

Simulasi Relai Arus Lebih Standar Invers Dengan Beban Resistif

Fariz Mashuri^{#1}, Syukriyadin^{#2}, Ira Devi Sara^{#3}

[#]Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111, Indonesia

¹fariz.mashuri@gmail.com

²syukri_2504@unsyiah.net

³ira.sara@unsyiah.ac.id

Abstrak— Salah satu gangguan kelistrikan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan arus lebih (*overcurrent*). Sebagai respon terhadap gangguan arus lebih maka diperlukan perangkat proteksi yang mampu mengatasi gangguan arus lebih tersebut. Salah satu perangkat proteksi yang menangani gangguan arus lebih adalah relai arus lebih (*overcurrent relay*). Dalam penelitian ini dilakukan simulasi relai arus lebih dengan karakteristik standar invers yang sesuai dengan standar IEC 60255 terhadap gangguan arus lebih akibat penggunaan beban resistif. Simulasi pada penelitian ini menggunakan *software* Proteus 8.6 yang pada *software* tersebut terdapat komponen-komponen yang dapat menunjang dilakukannya simulasi seperti mikrokontroler Arduino, sensor arus, sakelar elektromagnetik, dan beban resistif. Pada simulasi dilakukan pengaturan arus sebesar 1 A dan *time multiplier setting* (TMS) 0.1 hingga 0.4. Ketika simulasi arus gangguan sebesar 2 A didapatkan waktu operasi relai sebesar 1010 ms pada pengaturan TMS 0.1 dan 4055 ms pada pengaturan TMS 0.4. Ketika simulasi arus gangguan sebesar 5 A didapatkan waktu operasi relai sebesar 431 ms pada pengaturan TMS 0.1 dan 1753 ms pada pengaturan TMS 0.4. Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa relai arus lebih yang disimulasikan berkerja sesuai dengan karakteristik standar invers standar IEC 60255.

Kata Kunci— Relai arus lebih, ACS 712, Proteus 8.6, Arduino, arus lebih, IEC 60255, sakelar elektromagnetik.

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik tidak pernah luput dari gangguan-gangguan yang dapat menyebabkan kerusakan dan kerugian. Oleh karena itu sistem tenaga listrik harus memiliki sebuah sistem proteksi. Sistem proteksi terdiri dari perangkat-perangkat proteksi seperti relai proteksi, transformator ukur, dan pemutus tenaga (PMT). Relai proteksi memiliki peran penting dalam proteksi sistem tenaga listrik, yaitu sebagai suatu perangkat yang bekerja saat terjadi gangguan (kondisi di luar batas toleransi) pada sistem tenaga listrik [1]. Relai proteksi mendeteksi setiap gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik, kemudian mengirimkan sinyal kepada PMT sebagai tindak lanjut dari hasil deteksi yang dilakukannya. Semua relai proteksi pada dasarnya adalah tipe elektromekanik. Tahun 1970 diperkenalkan relai elektronik tipe analog. Beberapa tahun setelahnya relai

elektronik berbasis mikroprosesor mulai dikembangkan dan diaplikasikan. Relai elektronik berbasis mikroprosesor mengkonversi masukan analog yang diterima menjadi digital untuk kemudian dilakukan proses terhadap masukan tersebut. Relai elektronik berbasis mikroprosesor yang mengacu pada relai numerik dibuat dari gabungan beberapa modul yaitu, mikroprosesor, modul masukan, modul keluaran, dan modul komunikasi [2].

