

## IMPLEMENTASI DAN UJI FUNGSI *AIR CIRCUIT BREAKER* SEBAGAI PROTEKSI UTAMA DALAM SISTEM PANEL LISTRIK 400V DI *WORKSHOP* PT. LAROS MULTI INDOTEKNIK

Muhammad Nizaruddin Murtadho<sup>1)</sup>, Denny Irawan<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik  
Jl. Sumatra No 101, Gresik 61121, Jawa Timur, Indonesia  
E-mail : <sup>1)</sup>[nizaruddin062004@gmail.com](mailto:nizaruddin062004@gmail.com), <sup>2)</sup>[den2mas@umg.ac.id](mailto:den2mas@umg.ac.id)

### ABSTRAK

Penelitian ini membahas implementasi dan pengujian *Air Circuit Breaker (ACB) Siemens 3WT8160-5AA00-0AA2* sebagai proteksi utama pada panel distribusi tegangan rendah 400 V di *Workshop* PT Laros Multi Indoteknik. Penelitian ini dilatar belakangi oleh belum tersedianya sistem proteksi utama yang memadai pada proyek penambahan Panel Motor Control Center (MCC) New Juice Heater di PT Rejoso Manis Indo, sehingga berpotensi menimbulkan gangguan hubung singkat, kerusakan peralatan, penurunan kontinuitas suplai daya, serta risiko keselamatan bagi operator. Selain itu, sistem proteksi yang digunakan sebelumnya hanya berupa MCCB dan MCB yang memiliki keterbatasan dalam menangani arus gangguan besar pada sistem distribusi industri. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian terapan dengan pendekatan kuantitatif melalui implementasi dan pengujian fungsi ACB. Pengujian meliputi *Insulation Resistance Test*, *Contact Resistance Test*, dan *Primary Injection Test* untuk mengevaluasi kualitas isolasi, resistansi kontak, serta waktu respon pemutusan ACB. Seluruh proses pengujian mengacu pada standar IEC 60947-2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ACB memenuhi ketentuan standar sehingga layak dan andal digunakan sebagai proteksi utama pada panel distribusi 400 V, serta mampu meningkatkan keandalan, kontinuitas suplai daya, dan keselamatan sistem distribusi listrik industri.

**Kata kunci** : *Air Circuit Breaker*, Distribusi Tegangan Rendah, Pengujian Proteksi, *Siemens 3WT8160-5AA00-0AA2*

### ABSTRACT

*This research discusses the implementation and testing of the Siemens 3WT8160-5AA00-0AA2 Air Circuit Breaker (ACB) as the main protection device in a 400 V low-voltage distribution panel at the PT Laros Multi Indoteknik Workshop. This study was motivated by the absence of an adequate main protection system in the New Juice Heater Motor Control Center (MCC) Panel addition project at PT Rejoso Manis Indo, which could potentially cause short-circuit disturbances, equipment damage, reduced power supply continuity, and safety risks for operators. In addition, the previous protection system only utilized MCCB and MCB devices, which have limitations in handling high fault currents in industrial distribution systems. The research method used was applied research with a quantitative approach through the implementation and functional testing of the ACB. The testing procedures included Insulation Resistance Test, Contact Resistance Test, and Primary Injection Test to evaluate insulation quality, contact resistance, and ACB tripping response time. All testing processes referred to IEC 60947-2 standards. The results showed that the ACB complied with the required standards, making it suitable and reliable as the main protection device for the 400 V*

*distribution panel, while also improving system reliability, power supply continuity, and the safety of industrial electrical distribution systems.*

**Keywords:** *Air Circuit Breaker, Low Voltage Distribution, Protection Testing, Protection, Siemens 3WT8160-5AA00-0AA2*

## 1. PENDAHULUAN

Panel distribusi tegangan rendah *Low Voltage Main Distribution Panel* (LVMDP) berperan sebagai pusat pengendalian dan pembagian daya ke berbagai beban. Oleh karena itu, desain dan pemilihan perangkat proteksi dalam panel distribusi harus memperhatikan kapasitas arus, karakteristik beban, serta tingkat keandalan sistem [1].

Dalam sistem kelistrikan industri, pemutus sirkuit (*circuit breaker*) memegang peran krusial dalam sistem tenaga listrik karena harus secara cepat dan efektif memutus arus gangguan seperti hubung-singkat sebelum merusak perangkat atau mengganggu kestabilan sistem[2]. ACB berfungsi untuk memutuskan arus dalam kondisi normal maupun saat terjadi gangguan agar sistem tidak mengalami kerusakan yang lebih parah.

Kasus yang menjadi dasar penelitian ini berawal dari proyek yang dilakukan di PT. Rejoso Manis Indo, di mana dilakukan penambahan panel *Motor Control Center (MCC) New Juice Heater*. Pada kondisi awal, panel tersebut belum memiliki sumber tegangan yang memadai dan hanya tersedia panel MCC tanpa panel sumber utama. Sumber daya berasal dari gardu induk yang diturunkan melalui trafo menuju *panel source feeder*. Jika suplai tegangan dari panel source feeder disalurkan langsung ke panel MCC tanpa adanya proteksi utama yang memadai, risiko kerusakan peralatan dan bahaya terhadap operator akan meningkat. Hal ini dikarenakan sistem proteksi yang digunakan di panel MCC hanya berupa MCCB dan MCB, yang tidak dirancang untuk menahan arus besar dalam waktu lama.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pihak PT. Rejoso Manis Indo sebagai buyer mengajukan permintaan pengadaan panel ACB kepada PT. Real Soluplus Indonesia sebagai

vendor, yang kemudian mempercayakan pekerjaan implementasi dan pengujian panel ACB tersebut kepada PT. Laros Multi Indoteknik selaku kontraktor. Implementasi ACB pada sistem panel 400 V di *workshop* ini menjadi langkah penting dalam meningkatkan keandalan dan keamanan distribusi daya.

