

# Rancang Bangun Alat Pengujian Karakteristik MCB Tipe B2, C2, dan D2

Sunarto<sup>1</sup>, Toto Tohir<sup>2</sup>, Yudi Prana Hikmat<sup>3</sup>, Sudrajat<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung Barat 40559, Jawa Barat, Indonesia  
soen@polban.ac.id

---

## Abstrak

Miniature Circuit Breaker (MCB) merupakan komponen proteksi terhadap arus lebih pada sistem tegangan rendah, dan mempunyai dua elemen proteksi yaitu bimetal yang berfungsi sebagai proteksi arus beban lebih dan elemen elektromagnetik yang berfungsi sebagai proteksi arus hubung singkat. Ada tiga tipe MCB yaitu tipe B mengamankan arus hubung singkat 3-5 kali arus pengenalnya, tipe C mengamankan arus hubung singkat 5-10 kali arus nominalnya, dan tipe D mengamankan arus hubung singkat 10-20 kali arus nominalnya. Untuk memastikan kinerja MCB tersebut perlu adanya alat penguji karakteristik MCB. Berdasarkan permasalahan tersebut maka penelitian ini mengambil topik “Rancang Bangun Alat Pengujian Karakteristik MCB tipe B2, C2 dan D2” dengan tujuan untuk fasilitas pengujian MCB tersebut. Alat yang dikembangkan menjawab kebutuhan ini dengan menyediakan alat pengujian MCB yang terkontrol dan otomatis untuk mengukur respons termal dan elektromagnetik MCB secara akurat dalam kondisi arus lebih yang terkontrol, MCB akan bekerja bila arus listrik yang melaluinya melebihi arus nominalnya. Untuk mendapatkan arus listrik yang terkontrol digunakan dummy load dengan media larutan NaCl. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode rekayasa (engineering research method) untuk merancang, membangun, dan menguji sistem, yang dapat bekerja secara efektif. Hasil dari penelitian ini berupa satu unit alat pengujian MCB. Komponen proteksi MCB digunakan dalam pengujian karakteristik kerja adalah MCB satu fasa tipe B (tipe cepat), tipe C (tipe sedang), dan tipe D (tipe lambat) dengan arus nominal masing-masing 2 Ampere.

**Kata kunci:** proteksi, MCB, arus lebih

## Abstract

*Miniature Circuit Breaker (MCB) is a component of protection against overcurrent in low voltage systems, and has two protective elements, namely bimetal which functions as overload current protection, and electromagnetic elements that function as short circuit current protection. There are three types of MCB, namely type B protects short circuit currents 3-5 times its rated current, type C protects short circuit currents 5-10 times its nominal current, and type D protects short circuit currents 10-20 times its nominal current. To ensure the performance of the MCB, it is necessary to have an MCB characteristic tester. Based on these problems, this study takes the topic "Design and Construction of MCB Characteristic Testing Tools Types B2, C2, and D2" with the aim of facilitating the MCB test. The tool developed answers this need by providing a controlled and automatic testing environment to accurately measure the thermal and electromagnetic response of the MCB under controlled overcurrent conditions the MCB will work if the electric current passing through it exceeds its nominal current. To obtain a controlled electric current, a dummy load is used with NaCl solution media. The method used in this research is the engineering research method to design, build, and test the system, which can work effectively. The result of this research is a unit of MCB testing equipment. The MCB protection components used in the work characteristic testing are single-phase MCB type B (fast type), type C (medium type), and type D (slow type) with a nominal current of 2 Amperes each.*

**Keywords:** protection, MCB, overcurrent

---

## I. PENDAHULUAN

Gangguan pada sistem tenaga listrik bisa berasal dari dalam sistem dan dari luar sistem, tetapi yang

paling banyak terjadi adalah gangguan yang berasal dari luar sistem. Gangguan dari luar sistem yang paling sering terjadi adalah gangguan arus lebih. Gangguan arus lebih dalam sistem tenaga listrik ada

