R/W	1 = Read, 0 = Write
6	E	Enable Clock LCD
7	D0	Data Bus 0
8	D1	Data Bus 1
9	D2	Data Bus 2
10	D3	Data Bus 3
11	D4	Data Bus 4
12	D5	Data Bus 5
13	D6	Data Bus 6
14	D7	Data Bus 7
15	Anoda	Tegangan backlight positif
16	Katoda	tegangan backlight Negatif

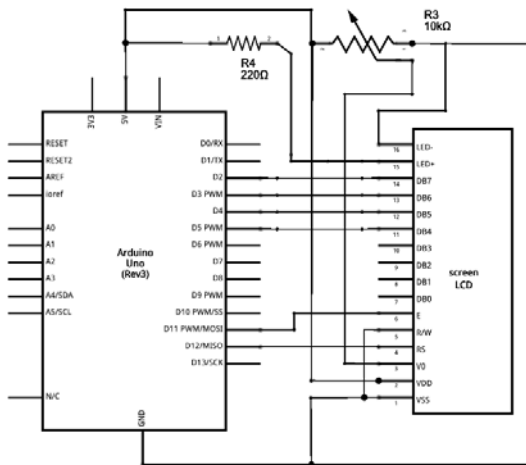
Pin LCD nomor 4 (RS) merupakan Register Selector yang berfungsi untuk memilih Register Kontrol atau Register Data. Register kontrol digunakan untuk mengkonfigurasi LCD. Register Data digunakan untuk menulis data karakter ke memori display LCD. Pin LCD nomor 5 (R/W) digunakan untuk memilih aliran data apakah READ ataukah WRITE. Karena kebanyakan fungsi hanya untuk membaca data dari LCD dan hanya perlu

menulis data saja ke LCD, maka kaki ini dihubungkan ke GND (WRITE). Pin LCD nomor 6 (ENABLE) digunakan untuk mengaktifkan LCD pada proses penulisan data ke Register Kontrol dan Register Data LCD.

Untuk mengakses LCD 16 X 2 dapat disambungkan kaki – kaki Arduino maupun LCD 16 X 2 seperti pada gambar berikut:



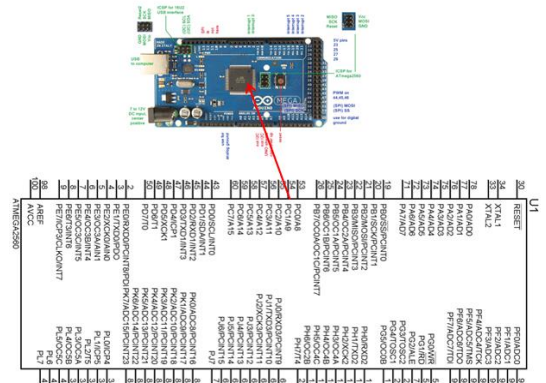
Dan untuk lebih jelasnya ditampilkan pada schematic pada gambar berikut:



2.5. ARDUINO MEGA

Arduino mega 2560 adalah papan mikrokontroler ATmega 2560, berdasarkan datasheet memiliki 54 pin digital input dan output. (dimana 15 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 16 analog input, 4 UART (Universal Asynchronous Receiver / Transmitter), osilator kristal 16 MHz., koneksi USB, jack listrik, Header

ICSP (In-Circuit Serial Programing), dan tombol reset . semuanya diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya menghubungkannya ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau power dengan adaptor AC-DC, atau baterai. Gambar papan Arduino mega 2560 dapat dilihat pada gambar berikut.