Penggunaan *Air Circuit Breaker* tipe elektronik pada panel distribusi utama memberikan hasil kinerja yang lebih stabil dan akurat dalam mendeteksi arus gangguan dibandingkan sistem proteksi konvensional [3]. Hal ini karena ACB modern dilengkapi unit kontrol *Micrologic* yang mampu melakukan pengaturan arus nominal, *long-time delay*, *short-time delay*, dan *instantaneous trip* secara digital. Dengan sistem tersebut, ACB tidak hanya berfungsi sebagai pemutus arus, tetapi juga sebagai perangkat pemantau kondisi sistem listrik secara *real time*. Kinerja ACB dalam sistem distribusi industri juga telah dibuktikan dan hasilnya sangat berpengaruh dalam menjaga keamanan alat dan operator, sehingga *circuit breaker* berperan penting dalam meminimalkan dampak gangguan listrik terhadap sistem, terutama pada sisi tegangan tinggi dan menengah [4].

Panel *Air Circuit Breaker* (ACB) merupakan pusat distribusi dan proteksi utama pada sistem tenaga listrik tegangan rendah yang berfungsi mengendalikan serta melindungi aliran daya dari gangguan seperti arus lebih, hubung singkat, dan beban berlebih. Dibandingkan dengan panel yang menggunakan MCB atau MCCB, panel ACB memiliki kapasitas arus lebih besar dan fitur proteksi yang dapat diatur sesuai karakteristik sistem. Panel ini umumnya dipasang pada *Low Voltage Main Distribution Panel* (LVMDP) dan dilengkapi dengan ACB. Penggunaan panel ACB sangat berpengaruh dalam meningkatkan keandalan serta keselamatan sistem distribusi

karena ACB mampu bekerja otomatis maupun manual saat terjadi gangguan[5].

Keandalan sistem elektrik juga sangat dipengaruhi oleh kualitas sistem proteksi dan koordinasi antarpanel dalam menjaga kontinuitas suplai daya [6]. *Air Circuit Breaker* (ACB) adalah alat pemutus arus listrik tegangan rendah yang berfungsi melindungi sistem dari gangguan seperti arus lebih, beban berlebih, dan hubung singkat. ACB bekerja dengan menggunakan udara sebagai pemadam busur api saat kontak listrik terbuka, serta mampu dioperasikan secara manual maupun otomatis[7].

*STI Fuse* dilengkapi indikator visual (*tube indicator*) yang menunjukkan kondisi fuse saat putus, memudahkan identifikasi gangguan tanpa perlu pengujian tambahan. Material polimer pada sistem proteksi seperti *fuse* terbukti meningkatkan keamanan dan keandalan jaringan distribusi tegangan menengah, karena memiliki ketahanan termal tinggi dan mampu merespons perubahan arus dengan cepat serta stabil dalam kondisi lingkungan industri[8].

Dalam perancangan panel listrik tiga fasa, penggunaan CT berperan penting untuk menjaga keandalan sistem pengukuran dan keselamatan peralatan [10]. Busbar adalah penghantar utama dalam sistem panel listrik yang berfungsi menyalurkan arus dari sumber ke berbagai beban secara efisien dan stabil[11]. Penggunaan perangkat kontrol seperti *push button* dapat meningkatkan efisiensi dan keselamatan sistem listrik, karena memudahkan operator dalam melakukan pengendalian beban dan mencegah terjadinya kesalahan operasi pada sistem distribusi daya[12]. Sistem monitoring daya melalui power meter memungkinkan pengguna untuk memperoleh data real-time yang akurat, yang dapat digunakan sebagai dasar evaluasi efisiensi energi dan keandalan operasi sistem tenaga listrik [9].

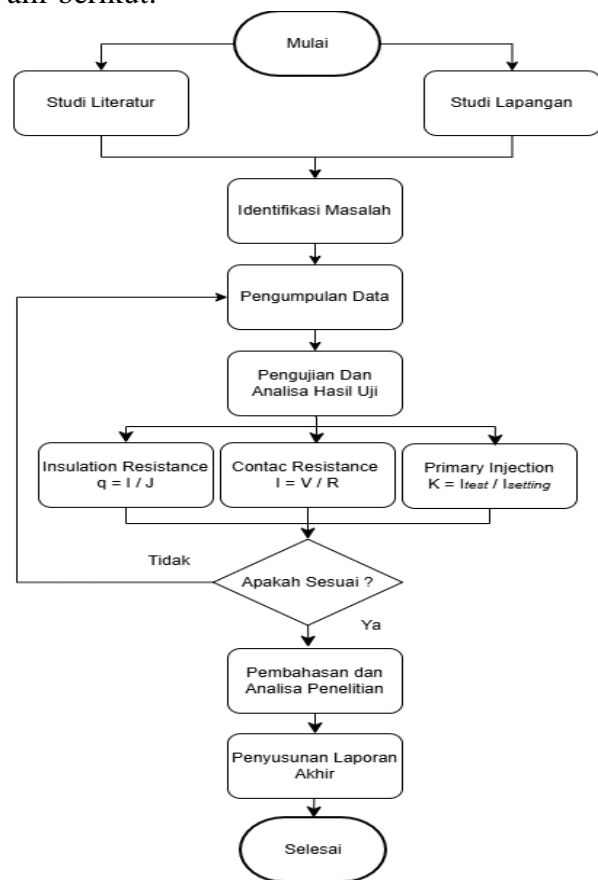
Dalam sistem distribusi 400 V, warna lampu indikator umumnya mengikuti standar industri, yaitu merah untuk kondisi aktif, hijau untuk normal, dan kuning untuk peringatan. Penerapan indikator visual seperti pilot lamp terbukti meningkatkan efisiensi sistem monitoring dan keandalan operasi, karena kondisi beban maupun

