RANCANG BANGUN MODUL SISTEM PROTEKSI TEGANGAN RENDAH

SITI SAODAH [1], ACENG DAUD[1] ,ALI MASYAR[1], AHMAD DENI[1]

[1] Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung
Email : siti.saodah@polban.ac.id

ABSTRAK

Saluran tegangan rendah adalah salah satu saluran tenaga listrik yang penting dan mahal dalam penyaluran sistem tenaga listrik. Untuk keandalan peyaluran sistem tenaga listrik, proteksi saluran tegangan rendah sangat penting dipasang dengan ukuran dan seting sesuai dengan kondisi beban dan jenis gangguan. Ada berbagai jenis proteksi saluran yang ada dilapangan yang sebenarnya seperti proteksi under/over voltage, under/over frequency, over load - over current, dan earth fault. Untuk memberikan nuansa dan paparan dari proteksi ini, maka simulasi hardware diimplementasikan dalam bentuk modul. Proteksi terhadap berbagai gangguan dan kelainan akan disimulasikan. Modul simulasi ini akan praktis dibangun di Laboratorium Proteksi Jurusan Teknik Konversi Energi. Dalam penelitian ini, akan menggunakan kontaktor bukan pemutus sirkuit (CB) dan untuk proteksi, akan menggunakan relay elektromagnetik, statis, dan pengaman konvensional seperti sekering lebur (Fuse), relai beban lebih termal (TOR), pemutus tenaga (MCB), pengaman arus bocor (ELCB). Ini adalah upaya akademis untuk menunjukkan konsep dan kinerja proteksi saluran tegangan rendah dilingkungan laboratorium.

***Kata Kunci**: Sistem proteksi, Under/Over Voltage, under/over Frequency, Over Current, Earth fault, Fuse, MCB, TOR, ELCB*

1. PENDAHULUAN

Untuk memahami fenomena, konsekuensi dan deteksi gangguan, adalah penting untuk mensimulasikan gangguan praktis di laboratorium. Banyak upaya telah dilakukan dilingkungan akademik untuk menunjukkan konsep proteksi untuk berbagai peralatan sistem tenaga listrik. Dalam dua dekade terakhir, laboratorium yang berbeda berfokus pada pengajaran dan meneliti bidang proteksi sistem tenaga telah dilaporkan **Sidhu [1] dan Sachdev [2].**

Redfern et al.[3] melaporkan fasilitas pengujian kinerja relay menggunakan simulasi modul saluran transmisi. Makalah ini menjelaskan baik perangkat keras dan strategi perangkat lunak dan mendokumentasikan hasil kinerja relay arus lebih seketika dan relay daya balik. **Carullo dan Nwankpa [5]** menjelaskan laboratorium yang berfokus pada aspek akuisisi data, manajemen energi dan kontrol pengawasan sistem tenaga yang membentuk dasar dari sistem proteksi modern.`

Kabir[6] dan Wei-Jen [4] mendokumentasikan kinerja percobaan laboratorium pada skala bawah sistem tenaga yang dilindungi oleh satu komputer menerapkan strategi proteksi over-current dan protektif relay. **Chen [7]** melaporkan pelaksanaan laboratorium skema proteksi arus mikroprosesor berbasis cerdas yang melekat. **McLaren et al.[8]** melaporkan fasilitas pengujian relay berdasarkan *Real Time Digital Simulator* (RTDS).

Perlengkapan listrik harus bekerja dengan baik pada kondisi normal dan tidak akan membahayakan dan merusak peralatan jika terjadi gangguan. Perlengkapan listrik harus disusun dan dipasang secara baik sehingga pelayanan, pemeliharaan dan pemeriksaan dapat dilakukan secara aman. Selain itu setiap perlengkapan listrik yang digunakan dalam instalasi listrik harus memenuhi peraturan umum instalasi listrik (PUIL) 2011, harus mencantumkan nama pembuat dan merk dagang, mencantumkan daya, tegangan dan arus pengenal, serta data-data teknis yang disyaratkan standar nasional Indonesia (SNI). **Standar Nasional Indonesia [9] Sugandi, dkk [10] Siemen Hand Book [11] Harten, P.Van,Setiawan [12]**

Pengaman lebur atau mini *circuit breaker* (MCB) berfungsi untuk memutuskan rangkaian jika arus yang melebihi arus nominalnya/kerja, waktu pemutusan tergantung dari besarnya arus yang mengalir, semakin besar arus yang mengalir waktu pemutusannya akan semakin cepat. Fungsi dan kegunaan *Fuse*/Pengaman Lebur Pada Instalasi Listrik Tegangan Rendah adalah merupakan suatu alat listrik yang akan tanggap terhadap arus lebih dari sistem/peralatan yang dilindunginya dengan sistem kerja fuse dapat memutus (memadamkan) arus lebih dan tahan terhadap perubahan tegangan balik (*transient recovery voltage*) yang timbul karena pemutusan tersebut. Cara kerja pengaman lebur adalah berdasarkan panas yang timbul akibat arus listrik yang mengalir pada elemen dari pengaman lebur. Pada keadaan normal, yaitu arus yang mengalir pada elemen leburnya sama atau lebih kecil dari arus nominal (rating) dari pelebur, suhu elemen lebur tetap (konstan). Pada keadaan arus melebihi arus nominalnya maka suhu elemen leburnya naik dengan cepat dan bila titik cairnya dicapai, maka elemen leburnya akan putus.