dua macam yaitu gangguan arus hubung pendek atau hubung singkat (*short circuit*) dan gangguan arus beban lebih (*overload*). Gangguan hubung pendek terjadi karena ada hubungan langsung antar penghantar fasa (penghantar aktif) atau penghantar fasa dengan penghantar netral atau *ground* (bumi/tanah). Sedangkan beban lebih diakibatkan karena pembebanan yang melebihi arus nominal komponen proteksi [1], [2], [3], [4]. *Miniature Circuit Breaker* sering juga disebut MCB merupakan komponen proteksi yang mempunyai dua prinsip kerja, yaitu prinsip kerja elemen bimetal dan elektromagnetik. Elemen bimetal bekerja berdasarkan panas yang diakibatkan oleh arus beban lebih sehingga menyebabkan elemen bimetal melengkung dan memutuskan rangkaian. Elektromagnetik bekerja apabila terjadi arus hubung pendek atau arus yang mengalir sudah mencapai  $xI_n$ , dimana  $x$  adalah faktor pengali dan  $I_n$  adalah arus nominal MCB [5], [6], [7]. Dalam sistem proteksi ketenagalistrikan, komponen proteksi seperti MCB perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik kerjanya. Pengujian tersebut memberikan data teknis mengenai nilai arus yang menyebabkan MCB trip, waktu trip atau waktu pemutusan dan kondisi mekanik. Pengujian MCB sangat penting dilakukan baik pada MCB yang digunakan pada instalasi rumah tangga, industri, maupun sistem distribusi tegangan rendah untuk memastikan fungsi MCB masih berfungsi dengan baik, menjamin keamanan instalasi listrik, dan memastikan kesesuaian dengan standar yang berlaku sehingga bisa mencegah terjadinya kerusakan peralatan instalasi listrik akibat gangguan arus lebih.

MCB merupakan pemutus rangkaian listrik yang biasa dipasang pada panel listrik, dimana komponen proteksi tersebut mempunyai fungsi kerja sebagai proteksi arus lebih. Di sini disajikan perancangan panel listrik dengan pemutus yang terintegrasi dengan perangkat elektronik yang membantu pemantauan waktu kerja secara otomatis [8], [9], [10]. Selama proses pembukaan dan penutupan MCB, kontak akan mengalami abrasi busur api dan keausan secara berulang. Untuk mempelajari mekanisme kegagalan kontak busur yang disebabkan oleh erosi busur setelah arus hubung singkat putus, sepasang kontak busur untuk uji arus hubung singkat putus kumulatif dipilih sebagai objek penelitian [11], [12]. Kinerja pemutusan yang tinggi, kendali jarak jauh, dan platform deteksi digital pemutus sirkuit mini (MCB), peralatan pelindung sistem distribusi daya, juga merupakan persyaratan tak terelakkan dari sistem IoT daya. Berdasarkan hal tersebut, makalah ini mempelajari tiga aspek: teknologi switching umum AC dan DC berkinerja tinggi, teknologi kendali jarak jauh, dan pemantauan

digital status operasi, [13], [14], [15]. Sistem proteksi dan pasokan daya berkelanjutan penting bagi area perumahan dan komersial. Untuk memastikan perlindungan yang lebih baik, pemutus sirkuit mini (MCB) cerdas yang dioperasikan secara otomatis dikembangkan menggunakan teknik pengukuran arus dan diagnosis gangguan yang canggih. Dengan demikian, tujuan dari makalah ini adalah untuk mengembangkan sistem proteksi cerdas untuk mengatasi masalah pemutus sirkuit elektromekanik [16], [17], [18]. Tegangan sentuh bisa terjadi apabila manusia menyentuh bagian aktif secara langsung atau manusia menyentuh bagian konduktif terbuka (BKT) yang seharusnya tidak bertegangan tetapi menjadi bertegangan akibat adanya arus bocor. Dalam makalah ini dibuat alat pengujian proteksi tegangan sentuh menggunakan MCB dan ELCB [19], [20], [21]. Perbedaan Alat serupa yang sudah ada dengan penelitian ini adalah pada arus ujinya dan alat pengukur waktu yang bekerja secara otomatis. Pada penelitian serupa yang sudah ada untuk memperoleh arus uji berbasis pada arus injeksi (*Current Injection*) yang bisa diatur menggunakan autotransformer, sedangkan pada penelitian ini menggunakan beban listrik variabel berupa *Dummy Load* yang mampu menghasilkan arus listrik lebih dari 40 Amper.

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat alat praktikum pengujian karakteristik kerja MCB tipe B, tipe C, dan tipe D dengan arus nominal masing-masing MCB adalah 2 Amper. *Research gap* penelitian ini dengan penelitian sejenis sebelumnya adalah pembuatan alat praktikum pengujian karakteristik MCB dengan tiga tipe yang berbeda dan arus nominal yang sama. Untuk pengukur waktu kerja MCB digunakan pengukur waktu yang bisa bekerja secara otomatis.

