

Rancang Bangun Pengukuran Arus Hubung Singkat pada Simulator Jaringan Distribusi Menggunakan PLC dan HMI

Muthia Maharani¹, Heri Budi Utomo², Supriyanto^{3*}

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

¹E-mail : muthia.maharani.tlis18@polban.ac.id

²E-mail : iatki.hbu@gmail.com

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

*E-mail korespondensi

ABSTRAK

Gangguan hubung singkat dapat menimbulkan dampak yang sangat besar pada jaringan seperti kerusakan peralatan listrik, kerugian bahkan kebakaran. Oleh karena itu diperlukannya pengukuran arus hubung singkat untuk setting pengaman agar ketika terjadi arus hubung singkat dapat diamankan. Gangguan hubung singkat yang akan diukur yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, satu fasa ke tanah, dua fasa dan dua fasa ke tanah. Tujuan dari penelitian ini melengkapi simulator jaringan distribusi dengan HMI yang dapat menampilkan nilai magmitud dan sudut fasa, serta menampilkan gambar diagram fasor. Dengan masukan sensor arus yang akan di proses oleh microcontroller dan masukan dari power meter untuk mendeteksi tegangan dan beda fasa. Akuisisi data dari power meter dan mikrokontroller di program oleh perangkat lunak Step 7- Micro/WIN32 dengan menggunakan *protocol modbus* dengan komunikasi serial RS485. Untuk menampilkan magnetud dan sudut fasa serta diagram fasornya digunakan HMI, dengan data diakses dari memori data PLC. Dengan hasil pengujian memiliki *error* sebesar 6,29% dengan hasil perhitungan.

Kata Kunci

Hubung Singkat, Modbus, Power Meter, Microcontroller, PLC, HMI

1. PENDAHULUAN

Gardu induk mempunyai fungsi untuk mengatur aliran daya listrik dari saluran transmisi yang satu ke saluran transmisi yang lain, mendistribusikan ke konsumen, lalu terdapat tranformator untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi distribusi. Penyulang merupakan salah satu bagian penting dari sebuah sistem distribusi karena energi listrik akan disalurkan melewati penyulang. Dalam pengoperasiannya suatu sistem tenaga listrik termasuk penyulang terkadang mengalami gangguan. Salah satunya gangguan hubung singkat.

Gangguan hubung singkat merupakan salah satu jenis gangguan yang dapat membuat penyaluran energi listrik terganggu. Hubung singkat adalah sebuah gangguan yang paling sering terjadi pada jaringan listrik, hubung singkat mengakibatkan arus yang membesar dan berdampak langsung terhadap rusaknya peralatan listrik yang tidak memiliki keamanan yang baik sehingga dapat menyebabkan kerugian. Terdapat beberapa jenis gangguan hubung singkat yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, dua fasa dan dua fasa ke tanah. Maka dari itu diperlukannya studi gangguan hubung singkat untuk mengetahui besar nilai arus hubung singkat sehingga dapat dilakukan pemilihan dari pengaman yang akan digunakan. Seperti menentukan setting OCR (*over current relay*) sehingga relay hanya bekerja sesuai dengan daerah yang diamankan (selektif) dan memiliki

kepekaan dalam mendeteksi gangguan yan ada didaerah yang diamankan (sensitif).

Simulator proteksi sudah pernah dibuat pada Laboratorium Politeknik Negeri Bandung dan ingin melengkapi simulator tersebut dengan pengukuran arus hubung singkat. Artikel ini ingin melengkapi simulator tersebut dengan HMI yang dapat menampilkan nilai magnetud dan sudut fasa, serta menampilkan gambar diagram fasor. Penelitian ini dibuat untuk memonitoring besar nilai arus gangguan hubung singkat dan diagram fasor pada penyulang melalui beberapa parameter seperti arus, tegangan, daya, sudut phasa.