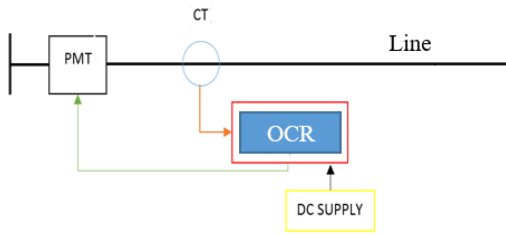
Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai relai arus lebih berbasis mikroprosesor [3]. Pada penelitian tersebut digunakan Dioda Bridge untuk menyearahkan arus AC sebelum masuk ke sensor arus ACS712. Untuk melakukan pembacaan arus AC oleh sensor arus ACS712 sebenarnya dapat dilakukan secara langsung tanpa harus melalui proses penyearahan menggunakan Dioda Bridge. Pembacaan arus AC menggunakan sensor arus ACS712 dapat dilakukan dengan menggunakan metode sampling. Dengan demikian rangkaian relai arus lebih tidak perlu digunakan Dioda Bridge, sehingga rangkaian relai arus lebih menjadi lebih sederhana dan murah. Penelitian ini dilakukan simulasi untuk mensimulasikan relai arus lebih berbasis mikroprosesor dengan karakteristik *standard inverse* yang mengacu pada standar IEC 60255 yang mampu memproses input arus bolak balik (arus AC) yang diterima modul input (sensor arus ACS712) secara langsung. Sehingga didapatkan rangkaian relai arus lebih yang lebih sederhana dan murah yang mampu memproteksi gangguan arus lebih akibat penggunaan beban resistif.

II. DASAR TEORI

A. Relai Arus Lebih (*Overcurrent Relay*)

Relai arus lebih atau *overcurrent relay* bekerja saat arus yang terdeteksi lebih dari nilai batas arus yang telah diatur [4]. Relai arus lebih memerlukan peralatan yang dapat memberikan masukan arus, yaitu transformator arus atau *current transformers*. Transformator arus menurunkan arus yang ada pada saluran sehingga mampu diterima dan diproses oleh relai. Relai arus lebih akan memproses arus masukan dan mengirimkan sinyal kepada PMT untuk memutuskan saluran apabila arus masukan dianggap sebagai

gangguan. Secara umum rangkaian kerja relai arus lebih ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Rangkaian kerja relai arus lebih [5]

Bila didasarkan pada waktu operasinya relai arus lebih dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu relai sesaat (*Instantaneous Relay*) dan relai dengan waktu tunda (*Time Delay Relay*).

1) *Relai Sesaat*: Relai sesaat (*Instantaneous Relay*) beroperasi seketika (tanpa tunda waktu) untuk memerintahkan PMT *trip* ketika besar arus mencapai nilai batas arus *pickup* nya [6]. Meskipun beroperasi seketika relai tipe ini memiliki waktu operasi secara mekanik, kira-kira 100 milidetik. Relai sesaat sering diaplikasikan pada *outgoing feeder*.

2) *Relai dengan Waktu Tunda (Time delay Relay)*:

Relai dengan waktu tunda (*Time Delay Relay*) beroperasi saat arus mencapai nilai batas arus *pickup* nya. Berbeda dengan relai sesaat, relai dengan waktu tunda memiliki waktu tunda setelah relai mengalami *pickup*. Relai dengan waktu tunda beroperasi (mengirimkan sinyal *trip* kepada PMT) apabila lamanya gangguan arus lebih mencapai waktu tunda [6]. Relai dengan waktu tunda tidak akan bekerja terhadap arus *starting*, arus yang diizinkan, arus sentakan (*surge current*) [7]. Relai dengan waktu tunda dibagi menjadi dua, yaitu relai dengan waktu tunda definit, dan relai dengan waktu tunda invers.

Relai dengan waktu tunda definit memiliki waktu tunda yang tetap (tidak dipengaruhi besarnya arus gangguan). Relai dengan waktu tunda definit diaplikasikan sebagai proteksi cadangan relai jarak dalam proteksi saluran transmisi, sebagai proteksi cadangan *differential relay* dalam proteksi transformator daya, dan sebagai proteksi utama pada *outgoing feeder* dan *bus coupler* [7]. Sementara itu relai waktu tunda invers memiliki waktu tunda yang berlawanan dengan besarnya arus gangguan. Semakin besar arus gangguan akan menyebabkan relai beroperasi lebih cepat (semakin cepat mengirimkan sinyal *trip* kepada PMT).