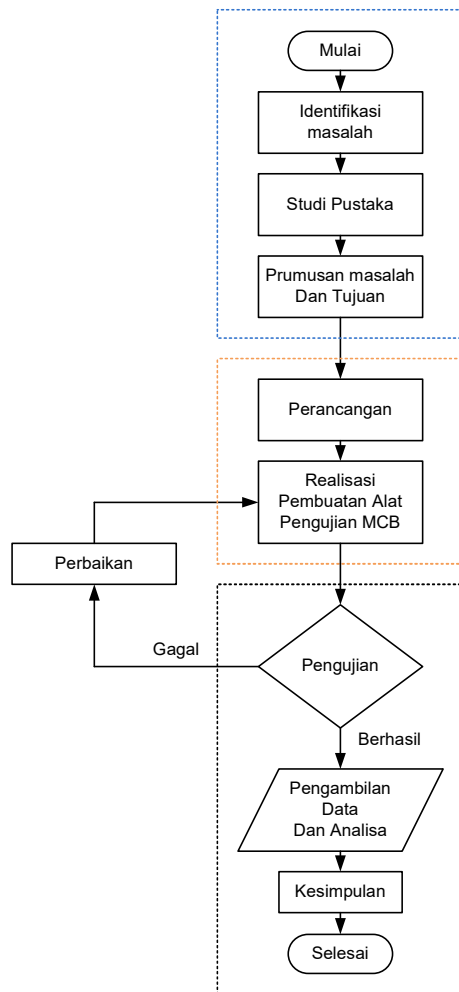
## II. METODE PENELITIAN

Metode rancang bangun alat dalam penelitian ini adalah metode rekayasa (*engineering research method*) dan untuk mendapatkan data penelitian, metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Listrik. Gambar 1 merupakan diagram alir tahapan penelitian dengan tahapan sebagai berikut: Penelitian ini dilaksanakan menjadi tiga tahap seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah, studi pustaka, rumusan masalah dan tujuan
2. Perancangan dan implementasi alat praktikum
3. Pengujian alat dan analisa, kesimpulan, membuat laporan, membuat modul praktikum

MCB merupakan komponen proteksi penting dalam sistem kelistrikan, dimana komponen tersebut sangat erat dalam keselamatan bila terjadi gangguan arus lebih dalam sistem kelistrikan tegangan rendah. Namun dalam penggunaannya terdapat berbagai permasalahan yang dapat mempengaruhi kinerja dan keandalannya. Oleh karena itu perlu adanya pengujian komponen tersebut untuk memastikan karakteristik kerjanya masih bagus.

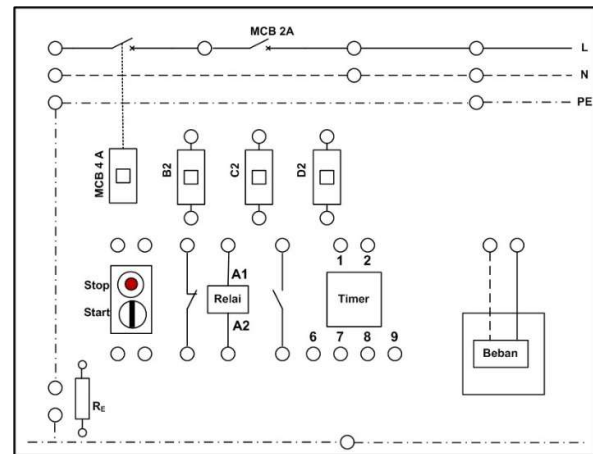
Perancangan alat praktikum yaitu perancangan alat pengujian MCB tipe B, tipe C, dan tipe D dengan arus nominal masing-masing 2 Amper. Perancangan alat pengujian MCB tersebut dirancang untuk sistem tegangan rendah satu fasa (tegangan 220 Volt).



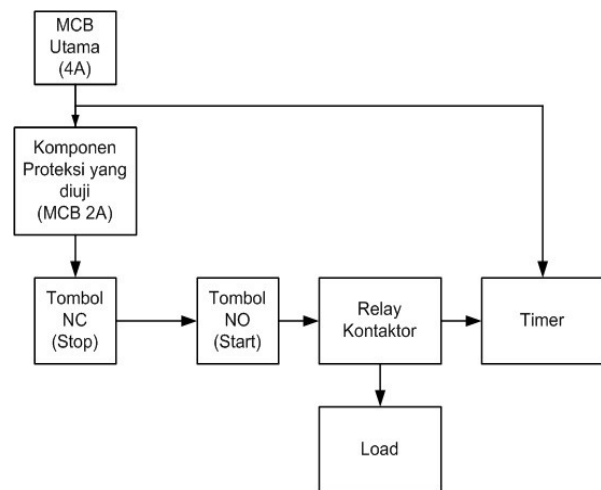
**Gambar 1. Diagram Alir Penelitian**

Realisasi atau implementasi alat pengujian MCB disesuaikan seperti gambar perancangan yang ditunjukkan dalam Gambar 2. Alat yang telah selesai selanjutnya dilakukan pengujian dengan urutan kerja rangkaian seperti pada Gambar 3. Bila pengujian tersebut alat bisa bekerja dengan baik maka

dilanjutkan pengambilan data pengujian. Dari data hasil pengujian dianalisa, selanjutnya membuat kesimpulan.



