

Kelayakan dan Performa Relai Arus Berlebih Berbasis Mikroprosesor dan Fuzzy Logic dalam Sistem Perlindungan Tenaga Listrik

Feasibility and Performance Evaluation of Microprocessor and Fuzzy Logic-Based Overcurrent Relay in Electrical Protection Systems

Bima Romadhon Parada Dian Palevi^{1*}, Citra Dewi Megawati², Eko Nurcahyo³,

Taufik Hidayat⁴, Rachmadi Setiawan⁵, Kurniadin Abd Latif⁶

^{1,3,4,5}Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, Indonesia

²Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

⁶Universitas Bumigora, Mataram, Indonesia

bimarpdp@lecturer.itn.ac.id^{1*}, citramegawati@ub.ac.id², ekonur@lecturer.itn.ac.id³,

bimarpdp@lecturer.itn.ac.id⁴, rachmadi@lecturer.itn.ac.id⁵, kurniadin@universitasbumigora.ac.id⁶

Informasi Artikel:

Diterima: 31 Mei 2024, Direvisi: 26 Juni 2024, Disetujui: 26 Juni 2024

Abstrak-

Latar Belakang: A well-prepared abstract enables the reader to identify the basic content of a document quickly and accurately, to determine its relevance to their interests, and thus to decide whether to read the document in its entirety.

Tujuan: The Abstract should be informative and completely self-explanatory, provide a clear statement of the problem, the proposed approach or solution, and point out major findings and conclusions.

Metode: The Abstract should be 150 to 250 words in length. The abstract should be written in the past tense.

Hasil: Standard nomenclature should be used and abbreviations should be avoided.

Kesimpulan: No literature should be cited. The keyword list provides the opportunity to add keywords, used by the indexing and abstracting services, in addition to those already present in the title. Judicious use of keywords may increase the ease with which interested parties can locate our article.

***CRITICAL: Do Not Use Symbols, Special Characters, or Math in Paper Title or Abstract.**

Kata Kunci: Fuzzy Logic Controller; Relay Proteksi; Tenaga Listrik.

Abstract-

Background: A well-prepared abstract enables the reader to identify the basic content of a document quickly and accurately, to determine its relevance to their interests, and thus to decide whether to read the document in its entirety.

Objective: The Abstract should be informative and completely self-explanatory, provide a clear statement of the problem, the proposed approach or solution, and point out major findings and conclusions.

Methods: The Abstract should be 150 to 250 words in length. The abstract should be written in the past tense.

Result: Standard nomenclature should be used and abbreviations should be avoided.

Conclusion: No literature should be cited. The keyword list provides the opportunity to add keywords, used by the indexing and abstracting services, in addition to those already present in the title. Judicious use of keywords may increase the ease with which interested parties can locate our article.

***CRITICAL: Do Not Use Symbols, Special Characters, or Math in Paper Title or Abstract.**

Keywords: Electrical Power System; Fuzzy Logic Controller; Protection Relay.

How to Cite: B. R. R. D. Palevi, C. D. Megawati, E. Nurcahyo, T. Hidayat, R. Setiawan, & K. A. Latif, "Kelayakan dan Performa Relai Arus Berlebih Berbasis Mikroprosesor dan Fuzzy Logic dalam Sistem Perlindungan Tenaga Listrik," *Jurnal Bumigora Information Technology (BITe)*, Vol. 6, No. 1, pp. 71-80, June 2024.

This is an open access article under the CC BY-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

Penulis Korespondensi:

Bima Romadhon Parada Dian Palevi,
Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia,
Email: bimarpd@lecturer.itn.ac.id

1. PENDAHULUAN

Dalam konteks ketenagalistrikan, relay arus lebih (OCR) adalah komponen vital yang mendeteksi dan merespons arus berlebih, mencegah potensi kerusakan serius pada peralatan listrik, dan memastikan pengoperasian sistem yang aman secara keseluruhan [1]. OCR beroperasi dengan mendeteksi perbedaan antara arus yang mengalir dalam suatu rangkaian dan nilai arus batas yang aman. Sensitivitas yang tinggi diperlukan untuk mengenali gangguan dalam area proteksi, seperti proteksi tambahan pada peralatan seperti motor, generator, atau transformator daya. Untuk mengurangi kerusakan akibat gangguan, bagian yang terkena harus segera dipisahkan dari sistem lainnya. Waktu total penanganan gangguan dihitung dari awal munculnya gangguan hingga pemisahan yang sepenuhnya terjadi. Kecepatan ini krusial untuk mencegah kerusakan termal pada peralatan yang terkena gangguan dan mempertahankan stabilitas sistem serta mengurangi kemungkinan busur api, yang dapat mempengaruhi keberhasilan penutupan kembali PMT (reclosing) dan mengurangi waktu mati antara operasi pembukaan dan penutupan. Meskipun waktu tunda (TOp) mungkin diperlukan untuk selektivitas yang optimal, harus diminimalkan dengan mempertimbangkan risiko yang terlibat [2, 3].

Untuk mempersingkat nilai Top, beberapa peneliti telah melakukan improvisasi dengan mengubah rasio pembacaan sensor arus (CT) pada OCR. Teknik ini telah diterapkan dalam penelitian oleh Raihan Putri et al. [4–6]. Teknik lain melibatkan pengubahan nilai TMS, seperti yang dilakukan oleh peneliti Muhammad Sany Aji Saputro et al. [7]. melalui pengaturan manual pada perangkat OCR. Metode manual ini cenderung rumit. Penelitian kami saat ini mengembangkan metode pengaturan nilai TMS secara otomatis menggunakan algoritma fuzzy logic yang diatur berdasarkan jumlah kejadian lonjakan arus lebih.