Penelitian yang akan ditampilkan dalam paper ini adalah pengukuran arus hubung singkat pada simulator jaringan distribusi yang akan ditampilkan pada HMI. Dengan masukan sensor arus yang akan di proses oleh microcontroller dan masukan dari power meter untuk mendeteksi tegangan dan beda fasa. Akuisisi data dari power meter di program oleh perangkat lunak Step 7- Micro/WIN32 dengan menggunakan kabel serial RS 485. Untuk menampilkan magnetud dan sudut fasa serta diagram fasornya digunakan HMI, dengan data diakses dari memori data PLC.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gangguan Hubung Singkat

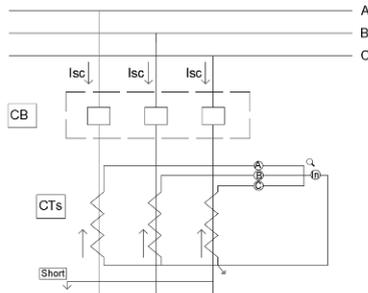
Hubung singkat adalah terjadinya hubungan antar penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung yang tidak melalui media (resistor/ beban) sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). Berikut ini adalah jenis gangguan hubung singkat yang terjadi pada sistem tenaga listrik :

2.1.1 Gangguan Simetris

Gangguan simetris merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus dan tegangan setiap fasanya tetap seimbang.

a. Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, dimana arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi.



Gambar 1. Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa

Untuk mencari nilai arus hubung singkat pada gangguan hubung singkat tiga fasa ini dapat dicari menggunakan rumus :

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{V_f}{Z_1} \quad (1)$$

2.1.2 Gangguan Asimetris

Gangguan asimetris merupakan gangguan yang mengakibatkan arus dan tegangan pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang.

Dalam melakukan analisa hubung singkat pada gangguan asimetris diperlukan komponen simetris. Ketiga komponen itu adalah :

1. Komponen Urutan Positif

Komponen ini terdiri dari fasor yang besar magnitudnya sama dimana masing-masing berbeda sebesar 120°. Impedansi pada kondisi normal merupakan impedansi urutan positif.

2. Komponen Urutan Negatif

Komponen ini terdiri dari tiga fasor yang besar magnitudnya sama dimana masing-masing berbeda sebesar 120°. Komponen ini memiliki fasa yang berkebalikan dengan fasa sistem.

3. Komponen Urutan Nol

Komponen ini terdiri dari tiga fasor yang memiliki magnitud dan fasa yang sama.

Dengan menggunakan himpunan fasor dari komponen-komponen simetris, maka dapat diketahui dalam bentuk matriks :

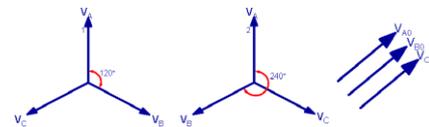
$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

$$V_{a0} = 1/3 (V_a + V_b + V_c) \quad (7)$$

$$V_{a1} = 1/3 (V_a + a V_b + a^2 V_c) \quad (8)$$

$$V_{a2} = 1/3 (V_a + a^2 V_b + a V_c) \quad (9)$$

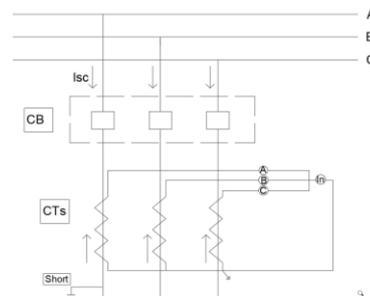
Persamaan di atas merupakan persamaan komponen simetris untuk tegangan. Persamaan tersebut dapat juga dituliskan kembali pada persamaan komponen simetris untuk arus.



Gambar 2. Komponen-komponen Simetris

a. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan satu fasa ke tanah terjadi ketika sebuah fasa dari sistem tenaga listrik terhubung singkat dengan tanah.