**Gambar 2. Perancangan Alat Pengujian MCB**



**Gambar 3. Diagram blok cara kerja alat pengujian MCB**

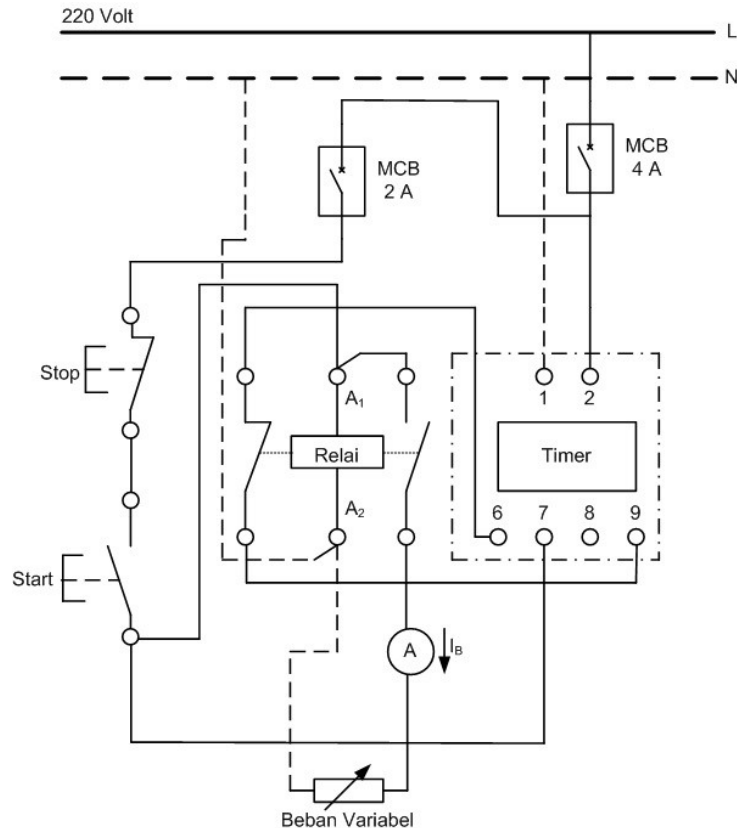
Pada Gambar 3, ketika tombol NO (Start) ditekan maka relai kontaktor bekerja dan timer mendapat trigger melalui kontak NO dari relai kontaktor sehingga timer mulai bekerja menghitung waktu. Dengan mengatur beban listrik (load) maka arus pengujian bisa diatur sesuai keinginan sampai komponen proteksi yang diuji bekerja (trip). Ketika MCB bekerja maka timer berhenti menghitung waktu. Karena timer mendapat sumber tegangan langsung dari MCB utama (4 A) maka pada display timer tetap menyala dan menunjukkan angka waktu kerja MCB yang diuji. Tombol NC (Stop) berfungsi untuk reset timer sekaligus memutuskan rangkaian kemudian dilanjut dengan langkah pengujian

berikutnya dengan arus pengujian yang bervariasi dengan mengatur beban variable menggunakan

*dummy load* dengan media larutan NaCl dengan dua elektroda yang digerakkan secara vertical.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Rangkaian Pengujian



Gambar 4. Rangkaian pengujian

#### A. Pengujian MCB Tipe B2

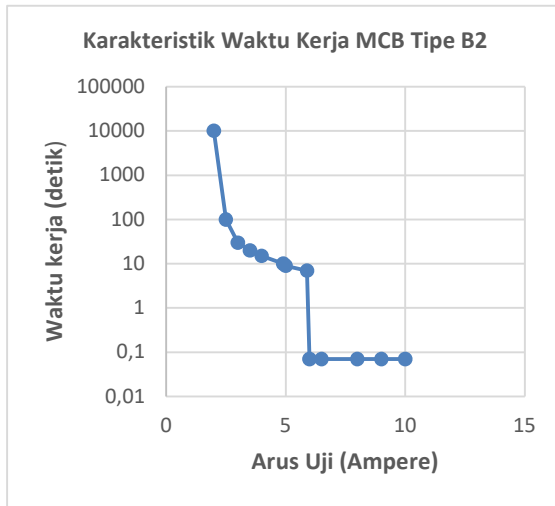
Pada Gambar 4, MCB 2A yang digunakan adalah MCB tipe B. beban variabel diatur sehingga arus pengujian ( $I_B$ ) bisa ditentukan sesuai dengan nilai yang diinginkan seperti pada Tabel 1. Untuk melakukan pengujian, MCB 2A dan 4A dalam keadaan tertutup, kemudian tekan tombol Start dan rangkaian bekerja ditandai dengan timer mulai menghitung waktu. Bila arus  $I_B$  yang ditentukan melebihi arus nominal MCB tipe B maka MCB tersebut bekerja (trip) dan timer berhenti menghitung waktu tetapi display timer tetap menyala dan menunjukkan waktu kerja MCB, kemudian catat waktu kerja MCB. Untuk melakukan langkah pengujian selanjutnya maka tombol stop harus ditekan terlebih dahulu untuk mematikan rangkaian sekaligus mereset timer. Pengujian dilanjutkan dengan arus  $I_B$  mengacu pada Tabel 1 dengan cara mengatur beban variabel.

