

PERANCANGAN MODUL SIMULATOR PENDETEKSI GANGGUAN ARUS URUTAN NEGATIF

Ilham Bayu Pratama Putra^{*)}, Aris Triwiyatno, Mochammad Facta

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik – Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Sudharto, SH. Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}Email : ilhambayu490@yahoo.co.id

Abstrak

Pada sistem tiga fasa yang tidak seimbang pada arus dan tegangannya memiliki komponen urutan positif, negatif dan nol. Adanya komponen urutan negatif ini memiliki efek buruk terutama pada mesin listrik yaitu dapat mengakibatkan pemanasan yang mempengaruhi kekuatan isolasi sehingga mengurangi umur dari mesin listrik. Dalam upaya untuk memproteksi sistem dari gangguan arus urutan negatif tersebut maka diperlukan sebuah relai yang mampu memproteksi sistem terhadap gangguan urutan negatif. Relai tersebut menggunakan mikrokontroler untuk mendeteksi gangguan dengan mengukur nilai arus yang diperoleh dari sensor arus pada setiap fasa. Kemudian mikrokontroler menghitung besar gangguan arus urutan negatif. Jika nilai arus urutan negatif lebih besar dari nilai arus penyetelan maka mikrokontroler akan mengaktifkan relai sehingga sumber tegangan ke beban terputus. Proses untuk mengaktifkan relai menggunakan waktu delay. Karakteristik waktu delay yang digunakan IDMT dan definite time. Hasil akhir menunjukkan bahwa relai dapat bekerja untuk mendeteksi gangguan arus urutan negatif. Nilai gangguan arus urutan negatif terbesar terjadi pada gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah sebesar 0,22 A dengan waktu pemutusan 630 ms (definite) dan 160 ms (IDMT). Nilai gangguan arus urutan negatif terkecil terjadi pada gangguan 2 fasa terbuka sebesar 0,05 A dengan waktu pemutusan sebesar 600 ms (definite) dan 770 ms (IDMT).

Kata Kunci : Arus Urutan Negatif, Mikrokontroler, Definite dan IDMT.

Abstract

Unbalance three-phase system has positive, negative and zero sequence in the voltages and current. Negative sequence current has destructive effect especially on electric machine because it causes heating and reduce quality of insulation and it will shorten the lifetime of machine. In effort to protect system from negative sequence current, a relay is needed to protect system against the fault of negative sequence current. The relay utilizes microcontroller to detect fault by measuring the current values are gotten from current sensors at each phase. Microcontroller calculates the value of negative sequence current. If the value of negative sequence current exceed the setting current, microcontroller will activate relay so that power supply to load is disconnected. Process is to activate relay using time delay. The characteristics of time delay are IDMT and Definite time. The Result showed that relay was able to detect negative sequence current. The highest fault was two-phase short circuit at 0,22 A with tripping time was 630 ms (Definite) and 160 ms (IDMT). The lowest fault was one-phase open circuit at 0,05 A with tripping time was 600 ms (Definite) and 770 ms (IDMT).

Keywords: Negative Sequence Current, Microcontroller, Definite and IDMT.

1. Pendahuluan

Setiap gangguan ketidakseimbangan atau tidak simetris akan menyebabkan arus tidak seimbang dalam sistem. Metode komponen simetris berguna untuk memahami dan menganalisa operasi sistem tenaga listrik pada kondisi tidak seimbang. Komponen simetris pada sistem tidak seimbang terdiri dari komponen urutan positif, komponen urutan negatif dan komponen urutan nol dimana jika

sistem dalam keadaan tidak seimbang terdapat komponen positif, komponen negatif dan komponen nol.

Beberapa penelitian yang pernah dilakukan tentang pengaruh ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi dimana akibat ketidakseimbangan beban tersebut munculnya arus netral di trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses* (rugi – rugi), yaitu *losses* akibat adanya arus netral pada kawat

penghantar netral trafo dan *losses* akibat arus netral ke tanah.