Kebaruan penelitian ini terletak pada desain algoritma fuzzy logic tipe Sugeno untuk OCR berbasis mikroprosesor, yang berfungsi sebagai inovasi dalam bidang sistem proteksi ketenagalistrikan terhadap gangguan berbasis arus. Relay digital ini dibangun menggunakan Atmega 328P dan dilengkapi dengan sensor trafo arus tipe 56T100C, Relay ini dirancang khusus untuk merespons gangguan daya AC secara selektif dengan waktu pengoperasian yang adaptif sesuai dengan frekuensi kejadian arus lebih per jamnya, namun tetap mengacu pada standar IEC 60255 [8, 9]. Verifikasi kinerjanya dilakukan dengan membandingkannya dengan relai SPAJ 110 C-CA dari pabrikan ABB. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menguji kelayakan OCR berbasis mikroprosesor, dengan fokus pada akurasi dan keandalan [1, 10].

2. METODE PENELITIAN

2.1. Over Current Relay

Sistem proteksi arus bertujuan untuk meminimalkan dampak kerusakan akibat gangguan arus berlebih dengan mendeteksi kelainan dan mengisolasi komponen secara selektif [11]. Gambar 2 (kiri) menggambarkan prinsip pengoperasian OCR yang melibatkan input berupa arus beban dari sensor, pemutus arus (CB) yang beroperasi bila melebihi nilai yang ditetapkan (PS), dan waktu pengoperasian (TOp). Persamaan TOp OCR berdasarkan standar IEC 60255 dijelaskan pada Persamaan (1) dan Tabel 1. TMS merupakan parameter yang mempengaruhi respon relay. Nilai TMS yang lebih kecil menghasilkan respon yang lebih cepat, sedangkan nilai TMS yang lebih besar menghasilkan respon yang lebih lambat. Untuk mengimplementasikan Persamaan (1) pada Atmega 328P (Arduino) [12, 13] Pseudocode diperlukan untuk menerjemahkan persamaan matematika ke dalam bahasa pemrograman yang dijelaskan pada Tabel 2 [8].

$$T_{Op} = \frac{K (TMS)}{(PSM)^E - 1} \text{ di mana; } TMS = \frac{1}{PSM - 1} \text{ di mana; } PSM = \frac{I_{relay}}{PS} \quad (1)$$

Tabel 1. Konstanta Karakteristik OCR berdasarkan Standar IEC [2]

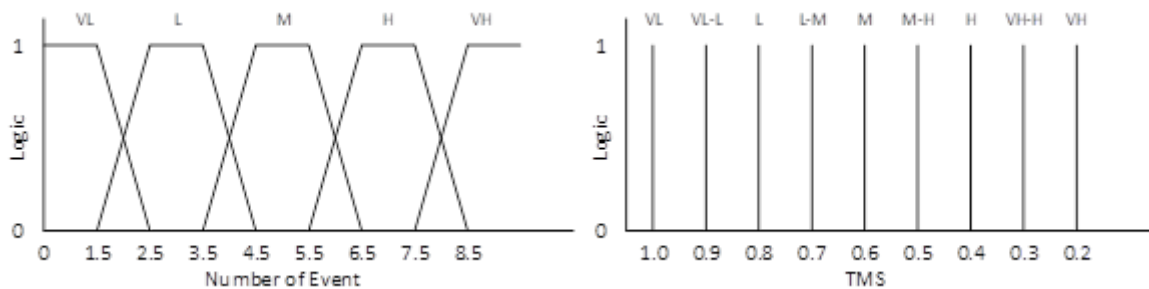
IEC (BS) Curve Shape	Contant	
	K	E
IEC Curve Inverse Definite Minimum Time (IDMT)	0.14	0.02
IEC Curve Very Inverse Time (VI)	13.5	1
IEC Curve Extremely Inverse Time (EI)	80	2
IEC Curve Long Time Inverse (LTI)	120	1

Tabel 2. IEC 60255 OCR Pseudocode

Type	Psudocode	Type	Psudocode
IDMT	<pre> procedure IDMT_Character(Current, PS, TMS) PSM = Current / PS TMS = 1 / (PSM - 1) T0p = 0.14 * TMS / (PSM^0.02 - 1) return T0p end procedure </pre>	EI	<pre> procedure EI_Character(Current, PS, TMS) PSM = Current / PS TMS = 1 / (PSM - 1) T0p = 80.0 * TMS / (PSM^2 - 1) return T0p end procedure </pre>
	VI		<pre> procedure VI_Character (Current, PS, TMS) PSM = Current / PS TMS = 1 / (PSM - 1) T0p = 13.5 * TMS / (PSM^1 - 1) return T0p end procedure </pre>