Sesuai dengan standar IEC 60255 relai dengan waktu tunda inverse diklasifikasikan atas empat, yaitu [8]:

- *Standard Inverse*

$$t = TMS \left(\frac{0.14}{(I_r)^{0.02} - 1} \right) \tag{2.1}$$

- *Very Inverse*

$$t = TMS \left(\frac{13.5}{I_r - 1} \right) \tag{2.2}$$

- *Extremely Inverse*

$$t = TMS \left(\frac{80}{I_r^2 - 1} \right) \tag{2.3}$$

- *Long Time Inverse*

$$t = TMS \left(\frac{120}{I_r - 1} \right) \tag{2.4}$$

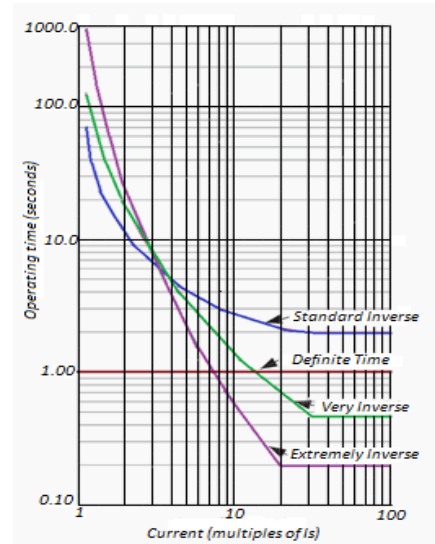
dimana:

t = waktu tunda relai (detik)

TMS = *time multiplier setting* (detik)

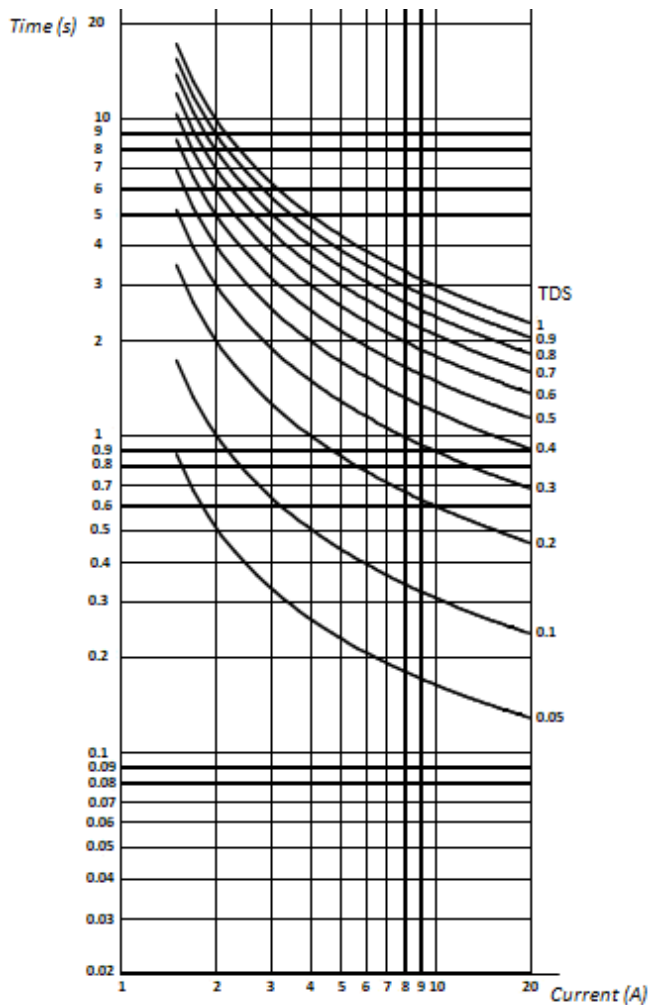
I_r = rasio arus, yaitu perbandingan antara arus gangguan dengan arus setting (Ampere)

Kurva karakteristik relai dengan waktu tunda dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Kurva karakteristik relai dengan waktu tunda [7]

Karakteristik waktu invers dapat digeser ke atas atau ke bawah tergantung dari pengaturan *time multiplier setting* (TMS) atau *time dial setting* (TDS). Kurva karakteristik relai dengan waktu tunda *inverse* berdasarkan pengaturan TDS dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Kurva karakteristik *Overcurrent Relay* SPCJ 4D29 berdasarkan pengaturan TDS [9]