Penelitian yang sama pernah dilakukan tentang pengaruh ketidakseimbangan beban pada generator sinkron tiga fasa dimana hasil dari penelitian adalah kandungan harmonik arus beban berkisar (0.2-7.3%) dengan faktor daya (0.13-0.98), sedangkan pada saat kondisi beban tak seimbang, kandungan harmonik arus beban berkisar (0.8-8.4%) dengan faktor daya (0.11-0.75).

Berdasarkan beberapa penelitan yang pernah dilakukan tentang pengaruh gangguan ketidakseimbangan dimana ketidakseimbangannya tidak dapat diabaikan. Maka untuk dapat melindungi sistem dari kondisi ini, diperlukan peralatan proteksi berupa relai proteksi arus urutan negatif. Karena itu, arus dan tegangan pada sistem saat kondisi operasi tak seimbang harus diketahui.

2. Metode

2.1 Proteksi Urutan Negatif

Operasi dari proteksi arus urutan negatif adalah :

1. Menghitung nilai arus urutan negatif I_i dengan rumus yang sebagaimana pada Persamaan 1.
2. Relai bekerja ketika persentase $\vec{I}_i > I_s$. Dimana \vec{I}_i merupakan arus urutan negatif dan I_s merupakan arus *setting*.
3. Memiliki waktu tunda. Waktu tunda pada relai dapat berupa *Definite Time* atau *IDMT Time*.

Nilai arus urutan negatif (I_i) dihitung dari arus-arus 3 fasa sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$\vec{I}_i = \frac{1}{3} \times (\vec{I}_1 + a^2\vec{I}_2 + a\vec{I}_3) \quad (1)$$

dimana

\vec{I}_1 = nilai arus pada fasa R

\vec{I}_2 = nilai arus pada fasa S

\vec{I}_3 = nilai arus pada fasa T

Gambar 1 merupakan blok diagram untuk mendeteksi gangguan arus urutan negatif.



Gambar 1 Blok diagram operasi arus urutan negatif

2.2 Karakteristik Waktu Tunda

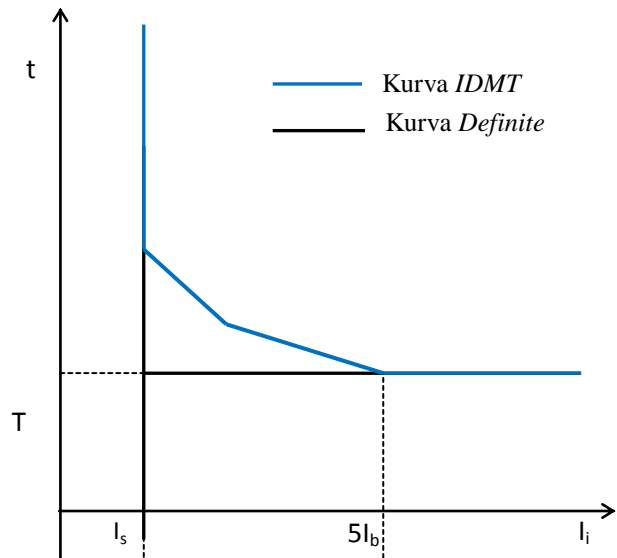
Karakteristik waktu tunda pada relai yaitu :

1. Definite Time Delay

Untuk $I_i > I_s$, waktu tunda adalah *definite* (tidak tergantung besar I_i) dan sama besar dengan T .

2. IDMT Time Delay

Untuk $I_i > I_s$, waktu tunda tergantung pada nilai dari I_i/I_b (I_b adalah arus basis dari peralatan yang dilindungi yang ditentukan saat parameter umum di *set*). T adalah waktu tunda untuk $I_i/I_b = 5$.



Gambar 2 Kurva pemutusan IDMT dan *definite*

Berdasarkan grafik pada Gambar 2 persamaan kurva waktu pemutusan IDMT ditentukan sesuai dengan rumus berikut :