Mini circuit breaker (MCB) memproteksi arus lebih yang disebabkan terjadinya beban lebih dari arus lebih karena adanya hubung pendek. Prinsip kerja MCB sangat sederhana, ketika ada arus lebih maka arus lebih tersebut akan menghasilkan panas pada bimetal, saat terkena panas bimetal akan melengkung sehingga memutuskan kontak MCB (Trip). Selain bimetal, pada MCB biasanya juga terdapat solenoid yang akan mengtripkan MCB ketika terjadi grounding (*ground fault*) atau hubung singkat (*short circuit*).

Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB) ini merupakan suatu alat pemutus daya yang akan bereaksi apabila terjadi beban lebih dan apabila terjadi arus bocor ke tanah pada besaran tertentu. Sebagai contoh *ELCB* dengan arus bocor 30 mA untuk peralatan-peralatan kerja yang dalam operasinya tidak bersentuhan langsung dengan tubuh manusia, 10 mA untuk peralatan-peralatan yang dalam operasinya bersentuhan langsung dengan tubuh (alat penyukur rambut, *bathing tube*, dll.). Alat ini juga dikembangkan untuk pencegahan kebakaran, yaitu dengan arus bocor 400-500 mA. Seperti yang telah disebutkan di bagian sebelumnya bahwa kebakaran sering diakibatkan oleh arus bocor ke tanah, dari yang sangat rendah kemudian berangsur-angsur meningkat hingga mencapai kemampuan membakar, yaitu 400-500 mA.

Thermal relay atau *overload relay* adalah peralatan *switching* yang peka terhadap suhu dan akan membuka atau menutup kontaktor pada saat suhu yang terjadi melebihi batas yang ditentukan atau peralatan kontrol listrik yang berfungsi untuk memutuskan jaringan listrik jika terjadi beban lebih. *Thermal overload relay (TOR)* mempunyai tingkat proteksi yang lebih efektif dan ekonomis, yaitu: pelindung beban lebih /*Overload*, melindungi dari

ketidakseimbangan phasa (*Phase failure imbalance*), melindungi dari kerugian/kehilangan tegangan phasa (*Phase Loss*).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Desain Perancangan

Tujuan pertama penelitian kami adalah untuk memahami dan menunjukkan kondisi gangguan pada saluran tegangan rendah yang mungkin terjadi pada sebuah saluran tenaga listrik, sebagai contoh, gangguan hubung singkat, beban lebih, dan arus bocor ke tanah. Untuk mencapai tujuan ini kami akan merencanakan dan mengaplikasikan simulasi laboratorium proteksi saluran tegangan rendah terhadap semua gangguan yang mungkin terjadi sesuai kriteria yang berlaku melalui eksperimental, sebagaimana diperlihatkan pada di bawah ini Tahapan perencanaan dan pelaksaaan simulasi laboratorium proteksi terdiri dari beberapa tahap sbb:

- Tahap 1: mengidentifikasi semua peralatan dan instrument yang ada di laboratorium.