B. Penyetelan Time-Delay Overcurrent Relay

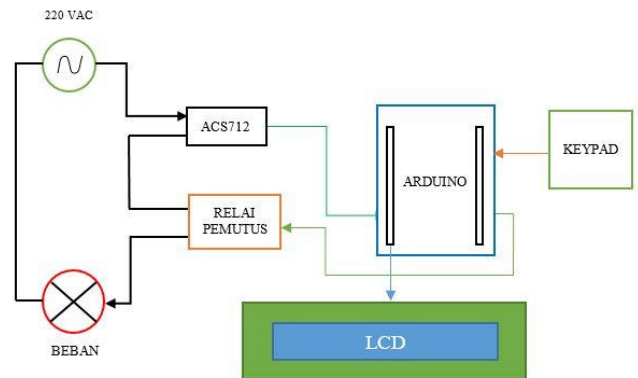
Dalam penyetelan *time-delay overcurrent relay* terdapat dua komponen yang harus diatur, yaitu *current tap setting* (setelan arus dalam satuan ampere) dan *time-dial setting* (pengaturan waktu tunda) [6]. Beberapa hal yang harus diperhatikan untuk melakukan penyetelan *time-delay overcurrent relay* yaitu arus beban maksimum yang dibebani pada saluran yang diproteksi, arus gangguan maksimum pada saluran yang diproteksi, faktor daya, kecepatan operasi PMT, dan rasio transformator arus.

Pada jaringan radial setelan paling rendah harus dilakukan pada titik yang paling jauh dari sumber, kemudian secara bertahap naik pada relai-relai berikutnya yang mendekati sumber.

III. METODE PENELITIAN

Simulasi relai arus lebih karakteristik standar invers dimulai dari merancang dan menghubungkan beberapa komponen yang dibutuhkan untuk menghasilkan sebuah relai arus lebih. Komponen-komponen yang dibutuhkan

yaitu sensor arus ACS712, mikrokontroler Arduino Uno, sakelar elektromagnetik *single pole double through* (SPDT), keypad dan *liquid crystal display* (LCD). Rancangan untuk simulasi relai arus lebih karakteristik standar invers dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.

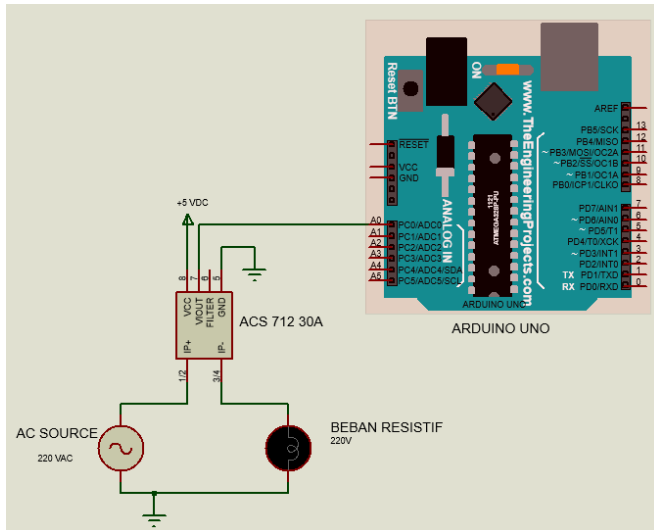


Gambar 4 Rancangan simulasi relai arus lebih karakteristik standar invers

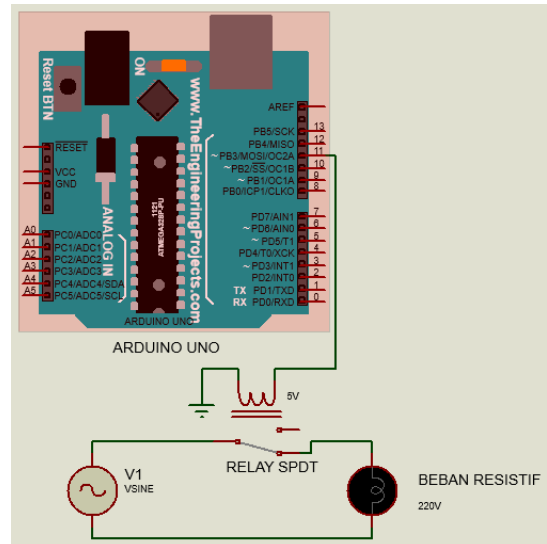
A. Rancangan dan Hubungan Komponen

Tahap ini dilakukan perancangan menggunakan *software* Proteus 8.6. Komponen-komponen yang digunakan dalam simulasi dihubungkan sesuai dengan teori yang telah dipelajari. Sehingga gabungan antara rangkaian simulasi dan perangkat lunak Arduino (program yang diisi kepada mikrokontroler dalam simulasi) akan memperlihatkan performansi relai arus lebih standar invers dalam bentuk simulasi.