Gambar 3. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Persamaan ketika gangguan ini terjadi adalah :

$$V_a = 0$$

$$I_b = 0$$

$$I_c = 0$$

Arus *phase* dalam domain urutan $I_{012} = A^{-1} I_{abc}$ yaitu :

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} I_a \\ I_a \\ I_a \end{bmatrix}$$

Dari matriks di atas diperoleh I_{a0} , I_{a1} , I_{a2} sebagai berikut :

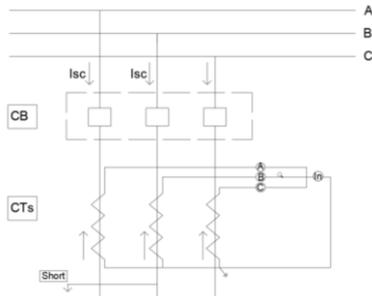
$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{1}{3} I_a \quad (10)$$

Sehingga diperoleh :

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad (11)$$

b. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Gangguan dua fasa hubung singkat terjadi ketika dua buah fasa dari sistem tenaga listrik terhubung singkat.



Gambar 4. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Persamaan ketika gangguan ini terjadi adalah :

$$V_b = V_c$$

$$I_a = 0$$

$$I_b = -I_c$$

Arus *phase* dalam domain iritan $I_{012} = A^{-1} I_{abc}$ yaitu :

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 0 \\ (a - a^2) I_b \\ (a - a) I_b \end{bmatrix}$$

Dari matriks di atas diperoleh I_{a0} , I_{a1} , I_{a2} sebagai berikut :

$$I_{a0} = 0$$

$$I_{a1} = -I_{a2}$$

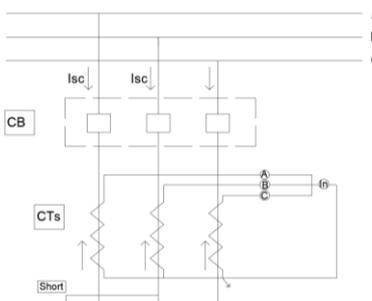
$$V_{a1} = V_f - I_{a1} \cdot Z_1$$

Sehingga :

$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \quad (12)$$

c. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Gangguan dua fasa ke tanah terjadi ketika dua buah fasa dari sistem tenaga listrik terhubung singkat dengan tanah.



Gambar 5. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

Persamaan setiap fasa ketika gangguan ini terjadi adalah

$$V_b = 0$$

$$V_c = 0$$

$$I_a = 0$$

Sehingga untuk perhitungan gangguan dua *phase* ke tanah dirumuskan dengan :

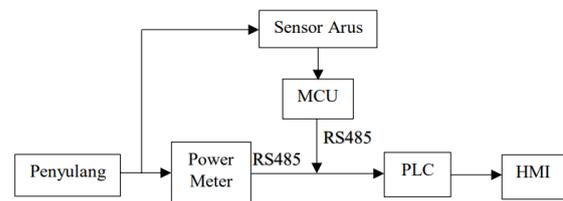
$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_0 Z_2}{Z_0 + Z_2}} \quad (13)$$

3 PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

3.1 Rancangan Fungsional

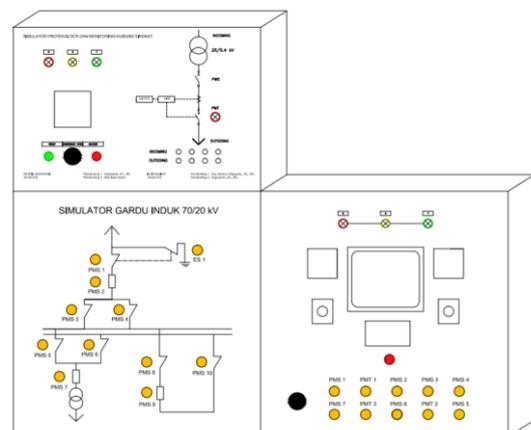
Pengukuran arus hubung singkat pada dilakukan pada titik gangguan di simulator jaringan pada 50% panjang saluran, dan 100% panjang saluran. Gangguan hubung singkat yang diukur meliputi gangguan hubung singkat tiga fasa, gangguan hubung singkat dua fasa, gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah dan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

Simulator akan menampilkan nilai magnitud dan sudut fasa serta diagram fasor dari gangguan hubung singkat yang terjadi pada HMI. Sensor arus akan mendeteksi arus kemudian akan di proses oleh microcontroller dan power meter akan mendeteksi tegangan dan beda fasa. Dengan menggunakan kabel serial RS 485 data diakses pada memori data PLC.