1. Untuk $I_s/I_b \leq I_i/I_b \leq 0,5$

$$t = \frac{3,19}{\left(\frac{I_i}{I_b}\right)^{1,5}} \cdot T \quad (2)$$

2. Untuk $0,5 \leq I_i/I_b \leq 5$

$$t = \frac{4,64}{\left(\frac{I_i}{I_b}\right)^{0,96}} \cdot T \quad (3)$$

3. Untuk $I_i/I_b > 5$

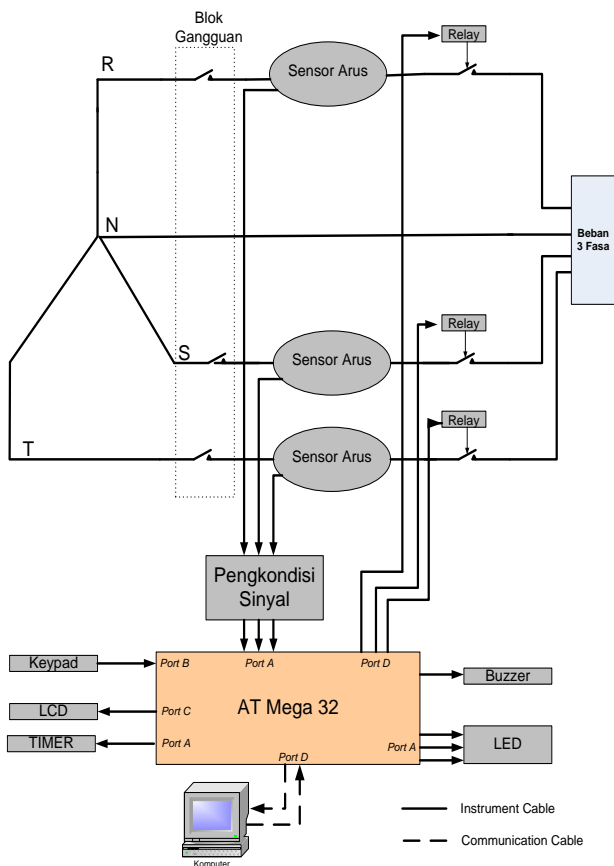
$$t = T \quad (4)$$

2.3 Perancangan Sistem

Pada sub bab perancangan dibagi menjadi 2 sub bab yaitu perancangan perangkat keras dan perangkat lunak.

2.3.1 Perancangan Perangkat Keras

Berikut ini merupakan perangkat keras secara keseluruhan sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perancangan keseluruhan sistem

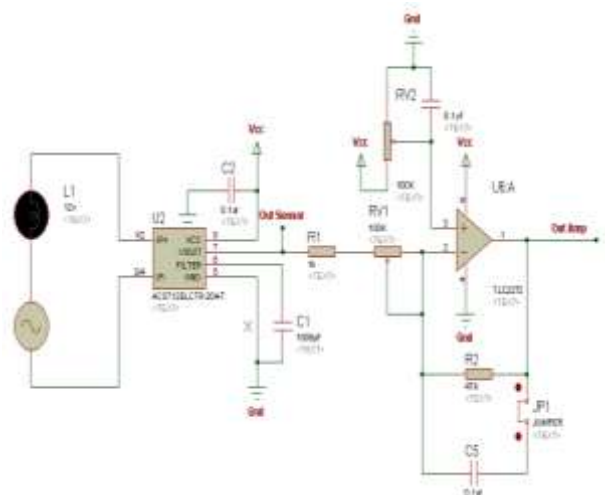
Tiap – tiap bagian dari diagram blok Gambar 3 dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Sensor Arus merupakan sensor yang untuk mendeteksi arus pada masing – masing fasa. Keluaran sensor ini berupa tegangan analog. Terdapat tiga sensor arus yang diletakkan pada masing – masing fasa dan dihubungkan ke mikrokontroler pada *PORTA.0* – *PORTA.2*.
2. *Keypad* berfungsi sebagai media masukan dan sebagai tombol untuk menjalankan proses pengendalian. *Keypad* dihubungkan ke mikrokontroler pada *PORTB*.
3. Indikator Led sebagai indikator keadaan sistem, apakah sistem dalam keadaan *normal*, *unbalance*, dan *tripping*. Masing – masing LED dihubungkan ke mikrokontroler pada *PORTA.4* – *PORTA.6*.
4. *Buzzer* berfungsi sebagai alarm yang berguna sebagai penanda jika terjadi gangguan arus urutan negatif. *Buzzer* dihubungkan ke mikrokontroler pada *PORTA.7*.
5. Mikrokontroler AVR ATmega 32 yang berfungsi sebagai pusat pengendalian pada sistem pendeteksi urutan arus negatif dapat diprogram dengan menggunakan bahasa *C embedded*.
6. Relai berfungsi sebagai pemutus daya (CB) antara sumber tegangan dengan beban jika terjadi gangguan. Relai dihubungkan ke mikrokontroler pada *PORTD.5* – *PORTD.7*.