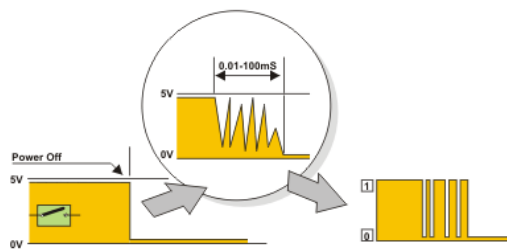
Arduino Mega 2560 berbeda dari semua board Arduino sebelumnya, Arduino Mega 2560 tidak menggunakan chip driver FTDI USB-to-serial. Sebaliknya, fitur - fitur Atmega16U2 (Atmega8U2 sampai ke versi R2) diprogram sebagai sebuah pengubah USB ke serial. Revisi 2 dari board Arduino Mega 2560 mempunyai sebuah resistor yang menarik garis 8U2 HWB ke ground, yang membuatnya lebih mudah untuk diletakkan ke dalam DFU mode. Revisi 3 dari board Arduino Mega 2560 memiliki fitur-fitur baru sebagai berikut:

Pinout 1.0 : ditambah pin SDA dan SCL yang dekat dengan pin AREF dan dua pin baru lainnya yang diletakkan dekat dengan pin RESET, IOREF yang memungkinkan shield-shield untuk menyesuaikan tegangan yang disediakan dari board. Untuk ke depannya, shield akan dijadikan kompatibel/cocok dengan board yang menggunakan AVR 8 yang beroperasi dengan tegangan 5V dan dengan Arduino Due yang beroperasi dengan tegangan 3.3V. Yang ke-dua ini merupakan sebuah

pin yang tak terhubung, yang disediakan untuk tujuan kedepannya.

2.6. SWITCH DEBOUNCING

Switch debouncing merupakan metode untuk menanggulangi bouncing (bergerak naik turun secara cepat) yang terjadi saat push button ditekan. Saat menekan tombol push button tersebut hanya sekali tetapi mikrokontroler mendeteksi lebih dari satu kali tekan. Hal tersebut dapat dijelaskan pada gambar berikut ini.



Dari Gambar tersebut terlihat jelas bahwa saat terjadi perubahan tombol dari 1 ke 0 (ilustrasi kiri), akan terjadi bouncing berulang-ulang selama 0.01 hingga 100 mili detik (ilustrasi tengah).

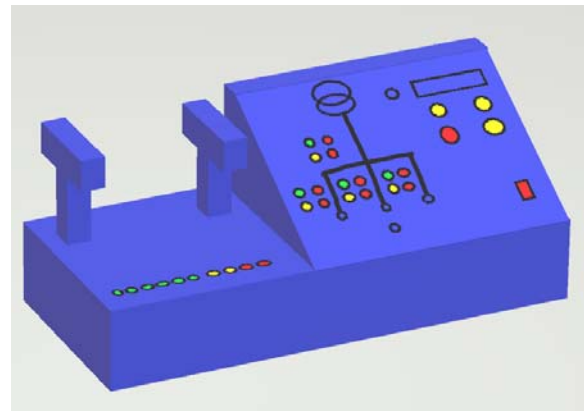
Mikrokontroler akan menganggap terjadi perubahan dari 1 ke 0 berkali-kali (ilustrasi kanan).

2.7. ANALOG TO DIGITAL CONVERTER (ADC)

Converter (ADC) adalah pengubah input analog menjadi kode – kode digital. ADC banyak digunakan sebagai Pengatur proses industri, komunikasi digital dan rangkaian pengukuran/ pengujian. Umumnya ADC digunakan sebagai perantara antara sensor yang kebanyakan analog dengan sistim komputer seperti sensor suhu, cahaya, tekanan/ berat, aliran dan sebagainya kemudian diukur dengan menggunakan sistim digital (komputer).