Gambar 6. Diagram Blok

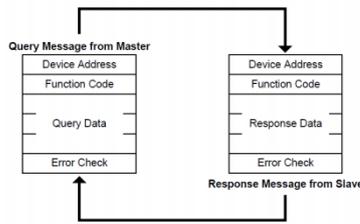
3.2 Rancangan Kontruksi Simulator



Gambar 7. Kontruksi Simulator

3.3 Perancangan Komunikasi Mikrokontroler Arduino, PLC dan Power Meter.

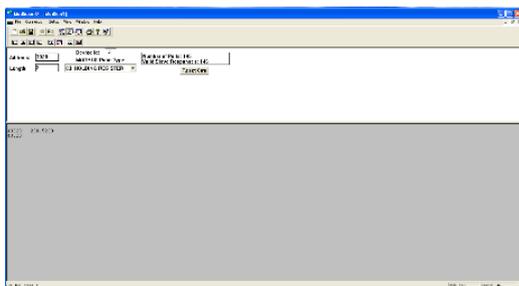
Perancangan sistem yang digunakan yaitu *protocol modbus* dengan komunikasi serial RS-485. Perangkat *modbus* berkomunikasi menggunakan teknik master-slave, hanya satu master yang dapat melakukan perintah yang biasa disebut ‘queries ‘ disini PLC berperan sebagai master. Perangkat lain yang berperan sebagai slave merespon data yang diminta untuk master atau dengan melakukan aksi yang diminta dalam *query*, mikrokontroler dan power meter disini berperan sebagai slave. Proses *Query-Response* pada protocol modbus mempunyai format seperti gambar 8.



Gambar 8. Proses *Query-Response*

3.3.1 Perancangan Power Meter sebagai Slave 1.

Power Meter akan membaca nilai besaran listrik, setiap nilai besaran listrik memiliki data register. Data register itu kemudian akan disimpan dalam memori PLC menggunakan komunikasi RS485. Untuk mengetahui nilai register itu sesuai dengan power meter yang digunakan maka diperlukan pengujian seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Hasil Pengujian Power Meter

Program yang digunakan untuk melakukan pengujian yaitu Modsim32 dengan menghubungkan port USB menggunakan converter RS485 to USB kepada PC.

3.3.2 Perancangan Mikrokontroler Arduino Atmega 2560 sebagai Slave 2.

Pemrograman Mikrokontroler atmega 2560 dilakukan dengan menggunakan *software* Arduino IDE. Ketika terjadi hubung singkat mikrokontroler akan menerima nilai melalui sensor ACS 712. Nilai arus hubung singkat yang berupa data register akan dikirim melalui RS485

dan disimpan pada memori PLC. Lalu optocoupler akan mengirim sinyal input kepada PLC.



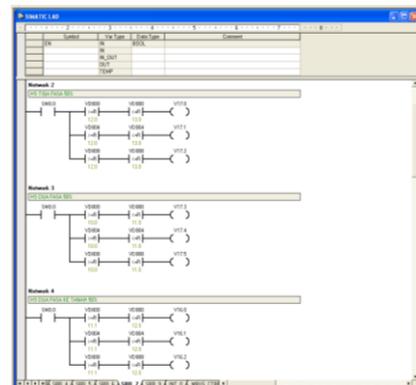
Gambar 10. Coding Sistem Arduino

3.3.3 Perancangan PLC Siemens S7-200 sebagai Master.

Data register yang berasal dari power meter dan mikrokontroler akan diprogram untuk disimpan pada memori PLC dan dibaca oleh perangkat lunak Step 7-Micro/WIN32 versi3.2. Ketika terjadi hubung singkat PLC akan mendapat sinyal input dari mikrokontroler maka PLC akan mengontrol untuk berhenti membaca power meter dan akan membaca nilai arus hubung singkat. Kemudian PLC akan mematikan kontaktor. Tabel 1. menunjukkan data-data register yang digunakan.