7. *Timer* berfungsi untuk mengukur keakuratan waktu yang dihasilkan mikrokontroler. *Timer* dihubungkan ke sebuah relai dan relai tersebut dihubungkan ke mikrokontroler pada *PORTA.3*.
8. Komunikasi serial berfungsi untuk mengirimkan data serial dari PC ke mikrokontroler. Komunikasi serial pada mikrokontroler Atmega 32 terdapat di *PORTD.0* dan *PORTD.1*.

2.3.1.1 Perancangan Sensor Arus ACS 712

Pada sensor arus dapat mendeteksi perubahan arus pada beban. Sensor yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sensor arus buatan *ALLEGRO*. Sensor tersebut menggunakan *Integrated Hall IC* akan menghasilkan medan magnetik dan diubah menjadi keluaran tegangan yang linear. Kisaran besaran arus yang dapat diukur antara 0 – 5 A



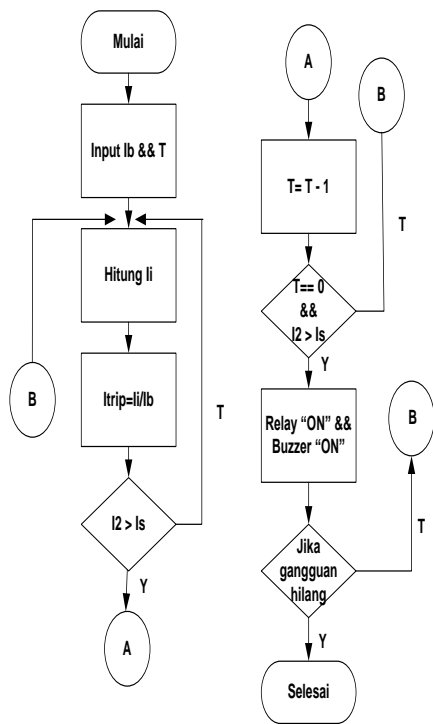
Gambar 4. Rangkaian sensor arus

Berdasarkan *datasheet* agar pembacaan mikrokontroler dapat terbaca dengan tepat maka diperlukan rangkaian filter sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3. Untuk menghitung nilai pembacaan pada sensor arus menjadi nilai arus yang terukur dapat dilihat pada Persamaan 5.

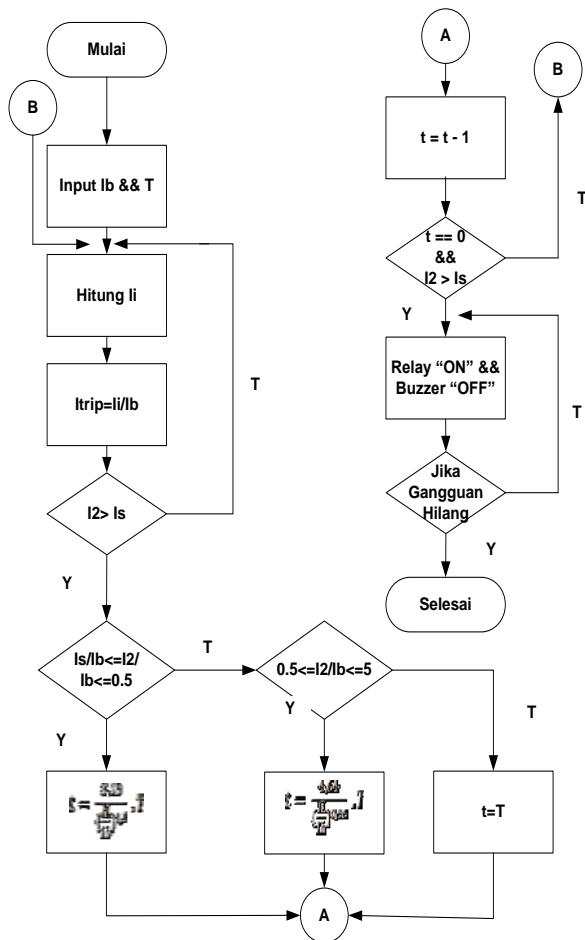
$$\text{Arus} = \frac{(V_{out} - V_{ref})}{0.185} \quad (5)$$