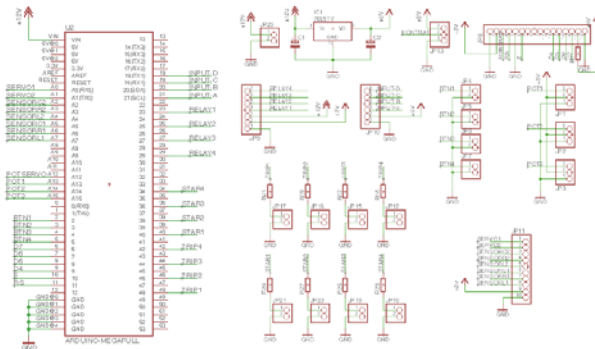
3. METODOLOGI

Simulator ini terdapat dua bagian desain, yaitu desain pertama yang didalamnya terdapat LCD 16X2 beserta tombol menu dan potensio pengaturnya. Dibagian pertama juga terdapat switch power, buzzer dan simulator sistem incoming sampai dengan penyulang. Dibagian desain kedua terdapat penampil beban total sistem dan jaringan listrik untuk mensimulasikan kondisi saat gangguan moment. Desain tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.

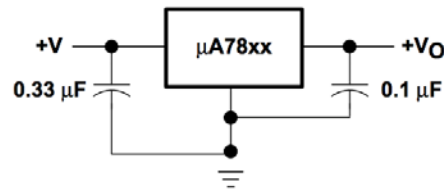


Simulator ini pada bagian desain pertama didesain dari sistem incoming Trafo ke penyulang dengan jumlah penyulang yaitu tiga penyulang. disetiap penyulang terdapat potensio yang berfungsi sebagai penentu beban disetiap penyulang. Terdapat empat led disetiap bagian penyulang dan incoming, empat led ini mengindikasikan rele start, rele trip, PMT close, PMT Open. Beban pada setiap penyulang ditampilkan pada LCD 16X2 dan untuk mengindikasikan bahwa sistem sudah maksimal atau belum adalah pada led di rangkaian gerbang logika. Dibagian LCD 16X2 sebagai penampil ada empat tombol yaitu potensio untuk kontras LCD16X2, tombol Up, tombol Down, tombol Ok dan tombol Back. Pada desain bagian kedua terdapat rangkaian gerbang logika yang menjadi penampil dari beban dan rangkaian servo sebagai penanda terdapatnya gangguan momen dari jaringan listrik.

Main Board adalah board PCB utama pada sistem Simulator Rele OCR. Main board ini berisikan Arduino mega, regulator 7805, dan pin – pin yang akan disambungkan dengan LCD 16X2 serta disambungkan ke switching board, board servo, dan board rangkaian gerbang logika. Schematic main board ditampilkan pada gambar berikut.



Pada di atas terdapat dua pin berjumlah empat yaitu untuk disambungkan ke push button, empat button tersebut digunakan untuk tombol menu yang akan ditampilkan ke LCD 16X2. Dua pin berjumlah delapan yaitu untuk disambungkan ke LED sebagai indikasi Rele Start dan Trip, start menggunakan LED berwarna kuning dan Trip menggunakan LED berwarna merah. Terdapat sepuluh pin yang berjumlah satu buah digunakan untuk disambungkan pada board servo serta tiga pin berjumlah satu buah untuk mengatur posisi dari servo tersebut. Terdapat tujuh pin yang berjumlah satu buah untuk disambungkan pada board switching Rele. Terdapat enam pin yang berjumlah satu buah yang akan disambungkan dengan board rangkaian gerbang logika. Terdapat 16 pin yang berjumlah satu buah serta tiga pin satu buah yang akan disambungkan ke LCD 16X2 dan potensio untuk mengatur kontras dari tampilan LCD tersebut. Dan yang terakhir terdapat regulator 7805 untuk supply 5 VDC pada seluruh system yang membutuhkan supply 12 VDC. Rangkaian 7805 lebih detail nya sebagai berikut.



Gambar di atas adalah schematic rangkaian untuk output fix regulator yang diterangkan pada datasheet regulator 7805. Untuk dapat mendapatkan output Fix Regulator 7805 maka dibutuhkan Capacitor 0.33 μF dan 0.1 μF yang dirangkai pada input dan output regulator 7805.