Tabel 1. Daftar Data Register

No	Tagname	Perangkat	Address	Ket
1	IR_HREG	ACS712	40003	Sensor Arus
2	IS_HREG	ACS712	40005	Sensor Arus
3	IT_HREG	ACS712	40007	Sensor Arus
4	Arus Fasa A	Power Meter	43000	Sensor Arus
5	Arus Fasa B	Power Meter	43002	Sensor Arus
6	Arus Fasa C	Power Meter	43004	Sensor Arus
7	Voltage A-B	Power Meter	43020	Sensor Tegangan
8	Voltage B-C	Power Meter	43022	Sensor Tegangan
9	Voltage C-A	Power Meter	43024	Sensor Tegangan
10	Frequency	Power Meter	43110	Sensor Frequency
11	Power Factor A	Power Meter	4078	Sensor Beda Fasa
12	Power Factor B	Power Meter	4080	Sensor Beda Fasa
13	Power Factor C	Power Meter	4082	Sensor Beda Fasa

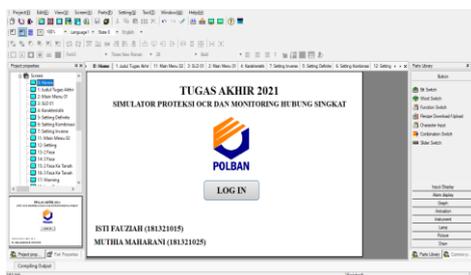


Gambar 11. Ladder Diagram Monitoring Arus

Gambar 11. merupakan ladder diagram dari pemrograman PLC sebagai monitoring nilai magnetud arus gangguan hubung singkat serta diagram fasornya yang hasilnya akan ditampilkan pada HMI.

3.3.4 Perancangan Tampilan Human Machine Interface

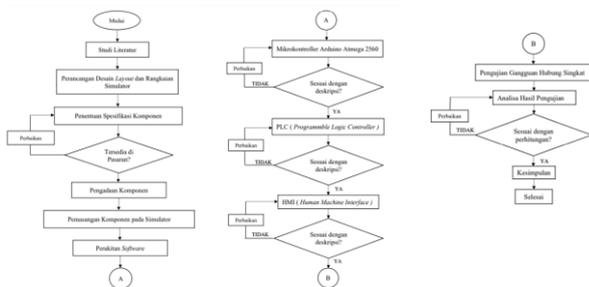
Perangkat lunak yang digunakan untuk pemrograman tampilan HMI yaitu Levi Studio. Tampilan pada Human Machine Interface terdiri dari *home*, *overview*, *penyulang*, nilai magnetud arus hubung singkat, diagram fasor hubung singkat, *alarm*, dan *exit*. Pengukuran arus gangguan hubung singkat pada HMI ini dilakukan untuk melengkapi simulator pada jaringan distribusi. Bentuk tampilan HMI untuk pengukuran arus gangguan hubung singkat diperlihatkan pada gambar 12.