gangguan dapat terdeteksi lebih cepat dan akurat[13].

Penerapan MCB sangat penting dalam sistem kelistrikan karena mampu meningkatkan keamanan operasional dan keselamatan instalasi listrik, terutama pada kondisi beban yang berpotensi menyebabkan kerusakan peralatan atau bahaya kebakaran[14]. Dengan demikian, penggantian MCB/MCCB sebagai proteksi utama menjadi ACB sebagai proteksi utama pada sistem panel 400 V di *Workshop* PT. Laros Multi Indoteknik menjadi langkah yang penting dan mendesak untuk meningkatkan kapasitas proteksi, menjaga keandalan distribusi daya, serta meminimalkan risiko gangguan dan kerusakan peralatan pada sistem kelistrikan.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini dapat dijelaskan melalui diagram alir berikut:



**Gambar 1.** Diagram Penelitian Air Circuit Breaker

Analisis data pada penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif melalui metode perhitungan matematis dan perbandingan terhadap standar internasional. Proses analisis dilakukan melalui beberapa tahapan.

## 2.1 Analisis Perhitungan Hasil Uji

Perhitungan Luas Penampang Busbar:

$$q = \frac{I}{J} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

- $q$  = Luas penampang busbar (mm<sup>2</sup>)
- $I$  = Arus nominal (2000A)
- $J$  = Kerapatan arus (1.5A/mm<sup>2</sup> untuk kondisi panel terbuka)

Perhitungan Arus Bocor:

$$I = \frac{V}{R} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

- $I$  = Arus bocor (Ampere)
- $V$  = Tegangan uji (Volt) = 500 V DC
- $R$  = Tahanan isolasi (Ohm)

Perhitungan resistansi kontak terhadap rugi daya:

$$P = I^2 \cdot R \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

- $P$  = Daya hilang (Watt)
- $I$  = Arus yang mengalir (Ampere)
- $R$  = Resistansi kontak (Ohm)

Perhitungan Kelipatan Arus Pengujian:

$$K = \frac{I_{test}}{I_{setting}} \dots \dots \dots (4)$$

- $K$  = Rasio arus terhadap setting
- $I_{test}$  = Arus uji (Ampere)
- $I_{setting}$  = Arus setting proteksi (Ampere)

## 2.2 Studi Dokumentasi

Melakukan pengumpulan data rancangan sistem panel, *wiring diagram control*, dan titik pengujian sebagai acuan dalam proses pengujian dan analisis sistem proteksi ACB

## 2.3 Implementasi dan Uji Fungsi

Pelaksanaan penelitian diawali dengan proses instalasi *Air Circuit Breaker (ACB) Siemens 3WT8160-5AA00-0AA2* pada panel distribusi tegangan rendah 400 V berdasarkan rancangan wiring diagram yang telah ditetapkan.

Setelah proses instalasi selesai, dilakukan verifikasi terhadap sistem koneksi dan pengawatan untuk memastikan seluruh rangkaian telah terpasang sesuai dengan desain dan standar instalasi yang berlaku. Tahap berikutnya adalah pelaksanaan pengujian *Insulation Resistance* untuk menilai kualitas isolasi antar fasa maupun antara fasa dengan *ground*, sehingga dapat diketahui tingkat keamanan dan keandalan sistem terhadap potensi kebocoran arus listrik. Selanjutnya dilakukan pengujian *Contact Resistance* guna mengevaluasi kondisi mekanis serta kelayakan konduktivitas pada kontak utama ACB, sehingga dapat diketahui apakah nilai tahanan kontak masih berada dalam batas yang diizinkan. Pengujian terakhir yang dilakukan adalah *Primary Injection Test* yang bertujuan untuk mengukur kinerja operasional ACB, meliputi waktu respon dan karakteristik *trip* terhadap gangguan arus lebih.

Dalam pelaksanaan uji fungsi tersebut, *Air Circuit Breaker (ACB)* dioperasikan menggunakan pengaturan (*setting*) awal yang mengacu pada spesifikasi teknis pabrikan *Siemens* serta ketentuan standar IEC 60947-2. Pengaturan ini digunakan sebagai konfigurasi awal perangkat untuk mendukung proses pengujian tanpa melibatkan penentuan setting berdasarkan karakteristik beban sistem, karena panel ACB belum terhubung dengan panel *Motor Control Center (MCC)*. Oleh karena itu, evaluasi yang dilakukan difokuskan pada kesesuaian respon kerja dan waktu trip ACB secara fungsional, bukan sebagai penentuan setting operasional akhir pada sistem distribusi daya.