1.3.2 Perancangan Software

Pada perancangan software ini akan dijelaskan proses relai untuk mendeteksi gangguan arus urutan negatif pada waktu pemutusan *definite* dan *IDMT* berupa *flowchart* sebagaimana terlihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 5. Flowchart untuk waktu pemutusan Definite



Gambar 6. Flowchart untuk waktu pemutusan IDMT

Flowchart pada Gambar 8 menjelaskan skema *tripping* dengan menggunakan *definite*. Jika nilai I_2 sudah melebihi I_s maka nilai waktu tunda pemutusan (T) yang telah diinputkan oleh user akan mengalami *countdown* dengan waktu tunda selama 1 mS. Jika nilai T sama dengan 0 dan I_2 melebihi I_s maka relai akan “ON” dan *buzzer* “ON”. Untuk prosedur keamanan relai akan kembali ke program utama (*buzzer* dan relai dalam keadaan “OFF”) jika gangguan sudah dihilangkan ($I_2 < I_s$). Sedangkan pada *flowchart* Gambar 9 menjelaskan skema *tripping* dengan menggunakan *IDMT*. Jika nilai I_2 sudah melebihi I_s maka program akan menghitung nilai waktu tunda pemutusan (t) berdasarkan Persamaan (2), (3), dan (4). Jika nilai waktu pemutusan sudah didapat maka akan mengalami *countdown* dengan tunda 1 mS hingga nilai t sama dengan 0. Jika nilai t sama dengan 0 dan I_2 melebihi I_s maka relai akan *relai* “ON” dan *buzzer* “ON”. Kemudian program akan kembali ke menu utama jika sistem sudah normal kembali. Untuk prosedur keamanan relai akan kembali ke program utama (*buzzer* dan relai dalam keadaan “OFF”) jika gangguan sudah dihilangkan ($I_2 < I_s$).

3. Hasil dan Analisis

3.1 Hasil Pengujian Sensor Arus

Pada pengujian sensor arus dilakukan pengukuran berdasarkan nilai beban yaitu berupa resistor yang terdapat pada modul simulasi gangguan arus negatif. Hasil dari pembacaan dan pengukuran pada sensor arus kemudian dibandingkan dengan hasil pembacaan dan pengukuran pada Amperemeter sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 1

Tabel 1 Pengujian Sensor Arus

No	Fasa	Beban (Ω)	Arus Sensor (A)	Amperemeter (A)	Error (%)
1	R	28,2	0,15	0,15	0
		11,3	0,36	0,35	0,01
		6	0,61	0,60	0,01
2	S	28,2	0,18	0,16	0,02
		11,3	0,39	0,38	0,01
		6	0,69	0,66	0,03
3	T	28,2	0,15	0,15	0
		11,3	0,36	0,36	0
		6	0,65	0,64	0,01
Σ Error					0,09
Error Rata - Rata					0,01

Berdasarkan Tabel 1 berupa hasil dari pengujian sensor arus didapatkan error rata – rata sebesar 0.01. Hal ini dapat disimpulkan bahwa sensor arus dapat digunakan dengan baik.