Gambar 12. Tampilan HMI

4 DISKUSI DAN PEMBAHASAN

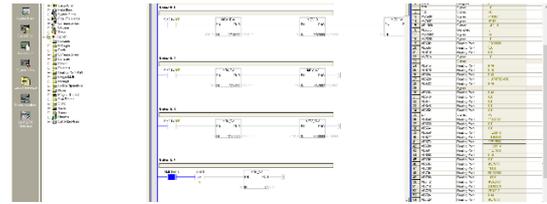
4.1 Urutan Metode Penelitian



Gambar 13. Diagram Alir

4.2 Pengujian Komunikasi Power Meter, Mikrokontroler dan PLC.

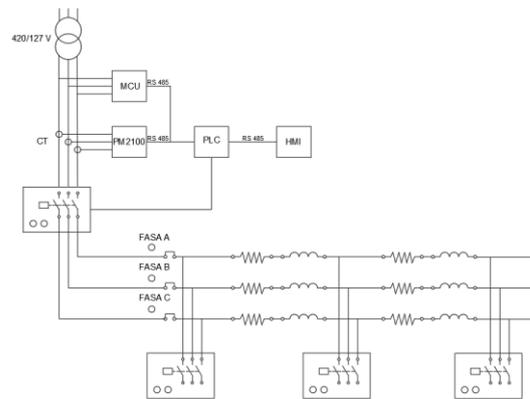
Untuk memastikan bahwa komunikasi power meter dan mikrokontroler terhubung dengan PLC maka dapat dilakukan pengujian pembacaan nilai yang terukur oleh power meter dan mikrokontroler pada PLC dengan perangkat lunak Step 7-Micro/WIN32 versi 3.2. Nilai yang terukur/terbaca pada PLC merupakan nilai data real. Pada gambar 14 menjelaskan bahwa komunikasi power meter dan mikrokontroler terhubung karena dapat dilakukan pengujian.



Gambar 14. Ladder Diagram Pengujian Pembacaan Besaran Listrik

4.3 Pengujian Hubung Singkat Pada Simulator Jaringan.

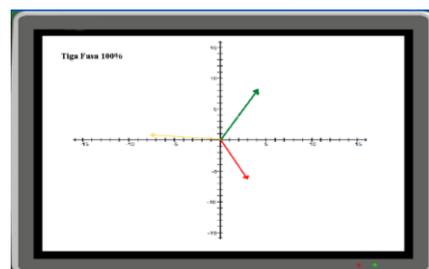
Pengujian dilakukan pada dua titik simulator jaringan seperti pada gambar 15.



Gambar 15. Pengujian Gangguan Hubung Singkat

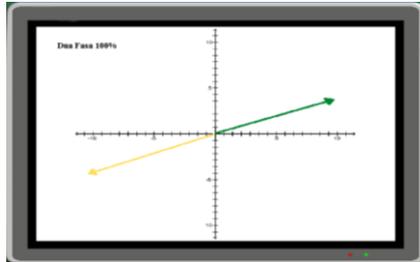
Melengkapi simulator jaringan distribusi dengan HMI yang dapat menampilkan nilai magnitud dan sudut fasa, serta menampilkan gambar diagram fasor. Simulasi pengujian hubung singkat dilakukan pada tiga titik gangguan, yaitu pada jaringan 50% dan 100% panjang jaringan. Ketika hubung singkat dengan kondisi gangguan tidak seimbang maka dapat dipergunakan komponen simetris. Diagram fasor yang akan ditampilkan pada HMI dapat digunakan untuk mendeteksi berbagai jenis gangguan dan membedakan jenis gangguan.

Pada gambar 16. dapat diamati bahwa dari diagram fasor dapat dilihat kondisi gangguan merupakan gangguan simetris yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa. Karena perbedaan setiap fasanya 120°.

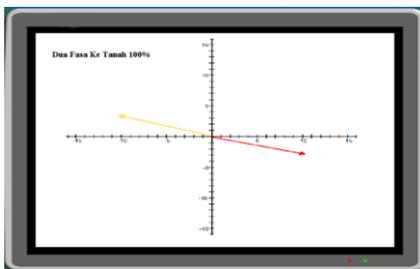


Gambar 16. Tampilan Diagram Fasor Hubung Singkat 3 Fasa pada HMI.

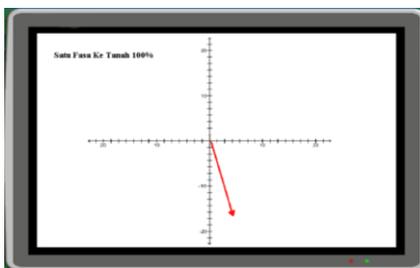
Pada gangguan tidak simetris gangguan hubung singkat 2 fasa dan 2 fasa ke tanah dapat dilihat pada gambar 17. dan gambar 18. Pada kondisi ini hanya terdapat arus urutan positif dan negatif. Pada gangguan tidak simetris gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah ditunjukkan pada gambar 19., pada kondisi ini hanya terdapat arus urutan positif.