## 2.4 Analisis Data

Pengambilan data dilakukan dari hasil pengujian yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan standar internasional IEC guna menilai kesesuaian performa *Air Circuit Breaker (ACB)* terhadap kriteria teknis yang berlaku. Perbandingan ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara hasil pengujian dan tingkat keandalan sistem proteksi dalam menjaga kontinuitas serta keamanan penyaluran daya listrik pada panel distribusi 400 V. Berdasarkan hasil analisis tersebut, kemudian

ditarik kesimpulan mengenai kelayakan fungsi ACB sebagai proteksi utama, baik dari aspek kinerja mekanis, keakuratan sistem trip, maupun kemampuan ACB dalam merespons gangguan secara efektif sesuai standar yang ditetapkan

### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Implementasi dan Instalasi Panel ACB

Pengujian mekanis dilakukan melalui metode *cold commissioning*, yaitu tanpa tegangan. Proses ini meliputi pengisian pegas (*spring charging*) secara manual serta pengoperasian tombol *close* dan *open* untuk memastikan mekanisme pengunci (*latch*) bekerja dengan baik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mekanisme ACB berfungsi normal tanpa adanya hambatan.

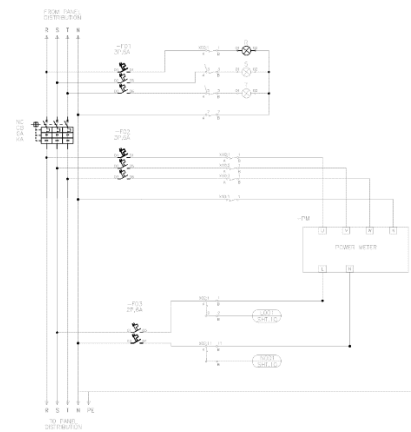
Konfigurasi busbar *paralel* pada setiap fasa, netral, dan ground menghasilkan luas penampang total sebesar:

$$2 \times (100 \times 10) = 2000 \text{ mm}^2 \text{ (Fasa dan Netral)}$$
$$1 \times (80 \times 10) = 800 \text{ mm}^2 \text{ (Ground)}$$

Nilai ini lebih besar dari kebutuhan minimum untuk fasa dan netral (1333 mm<sup>2</sup>) dan untuk ground (462mm<sup>2</sup>), sehingga memberikan margin keamanan terhadap kenaikan suhu serta meningkatkan keandalan sistem dalam kondisi operasi penuh.

Selain itu, kapasitas busbar juga telah memenuhi ketahanan terhadap arus hubung singkat yang dapat mencapai 66 kA sesuai spesifikasi ACB. Hal ini menunjukkan bahwa busbar mampu menahan beban termal dan mekanis selama gangguan terjadi. Setiap sambungan busbar dikencangkan menggunakan kunci torsi (*torque wrench*) sesuai standar untuk menghindari terjadinya hotspot akibat sambungan yang longgar, yang dapat menyebabkan kenaikan suhu berlebih dan potensi kegagalan system.

Selain jalur daya utama, dilakukan pemasangan sistem pengawatan (*wiring*) untuk mendukung fungsi kontrol, *monitoring*, dan proteksi pada *Air Circuit Breaker* (ACB). Sistem ini mencakup pemasangan *power meter*, *auxiliary contact* dan *wiring kontrol*.



Gambar 2. Wiring Control Panel ACB

*Power meter* digunakan sebagai perangkat *monitoring* untuk mengukur parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, dan frekuensi secara *real-time*, sehingga memudahkan operator dalam melakukan pengawasan kondisi sistem distribusi. Sementara itu, *auxiliary contact* berfungsi sebagai indikator status operasi ACB, di mana perubahan kondisi seperti *close*, *open*, dan *trip* ditampilkan melalui lampu indikator dengan warna merah, hijau, dan kuning.

Pemasangan *wiring* kontrol dan *monitoring* proteksi dilakukan berdasarkan tiga gambar *single line diagram* (SLD) yang digunakan sebagai acuan perancangan sistem. Hasil implementasi menunjukkan bahwa seluruh koneksi antar komponen telah terpasang sesuai diagram tanpa ditemukan kesalahan pengkabelan. Pengujian juga menunjukkan bahwa sistem kontrol dan *monitoring* mampu bekerja dengan baik, di mana setiap sinyal perintah maupun informasi kondisi ACB dapat ditransmisikan secara normal. Selain itu, sistem *grounding* telah terpasang pada panel sebagai bagian dari proteksi keselamatan, dengan seluruh bagian logam panel terhubung ke sistem pembumian sesuai standar instalasi. Dengan demikian, sistem *wiring* dan *grounding* pada panel ACB dapat dinyatakan berfungsi dengan baik serta mampu mendukung kinerja sistem kontrol, *monitoring*, dan proteksi secara optimal.

Selanjutnya, pengujian *auxiliary contact* dilakukan dengan mengoperasikan ACB dalam kondisi *open*, *close*, dan *trip*. Hasil pengujian

menunjukkan bahwa perubahan status ACB diikuti dengan perubahan indikator lampu yang sesuai, yaitu lampu merah untuk kondisi *close*, hijau untuk *open*, dan kuning untuk *trip*. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol dan *monitoring* pada panel ACB telah berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan yang telah dilakukan.