1) *Sensor Arus ACS712 30A:* Sensor arus ACS712 30A berfungsi sebagai modul input yang akan memberikan informasi berupa besar arus yang dideteksi olehnya. Besar arus yang dideteksi dikirimkan ke Arduino Uno melalui kabel jumper female-male. Besar arus dikirimkan dalam bentuk tegangan dan dibaca oleh Arduino Uno dalam bentuk bilangan desimal, sehingga perlu dilakukan operasi terhadap nilai desimal tersebut untuk mendapatkan nilai arus yang sama dengan arus saluran yang dideteksi. Dalam konversi ini melibatkan proses sampling karena arus yang dideteksi berupa arus AC. Sensor arus ACS712 30A dipasang secara seri terhadap kabel saluran. Pemasangan sensor arus ACS712 dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.

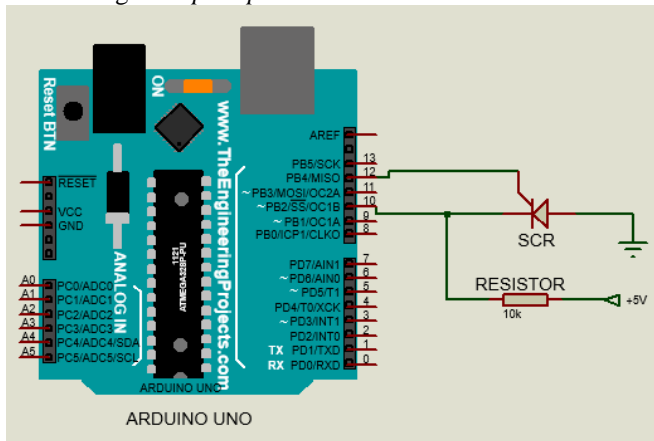


Gambar 5 Pemasangan sensor arus ACS712



Gambar 7 Pemasangan sakelar elektromagnetik

2) *Penghitung Durasi Gangguan:* Penghitung waktu pada simulasi ini menggunakan fungsi `millis()`. Penggunaan fungsi `millis()` dibantu oleh rangkaian *pullup* resistor. Rangkaian *pullup* resistor ini akan memberikan kondisi “HIGH” atau “LOW” kepada pin digital Arduino Uno. Kondisi tersebut dimanfaatkan sebagai penanda bahwa relai mengalami *pickup*. Apabila relai telah *pickup*, nilai `millis` saat relai *pickup* digunakan sebagai nilai acuan. Selanjutnya pada program dibuat penghitung durasi, yaitu: durasi = `millis()` – nilai acuan. Pada Gambar 6 berikut dapat dilihat rangkaian *pullup* resistor.

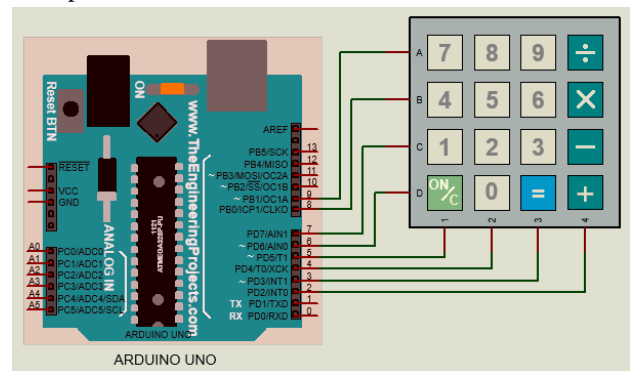


Gambar 6 Rangkaian pullup resistor

3) *Sakelar Elektromagnetik:* Ketika gangguan arus lebih terjadi melebihi waktu tunda, maka Arduino Uno akan mengirim tegangan 5V dari salah satu pin digital menuju koil sakelar elektromagnetik atau relai pemutus SPDT. Sehingga merubah posisi anak kontak sakelar yang sebelumnya menghubungkan menjadi memutuskan. Pemasangan relai pemutus dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.