Pada sistem ini dibutuhkan penampil untuk menunjukkan pembebanan sistem. Untuk mewakili penampil tersebut maka untuk mensederhanakan maka dibuat rangkaian dengan 4 input dan 10 output. Input dan output yang diinginkan adalah sesuai berikut.

INPUT				OUTPUT												
A	B	C	D	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

4. HASIL DAN BAHASAN

Teori dari perhitungan gangguan arus lebih adalah menghitung waktu Trip dari arus gangguan yang

telah dirasakan. Rumus tersebut adalah sebagai mana pada persamaan berikut.

$$t = \frac{a \times (Tms)}{[(I_f/I_s)^n - C]}$$

Dengan ketetapan a = 0.14, n = 0,02 dan C =1. Sedangkan If adalah gangguan arus yang dirasakan. Is adalah Iset dan untuk menentukannya perlu dihitung Inominal Trafo dengan perhitungan sebagai berikut.

$$InTrf = \frac{PTrf}{\sqrt{3} \cdot V_{sekunder}}$$

Dengan persamaan 4.1 maka dengan Trafo 60 MVA didapatkan hasil sebagai beriku.

$$InTrf = \frac{60MVA}{\sqrt{3} \cdot 20kV}$$

$$InTrf = 1732A$$

Dari hasil arus nominal Trafo maka akan digunakan untuk menentukan Iset dengan rumus sebagai berikut.

$$Iset = 1,2XInTrf$$

Maka dari perhitungan tersebut maka didapatkan hasil sebagai berikut.

$$Iset = 1,2X1732$$

$$Iset = 2078,5 \approx 2078A$$

Maka didapatkan hasil Iset adalah 2078 A di sisi penyulang. Dan untuk menentukan Tms dari dapat menggunakan persamaan 2.1 sebagai berikut.

$$Tms = \frac{(\frac{I_f}{I_s})^{0,02} - 1}{0,14} \cdot 1$$

Dari persamaan 4.7 maka dapat dihasilkan Tms sebagai berikut.

$$Tms = \frac{(\frac{5811}{2078})^{0,02} - 1}{0,14} \cdot 1$$

$$Tms = 0,148s \approx 0,15s$$

Dari hasil perhitungan tersebut maka didapatkan setting pada bagian incoming dengan nilai Iset = 2078A dan Tms 0,15s. dan untuk Iset dan Tms disetiap penyulang adalah sebagai berikut.

$$Iset = 1,2 \cdot RasioCT$$

Persamaan 4.10 adalah persamaan untuk menentukan Iset dari penyulang dengan rasio CT 400/5. Maka dihasilkan Iset sebagai berikut.

$$Iset = 1,2 \cdot 400$$

$$Iset = 480A$$

Maka didapatkan Iset pada setiap penyulang adalah 480A untuk disetiap penyulang. Dan untuk menentukan Tms dari setiap penyulang maka dengan persamaan 2.1 maka didapatkan hasil sebagai berikut..

$$Tms = \frac{(\frac{5811}{480})^{0,02} - 1}{0,14} \cdot 0,5$$

$$Tms = 0,18 \approx 0,2s$$

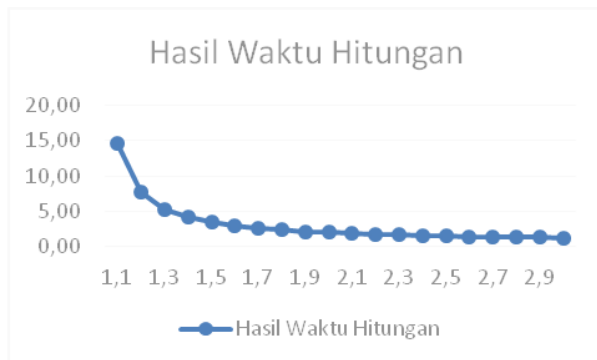
Dengan demikian maka didapatkan hasil Iset pada penyulang adalah 480A dan untuk Tms didapatkan nilai 0.2s.