3.2 Hasil Pengujian Definite Time

Pengujian pada modul pendeteksi gangguan arus urutan negatif dilakukan dengan memberikan gangguan – gangguan yang dapat menyebabkan arus urutan negatif

kemudian dianalisis apakah relai dapat mendeteksi gangguan arus urutan negatif berdasarkan algoritma yang telah dirancang. Berikut ini merupakan hasil pengujian pada karakteristik *definite time* sebagaimana yang terlihat pada Tabel 2

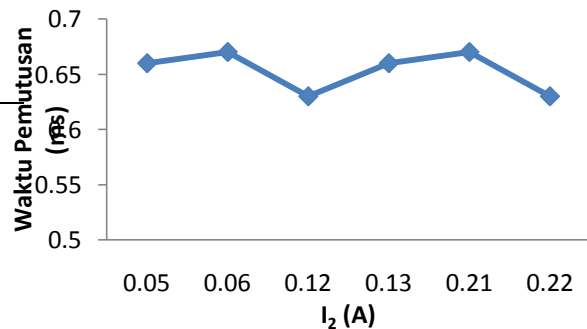
Tabel 2 Pengujian Definite Time

Gangguan	I_2 (A)	Waktu perancangan (ms)	Waktu Pemutusan (ms)
Gangguan fasa R terbuka	0.06	600	670
Gangguan fasa S terbuka	0.05	600	660
Gangguan fasa T terbuka	0.06	600	670
Gangguan fasa R-S terbuka	0.05	600	660
Gangguan fasa S - T terbuka	0.05	600	660
Gangguan fasa R-T terbuka	0.05	600	670
Hubung singkat fasa R-S tanah	0.21	600	670
Hubung singkat fasa S-T tanah	0.22	600	630
Hubung singkat fasa R-T tanah	0.22	600	660
Hubung Singkat Fasa R ke S	0.21	600	670
Hubung Singkat Fasa S ke T	0.21	600	660
Hubung Singkat Fasa R ke T	0.19	600	660

Hubung singkat fasa R-tanah	0.12	600	630
Hubung singkat fasa S-tanah	0.13	600	660
Hubung singkat fasa T-tanah	0.12	600	660
Tidak Seimbang 19%	0.05	600	670
Tidak Seimbang 30%	0.07	600	670

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa relai sudah dapat mendeteksi semua gangguan yang ada pada modul simulasi gangguan arus urutan negatif. Ditandai dengan aktifnya *timer* yang berfungsi sebagai waktu pemutusan. Relai dapat melakukan pemutusan yang sesuai dengan parameter *time setting* yang telah di inputkan. Terdapat perbedaan yang singkat pada waktu perancangan dengan waktu pemutusan. Perbedaan tersebut disebabkan karena waktu tunda pada *switching* mekanik relai untuk mengaktifkan dan menonaktifkan *timer*.

Berdasarkan hasil data pengujian Tabel 2 pada karakteristik waktu pemutusan *Definite Time*, diambil 6 sampel waktu pemutusan pada setiap gangguan arus urutan negatif dan 6 sampel nilai I_2 dari beberapa gangguan arus urutan negatif yang telah diujicobakan pada modul gangguan arus urutan negatif, maka dapat dibuat analisis melalui grafik sebagaimana yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Perbandingan antara waktu pemutusan dan I_2 pada karakteristik *Definite time*

Waktu pemutusan *Definite Time* dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai gangguan maka waktu pemutusan yang diperlukan sama. Terlihat pada Gambar 7 semakin besar nilai I_2 maka waktu yang diperlukan untuk melakukan pemutusan beban sama. Terjadi perbedaan waktu perancangan dengan waktu pemutusan.

Berdasarkan BS 142 celah kontak yang menjamin relai benar – benar berhenti bergerak yaitu sebesar 0,1 detik. Untuk waktu yang didapatkan pada pengujian kurve *definite* selisih waktu perancangan dan pemutusan tidak melebihi 100 mS. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada waktu *definite* jika nilai gangguan semakin tinggi maka waktu pemutusan tetap.

3.3 Hasil Pengujian IDMT Time

Berikut ini merupakan hasil pengujian *IDMT* sebagaimana yang terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Pengujian IDMT Time

Gangguan	I_2 (A)	Waktu Perancangan (ms)	Waktu Pemutusan (ms)
Gangguan fasa R terbuka	0.06	694	770
Gangguan fasa S terbuka	0.05	753	830
Gangguan fasa T terbuka	0.06	694	750
Gangguan fasa R-S terbuka	0.05	698	770
Gangguan fasa S - T terbuka	0.05	698	790
Gangguan fasa R-T terbuka	0.05	698	710
Hubung singkat fasa R-tanah	0,11	319	320
Hubung singkat fasa S-tanah	0,14	251	255
Hubung singkat fasa T-tanah	0,12	281	287
Hubung singkat fasa R-S tanah	0,22	155	160
Hubung singkat fasa S-T tanah	0,22	155	160
Hubung singkat fasa R-T tanah	0,21	162	168