2.2. Fuzzy Logic Controller (FLC)

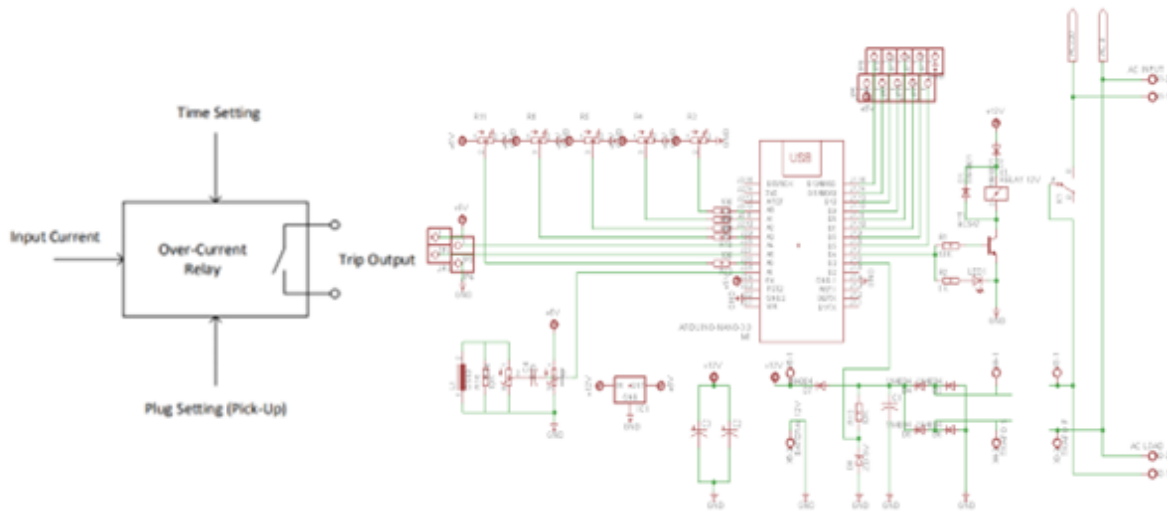
Berdasarkan Persamaan (1), nilai TMS memengaruhi kecepatan respons T_{Op} . Nilai TMS ini dapat diubah menggunakan algoritma fuzzy logic (FLC) dengan input berupa nilai frekuensi kejadian lonjakan arus lebih per satuan jam. Input lonjakan arus lebih per jam dijadikan parameter input fuzzy pada membership function dalam rule base fuzzy logic yang ditunjukkan pada Gambar 1 (kiri). Input ini menggambarkan sistem keanggotaan fuzzy di mana nilai terendah dari kejadian adalah 0, yang berarti sistem kelistrikan memiliki kinerja yang normal. Metode kontrol logika fuzzy terdiri dari beberapa proses, yaitu fuzzifikasi, mesin inferensi, dan defuzzifikasi. Dalam proses mesin inferensi, aturan fuzzy digunakan untuk mengontrol sistem secara logis guna mengkorelasikan antara variabel input dengan output. Proses pengambilan keputusan menggunakan mekanisme keanggotaan fuzzy yang terdiri dari 5 basis aturan untuk menghasilkan input fuzzy yang tepat. Proses defuzzifikasi akan menghasilkan nilai output crisp. Output crisp berupa konstanta TMS yang memiliki 9 fungsi keanggotaan yang didefinisikan sebagai singleton. Fungsi keanggotaan TMS dijabarkan pada Gambar 1 (kanan). Metode yang digunakan pada proses defuzzifikasi adalah metode Center of Area (CoA). Nilai output ini digunakan untuk menghitung nilai konstanta TMS dengan rentang antara 0,2 hingga 1,0. Nilai tersebut digunakan oleh mikrokontroler untuk memproses nilai TMS berdasarkan Persamaan (1).



Gambar 1. Fungsi Keanggotaan Fuzzy, Input (Kiri), Output (Kanan)

2.3. Signal Conditioning

Sistem relai pada penelitian ini diilustrasikan pada Gambar 2 (kanan) dengan pengaturan meliputi PS, TMS, dan jenis relai yang dapat disesuaikan. Nilai relay berasal dari sensor arus yang sinyalnya diatur melalui pengkondisian sinyal sebelum dibaca oleh ADC ATmega28P. Pengaturan saat ini dapat disesuaikan menggunakan potensiometer, dan metode ini dapat dikontrol dengan sakelar mode pada prototipe OCR. Sensor arus yang digunakan adalah CT dengan rasio pembacaan 1:100, dengan akurasi hingga 10A. Rload diperlukan untuk mengubah nilai arus menjadi level tegangan. Rangkaian pengkondisi sinyal, termasuk pemindah fasa dan konversi arus ke tegangan, diperlukan sebelum sinyal sensor dibaca oleh ADC. Persamaan (2) digunakan untuk menghitung IOutputSensor, sinyal arus dari sensor berdasarkan rasio transformasi. Selanjutnya Persamaan 3 digunakan untuk menentukan nilai Rburden agar Vpp ADC mencapai 5 Volt pada relay maksimal 10A. [8, 14–17].



Gambar 2. Ilustrasi Pengoperasian Relai Arus Lebih (kiri), Usulan Diagram Skema OCR (kanan)

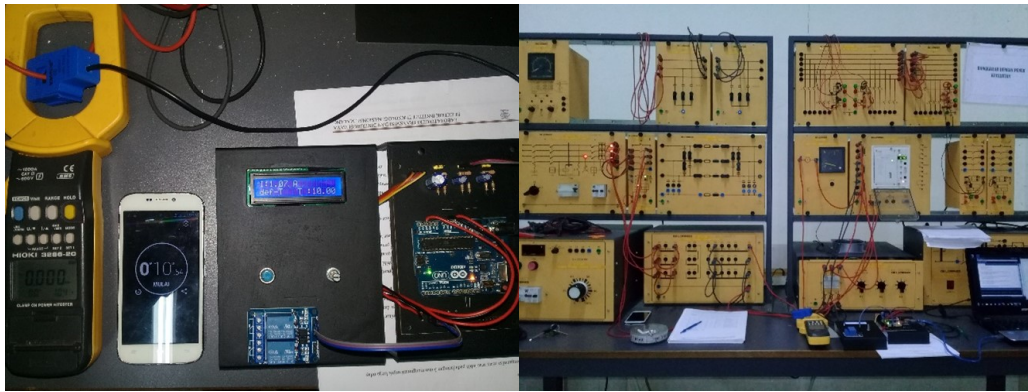
Untuk mengimplementasikan Persamaan (2) dan (3) pada Arduino, diperlukan pseudocode untuk menerjemahkan persamaan matematika tersebut ke dalam bahasa pemrograman, seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Signal Conditioning Pseudocode