Dari nilai Iset dan Tms diatas maka didapatkan hasil trip disetiap gangguan dengan arus gangguan 1,1 kali Iset sampai dengan 3 kali Iset dengan kenaikan 0,1 disetiap data maka dihasilkan sebagai berikut.

Kali Gangguan	Arus Gangguan (A)	Hasil Waktu Hitungan (Detik)
1.1	528	14.67
1.2	576	7.66
1.3	624	5.32
1.4	672	4.15
1.5	720	3.44
1.6	768	2.96

1.7	816	2.62
1.8	864	2.37
1.9	912	2.17
2	960	2.01
2.1	1008	1.87
2.2	1056	1.76
2.3	1104	1.67
2.4	1152	1.59
2.5	1200	1.51
2.6	1248	1.45
2.7	1296	1.40
2.8	1344	1.35
2.9	1392	1.30
3	1440	1.26

Dari tabel di atas maka dapat dibuat grafik karakteristik eksekusi untuk setiap kali gangguan sebagai berikut.



Dari hasil grafik di atas maka dapat disimpulkan untuk perhitungan dengan menggunakan teori didapatkan grafik karakteristik standart invers.

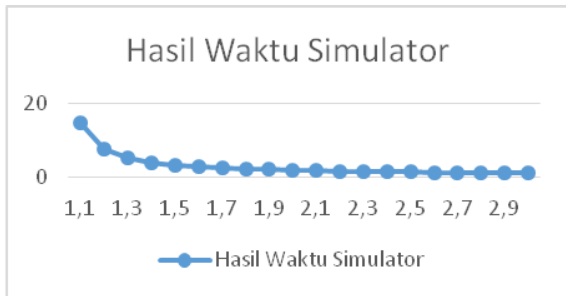
Hasil Pengujian Menggunakan Simulator

Hasil pengujian simulasi dihasilkan dari algoritma pemrograman dengan rumusan sama dengan persamaan 2.1. Simulasi yang dilakukan adalah dengan memasukkan arus 1,1 kali Iset sampai

dengan 3 kali Iset dengan kenaikan 0,1 disetiap data. Dari hasil simulator didapatkan data sebagai berikut.

Kali Gangguan	Arus Gangguan (A)	Hasil Waktu Simulator (Detik)
1.1	528	14.67
1.2	576	7.66
1.3	624	5.29
1.4	672	4.13
1.5	720	3.44
1.6	768	2.98
1.7	816	2.62
1.8	864	2.36
1.9	912	2.17
2	960	2.01
2.1	1008	1.88
2.2	1056	1.76
2.3	1104	1.67
2.4	1152	1.59
2.5	1200	1.51
2.6	1248	1.45
2.7	1296	1.39
2.8	1344	1.36
2.9	1392	1.3
3	1440	1.26

Dari tabel di atas maka dapat dibuat grafik karakteristik untuk eksekusi gangguan sebagai berikut.



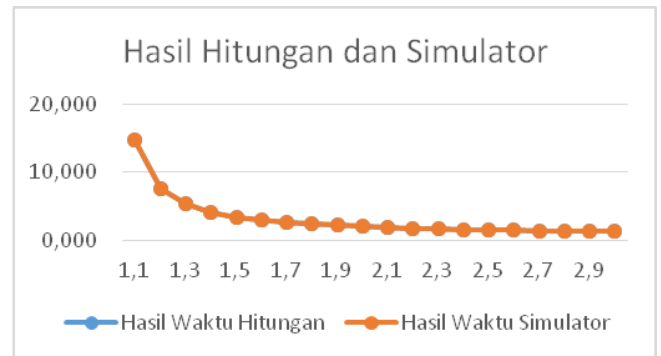
Dari hasil grafik di atas maka dapat disimpulkan untuk eksekusi alat dengan menggunakan setting yang sama dengan perhitungan didapatkan grafik karakteristik standart invers.

Dari hasil simulator dan hasil perhitungan di atas maka dapat dibandingkan error dari hasil simulasi yang dijalankan sebagai berikut.