**Tabel 1.** Tabel Instalasi ACB

Component		Test Parameter	Test Method	Result	Remark
Commissioning Test	Power Meter	Voltage, current, power	Display observation during operation	Display observation during operation	Normal
		General display parameter	Overall display observation	Functioning properly	Normal
	Auxiliary Contact	ON/OFF/TRIP status	ACB operation (open/close/trip)	Indicator matched	Normal
	Pilot Lamp	Visual indication	Indicator lamp observation	Functioning properly	Normal
	Grounding System	Continuity to ground	Continuity test	Properly connected	Normal
Test Summary		<input checked="" type="checkbox"/> Test Passed <input type="checkbox"/> Test Inconclusive <input type="checkbox"/> Test Failed			

### 3.2 Pengujian Insulation Resistance

Pengujian tahanan isolasi dilakukan untuk mengevaluasi kondisi isolasi ACB, busbar, dan sistem pengawatan pada panel LVMDP guna memastikan tidak terjadi kebocoran arus. Pengujian menggunakan *insulation resistance tester* (*Megger 1025*) dengan tegangan uji 500 V DC pada rangkaian utama. Hasil pengukuran tahanan isolasi pada kedua kondisi tersebut disajikan pada Gambar 4.



**Gambar 3.** Dokumentasi Pengujian *Megger 1025*

Pengujian *insulation resistance* menggunakan alat *Megger 1025* yang berfungsi dengan baik dan dalam kondisi layak operasi. Pengujian dilakukan pada suhu ruangan berkisar

26–29°C untuk menjaga kestabilan dan keakuratan hasil pengukuran tahanan isolasi.

1. Insulation Resistance Test			
Breaker Close		Breaker Open	
Primary Circuit	Test Voltage=500 V DC	Primary Circuit	Test Voltage=500 V DC
Phase A – G =	607 Mega Ohm	Pole A =	1.84 Giga Ohm
Phase B – G =	559 Mega Ohm	Pole B =	1.42 Giga Ohm
Phase C – G =	538 Mega Ohm	Pole C =	1.61 Giga Ohm
Phase A – B =	701 Mega Ohm		
Phase B – C =	673 Mega Ohm		
Phase A – C =	652 Mega Ohm		

**Gambar 4.** Hasil Pengujian *Insulation Resistance*

Bisa dilihat bahwa hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan nilai pengukuran *contact resistance* antar fasa yang dapat dipengaruhi oleh perbedaan tekanan jepit kontak, kondisi permukaan, tekstur material kontak, maupun kualitas sambungan pada masing-masing fasa. Namun seluruh nilai pengujian masih berada dalam batas normal dan menunjukkan konduktivitas ACB yang baik.

Analisa hasil uji dengan perhitungan arus bocor :

$$I = \frac{V}{R}$$

Nilai pengujian terlebih dahulu dikonversi ke satuan ohm ( $\Omega$ ), yaitu:

*Breaker Open*

- Phase A – G = 607 M $\Omega$  = 607  $\times$  10<sup>6</sup>
- Phase B – G = 559 M $\Omega$  = 559  $\times$  10<sup>6</sup>
- Phase C – G = 538 M $\Omega$  = 538  $\times$  10<sup>6</sup>
- Phase A – B = 701 M $\Omega$  = 701  $\times$  10<sup>6</sup>
- Phase B – C = 673 M $\Omega$  = 673  $\times$  10<sup>6</sup>
- Phase A – C = 652 M $\Omega$  = 652  $\times$  10<sup>6</sup>

*Breaker Close*

- Pole A = 1.84 G $\Omega$  = 1.84  $\times$  10<sup>9</sup>
- Pole B = 1.42 G $\Omega$  = 1.42  $\times$  10<sup>9</sup>
- Pole C = 1.61 G $\Omega$  = 1.61  $\times$  10<sup>9</sup>

Selanjutnya dilakukan perhitungan arus bocor pada masing-masing fasa sebagai berikut:

*Breaker Open*

- Phase A – G =  $\frac{500}{607 \times 10^6} = 0.82 \mu\text{A}$
- Phase B – G =  $\frac{500}{559 \times 10^6} = 0.89 \mu\text{A}$
- Phase C – G =  $\frac{500}{538 \times 10^6} = 0.93 \mu\text{A}$
- Phase A – B =  $\frac{500}{701 \times 10^6} = 0.71 \mu\text{A}$
- Phase B – C =  $\frac{500}{673 \times 10^6} = 0.74 \mu\text{A}$

$$f. \text{ Phase A – C} = \frac{500}{652 \times 10^6} = 0.77 \mu\text{A}$$

*Breaker Close*

$$a. \text{ Pole A} = \frac{500}{1.84 \times 10^9} = 0.27 \mu\text{A}$$

$$b. \text{ Pole B} = \frac{500}{1.42 \times 10^9} = 0.35 \mu\text{A}$$

$$c. \text{ Pole C} = \frac{500}{1.61 \times 10^9} = 0.31 \mu\text{A}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh bahwa:

- Arus bocor pada kondisi *breaker open* berada pada kisaran 0.27 – 0.35  $\mu\text{A}$
- Arus bocor pada kondisi *breaker close* berada pada kisaran 0.71 – 0.93  $\mu\text{A}$