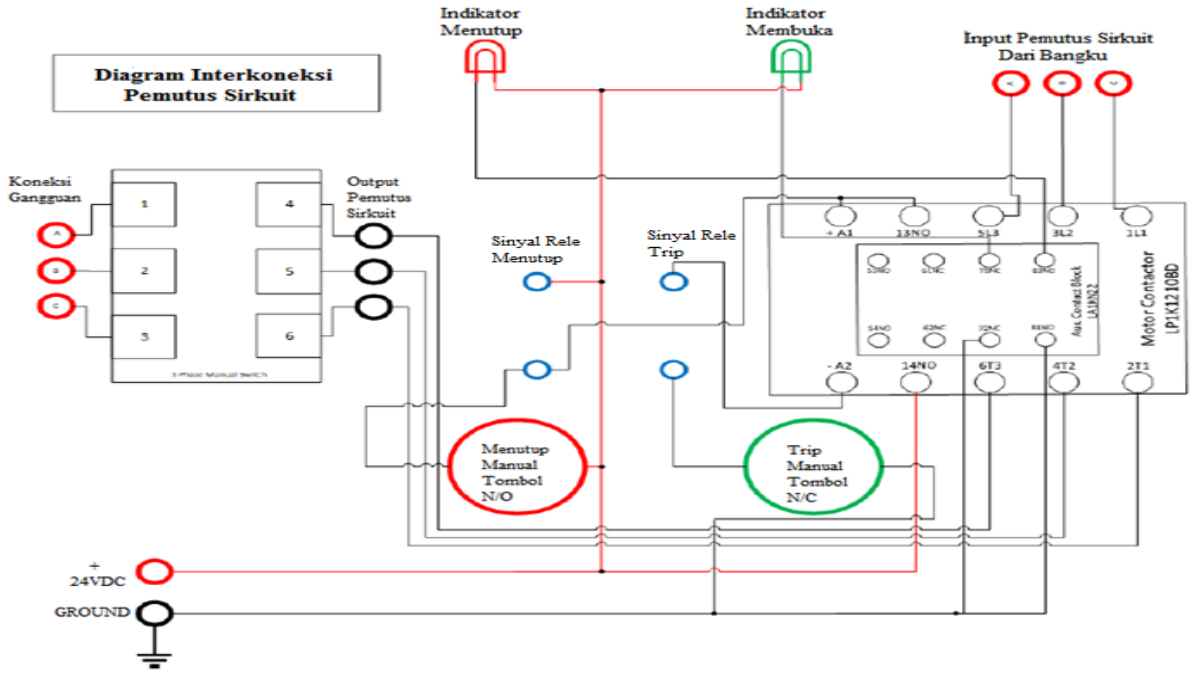
- Tahap 2: perencanaan dan pembuatan suplai daya AC 220 volt dan DC 24 volt. Karena modul yang diusulkan akan menggunakan 24 VDC untuk menyalakan elektronik internal, LED dan kontaktor motor 3 fase harus diberi peringkat untuk tegangan ini. Arus operasi normal sistem ada pada urutan microampere, dan sebagian besar LED dan kontaktor motor harus sudah diberi nilai jauh di atas ini. Seperti disebutkan sebelumnya, daya ini akan keluar dari stopkontak dan melalui adaptor daya (AC ke DC converter) yang akan menghasilkan input 24VDC ke pemutus sirkuit.

- Tahap 3: perencanaan dan pembuatan rangkaian pemutus sirkuit 4 buah. Di laboratorium proteksi ada total 8 bangku dengan satu didedikasikan untuk proyek penelitian. Jadi dengan sisa 7 bangku lab, tujuan akhir untuk penelitian ini adalah untuk mendapatkan setidaknya 2 pemutus sirkuit yang dibangun untuk setiap bangku. Ini akan meninggalkan 1 atau 2 pemutus sirkuit cadangan yang dapat digunakan sebagai pengganti bila diperlukan

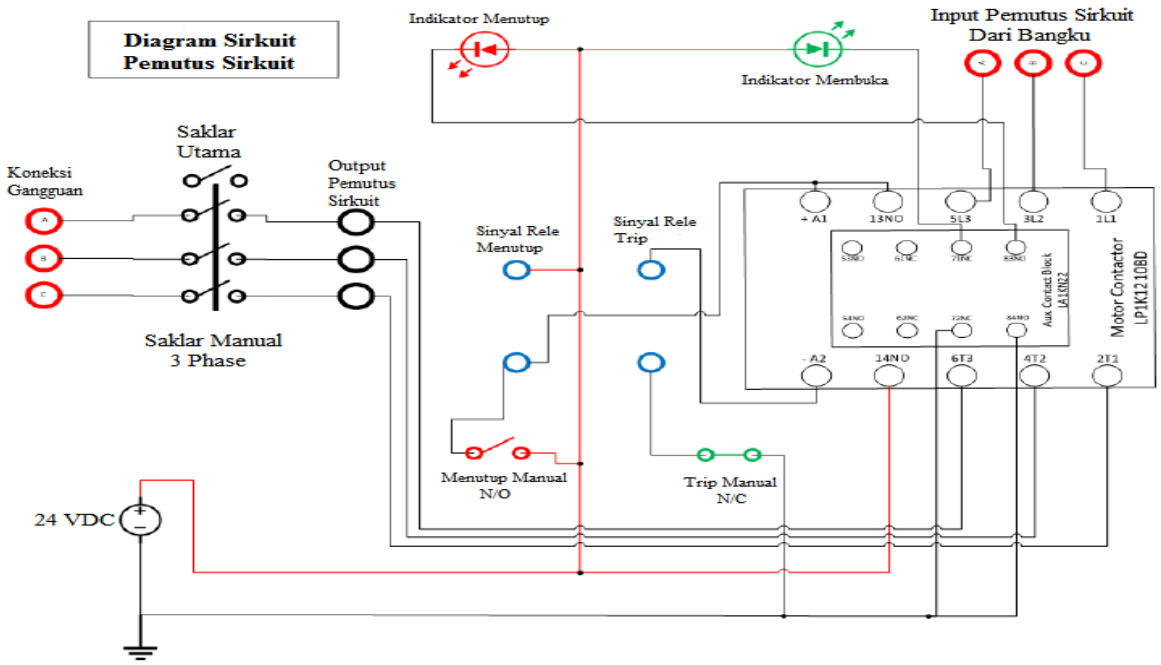
- Tahap 4: perencanaan dan pembuatan sirkuit untuk mensimulasikan berbagai konfigurasi gangguan dan proteksi. Akan tombol yang akan digunakan untuk membuka dan menutup pemutus sirkuit secara manual. Tombol-tombol ini akan terhubung untuk menyampaikan input untuk memungkinkan pemutus bekerja.