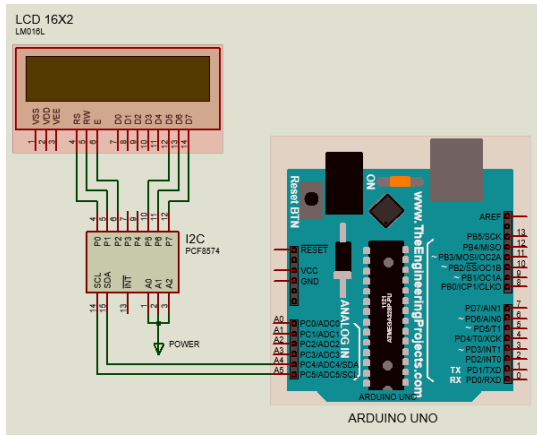
4) *Keypad:* Pada simulasi ini digunakan *keypad* sebagai *interface* yang dapat memberikan masukan berupa setelan arus yang diinginkan dan nilai TMS yang diinginkan kepada Arduino Uno. Untuk memberikan setelan arus ke ArduinoUno, tombol “.” ditekan. Setelah itu barulah dapat dimasukkan nilai batas arus sesuai yang dibutuhkan dan kemudian tombol “=” ditekan untuk memasukkan nilai *input* yang telah diberikan melalui *keypad*. Untuk memberikan masukan berupa nilai TMS ke ArduinoUno, terlebih dahulu ditekan tombol “x”. Setelah itu barulah dapat dimasukkan nilai TMS sesuai yang dibutuhkan, kemudian tombol “=” ditekan untuk memasukkan input yang telah diberikan melalui *keypad* kepada Arduino Uno.

Hubungan pin I/O keypad dengan Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 8 berikut.

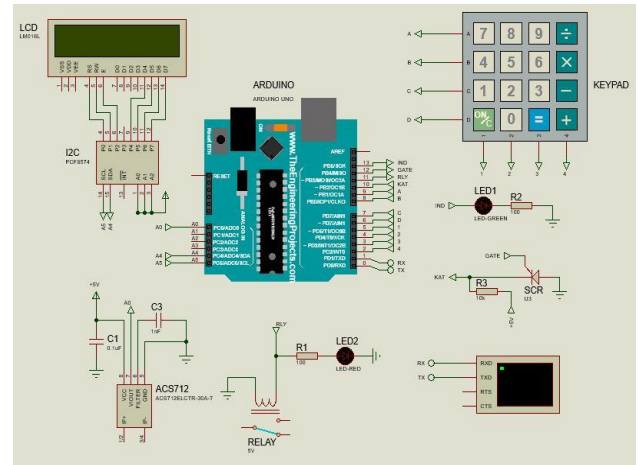


Gambar 8 Hubungan pin I/O keypad membran dengan Arduino Uno

5) *Liquid Crystal Display (LCD):* LCD digunakan untuk menampilkan parameter-parameter yang dibutuhkan sebagai informasi kepada pengguna. Penggunaan LCD dibantu dengan I2C untuk menghemat penggunaan pin Arduino Uno. Pemasangan LCD dapat dilihat pada Gambar 9 berikut.



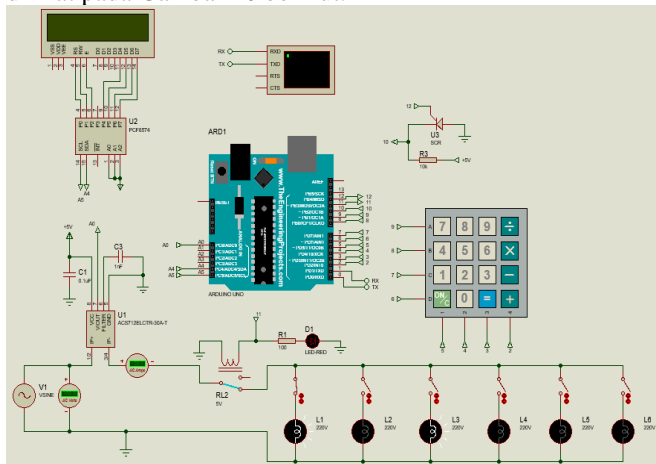
Gambar 9 Pemasangan LCD dengan Arduino Uno