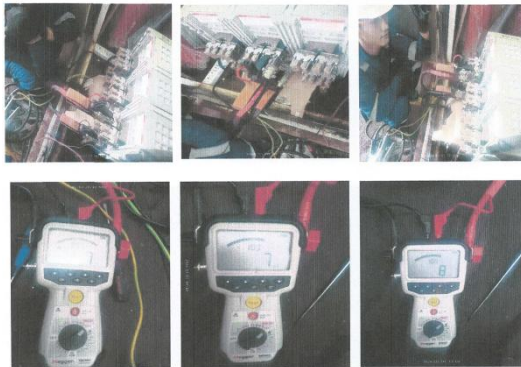
Jika dibandingkan dengan batas minimum tahanan isolasi sebesar  $\geq 1 \text{ M}\Omega$  berdasarkan IEC 60947-2, maka arus bocor maksimum yang masih diperbolehkan adalah:

$$I = \frac{500}{1 \times 10^6} = 0.0005 \text{ A} = 0.5 \text{ mA}$$

Hasil analisa perhitungan ini menunjukkan bahwa arus bocor aktual berada pada orde *mikroampere* ( $\mu\text{A}$ ), atau sekitar 1000 kali lebih kecil dibandingkan batas maksimum yang diperbolehkan.

### 3.3 Pengukuran Contac Resistance

Pengujian resistansi kontak dilakukan untuk mengevaluasi kualitas konduktivitas kontak utama ACB dalam menghantarkan arus dengan rugi daya minimal. Pengujian menggunakan alat *Contact Resistance Test (MOM2)* dengan arus uji 100 A DC untuk memperoleh nilai resistansi kontak yang akurat dan hasil uji pengujian tersebut disajikan pada Gambar 6.



**Gambar 5.** Dokumentasi Pengujian *MOM2*

Pengujian *contact resistance* menggunakan alat *MOM2* yang berfungsi dengan

baik dan dalam kondisi layak operasi. Pengujian dilakukan pada suhu ruangan berkisar 26–29°C untuk menjaga kestabilan dan keakuratan hasil pengukuran resistansi kontak.

2. Contact Resistance Test	
Breaker Close	
Primary Circuit	Inject Ampere=100 A DC
Phase A =	7 Micro Ohm
Phase B =	7 Micro Ohm
Phase C =	8 Micro Ohm

**Gambar 6.** Hasil Pengujian *Contact Resistance*

Analisa hasil uji dengan perhitungan rugi daya :

$$P = I^2 \cdot R$$

Nilai resistansi terlebih dahulu dikonversi ke satuan *ohm* ( $\Omega$ ), yaitu:

$$a. 7 \mu\Omega = 7 \times 10^{-6}$$

$$b. 8 \mu\Omega = 8 \times 10^{-6}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan rugi daya pada masing-masing fasa sebagai berikut::

$$a. \text{ Phase A } P = (2000)^2 \cdot (7 \times 10^{-6}) = 28 \text{ W}$$

$$b. \text{ Phase B } P = (2000)^2 \cdot (7 \times 10^{-6}) = 28 \text{ W}$$

$$c. \text{ Phase C } P = (2000)^2 \cdot (8 \times 10^{-6}) = 32 \text{ W}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, rugi daya pada masing-masing fasa berada pada kisaran 28–32 W.

Jika dibandingkan dengan batas kondisi optimal (aman) resistansi nya sebesar  $< 50 \mu\Omega$  berdasarkan IEC 62271-100, maka batas rugi daya yang masih diperbolehkan adalah:

$$P = (2000)^2 \cdot (50 \times 10^{-6})$$

$$P = 4,000,000 \cdot 0.00005 = 200 \text{ W}$$

Hasil analisa perhitungan menunjukkan bahwa rugi daya pada masing-masing fasa hanya sebesar 28–32 W, jauh di bawah batas aman teoritis, sehingga ACB dinyatakan layak operasi dengan performa konduktivitas yang baik, rugi daya minimal, dan risiko *overheating* yang sangat rendah.

### 3.4 Pengukuran Primary Injection

Pengujian *primary injection* dilakukan untuk memverifikasi respon proteksi dan karakteristik *trip* ACB terhadap arus lebih. Pengujian menggunakan perangkat *OMICRON CPC 100* dengan injeksi arus langsung pada rangkaian

utama, dan hasil pengujian disajikan pada Gambar 8.



**Gambar 7.** Dokumentasi Pengujian *OMICRON CPC 100*

Pengujian *primary injection* menggunakan alat *OMICRON CPC 100* yang berfungsi dengan baik dan dalam kondisi layak operasi. Pengujian dilakukan pada suhu ruangan berkisar 26–29°C untuk menjaga kestabilan sistem dan keakuratan hasil pengujian arus injeksi serta waktu *trip* ACB

3. Over Current Release for AC Circuit Breaker				
Function Test	Setting	Result Or Affect		
		Current Injected (A)	Time Setting (Sec)	Actual Trip Time (Sec)
Primary Injection				
Over Current	0.8 x In (2000)	1900	24	46

**Gambar 8.** Hasil Pengujian *Primary Injection*

Analisa hasil uji dengan perhitungan kelipatan Arus Pengujian: :

$$K = \frac{I_{\text{test}}}{I_{\text{setting}}}$$

Berdasarkan data pengujian, diketahui bahwa ACB memiliki arus nominal sebesar:

$$I_n = 2000 \text{ A}$$

Dengan *setting* proteksi sebesar:

$$I_{\text{setting}} = 0.8 \times I_n = 0.8 \times 2000 = 1600 \text{ A}$$

Arus yang diinjeksikan pada saat pengujian adalah:

$$I_{\text{test}} = 1900 \text{ A}$$

Sehingga rasio arus terhadap setting dapat dihitung sebagai berikut:

$$I_{\text{test}} = \frac{1900}{1600} = 1.1875 \approx 1.19$$

Hasil pengujian menunjukkan bahwa ACB berhasil melakukan tripping pada kondisi arus lebih sebesar 1,19 kali arus setting dengan waktu pemutusan selama 46 detik. Waktu trip yang lebih lama dari nilai setting menunjukkan bahwa karakteristik proteksi yang bekerja adalah *long-time delay* dengan prinsip *inverse time*, dimana semakin kecil selisih antara arus uji dan arus setting maka waktu tunda *trip* akan semakin panjang.