Type	Pseudocode
Signal Conditioning	<pre> function avgCurrent(): previousSensorValue0 = sensorValue0 sensorValue0 = analogRead(A0) outputValue0 = map(sensorValue0, 0, 1023, -5000, 5000) current = abs(map(outputValue0, -5000, 5000, 10000, 10000)) / 1000.0 end function </pre>

2.4. Metode Pengujian

OCR (Overcurrent Relay) lengkap digambarkan pada Gambar 3 (kiri), menunjukkan prototipe secara keseluruhan. Pengujian melibatkan evaluasi desain OCR dengan karakteristik standar IEC 60255 dan karakteristik non standar dengan algoritma fuzzy logic pada pengaturan nilai TMS, pengujian ini mencakup keseluruhan jenis OCR seperti IDMT, VI, EI, dan LTI. Parameter pengujian, tercantum pada Tabel 4, mencakup berbagai variabel pengujian OCR. Gambar 3 (kanan) menunjukkan benchmark OCR dari pabrikan ABB, model SPAJ 110 C-CA.



Gambar 3. Prototipe OCR Standar yang Diusulkan (Kiri), Perangkat ABB OCR SPAJ 110 C-CA (Kanan)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

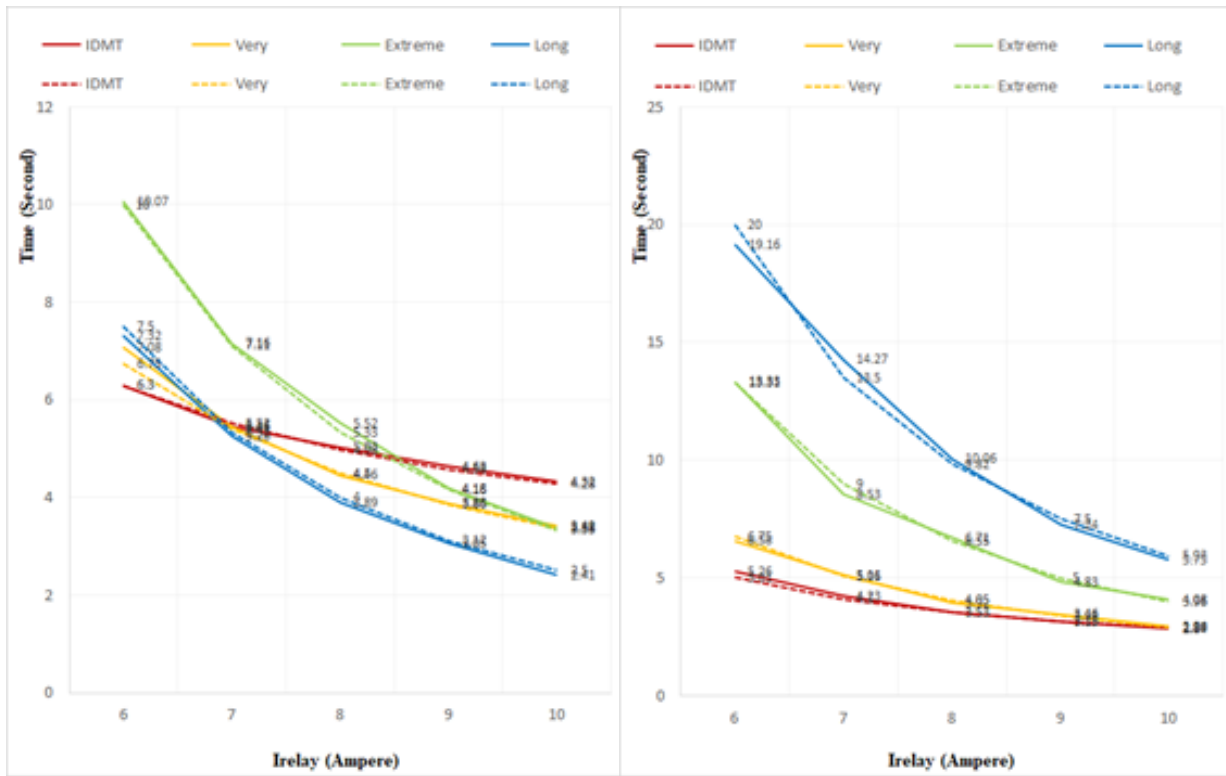
Hasil keseluruhan usulan pengujian OCR digambarkan pada Gambar 4 hingga Gambar 6. Pengujian tersebut melibatkan berbagai jenis OCR yaitu LTI, EI, VI, dan IDMT, sesuai standar IEC 60255, dengan nilai konstanta yang ditentukan pada Tabel 1 yang ditampilkan pada Gambar 4 dan 5. Gambar 6 menampilkan karakteristik OCR standar dengan tambahan algoritma fuzzy logic untuk pengaturan nilai TMS, sehingga OCR dapat secara adaptif menyesuaikan dengan frekuensi gangguan arus lebih yang terjadi. Pengujian dilakukan dengan mengatur nilai PS berkisar antara 2A hingga 5A untuk setiap tipe, dengan gangguan berkisar antara 6A hingga 10A. Hasil pengujian terperinci disajikan pada Tabel 4. Respon sistem yang diharapkan pada OCR standar dengan tambahan algoritma fuzzy logic untuk pengaturan nilai TMS berdasarkan perbedaan konstanta TMS dijelaskan pada Gambar 6.