Gambar 11 Rangkaian perancangan dan simulasi

6) *Pengujian Relai Arus Lebih:* untuk

menghasilkan besar arus yang berbeda, maka dibuatlah beberapa beban resistif. Masing-masing beban dilengkapi dengan satu sakelar untuk memudahkan pengaturan beban (menghidupkan atau mematikan beban). Semakin banyak beban yang aktif akan membuat arus semakin besar. Rangkaian pengujian untuk simulasi relai arus lebih dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10 Rangkaian pengujian untuk simulasi relai arus lebih

B. *Perancangan dan Pembuatan Program*

Untuk mengoperasikan rangkaian simulasi dilakukan perancangan dan pembuatan program yang akan digunakan untuk simulasi, yaitu penyusunan logika pemrograman dan melakukan pemrograman menggunakan *software* Arduino IDE 1.8.5.0.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dibahas mengenai hasil simulasi relai arus lebih karakteristik standar invers. Simulasi dilakukan untuk jenis beban resistif. Relai arus lebih yang disimulasikan dapat dilihat pada Gambar 11 berikut.

A. *Pembacaan Arus oleh Sensor Arus ACS712 30A*

Hasil pembacaan arus oleh sensor arus ACS712 30A, pembacaan Amperemeter, dan persentase kesalahan pembacaan arus oleh sensor arus ACS712 30A dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

TABEL 1
HASIL PENGUJIAN PEMBACAAN ARUS MENGGUNAKAN SENSOR ARUS ACS712 30A

Pengukuran Amperemeter (A)	Pengukuran ACS712 30A (A)	Galat (%)
1	0.99	1
2	1.99	0.5
3	2.99	0.33
4	3.98	0.5

B. *Pengujian Arus Beban Lebih*

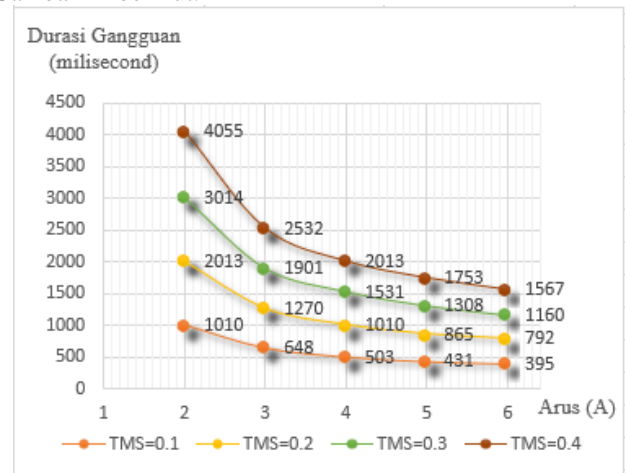
Simulasi relai arus lebih dengan karakteristik standar invers terhadap arus beban lebih akibat penggunaan beban resistif dilakukan untuk melihat performansi relai arus lebih karakteristik standar invers ketika terjadi gangguan arus lebih. Hasil simulasi relai arus lebih karakteristik standar invers saat terjadi gangguan arus beban lebih akibat penggunaan beban resistif dengan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut. Pada tabel hasil pengujian ini telah disertakan hasil pengujian dengan beberapa pengaturan nilai TMS. Sehingga dapat dilihat pengaruh pengaturan nilai TMS yang dilakukan.