### 3.5 Evaluasi Kelayakan Operasional ACB

Berdasarkan seluruh rangkaian pengujian yang telah dilakukan, meliputi pengujian tahanan isolasi (*insulation resistance test*), pengujian resistansi kontak (*contact resistance test*), serta pengujian *primary injection*, dapat dilakukan evaluasi menyeluruh terhadap kinerja dan kelayakan operasional *Air Circuit Breaker* (ACB) sebagai sistem proteksi utama pada panel *Low Voltage Main Distribution Panel* (LVMDP). Pada pengujian tahanan isolasi, diperoleh nilai resistansi pada kondisi *breaker close* berada pada kisaran ratusan Mega *Ohm* (538–701 MΩ), sedangkan pada kondisi *breaker open* meningkat hingga orde Giga *Ohm* (1.42–1.84 GΩ). Seluruh nilai tersebut berada jauh di atas batas minimum  $\geq 1 \text{ M}\Omega$  yang mengacu pada standar IEC 60947-2. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem isolasi pada ACB, busbar, serta *wiring* panel berada dalam kondisi sangat baik, dengan tingkat arus bocor yang sangat kecil (orde mikroampere), sehingga mampu menjamin keamanan operasi serta meminimalkan risiko gangguan akibat kebocoran arus.

Selanjutnya, pada pengujian resistansi kontak diperoleh nilai sebesar 7–8  $\mu\Omega$  pada seluruh fasa.

Nilai ini termasuk dalam kategori kondisi optimal ( $< 50 \mu\Omega$ ) berdasarkan standar IEC 60947-2. Nilai resistansi yang sangat rendah menunjukkan bahwa kualitas kontak masih sangat baik, dengan luas permukaan kontak yang efektif dan distribusi tekanan yang merata. Hal ini berdampak langsung pada kecilnya rugi daya yang dihasilkan, yaitu sebesar 28–32 W pada masing-masing fasa, sehingga tidak menimbulkan kenaikan temperatur yang signifikan dan mengurangi potensi terjadinya *overheating* selama operasi. Pada pengujian *primary injection*, ACB diuji dengan arus injeksi sebesar 1900 A atau sekitar 1,19 kali dari arus setting proteksi (1600 A). Hasil pengujian menunjukkan bahwa ACB mampu melakukan tripping pada kondisi arus lebih dengan waktu pemutusan sebesar 46 detik. Karakteristik ini sesuai dengan prinsip *inverse time* pada proteksi *long-time delay*, di mana semakin kecil selisih arus terhadap *setting*, maka waktu *trip* akan semakin lama. Dengan demikian, sistem proteksi pada ACB terbukti bekerja sesuai dengan karakteristik yang diharapkan dan memenuhi kriteria pengujian berdasarkan standar IEC 60947-2.

Secara keseluruhan, hasil integrasi dari ketiga pengujian tersebut menunjukkan bahwa ACB memiliki performa yang sangat baik dari sisi isolasi, konduktivitas, maupun respon proteksi. Tidak ditemukan kegagalan fungsi, penyimpangan parameter, maupun gangguan signifikan pada sistem. Hasil pengujian yang sesuai standar internasional menunjukkan bahwa proses instalasi dan pengujian telah dilakukan sesuai prosedur teknis. Dengan demikian, *Air Circuit Breaker* (ACB) pada panel LVMDP dinyatakan layak operasi, aman digunakan, serta andal dalam melindungi sistem dari beban lebih dan hubung singkat, sehingga siap mendukung distribusi daya listrik secara berkelanjutan.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian *Air Circuit Breaker* (ACB) pada panel *Low Voltage Main Distribution Panel* (LVMDP), dapat disimpulkan bahwa pemasangan ACB telah dilakukan dengan baik sesuai spesifikasi teknis, meliputi pemasangan mekanis, koneksi busbar,

serta sistem *wiring* kontrol dan *monitoring* yang berfungsi secara normal. Hasil pengujian tahanan isolasi menunjukkan nilai pada kisaran ratusan Mega Ohm hingga Giga Ohm yang telah memenuhi standar IEC 60947-2, sehingga sistem isolasi dinyatakan sangat baik dengan arus bocor yang sangat kecil. Pengujian resistansi kontak juga menunjukkan nilai sebesar 7–8  $\mu\Omega$  yang termasuk kategori optimal berdasarkan IEC 60947-2 dan menghasilkan rugi daya rendah tanpa kenaikan temperatur yang signifikan. Selain itu, pengujian *primary injection* membuktikan bahwa ACB mampu merespon arus lebih dan melakukan tripping sesuai standar IEC 60947-2 serta karakteristik proteksi yang diharapkan. Secara keseluruhan, ACB dinyatakan layak operasi (*serviceable*), aman digunakan, dan mampu memberikan proteksi yang andal pada sistem distribusi tenaga listrik. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, disarankan agar dilakukan pengujian dan pemeliharaan berkala terhadap ACB, khususnya pada parameter tahanan isolasi, resistansi kontak, dan sistem proteksi guna menjaga keandalan dan mencegah potensi gangguan selama operasi. Selain itu, pemeriksaan dan pengencangan sambungan busbar serta terminal ACB secara berkala juga perlu dilakukan untuk mencegah kelonggaran yang dapat meningkatkan tahanan kontak dan memicu gangguan sistem. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan pengujian dalam kondisi berbeban (*on-load*) maupun analisis koordinasi proteksi agar diperoleh evaluasi kinerja sistem yang lebih komprehensif..