Tabel 4. Hasil Pengujian TOP pada standar TMS

PS	I _{relay} (A)	Time (Second)							
		Standard Proposed OCR				OCR SPAJ 110 C-CA			
		IDMT	VI	EI	LTI	IDMT	VI	EI	LTI
2	6	6.3	7.08	10.07	7.32	6.3	6.75	10	7.5
	7	5.45	5.46	7.16	5.26	5.52	5.4	7.11	5.33
	8	5.03	4.46	5.52	3.89	4.98	4.5	5.33	4
	9	4.63	3.88	4.18	3.05	4.58	3.86	4.16	3.12
	10	4.32	3.42	3.38	2.41	4.28	3.38	3.33	2.5
3	6	5.26	6.58	13.31	19.16	5.01	6.75	13.33	20
	7	4.23	5.11	8.53	14.27	4.1	5.06	9	13.5
	8	3.53	3.92	6.71	10.06	3.53	4.05	6.55	9.82
	9	3.16	3.46	4.83	7.24	3.15	3.38	5	7.5
	10	2.84	2.94	4.08	5.75	2.87	2.89	3.96	5.93
4	6	5.38	9.75	19.12	52.48	5.73	9	21.33	48
	7	4.11	5.75	12.31	30.05	4.15	6	12.93	29.09
	8	3.46	4.58	8.79	20.57	3.34	4.5	8.89	20
	9	2.84	3.47	6.69	15.34	2.85	3.6	6.56	14.77
	10	2.56	2.97	5.27	11.43	2.52	3	5.08	11.43
5	6	8.48	15.12	46.47	165.58	9.58	16.88	45.45	136.36
	7	5	7.94	20.15	66.75	5.18	8.44	20.83	62.5
	8	3.9	5.35	12.53	40.64	3.71	5.63	12.82	38.46
	9	2.96	4.44	9.24	26.53	2.96	4.22	8.93	26.79
	10	2.46	3.29	6.62	20.79	2.51	3.38	6.67	20

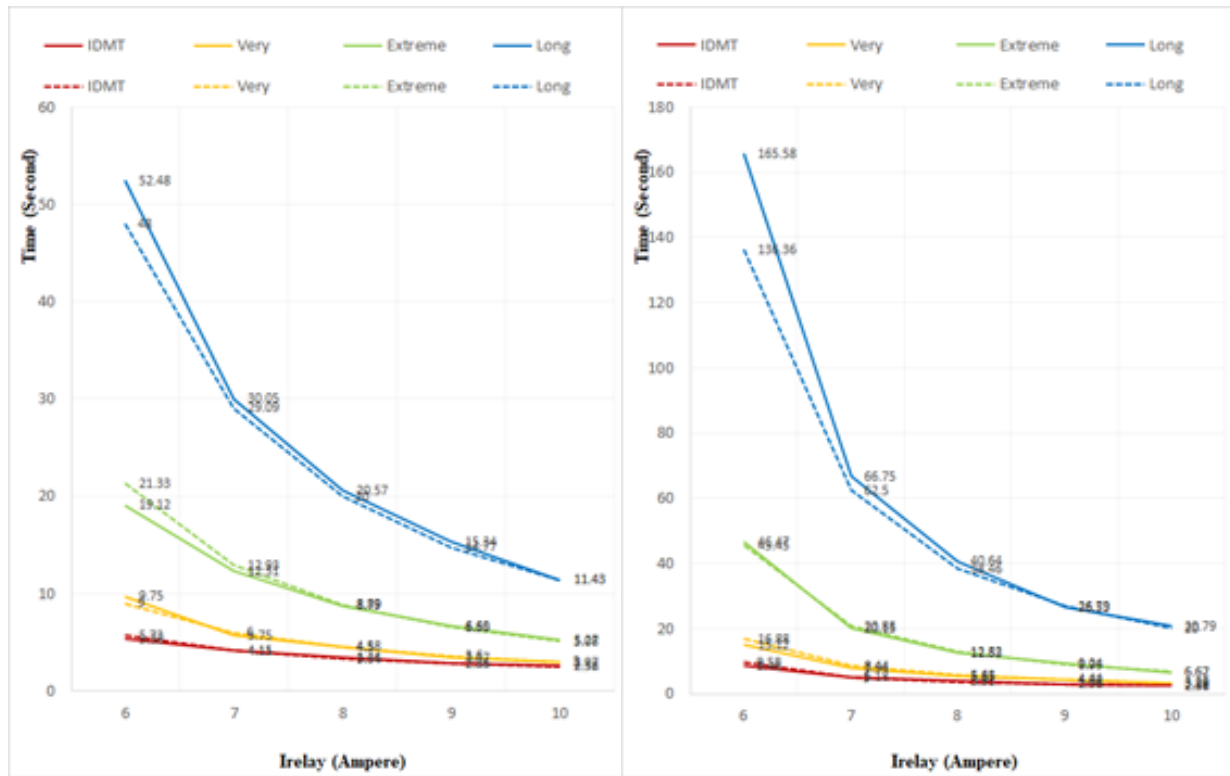
Berdasarkan hasil pengujian dengan nilai PS 2A, diketahui deviasi nilai Top terendah yaitu pada detik 0,00 atau 0,00% diperoleh pada saat pengujian arus gangguan (Irelay) sebesar 6A untuk tipe IDMT. Sebaliknya simpangan tertinggi sebesar 0,33 detik atau 4,89% terjadi pada pengujian arus gangguan (Irelay) sebesar 6A untuk tipe Sangat Inverse (VI). Pada setting PS = 2A, nilai deviasi rata-rata tiap tipe OCR dengan arus gangguan atau variasi I Relay berkisar antara 6A sampai dengan 10A adalah sebagai berikut: IDMT = 0,86%, VI = 1,72%, EI = 1,39%, LTI = 2,46%. Rata-rata pencapaian akurasi terbaik diamati pada tipe IDMT. Hal ini diilustrasikan di sisi kiri Gambar 4.