Tabel 1. Hasil pengujian MCB tipe B2

| NO. | Tegangan (Volt) | Arus $I_B$ (Amper) | Waktu Kerja (detik) |
|-----|-----------------|--------------------|---------------------|
| 1   | 220             | 2                  | 10000               |
| 2   | 220             | 2,5                | 100                 |
| 3   | 220             | 3                  | 30                  |
| 4   | 220             | 3,5                | 20                  |
| 5   | 220             | 4                  | 15                  |
| 6   | 220             | 4,9                | 10                  |
| 7   | 220             | 5                  | 9                   |
| 8   | 220             | 5,9                | 7                   |
| 9   | 220             | 6                  | 0,07                |
| 10  | 220             | 6,5                | 0,07                |

|    |     |    |      |
|----|-----|----|------|
| 11 | 220 | 8  | 0,07 |
| 12 | 220 | 9  | 0,07 |
| 13 | 220 | 10 | 0,07 |

|    |     |      |      |
|----|-----|------|------|
| 11 | 220 | 12   | 0,07 |
| 12 | 220 | 15   | 0,07 |
| 13 | 220 | 19,5 | 0,07 |
| 14 | 220 | 20   | 0,07 |



Gambar 5. Grafik hasil pengujian MCB tipe B2

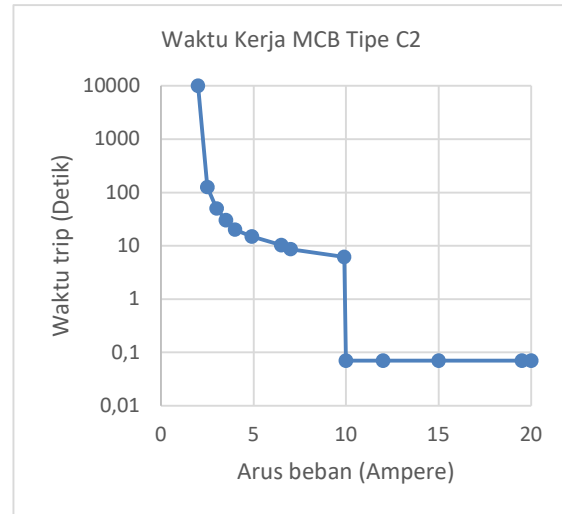
MCB tipe B adalah MCB yang bisa mengamankan arus hubung singkat sebesar 3-5 kali arus nominalnya. Berarti untuk MCB Tipe B2 bisa mengamankan arus hubung singkat 6A –10A. Yang berarti ketika arus listrik yang mengalir melalui MCB sebesar 6A sampai dengan 10A maka MCB tersebut merasakan gangguan hubung singkat, dan apabila arus yang mengalir lebih dari 2A dan kurang dari 6A maka MCB merasakan adanya gangguan beban lebih.

### B. Pengujian MCB Tipe C2

Langkah pengujiannya sama seperti pengujian MCB tipe B2, tetapi MCB 2A pada Gambar 4 diganti dengan MCB tipe C2. Tabel 2 merupakan hasil pengujian MCB tipe C2.

Tabel 2. Hasil pengujian MCB tipe C2

| NO. | Teganga (Volt) | Arus $I_B$ (Amper) | Waktu Kerja (detik) |
|-----|----------------|--------------------|---------------------|
| 1   | 220            | 2                  | Tidak trip          |
| 2   | 220            | 2,5                | 125                 |
| 3   | 220            | 3                  | 50                  |
| 4   | 220            | 3,5                | 30                  |
| 5   | 220            | 4                  | 20                  |
| 6   | 220            | 4,9                | 15                  |
| 7   | 220            | 6,5                | 10,25               |
| 8   | 220            | 7                  | 8,7                 |
| 9   | 220            | 9,9                | 6,18                |
| 10  | 220            | 10                 | 0,07                |



Gambar 6. Grafik hasil pengujian MCB tipe C2

MCB tipe C adalah MCB yang bisa mengamankan arus hubung singkat sebesar 5-10 kali arus nominalnya. Berarti untuk MCB Tipe C2 bisa mengamankan arus hubung singkat 10A –20A. Yang berarti ketika arus listrik yang mengalir melalui MCB sebesar 10A sampai dengan 20A maka MCB tersebut merasakan gangguan hubung singkat, dan apabila arus yang mengalir lebih dari 2A dan kurang dari 10A maka MCB merasakan adanya gangguan beban lebih.