- Tahap 6: perencanaan dan pembuatan modul simulasi semua proteksi sesuai dengan kriteria agar praktikan mudah dan aman dalam melaksanakan percobaan dan penyelidikan.

Salah satu rancangan penelitian dari simulasi laboratorium proteksi saluran tegangan rendah untuk pemutus sirkuit dan kontrolnya ditunjuknan pada Gambar 1 dan 2 di bawah.



Gambar 1 Diagram Pengawatan Internal

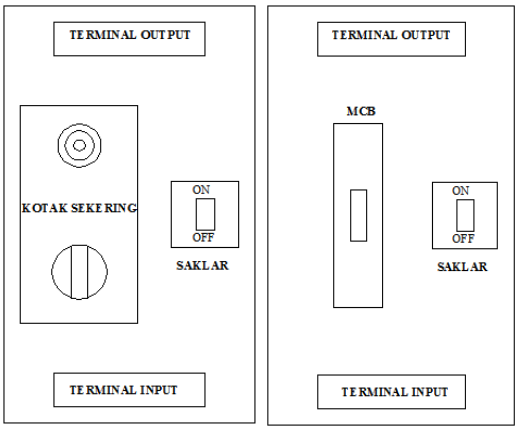


Gambar 2 Skema Sirkit Berserta Komponennya

Gambar 2 menunjukkan skema rangkaian yang akan digunakan untuk membuat koneksi internal ketika membangun pemutus sirkuit. Penggunaan kontaktor motor diperlukan untuk mengelola jumlah sakelar yang diperlukan untuk pengoperasian yang benar. Kontaktor motor itu sendiri mengandung serangkaian sakelar. Posisi *default* sakelar, biasanya terbuka atau biasanya tertutup, dinyatakan pada lembar data kontaktor motor.

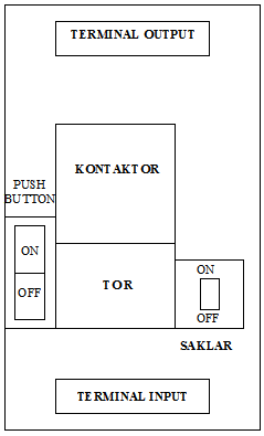
Persyaratan desain untuk proteksi konvensional seperti Sekering, MCB, TOR, dan ELCB adalah bagaimana membuat modul yang mudah dioperasikan, mudah dipahami, aman, dan murah. Untuk mencapai hal tersebut, kami rencanakan pembuatan proteksi konvesnsional tersebut dalam sebuah papan yang ringan, non-konduktif dan disesuaikan dengan ukuran pengaman-pengaman tersbeut.

Berikut adalah gambar desain dari modul proteksi konvensional yang akan dibuat, di mana setiap modul proteksi memiliki ukuran yang sama dengan panjang 25 cm, lebar 15 cm, dan tinggi 3 cm. Gambar 4.4 di bawah menunjukkan layout desain proteksi konvensional untuk sekering, MCB, TOR, dan ELCB, di mana setiap proteksi disediakan saklar yang berfungsi untuk menghubung singkat proteksi pada saat pengaturan arus beban, sehingga arus beban tidakmelalui proteksi yang akan diamati.

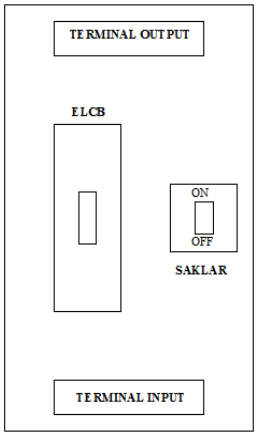


(a)

(b)



(c)



(d)