Gambar 17. Tampilan Diagram Fasor Hubung Singkat 2 Fasa pada HMI.



Gambar 18. Tampilan Diagram Fasor Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah pada HMI.



Gambar 19. Tampilan Diagram Fasor Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah pada HMI.

Untuk mengetahui tingkat akurasi hasil pengukuran pada HMI dibandingkan dengan hasil perhitungan, dilakukan dengan cara melakukan pengujian beberapa jenis gangguan hubung singkat pada 2 titik gangguan simulator jaringan, hasilnya ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Hubung Singkat

Panjang Penyulang (km)	Jenis Gangguan	Pengujian (A)	Perhitungan (A)	Error (%)
50%	Ihs 3 Fasa	13,3	12,25	8,5
	Ihs 2 Fasa	11,6	10,61	9,3
	Ihs 2 Fasa ke Tanah	13	11,86	9
	Ihs 1 Fasa ke Tanah	6,9	6,51	6,1

100%	Ihs 3 Fasa	7,83	7,54	3,84
	Ihs 2 Fasa	6,36	6,53	2,6
	Ihs 2 Fasa ke Tanah	8,1	7,68	5,4
	Ihs 1 Fasa ke Tanah	5,6	5,3	5,6

5 KESIMPULAN

Simulator pengukuran arus hubung singkat dapae mengukur nilai magnitud dan sudut fasa, beserta diagram fasornya. Besar nilai suatu gangguan hubung singkat tergantung dari lokasi gangguan hubung singkat itu terjadi, semakin panjang penyulangnya maka besar nilai arus gangguan hubung singkat akan semakin kecil. Dengan hasil pengujian memiliki *error* sebesar 6,29% dengan hasil perhitungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

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, kedua kepada Fiqri Faudzie Faturohman (171321012) yang telah mengkonstruksi simulator gardu induk berbasis PLC dan microcontroller di laboratorium SDTL.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akbar, dkk. "Rancang Bangun Kontrol Dan Monitoring Sistem Proteksi Beban Tidak Seimbang Berbasis Programmable Logic Controller." *Prosiding SNITP (Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan)*. Vol. 2. No. 1, 2018.
- [2] Faturohman, Fiqri Faudzie. "Rancang Bangun Human Machine Interface Simulator Gardu Induk 70/20 Kv Berbasis Plc Dan Mikrokontroler". (2020).
- [3] Frasetio, Rahmat. "Rancang Bangun Modul Praktikum Proteksi Penyulang Tegangan Menengah Pada Gardu Induk 70/20 Kv". (2019)
- [4] Nurpadmi. "Studi Tentang Modbus Protokol Pada Sistem Kontrol ". *Forum Teknologi*. Vol.01. No.2:1 – 9
- [5] Yahya, Sofian, dkk. "Rancang Bangun Protipe Perangkat Pengukuran dan Monitoring Besaran Listrik Menggunakan PLC Berbasis LabVIEW ". (2013).
- [6] S, Agusthinus, dkk. "Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Pemakaian Sendiri PLTU Bolok PT.SMSE (IPP) Unit 3 dan 4 Menggunakan Software ETAP 12.6.0 ". (2019).
- [7] Mardensyah, Adrial. 2008. STUDI PERENCANAAN KOORDINASI RELE PROTEKSI PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI GARDU INDUK GAMBRI LAMA-PULOMAS. Universitas Indonesia.
- [8] Utomo, Heri Budi. (2010) : BUKU 1 BAHAN AJAR DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK, Politeknik Negeri Bandung.
- [9] Paramadita, I Kadek Purniawan, dkk. "Analisis Gangguan Hubung Singkat Simetris dan Asimetris Untuk Menentukan Kapasitas Pengaman Yang

Terpasang Pada Jaringan Distribusi Distribusi 20 kV
Penyulang Mambal “. *Jurnal SPEKTRUM*. Vol.6.No.3,
2019.

[10] Subagyo, L. A., & Suprianto, B. “ Sistem Monitoring
Arus Tidak Seimbang 3 Fasa Berbasis Arduino Uno.”.
(2017).