MCB tipe C merupakan MCB tipe sedang, sedangkan MCB tipe B adalah MCB tipe cepat, seperti terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6, waktu kerja MCB tipe C2 lebih lambat jika dibandingkan dengan MCB tipe B2 yang merupakan MCB tipe cepat. Sesuai dengan karakteristik kerja kedua MCB tersebut, maka aplikasi dari kedua komponen tersebut juga berbeda. MCB tipe cepat (tipe B) digunakan pada rangkaian generator, sedangkan MCB tipe sedang (tipe C) digunakan pada instalasi listrik industri dan domestik.

### C. Pengujian MCB Tipe D2

Dalam pengujian ini langkah pengujiannya sama seperti pengujian MCB tipe B2 dan C2, tetapi MCB 2A pada Gambar 4 diganti dengan MCB tipe D2. Tabel 3 merupakan hasil pengujian MCB tipe D2. Seperti pada pengujian MCB tipe B2 dan C2, beban yang digunakan dalam pengujian MCB tipe D2 menggunakan beban tiruan (*Dummy Load*) dengan

media larutan NaCl yang bisa diatur secara vertical untuk menghasilkan arus variable sesuai yang diinginkan. Karena MCB tipe D merupakan MCB tipe lambat yang mengamankan arus hubung singkat 10-20 kali arus nominalnya, maka untuk menguji MCB tipe D2 diperlukan arus beban ( $I_B$ ) sampai dengan 40A.

**Tabel 3. Hasil pengujian MCB tipe D2**

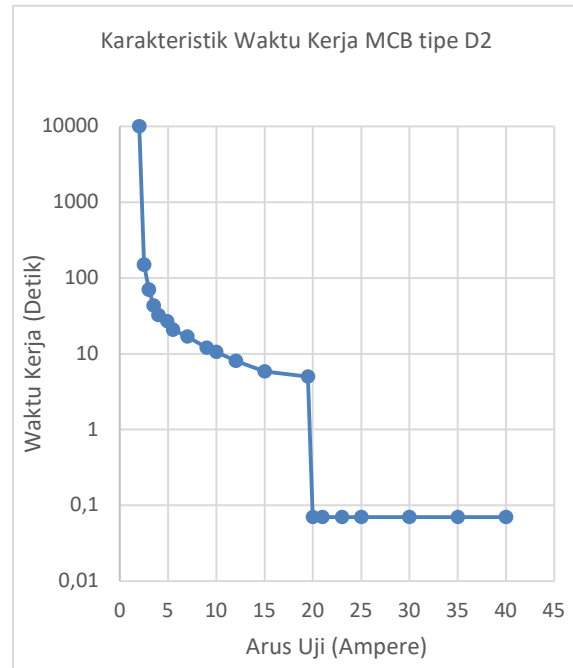
| No. | Tegangan (Volt) | Arus IB (Amper) | Waktu Kerja (detik) |
|-----|-----------------|-----------------|---------------------|
| 1   | 220             | 2               | Tidak trip          |
| 2   | 220             | 2,5             | 150                 |
| 3   | 220             | 3               | 70                  |
| 4   | 220             | 3,5             | 43,1                |
| 5   | 220             | 4               | 32,1                |
| 6   | 220             | 4,9             | 26,9                |
| 7   | 220             | 5,5             | 20,8                |
| 8   | 220             | 7               | 16,8                |
| 9   | 220             | 9               | 12                  |
| 10  | 220             | 10              | 10,5                |
| 11  | 220             | 12              | 8                   |
| 12  | 220             | 15              | 5,8                 |
| 13  | 220             | 19,5            | 5                   |
| 14  | 220             | 20              | 0,07                |
| 15  | 220             | 21              | 0,07                |
| 16  | 220             | 23              | 0,07                |
| 17  | 220             | 25              | 0,07                |
| 18  | 220             | 30              | 0,07                |
| 19  | 220             | 35              | 0,07                |
| 20  | 220             | 40              | 0,07                |

**Gambar 7. Grafik hasil pengujian MCB tipe D2**

Dari grafik hasil pengujian MCB tipe B2 pada Gambar 7, pengamanan terhadap gangguan arus hubung singkat MCB tersebut pada arus sebesar 20A sampai dengan 40A dan dalam kondisi ini MCB bekerja cepat (0,07 detik) karena elemen proteksi yang bekerja adalah elemen elektromagnetik. Bila arus gangguannya lebih besar dari 2A dan kurang dari 20A, maka elemen proteksi yang bekerja adalah elemen bimetal. Elemen elektromagnetik bekerja ketika terjadi gangguan hibung singkat, sedangkan elemen bimetal bekerja ketika terjadi gangguan beban lebih.