Gambar 3 Layout Modul Proteksi (a),Sekering, (b) MCB, (c) TOR, dan (d) ELCB

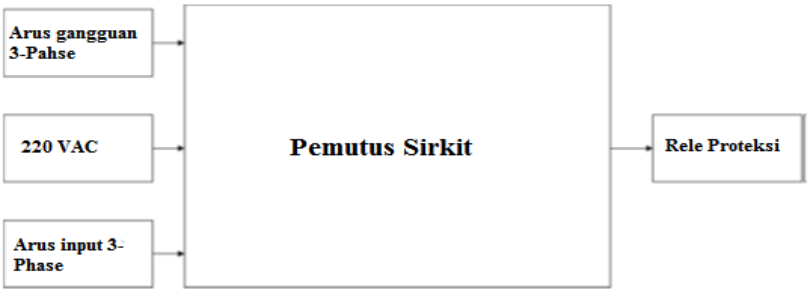
Tabel 1 Ringkasan Parameter Modul Pemutus Sirkit

Parameter	Ringkasan
Koneksi antara output pemutus dan input gangguan	• Tiga terminal di bagian "*Fault*" dan tiga terminal pada input • Koneksi akan dibuat secara internal daripada dengan lead pendek eksternal.
Membuat 4-9 atau lebih banyak pemutus	• 8 pemutus diperlukan untuk memungkinkan 2 pemutus sirkuit menyala masing-masing dari 4 bangku lab • 1 pemutus ekstra sebagai cadangan
Menyusun pelat muka	• Konfigurasi pelat muka yang lebih intuitif akan memungkinkan pengguna untuk memahami apa yang terjadi dengan lebih jelas • Tombol tekan close dan trip secara manual untuk memahami pemutus sirkit dengan lebih jelas • Lampu tanda close dan trip serta buzzer untuk mengetahui kondisi pemutus sirkit menutup atau trip.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Rancangan Modul

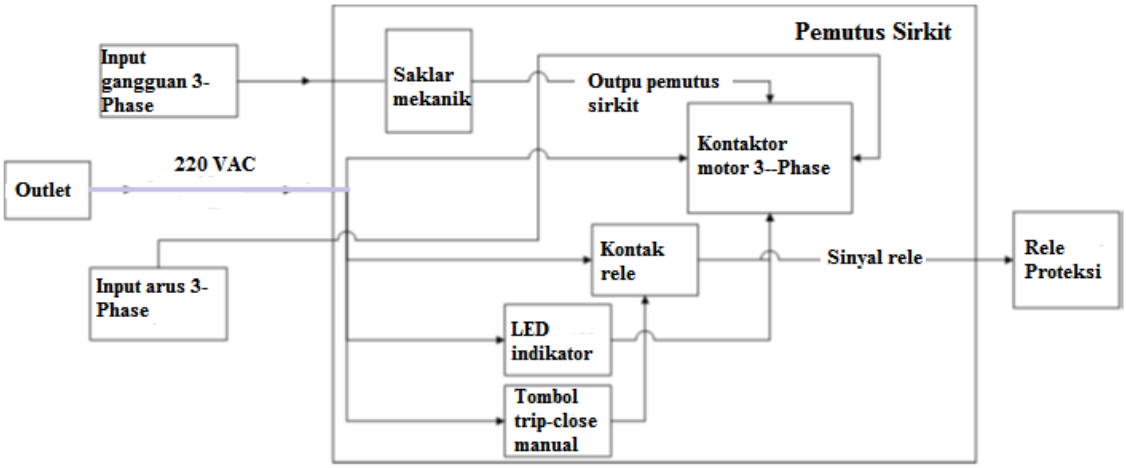
Gambar 4 menunjukkan diagram blok untuk modul pemutus sirkit yang diusulkan yang hanya menunjukkan input dan output ke pemutus sirkuit.



Gambar 4 Diagram Blok Pemutus Sirkit

Gambar 5 menunjukkan diagram blok untuk pemutus sirkuit. Ini menunjukkan input dan output serta koneksi internal dasar dan bagian-bagian dalam pemutus sirkuit. Seperti yang ditunjukkan, ada tiga input: daya, input arus tiga fasa, dan input gangguan. Hanya satu output

yang ada yang ke *relay* perlindungan. Di dalam pemutus, akan ada sakelar mekanis, kontaktor motor tiga phase, LED indikator, tombol tutup manual dan trip serta relai kontak.



Gambar 5 Diagram Blok Pemutus Sirkit

Pemutus sirkuit yang dipasok oleh 125VDC dari bangku lab di laboratorium sistem proteksi tidak fleksibel untuk lab ini dan karenanya tidak akan bekerja di ruang lab lain kecuali jika tersedia catu daya 125VDC. Karena itu tujuannya adalah untuk menghilangkan ketergantungan pada pengaturan bangku laboratorium yang unik dengan memberi daya pada pemutus sirkuit menggunakan outlet 220VAC standar.