Hubung Singkat R ke S 0,21 162 166

Hubung Singkat S ke T 0,21 162 168

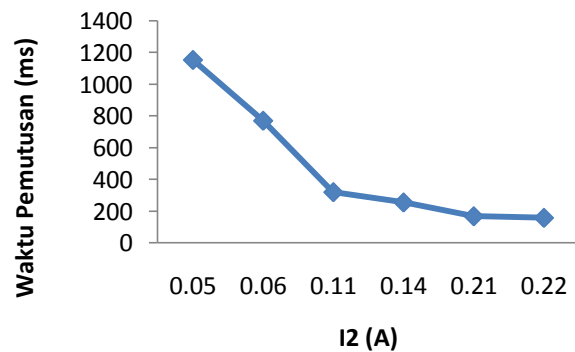
Hubung Singkat R ke T 0,18 184 189

Tidak Seimbang 19% 0,05 1119 1153

Tidak Seimbang 30% 0,07 709 769

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa relai sudah dapat mendeteksi semua gangguan yang ada pada modul simulasi gangguan arus urutan negatif. Ditandai dengan aktifnya *timer* yang berfungsi sebagai waktu pemutusan. *Relai* dapat melakukan pemutusan yang sesuai dengan parameter *time setting* yang telah di inputkan. Terdapat perbedaan yang singkat pada waktu perancangan dengan waktu pemutusan. Perbedaan tersebut disebabkan karena waktu tunda pada *switching* mekanik relai untuk mengaktifkan dan menonaktifkan *timer*.

Berdasarkan hasil data pengujian Tabel 3 pada karakteristik waktu pemutusan *Definite Time*, diambil 6 sampel waktu pemutusan pada setiap gangguan arus urutan negatif dan 6 sampel nilai I_2 dari beberapa gangguan arus urutan negatif yang telah diujicobakan pada modul gangguan arus urutan negatif, maka dapat dibuat analisis melalui grafik sebagaimana yang terlihat pada Gambar 11.



Gambar 8. Grafik Perbandingan antara waktu pemutusan dan I_2 pada karakteristik *IDMT time*

Waktu pemutusan *IDMT Time* dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai gangguan maka waktu pemutusan yang diperlukan semakin cepat. Terlihat pada Gambar 12 diatas semakin besar nilai I_2 maka waktu yang diperlukan untuk melakukan pemutusan beban semakin cepat.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sensor ACS712 dapat berfungsi untuk melakukan pengukuran arus pada sumber tegangan AC dimana nilai maksimal kesalahan sensor sebesar 3%.

Pada kurva *definite* terdapat selisih antara waktu pemutusan dan waktu perancangan dimana nilai selisih terbesar adalah 70 ms. Pada kurva *IDMT* terdapat selisih antara waktu pemutusan dan waktu perancangan dimana nilai selisih terbesar adalah 92 ms.

Pada kurva *Definite Time* semakin besar gangguan arus urutan negatif maka waktu *delay* yang diperlukan untuk melakukan pemutusan terhadap beban tetap dimana nilai gangguan arus urutan negatif terbesar terjadi pada gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah sebesar 0,22 A dengan waktu pemutusan sebesar 630 ms sedangkan nilai arus urutan negatif terkecil terjadi pada gangguan hubung singkat fasa terbuka sebesar 0.05 A dengan waktu pemutusan sebesar 660 ms

Pada kurva *IDMT Time* semakin besar gangguan arus urutan negatif maka waktu *delay* yang diperlukan untuk melakukan pemutusan terhadap beban semakin cepat dimana nilai gangguan arus urutan negatif terbesar terjadi pada gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah sebesar 0,22 A dengan waktu pemutusan sebesar 160 ms sedangkan nilai arus urutan negatif terkecil terjadi pada gangguan hubung singkat fasa terbuka sebesar 0.05 A dengan waktu pemutusan sebesar 770 ms.