Penggunaan MCB tipe lambat biasanya digunakan sebagai proteksi jaringan dengan *inruss current* yang tinggi misalnya pada sisi tegangan rendah trafo distribusi.

MCB mempunyai karakteristi kerja IDMT (*Inverse Deffinite Minimum Time*) karena MCB mempunyai dua elemen proteksi. Ketika



gangguannya berupa beban lebih maka karakteristik kerjanya berbentuk inverse, dan ketika gangguannya berupa hubung singkat maka karakteristik kerjanya deffinite dengan waktu kerja minimum (singkat). Grafik karakteristik kerja hasil pengujian MCB dalam penelitian ini sudah sesuai dengan yang ditetapkan produsen yang berarti MCB yang diuji dalam keadaan bagus.

Perbedaan hasil penelitian ini dengan penelitian sejenis yang sudah ada adalah pada karakteristik kerja MCB hasil pengujian. Hal ini diantaranya dikarenakan penggunaan beban variable yang digunakan, dan alat pengukur waktu yang digunakan. Dalam penelitian ini digunakan beban variabel yang bisa diatur secara linear dan pengukur waktunya bisa bekerja secara otomatis sehingga pengukuran waktunya bisa akurat.

#### IV. KESIMPULAN

Alat pengujian MCB tipe B2, C2, dan D2 telah berhasil dibuat dan telah dibuktikan dengan pengujian ketiga MCB tersebut. Dari hasil pengujian, karakteristik kerja ketiga MCB tersebut, sudah menghasilkan karakteristik IDMT (*Inverse Deffinite Minimum Time*). Pada pengujian MCB tipe B2 (tipe lambat), ketika arus gangguan mencapai 6A-10A, maka MCB bekerja dengan waktu yang tertentu (definite) berapapun besarnya arus gangguan. Pada pengujian MCB tipe C2 (tipe sedang), ketika arus gangguan mencapai 10A-20A MCB bekerja dengan waktu tertentu berapapun besar arus gangguannya. MCB tipe D2 yang merupakan MCB tipe lambat,