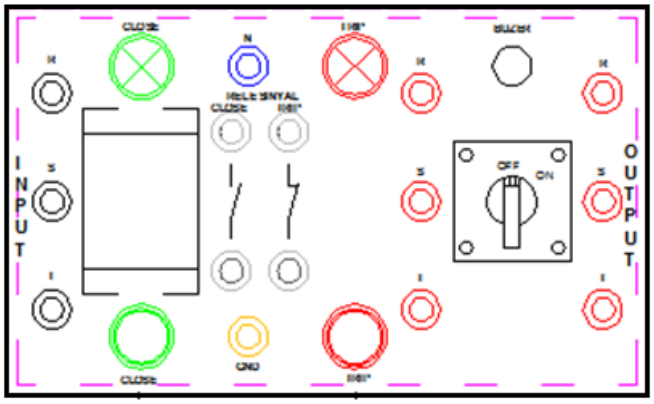
Modul pemutus juga akan dirancang agar lebih hemat ruang dan akan memberikan tata letak yang lebih intuitif bagi pengguna. Ini dapat mencegah kebingungan ketika kabel diterapkan ke pemutus sirkit, yang dapat mengakibatkan lebih sedikit kerusakan pada komponen internal karena kabel yang tidak tepat.

Persyaratan desain akhir adalah pembangunan pemutus sirkuit 4 buah. Di laboratorium proteksi di gedung Laboratorium surya, ada total 5 bangku dengan satu didedikasikan untuk proyek tugas akhir/skripsi dan penelitian. Jadi dengan sisa 4 bangku lab, tujuan akhir untuk proyek senior ini adalah untuk mendapatkan setidaknya 3 pemutus sirkuit yang dibangun untuk setiap bangku. Ini akan meninggalkan 1 atau 2 pemutus sirkuit cadangan yang dapat digunakan sebagai pengganti bila diperlukan.

LED dan kontaktor motor 3 phase akan diberi peringkat untuk tegangan ini 220 VAC. Arus operasi normal sistem ada pada urutan 3 amper, dan sebagian besar LED dan kontaktor motor harus sudah diberi nilai jauh di atas ini. Seperti disebutkan sebelumnya, daya ini akan keluar dari stopkontak 220 VAC langsung ke pemutus sirkit.

Untuk modul pemutus yang diusulkan, spesifikasi mekanis terdiri dari sakelar mekanis manual, yang akan digunakan untuk menggerakkan konfigurasi gangguan yang diatur oleh siswa yang melakukan praktikum. Tombol mekanis akan digunakan untuk membuka dan menutup pemutus sirkuit secara manual juga. Tombol-tombol ini terhubung untuk menghunbugkan input untuk memungkinkan pemutus bekerja.

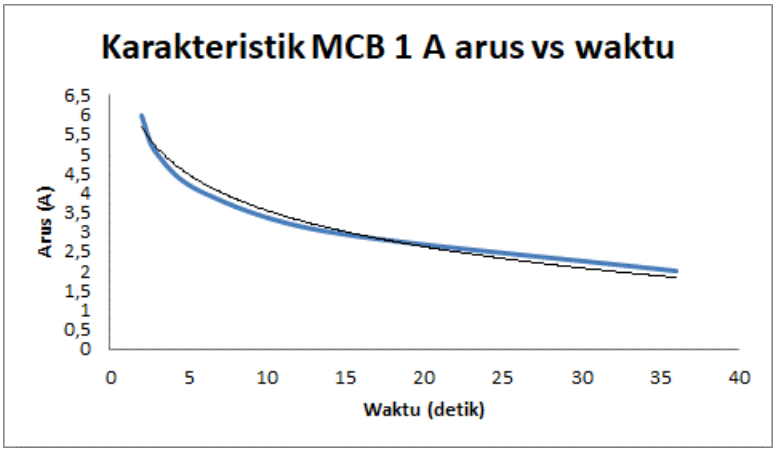
Dimensi yang ditargetkan dari pemutus sirkuit yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 6 Pemutus sirkuit panjangnya 25 cm, lebar 9 cm, dan tinggi 21cm. Dimensi ini tidak termasuk bagian ekstrusi seperti kabel daya atau titik koneksi atas.