Berdasarkan hasil pengujian dengan nilai PS 3A diperoleh deviasi nilai Top terendah yaitu pada waktu 0,00 detik atau 0,00% pada saat pengujian arus gangguan (Irelay) sebesar 8A untuk tipe IDMT. Sebaliknya deviasi tertinggi sebesar 0,77 detik atau 5,70% terjadi pada pengujian arus gangguan (Irelay) sebesar 7A untuk tipe Long Time Inverse (LTI). Pada setting PS = 3A, nilai deviasi rata-rata tiap tipe OCR dengan arus gangguan atau variasi I Relay berkisar antara 6A sampai dengan 10A adalah sebagai berikut: IDMT = 1,90%, VI = 2,16%, EI = 2,85%, dan LTI = 3,77%. Rata-rata pencapaian akurasi terbaik diamati pada tipe IDMT. Hal ini diilustrasikan pada sisi kanan Gambar 4.



Garis lurus mewakili karakteristik standar OCR berbasis mikrokontroler yang diusulkan*
 Garis putus-putus mewakili karakteristik ABB OCR SPAJ 110 C-CA**

Gambar 4. Respon OCR terhadap Peningkatan Nilai Arus (Irelay) dengan PS 2A (kiri) dan PS 3A (kanan) pada standar TMS

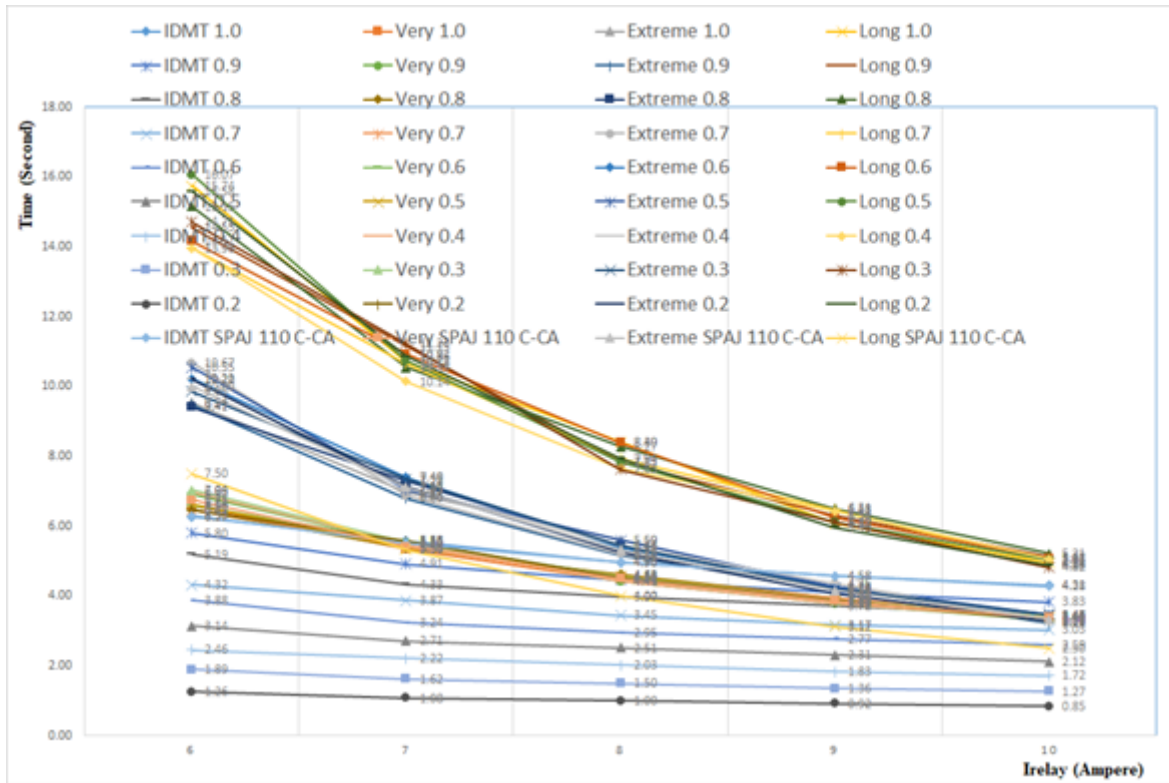


Garis lurus mewakili karakteristik OCR berbasis mikrokontroler yang diusulkan*
 Garis putus-putus mewakili karakteristik ABB OCR SPAJ 110 C-CA**

Gambar 5. Respon OCR terhadap Peningkatan Nilai Arus (Irelay) dengan PS 4A (kiri) dan PS 5A (kanan) pada standar TMS

Berdasarkan hasil pengujian dengan nilai PS 4A diperoleh deviasi nilai Top terendah yaitu sebesar 0,01 detik atau 0,35% pada saat pengujian arus gangguan (Irelay) sebesar 9A untuk tipe IDMT. Sebaliknya simpangan tertinggi sebesar 2,21 detik atau 10,36% terjadi pada pengujian arus gangguan (Irelay) sebesar 6A untuk tipe Extremely Inverse (EI). Pada setting PS = 4A, nilai deviasi rata-rata tiap tipe OCR dengan arus gangguan atau variasi I Relay berkisar antara 6A sampai dengan 10A adalah sebagai berikut: IDMT = 2,52%, VI = 3,78%, EI = 4,40%, dan LTI = 3,87%. Rata-rata pencapaian akurasi terbaik diamati pada tipe IDMT. Hal ini diilustrasikan pada sisi kiri Gambar 5.