ketika arus gangguan mencapai 20A-40A maka MCB bekerja dengan waktu tertentu berapapun besarnya arus gangguan. Hasil pengujian tersebut sudah sesuai dengan ketentuan produsen yang berarti ketiga MCB tersebut dalam keadaan bagus. Dalam penelitian ini tidak menggunakan MCB dengan merk yang sama, oleh karena itu sebagai saran untuk pengembangan selanjutnya sebaiknya digunakan MCB dengan merk yang sama.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Bandung atas dukungan dana pada Penelitian Pengembangan Kapasitas Laboratorium dengan Nomor Kontrak: **107.7/R7/PE.01.03/2025**, dan semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] Q. An dan H. Li, "Calculation and Analysis of Short Circuit Strength of Three-Winding Transformer," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2557, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1742-6596/2557/1/012038.
- [2] Z. Zhu, "Analysis of short-circuit behavior and failure modes in SiC power devices," *Appl. Comput. Eng.*, vol. 11, no. 1, hal. 236–241, 2023, doi: 10.54254/2755-2721/11/20230244.
- [3] Z. Yang *et al.*, "Analysis of Transformer Gas Relay Action under Short Circuit Impact," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2584, no. 1, hal. 012095, 2023, doi: 10.1088/1742-6596/2584/1/012095.
- [4] Haripuddin, A. Imran, Zulhajji, dan M. Yantahin, "Analysis of a Balanced Short Circuit on a Sulbagsel Electrical System By Using the Ffa-Abc Method Approach," *J. Appl. Eng. Technol. Sci.*, vol. 5, no. 1, hal. 112–141, 2023, doi: 10.37385/jaets.v5i1.2106.
- [5] A. Jose, A. M. Varghese, F. E. Jenson, P. Jacob, D. M. Anumod, dan D. Thomas, "Solid-state circuit breaker based smart distribution board with IoT integration," *Proc. 3rd Int. Conf. Smart Syst. Inven. Technol. ICSSIT 2020*, no. Icssit, hal. 54–61, 2020, doi: 10.1109/ICSSIT48917.2020.9214172.
- [6] B. Kommey, S. D. Kotey, E. T. Tchao, dan G. A. Bamfi, "Intelligent Miniature Circuit Breaker," *Comput. Eng. Appl. J.*, vol. 10, no. 3, hal. 195–208, 2021, doi: 10.18495/comengapp.v10i3.378.
- [7] X. Mao *et al.*, "Analysis of contact ablation of circuit breaker after short circuit current breaking," *AIP Adv.*, vol. 13, no. 10, hal. 1–9, 2023, doi: 10.1063/5.0158081.
- [8] J. Yin, X. Lang, H. Xu, dan J. Duan, "High-Performance Breaking and Intelligent of Miniature Circuit Breakers," *Sensors*, vol. 22, no. 16, hal. 1–11, 2022, doi: 10.3390/s22165990.
- [9] M. R. Vasavada, V. S. Patel, dan J. R. Prajapati, "Development of Intelligent Automatic Electronic MCB and ELCB Using Fault Diagnosis Technique," *2020 Int. Conf. Power Electron. IoT Appl. Renew. Energy its Control. PARC 2020*, hal. 346–350, 2020, doi: 10.1109/PARC49193.2020.236623.
- [10] sunarto sunarto, "Analisis Perbandingan Sistem Proteksi Tegangan Sentuh Tidak Langsung Menggunakan ELCB dan MCB," vol. 7, no. 1, hal. 83–90, 2022, doi: 10.31544/jtera.v7.i1.2022.83-90.
- [11] J. Jamaaluddin, I. Sulistiyowati, B. W. A. Reynanda, dan I. Anshory, "Analysis of Overcurrent Safety in Miniature Circuit Breaker AC (Alternating Current) and DC (Direct Current) in Solar Power Generation Systems," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 819, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/819/1/012029.
- [12] B. D. Prabowo, A. Harjanto, dan N. R. Alham, "Relay RELAY COORDINATION OF OVER CURRENT PROTECTION RELAY (OCR) ON IEEE 7 BUS MODIFIED SYSTEMS BASED ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN)," *J. Media Elektro*, vol. XII, no. 1, hal. 29–37, 2023, doi: 10.35508/jme.v0i0.9831.
- [13] A. V. Yunitasari, A. V. Yunitasari, dan S. Pramono, "Sistem Proteksi Over Current Relay Motor Forced Draft Fan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap," *J. Teknol.*, vol. 13, no. 1, hal. 55–62, 2021, doi: 10.24853/jurtek.13.1.55-62.
- [14] J. Zhao, "Comprehensive Analysis of Short circuit Protections for Silicon-Carbide MOSFET," *MATEC Web Conf.*, vol. 386, hal. 02007, 2023, doi: 10.1051/mateconf/202338602007.
- [15] R. Ma, S. Basumallik, S. Eftekharijad, dan F. Kong, "A Data-Driven Model Predictive Control for Alleviating Thermal Overloads in the Presence of Possible False Data," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 57, no. 2, hal. 1872–1881, 2021, doi: 10.1109/TIA.2021.3052148.
- [16] Y. Prasetyo, B. Triyono, D. N. Prakoso, dan R. J. K. Haryo, "Design of an Overcurrent Relay System Using a Raspberry Pi Perancangan Sistem Overcurrent Relay Menggunakan Raspberry Pi," vol. 2, no. 1, hal. 8–17, 2023, doi: 10.52626/joge.v.
- [17] D. Gading Primadhika, Parjiman, D. Mochammad, dan H. Firdaus, "Perubahan Suhu Lingkungan Terhadap Waktu Trip Pada Mini Circuit Breaker 6a Tipe C," *J. Electr. Vocat. Educ. Technol.*, vol. 5, no. 1, hal. 6–13, 2020, doi: 10.21009/jevet.0051.02.
- [18] K. V. N. R. Ummah, S. Sutedjo, M. M. Rifadil, dan L. S. Mahendra, "Alat Uji MCB 1 Fasa Instalasi Milik Pelanggan (IML)," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 2, hal. 141–147, 2022, doi: 10.23917/emitor.v22i2.19352.
- [19] L. Latifah, I. Irman, dan R. Ruskardi, "Penentuan Tipe Miniature Circuit Breaker 4A Untuk Instalasi Rumah Tinggal Melalui Pengujian Kinerjanya," *J.ELIT*, vol. 2, no. 1, hal. 43–51, 2021, doi:

- 10.31573/elit.v2i1.215.
- [20] M. N. Akhir dan S. Sudrajat, "Rancang Bangun Alat Praktikum Proteksi Tegangan Rendah terhadap Arus Lebih Menggunakan MCB dan TOLR," *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 14, no. 1, hal. 109–115, 2023, doi: 10.35313/irwns.v14i1.5370.
- [21] Unfa Solfiani, Purwanto Gendroyono, dan Imam Arif Raharjo, "Pengaruh Distorsi Harmonisa Terhadap Kinerja Trip Miniature Circuit Breaker Tipe C 2a, 4a, Dan 6a Dengan Sumber Tegangan Pln Dan Genset," *J. Electr. Vocat. Educ. Technol.*, vol. 4, no. 1, hal. 28–34, 2020, doi: 10.21009/jevet.0041.05.