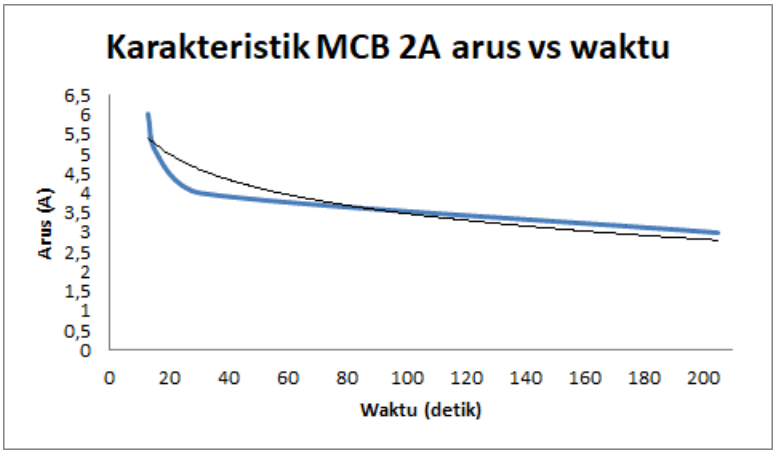
Gambar 6 Dimensi Pemutus Sirkit

3.2Pengujian dan Analisa

Pengujian yang dilakukan pada MCB, TOR dan ELCB. Hasil pengujian untuk MCB dengan kapasitas 1 ampere menunjukkan bahwa ketika MCB dibebani dengan arus 2, 3, 4, 5 dan 6 ampere, MCB akan trip setelah 36 detik, 16 detik, 6 detik, 3 detik dan 2 detik. Ketika MCB dibebani arus yang melebihi arus nominalnya maka waktu yang dibutuhkan untuk trip semakin pendek. Hal tersebut dapat terlihat pada gambar 7. MCB baru trip setelah dibebani arus sebesar 100% dari spesifikasi alat yang tertera. Untuk MCB dengan kapasitas 2 ampere menunjukkan bahwa ketika MCB dibebani dengan arus 3, 4, 5 dan 6 ampere, MCB akan trip setelah 205 detik, 31 detik, 16 detik, 13 detik. Hal tersebut dapat terlihat pada gambar 8. MCB baru trip setelah dibebani arus sebesar 100% dari spesifikasi alat yang tertera.