Saran untuk pengembangan tugas akhir ini adalah Untuk perkembangan selanjutnya bisa ditambahkan sensor beda fasa untuk menganalisis gangguan akibat perbedaan fasa pada sistem, Perlu ditambahkan rangkaian yang berfungsi sebagai filter terhadap interferensi elektromagnetik agar mikrokontroler tidak reset dengan sendirinya dan Untuk batas pengukuran arus dapat diperbesar dengan menggunakan sensor arus yang memiliki batas melebihi dari 5 A.

Referensi

[1]. D. Stevenson, Jr., William, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Erlangga: Jakarta,1993.
 [2]. Setiadji, Julius Sentosa. dkk., *Pengaruh Ketidakseimbangan terhadap Arus Netral Pada Trafo Distribusi*, Jurnal Teknik Elektro Vol 6 No1, Universitas Kristen Petra, Surabaya, 2006.
 [3]. Cumentas, Ismail . dkk., *Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Kondisi Beban terhadap Harmonik Arus dan Faktor Daya Generator*

Sinkron Tiga Fasa, Jurnal Reka Elkomika, Institut Teknologi Nasional (ITENAS), Bandung, 2013.
 [4]. Sulasno, Ir., *Teknik Konversi Energi Listrik dan Sistem Pengaturan*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2009.
 [5]. Ogata, Katsuhiko., *Teknik Kontrol Otomatik Jilid 1*, diterjemahkan oleh Edi Leksono, Erlangga, Jakarta,1994.
 [6]. Taqiyuddin Alawiy, Muhammad, *Proteksi Sistem Tenaga Listrik Seri Relai Elektromagnetis*, Fakultas Teknik Elektro Universitas Islam Malang, Malang, 2006.
 [7]. Suhartono, *Proteksi Sistem Tenaga Listrik Diklat Pengujian Relai Dasar*, PT. PLN (Persero) Pusdiklat, Semarang, 2008.
 [8]. Paithankar, S.rBhide. *Fundamental of Power System Protection*. Prentice Hall of India. 2003
 [9]. -----, "Bahan Kuliah Teknik Tenaga Listrik", Harry Ramza, Teknik Mesin Universitas Pancasila.
 [10]. Nahvi, Mahmoev and Joseph A. Edminister, *Rangkaian Listrik Edisi Keempat*, Erlangga, Jakarta, 2004.
 [11]. Gonen, Turan, *Modern Power System Analysis*, California State University. California, 1988.
 [12]. D. Stevenson, Jr., William, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Erlangga: Jakarta,1993.
 [13]. -----, "Manual SEPAM 1000+Merlin Gerin". Schneider Electric Industries. SA. 2000.
 [14]. Mardensyah, Adrial., *Studi Perencanaan Koordinasi Rele Proteksi pada Saluran Udara Tegangan Tinggi Gardu Induk Gambir Lama*, Skripsi S-1, Universitas Indonesia, Jakarta, 2008.
 [15]. Plummer, Isaac, *Asymmetry In Distribution Systems: Causes Harmful Effects And Remedies*, Louisiana State University. Louisiana, 2011.
 [16]. Sudjadi M.T ,Ir ., *Teori dan Aplikasi Mikrokontroler Aplikasi pada Mikrokontroler AT89C51*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2005.
 [17]. Setiawan, Arie, 20 *Aplikasi Mikrokontroler Atmega8535 dan Atmega 16*, Andi Yogyakarta, Yogyakarta, 2011.
 [18]. Wardhana, Lingga, *Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATMega8535 Simulasi, Hardware, dan Aplikasi*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2006.
 [19]. -----, ACS712-Current Sensor Data Sheet, <http://www.allegromicro.com>.
 [20]. -----, Atmega32 Data Sheet, <http://www.atmel.com>.
 [21]. -----, "Manual DT-Sense Current Sensor". Innovative Electronic.2012
 [22]. Hutomo,Tri, *Rancang Bangun Modul Praktikum Sistem Proteksi Arus Urutan Negatif Dengan Rele Sepam 1000+* , Skripsi S-1, Universitas Diponegoro,Semarang.