Berdasarkan hasil pengujian dengan nilai PS 5A diperoleh deviasi nilai Top terendah yaitu pada waktu 0,00 detik atau 0,00% pada saat pengujian arus gangguan (Irelay) sebesar 9A untuk tipe IDMT. Sebaliknya simpangan tertinggi sebesar 1,10 detik atau 11,48% terjadi pada pengujian arus gangguan (Irelay) sebesar 6A untuk tipe IDMT. Pada setting PS = 5A, nilai deviasi rata-rata tiap tipe OCR dengan arus gangguan atau variasi I Relay berkisar antara 6A sampai dengan 10A adalah sebagai berikut: IDMT = 4,41%, VI = 5,84%, EI = 2,40%, dan LTI = 7,76%. Pencapaian akurasi rata-rata terbaik diamati pada tipe Extremely Inverse (EI). Hal ini diilustrasikan pada sisi kanan Gambar 5. Secara keseluruhan, deviasi yang dihasilkan oleh OCR yang diusulkan terhadap Perangkat ABB OCR SPAJ 110 C-CA cenderung 0,76 detik atau 3,26 persen untuk semua jenis OCR yang diuji berdasarkan standar IEC.



Gambar 6. Respon OCR terhadap Peningkatan Nilai Arus (Irelay) dengan PS 2A pada TMS adaptif Kontrol Logika Fuzzy

Berdasarkan hasil pengujian dengan nilai PS 2A, terdapat perbedaan nilai TOP berdasarkan perubahan nilai TMS yang secara adaptif dikendalikan oleh algoritma fuzzy berdasarkan jumlah kejadian arus lebih. Secara detail, hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 6. OCR dengan kendali fuzzy logic terkadang memiliki nilai TOP yang lebih panjang dibandingkan OCR standar IEC 60255 untuk kejadian normal. Namun, untuk frekuensi kejadian yang tinggi, relay ini lebih responsif dalam mengamankan perangkat kelistrikan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan Overcurrent Relay (OCR) berbasis mikroprosesor dengan kontrol logika fuzzy untuk pengaturan adaptif nilai Time Dial Setting (TMS). Implementasi algoritma fuzzy logic tipe Sugeno pada mikrokontroler Atmega 328P memungkinkan OCR untuk menyesuaikan nilai TMS secara otomatis berdasarkan frekuensi lonjakan arus lebih yang terdeteksi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa OCR yang diusulkan mampu memberikan respons yang lebih adaptif dan responsif terhadap lonjakan arus lebih dibandingkan dengan perangkat OCR konvensional. Deviasi waktu operasi (TOP) terendah diamati pada setting PS yang lebih tinggi, dengan kinerja terbaik pada jenis OCR IDMT. Meski pada kondisi normal OCR dengan kontrol fuzzy logic kadang menghasilkan TOP yang lebih panjang, namun dalam frekuensi gangguan yang tinggi, OCR ini lebih cepat dalam mengamankan perangkat kelistrikan. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa OCR berbasis mikroprosesor dengan kontrol logika fuzzy dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem proteksi ketenagalistrikan, memberikan proteksi yang lebih adaptif terhadap kondisi operasional yang dinamis, dan memenuhi standar internasional seperti IEC 60255. Hal ini membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut dalam teknologi proteksi sistem tenaga listrik yang lebih cerdas dan responsif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh hormat kami mengucapkan terima kasih kepada Pengelola Jurnal BiTe Universitas Bumigora dan LPPM Institut Teknologi Nasional Malang. Kontribusi dan dukungan Anda dalam pengelolaan jur-