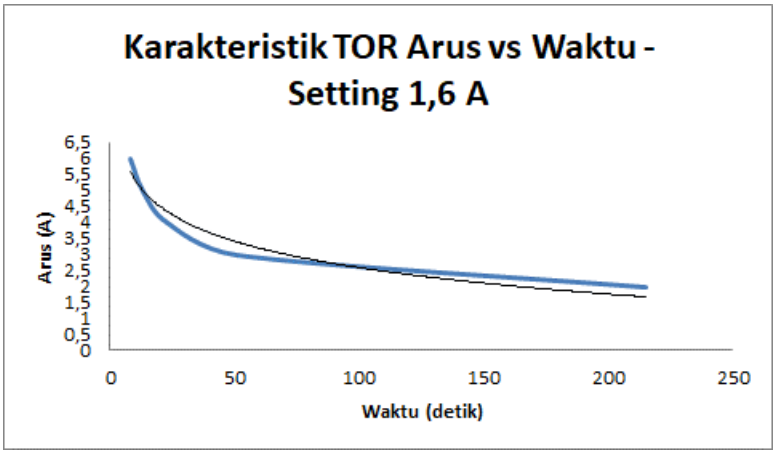


Gambar 7 Karakteristik MCB untuk 1 Ampere

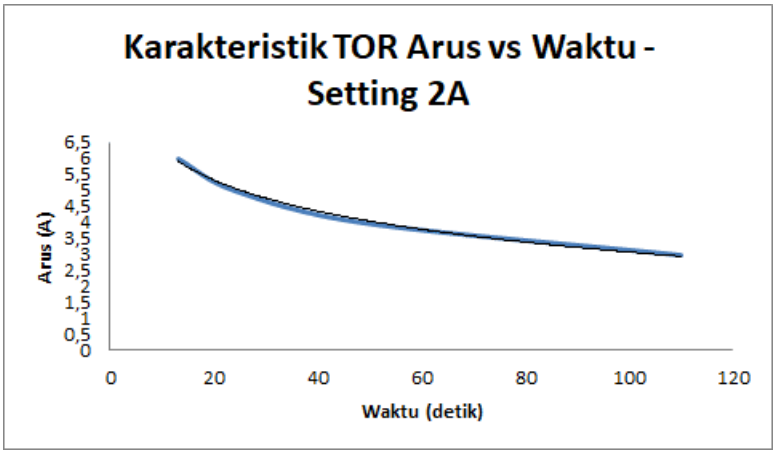


Gambar 8 Karakteristik MCB untuk 2 Ampere

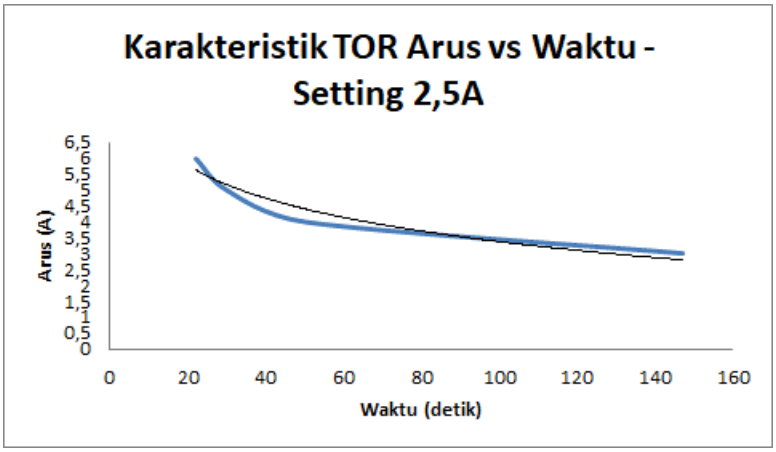
Pengujian terhadap TOR dilakukan dengan *setting* arus yang berbeda-beda yaitu 1,6 A, 2 A dan 2,5 A. Untuk TOR dengan *setting* arus 1,6 A akan mengalami *trip* setalah dibebani arus sebesar 80 % dari spesifikasi alat yang tertera. TOR dengan *setting* arus 2 A akan mengalami *trip* setalah dibebani arus sebesar 67,7 % dari spesifikasi alat yang tertera. Sedangkan TOR dengan *setting* arus 2,5 A akan mengalami *trip* setalah dibebani arus sebesar 83,3 % dari spesifikasi alat yang tertera. Karakteristik arus terhadap waktu TOR tidak jauh berbeda dengan karakteristik arus terhadap waktu MCB. Ketika TOR dibebani arus yang melebihi arus nominalnya maka waktu yang dibutuhkan untuk trip semakin pendek. Kurva karakteristik arus terhadap waktu untuk TOR dapat dilihat pada gambar 9, 10 dan 11.



Gambar 9 Karakteristik TOR untuk setting 1,6 Ampere



Gambar 10 Karakteristik TOR untuk setting 2 Ampere



Gambar 11 Karakteristik TOR untuk setting 2 Ampere

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil membuat modul praktikum sistem proteksi saluran tegangan rendah. Pengujian terhadap modul yang dihasilkan meliputi kondisi gangguan yang mungkin terjadi pada saluran tegangan rendah, kualitas skema proteksi saluran tegangan rendah dan perangkat proteksi, tes kinerja dan operasi relay otomatis terhadap saluran tegangan rendah. Hasil pengujian MCB menunjukkan bahwa MCB akan mengalami trip setelah diberikan arus beban sebasar 100 % dari spesifikasi arus yang tertera. Sedangkan untuk TOR akan mengalami trip setelah diberikan arus beban sebasar 77 % dari spesifikasi arus yang tertera

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Unit Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (UPPM) Politeknik Negeri Bandung yang telah membiayai penelitian dan yang telah mendorong, menginisiasi dan mendidik peneliti-peneliti muda untuk berkembang dan mengikuti perkembangan penelitian di Indonesia maupun dunia

DAFTAR RUJUKAN

[1].T. S. Sidhu and M. S. Sachdev, "Laboratory setup for teaching and research in computer-based power system protection," in Proc. Int. Conf. Energy Manage. Power Delivery, vol. 2, 1995, pp. 474–479.

[2].M. S. Sachdev and T. S. Sidhu, "Laboratory for research and teaching of microprocessor-based power system protection," IEEE Transactions on Power System., vol. 11, no. 2, pp. 613–619, May 1996.

[3].M. A. Redfern, R. K. Aggarwal, and G. C. Massey, "Interactive power system simulation for the laboratory evaluation of power system protection relays," in Proc. Int. Conf. Develop. Power System Protection, vol. 302, 1989, pp. 215–219.

[4].L.Wei-Jen, G. Jyh-Cherng, L. Ren-Jun, and D. Ponpranod, "A physical laboratory for protective relay education," IEEE Transactions on Education, vol. 45, no. 2, pp. 182–186, May 2002.

[5].S. P. Carullo and C. O. Nwankpa, "Interconnected power system laboratory: a computer automated instructional facility for power system experiments," IEEE Transactions on Power System., vol. 17, no. 2, pp. 215–222, May 2002.

[6].S. M. Lutful Kabir, "Computer operated coordinated over-current protection scheme," in Proc. Univ. Power Engg. Conf., 2000, pp. 79–83.

[7].Z. Chen, A. Kalam, and A. Zayegh, "Advanced microprocessor based power protection system using artificial neural network techniques," in Proc. Int. Conf. Energy Manage. Power Del., vol. 1, 1995, pp. 439–444.

[8].P. G. McLaren, R. Kuffel, R. Wierckx, R. J. Giesbrecht, and L. Arendt, "A real time digital simulator for testing relays," IEEE Transactions on Power Delivery., vol. 7, no. 1, pp. 207–213, Jan. 1992.

[9].Standar Nasional Indonesia. 2011. *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011)*. Jakarta: BSN.

[10]. Sugandi, dkk. 2001. Panduan Instalasi Listrik Untuk Rumah Tangga berdasarkan PUIL 2011. Yayasan Usaha Penunjang Tenaga Listrik.Copper Development Center. South East Asia.

[11]. Siemen Hand Book

[12]. Harten, P.Van,Setiawan. Instalasi Listrik Arus Kuat. Binacipta.Bandung.