TABEL II
HASIL SIMULASI RELAI ARUS LEBIH KARAKTERISTIK STANDAR INVERS SAAT TERJADI GANGGUAN BERUPA ARUS BEBAN LEBIH DENGAN BEBERAPA PENGATURAN NILAI TMS

I setting = 1A dan TMS=0.1 Relai Pickup = 1.01A			Galat (%)
Arus (Ampere)	Waktu Tunda SI IEC 60255 (milisecond)	Waktu Relai Trip (milisecond)	
2	1002.90	1010	0.71
2.99	632.14	648	2.51
3.99	498.89	503	0.82
4.97	429.60	431	0.33
5.97	384.82	395	2.65
I setting = 1A dan TMS=0.2 Relai Pickup = 1.01A			Galat (%)
Arus (Ampere)	Waktu Tunda SI IEC 60255 (Ampere)	Waktu Relai Trip (milisecond)	
2	2005.80	2013	0.36
2.99	1264.27	1270	0.45
3.99	997.78	1010	1.22
4.97	859.21	865	0.67
5.97	769.63	792	2.91
I setting = 1A dan TMS=0.3 Relai Pickup = 1.01A			Galat (%)
Arus (Ampere)	Waktu Tunda SI IEC 60255 (milisecond)	Waktu Relai Trip (milisecond)	
2	3008.71	3014	0.18
2.99	1896.41	1901	0.24
3.99	1496.67	1531	2.29
4.97	1288.81	1308	1.49
5.97	1154.45	1160	0.48
I setting = 1A dan TMS=0.4 Relai Pickup = 1.01A			Galat (%)
Arus (Ampere)	Waktu Tunda SI IEC 60255 (milisecond)	Waktu Relai Trip (milisecond)	
2	4011.61	4055	1.08
2.99	2528.54	2532	0.14
3.99	1995.56	2013	0.87
4.97	1718.42	1753	2.01
5.97	1539.26	1567	1.8

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa hasil simulasi menunjukkan bahwa relai arus lebih karakteristik standar invers bekerja sesuai dengan teori. Waktu tunda relai arus lebih semakin kecil saat arus gangguan semakin besar. Semakin besar setelan TMS terhadap setelan arus yang sama,

maka waktu tunda relai untuk mengirimkan sinyal *trip* akan semakin besar. Grafik hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 12 berikut.



Gambar 12 Hasil simulasi relai arus lebih karakteristik standar invers saat terjadi gangguan berupa arus beban lebih akibat penggunaan beban resistif dengan beberapa variasi TMS

V. KESIMPULAN

Dari simulasi yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa sensor arus ACS712 30A mampu melakukan pengukuran arus dengan baik, ini dibuktikan dengan persentase kesalahan (galat) terbesar yang didapatkan yaitu sebesar 1%. Prototipe relai arus lebih memiliki karakteristik invers dalam mengamankan saluran listrik dari gangguan berupa arus lebih. Ini dibuktikan dengan semakin cepat sakelar elektromagnetik (Relai SPDT) memutuskan saluran listrik apabila gangguan arus lebih yang terjadi semakin besar. Semakin besar setelan TMS terhadap setelan arus yang sama, maka waktu tunda relai untuk mengirimkan sinyal *trip* akan semakin besar

REFERENSI

- [1] J. L. Blackburn and T. J. Domin, *Protective Relaying Principles and Applications*, Boca Roton: CRC Press, 2007.
- [2] J. M. Gers and E. J. Holmes, *Protection of Electricity Distribution Networks 2nd Edition*, London: The Institution of Electrical Engineers, 2005.
- [3] Cahayahati and M. Zoni, "Perancangan Rele Arus Lebih Dengan Karakteristik Standar Invers Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 1, no. 2302-2949, pp. 51-57, 2012.
- [4] IEC, "International Electrotechnical Commission," 17 November 2017. [Online]. Available: <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=811-31-12>. [Accessed November 2017].
- [5] H. Ekhlas, "LinkedIn," 15 July 2014. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/20140715135139-159955161-protective-relay>. [Accessed 2 January 2018].
- [6] J. D. Glover, M. S. Sarma and T. J. Overbye, *Power System Analysis & Design*, Christopher M. Shortt, Unknown - USA, 2012.
- [7] Jiguparmar, "Electrical Engineering Portal," 1 February 2013. [Online]. Available: <http://electrical-engineering-portal.com/types-and-applications-of-overcurrent-relay-1>. [Accessed 2 January 2018].

- [8] B. Pandjaitan, *Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*, Yogyakarta: Andi, 2012.
- [9] Unknown, "SPCJ 4D29 Overcurrent and earth-fault relay module," ABB, Unknown, Unknown.