nal dan pelaksanaan kegiatan ilmiah sangat berarti bagi kemajuan penelitian dan publikasi ilmiah. Terima kasih atas dedikasi dan komitmennya yang telah memberikan landasan kuat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Kami berharap kerjasama ini terus membuahkan prestasi dan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. N. Rai, A. Singh, and A. Aarti, "Overcurrent Relay Using Voltage Control," in *2021 International Conference on Computational Performance Evaluation (ComPE)*. Shillong, India: IEEE, Dec. 2021, pp. 327–334. doi: [10.1109/ComPE53109.2021.9752206](https://doi.org/10.1109/ComPE53109.2021.9752206)
- [2] F. Alasali, A. S. Saidi, N. El-Naily, S. W. Alnaser, W. Holderbaum, S. M. Saad, and M. Gamaleldin, "Advanced Coordination Method for Overcurrent Protection Relays Using New Hybrid and Dynamic Tripping Characteristics for Microgrid," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 127 377–127 396, 2022. doi: [10.1109/ACCESS.2022.3226688](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3226688)
- [3] F. Alasali, E. Zarour, W. Holderbaum, and K. N. Nusair, "Highly Fast Innovative Overcurrent Protection Scheme for Microgrid Using Metaheuristic Optimization Algorithms and Nonstandard Tripping Characteristics," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 42 208–42 231, 2022. doi: [10.1109/ACCESS.2022.3168158](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3168158)
- [4] R. Putri, E. Juliadi, M. Jannah, T. Zubaidah, D. R. Ramji, and W. K. A. Al-Ani, "Study Coordination Design of Over Current Relay on The Kiln Area Electrical System," *Journal of Renewable Energy, Electrical, and Computer Engineering*, vol. 1, no. 2, p. 94, Sep. 2021. doi: [10.29103/jreece.v1i2.5570](https://doi.org/10.29103/jreece.v1i2.5570)
- [5] A. A. Zakri, R. A. Ramadhan, and W. Sunanda, "Performance Evaluation of Overcurrent Relay and Ground Fault Relay Coordination in Distribution Feeder," *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, vol. 11, no. 1, pp. 66–76, Apr. 2024. doi: [10.33019/jurnalecotipe.v11i1.4487](https://doi.org/10.33019/jurnalecotipe.v11i1.4487)
- [6] A. Firmansyah, A. Suyadi, and M. B. Satriaoktarian, "Unjuk Kerja Over Current Relay Pada Incoming dan Outgoing Transformer Daya #1 60 MVA Gardu Induk Kenten menggunakan ETAP 19.0.1," *Jurnal Tekno*, vol. 19, no. 1, pp. 01–10, Apr. 2022. doi: [10.33557/jtekn.v19i1.1613](https://doi.org/10.33557/jtekn.v19i1.1613)
- [7] M. S. A. Saputro, S. Prasetyono, and R. B. M. Ghozali, "Analisa Koordinasi Setting Ground Fault Relay terhadap Hubung Singkat 1 Fasa Tanah: Coordination Analysis of Ground Fault Relay Setting for 1 Phase Ground Short Circuit," *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 1, no. 2, pp. 109–117, Nov. 2021. doi: [10.57152/malcom.v1i2.109](https://doi.org/10.57152/malcom.v1i2.109)
- [8] B. R. P. D. Palevi, M. Abd. Hamid, and C. D. Megawati, "Rekomendasi Desain Relay Arus Lebih Standar IEC Berbiaya Rendah Menggunakan Arsitektur Mikrokontroler ATMega328P," *Prosiding SENIATI*, vol. 6, no. 3, pp. 500–506, Jul. 2022. doi: [10.36040/seniati.v6i3.5086](https://doi.org/10.36040/seniati.v6i3.5086)
- [9] S.-J. Choi and S.-H. Lim, "Directional Correction of Over-Current Relay Using Voltage Slope in Multi Terminal DC System With SFCL," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 31, no. 5, pp. 1–7, Aug. 2021. doi: [10.1109/TASC.2021.3068612](https://doi.org/10.1109/TASC.2021.3068612)
- [10] A. A. Hameed, A. J. Sultan, and M. F. Bonneya, "Design and Implementation a New Real Time Overcurrent Relay Based on Arduino," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 871, no. 1, p. 012005, Jun. 2020. doi: [10.1088/1757-899X/871/1/012005](https://doi.org/10.1088/1757-899X/871/1/012005)
- [11] V. S. Sazanov, A. I. Kovalenko, A. A. Voloshin, S. Danilov, E. A. Voloshin, and D. Degtyarev, "The Development of System for Automatic Adaptive Change of Relay Protection Settings in Distribution Networks," in *2022 5th International Youth Scientific and Technical Conference on Relay*

- Protection and Automation (RPA)*. Moscow, Russian Federation: IEEE, Oct. 2022, pp. 1–15. doi: [10.1109/RPA57581.2022.9951121](https://doi.org/10.1109/RPA57581.2022.9951121)
- [12] Arduino, *Arduino® Nano Arduino® Nano Features*. A MOBICON Company, 2022. [Online]. Available: <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/a000005-6s.pdf>
- [13] A. Valenzuela, S. Simani, and E. Inga, “Automatic Overcurrent Protection Coordination after Distribution Network Reconfiguration Based on Peer-To-Peer Communication,” *Energies*, vol. 14, no. 11, p. 3253, Jun. 2021. doi: [10.3390/en14113253](https://doi.org/10.3390/en14113253)
- [14] S. K. Maurya, S. Gangolu, and S. Sarangi, “Quadrature based over-current relay for PV penetrated primary distribution system,” in *2020 21st National Power Systems Conference (NPSC)*. Gandhinagar, India: IEEE, Dec. 2020, pp. 1–6. doi: [10.1109/NPSC49263.2020.9331893](https://doi.org/10.1109/NPSC49263.2020.9331893)
- [15] M. I. Saleh, G. El-Saady, and A. M. Yousef, “Over current relays setting design using ETAP software taking in to consideration transformer inrush current,” in *2021 22nd International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*. Assiut, Egypt: IEEE, Dec. 2021, pp. 164–169. doi: [10.1109/MEPCON50283.2021.9686230](https://doi.org/10.1109/MEPCON50283.2021.9686230)
- [16] I. S. Faradisa, M. N. Cholis, and B. R. P. D. Palevi, “Pemantauan Kondisi Cuaca Gunung Berapi dengan Pemanfaatan Multi Sensor,” *Prosiding SENIATI*, vol. 7, no. 2, pp. 259–268, Dec. 2023. doi: [10.36040/seniati.v7i2.8119](https://doi.org/10.36040/seniati.v7i2.8119)
- [17] B. R. P. D. Palevi and C. D. Megawati, “Analisa Karakteristik dan Optimasi Sensor Gas TGS-2201 yang Direkomendasikan sebagai Instrumen Penginderaan pada Sistem Peringatan Dini Gas Beracun,” *Prosiding SENIATI*, vol. 6, no. 3, pp. 493–499, Jul. 2022. doi: [10.36040/seniati.v6i3.5085](https://doi.org/10.36040/seniati.v6i3.5085)