Kali Gangguan	Arus Gangguan (A)	Hasil Waktu Hitungan (Detik)	Hasil Waktu Simulator (Detik)	Presentase Error
1.1	528	14.675	14.67	0.03%
1.2	576	7.665	7.66	0.06%
1.3	624	5.322	5.29	0.60%
1.4	672	4.147	4.13	0.41%
1.5	720	3.439	3.44	0.03%
1.6	768	2.965	2.98	0.52%
1.7	816	2.624	2.62	0.17%
1.8	864	2.368	2.36	0.33%
1.9	912	2.167	2.17	0.13%
2	960	2.006	2.01	0.21%
2.1	1008	1.873	1.88	0.37%
2.2	1056	1.762	1.76	0.09%
2.3	1104	1.667	1.67	0.19%
2.4	1152	1.585	1.59	0.30%
2.5	1200	1.514	1.51	0.26%
2.6	1248	1.451	1.45	0.08%
2.7	1296	1.396	1.39	0.40%

2.8	1344	1.346	1.36	1.06%
2.9	1392	1.301	1.3	0.07%
3	1440	1.260	1.26	0.03%
Rata - Rata Error				0.27%

Setelah membandingkan data antara teori yang dibuktikan dengan hitungan dan eksekusi dari simulator maka didapatkan rata-rata error dari alat ini adalah sebesar 0,27%. Grafik perbandingan antara eksekusi simulator dan hitungan berdasarkan teori adalah sebagai berikut.



Dari hasil grafik di atas maka dapat disimpulkan untuk eksekusi alat dengan menggunakan seting yang sama dengan perhitungan dan dibandingkan dengan grafik perhitungan didapatkan grafik karakteristik standart invers serta mendapatkan error dengan besar rata – rata 0.27%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa alat ini mendekati dengan teori yang dibuktikan dengan perbandingan grafik dan eksekusi simulator

5. KESIMPULAN.

1. Alat yang dibuat sudah berjalan sesuai dengan perancangan yang direncanakan.
2. Perhitungan dibandingkan dengan eksekusi simulator memiliki nilai error sebesar 0,27 %.
3. Hasil Eksekusi Simulator mendekati dengan perhitungan yang berdasarkan teori.

4. Alat simulator ini dapat digunakan sebagai bahan analisa sebelum diterapkan nilai setting dilapangan untuk meminimalisir terjadinya pemadaman meluas diakibatkan kesalahan dalam penerapan setting.

6. DAFTAR PUSTAKA.

- [1] Karyono. Pedoman dan Petunjuk System Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali Edisi Pertama. Jakarta: PLN P3B Jawa Bali. 2013.
- [2] Syofvi Felienty, Trino Erwin. Kesepakatan Bersama Pengelolaan Sistem Proteksi Trafo – Penyulang 20 kV. Jakarta: PLN TJBB DIS BANTEN DISJAYA. 2016.
- [3] Bangkit Mulyo Kuncoro, Indah Charisma Sari, Quientha Ayu Lestarie. Simulator Rele Ocr Sistem Cascade Dan Non Cascade. Bandung: PLN TJBT APP Bandung Corporate University. 2016.
- [4] Temi Timotius D. Ngedi. Penggunaan Over Current Relay Dalam System Tenaga Listrik. Kupang: Universitas Nusa Cendana. 2016
- [5] Dickson Kho. Pengertian Gerbang Logika Dasar dan Jenis – jenisnya. <http://teknikelektronika.com/pengertian-gerbang-logika-dasar-simbol/> (diakses, Jumat, 15 Mei 2018 Pukul 14.00).
- [6] Agfianto Eko Putra. Penanganan Bouncing Tombol/ Saklar <http://agfi.staff.ugm.ac.id/blog/index.php/2009/05/penanganan-bouncing-tombolsaklar/> (diakses, Jumat, 15 Mei 2018 Pukul 14.00).