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Ardiyanto, R. A. Hunafa, S. E. Putri, I. Kamil, and N. Nadhiroh, "Perancangan Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah pada Bengkel Distribusi Tenaga Listrik," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 2018, pp. 162–168, 2024, [Online]. Available: <https://prosiding.pnj.ac.id/SNTE/article/view/2394>
- [2] G. M. Saroinsong, L. S. Patras, and N. M. Tulung, "Analisis performance Circuit Breaker SF6 70kV at Sawangan Switchyard," *Anal. Perform. Circuit Break.*

- SF6 70kV Sawangan Switch.*, pp. 1–6, 2021.
- [3] N. Pasra, A. Fernandes, K. T. Mauriraya, and S. M. Prasetyo, “Analisis Unjuk Kerja Air Circuit Breaker Tipe 3 WL pada Low Voltage Main Distribution Panel dengan Metode Direct Charge pada PT . Siemens Indonesia,” vol. 10, no. 01, pp. 1–5, 2025.
- [4] A. Aland *et al.*, “Analisa Kinerja Circuit Breaker Saat Gangguan Pada Sisi 70 KV Di Gardu Induk Teling,” vol. 6, pp. 1–8, 2022.
- [5] K. Dwipayana, “Analisa Air Circuit Breaker (ACB) Sebagai Pengaman Panel Pembagi Daya Terhadap Pembebanan Pada Hotel IBIS Simpang Lima Semarang,” pp. 1–145, 2023.
- [6] Klaudia BR Semimbing, “ANALISA SISTEM ELEKTRIKAL PADA GEDUNG CONTROL BUILDING SUDIRMAN CENTRAL BUSINESS DISTRICT JAKARTA,” vol. 2, no. 1, p. 6, 2021.
- [7] V. Teknik, E. Fakultas, I. Pendidikan, U. Sultan, and A. Tirtayasa, “Analysis of Air Circuit Breaker ( ACB ) MVS20N as a Protection System for AC Combiner Panels at PT . Tiga Kreasi Indonesia,” vol. 6, no. 1, pp. 75–86, 2024, doi: 10.52005/fidelity.v6i1.188.
- [8] P. T. Elektro, U. Sultan, A. Tirtayasa, P. T. Elektro, U. Sultan, and A. Tirtayasa, “Proses Produksi Polymer Sebagai Proteksi Sistem Jaringan Distribusi Tegangan Menengah di PT . Powerindo Prima Perkasa,” no. 1, 2025.
- [9] S. Yahya, A. Suyadi, A. Febriani, and T. Listrik, “SISTEM MONITORING DAYA PADA PENGOPERASIAN,” vol. 18 No 1 Ma, no. I, pp. 12–20, 2025, doi: 10.5281/zenodo.15052295.
- [10] S. D. Kussoy, J. Prasetyo, and S. Widodo, “Rancang Bangun Panel Listrik 3 Phase Untuk Kegiatan Praktikum Di Laboratorium Instalasi Listrik Abstrak terdiri dari dua jenis yaitu , listrik AC merupakan singkatan dari Alternating Current , Untuk mengoperasikan peralatan dan listrik induksi 3 phase yan,” vol. 10, no. 2.
- [11] D. A. N. Trof *et al.*, “KONFIGURASI BUSBAR ANDAL PADA PENYALURAN DAYA BERBASIS TROD,” vol. XXIV, pp. 9–17, 2022.
- [12] K. Khakim, R. F. Reza, and N. Yunitasari, “Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat ( JUDIKA ) Efisiensi Energi Listrik Berbasis Timer Theben Sul 181H Di Desa Kedungpring Electrical Energy Efficiency Based on Theben SUL 181H Timer in Kedungpring Village,” vol. 6, no. 1, pp. 45–54, 2025.
- [13] T. Elektro, P. Negeri, T. Elektro, and P. Negeri, “SISTEM KONTROL DAN MONITORING BEBAN LISTRIK DI PONDOK PESANTREN AL-HUSNA PONTIANAK,” vol. 22, no. 2, pp. 94–101, 2025.
- [14] E. Installation *et al.*, “DAN KESELAMATAN PADA TEMPAT PENCUCIAN SEPEDA MOTOR ELECTRIC INSTALLATION FOR OPERATIONAL AND SAFETY IMPROVEMENT AT ARTOS,” vol. 5, no. 1, pp. 1–6, 2025.
- [15] M. P. dan E. M. VR Mahindara, DFC Rodriguez, M. Pujiantara, A. Priyadi, “Tantangan Praktis Koordinasi Proteksi Arus Lebih Waktu Terbalik dan Pasti dalam Sistem Distribusi Daya Industri dan Komersial Modern,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 57, no. 1, pp. hlm. 187-197, 2021.