

Implementasi Panel Distribusi Sementara Berbasis RCBO untuk Meningkatkan Keselamatan Kelistrikan pada Kegiatan *Maintenance Industri*

Khevin Anugrah Laduu^{1*}, Lanny W Pandjaitan², Lukas³

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Sudirman 51, Jakarta 12930

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Sudirman 51, Jakarta 12930

³Atma Jaya Artificial Intelligence Center (AJAIC), Universitas Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Sudirman 51, Jakarta 12930

Article Info	Abstract
<i>Article history:</i> Received 25 July 2026 Accepted 30 July 2026 <i>Keywords:</i> RCBO; electrical safety, maintenance, temporary distribution panel, PUIL 2011.	<i>Maintenance activities in industrial areas carry a high electrical risk due to the use of temporary distribution panels and portable electrical equipment. Using an MCB only protects against overcurrent and short circuits, so an RCBO is needed to detect leakage currents that could cause electric shocks. This study aims to analyze the implementation of temporary distribution panels based on RCBO and 5-pole industrial connectors to improve work safety, system reliability, and support the application of PUIL 2011 at PT. Walsin Nickel Industrial Indonesia. The method used is Action Research through observation, hazard identification, risk assessment, and technical testing. The results show that the 30 mA RCBO works well, the output voltage is 400 VAC, and a grounding resistance of 2.3 Ω meets PUIL standards. This implementation enhances electrical safety and reflects engineers' professionalism through engineering judgment and continuous improvement.</i>

Info Artikel	Abstrak
<i>Histori Artikel:</i> Diserahkan: 23 Juli 2026 Diterima: 30 Juli 2026 <i>Kata Kunci:</i> RCBO, keselamatan kelistrikan, maintenance, panel distribusi sementara, PUIL 2011.	Kegiatan <i>maintenance</i> di kawasan industri memiliki risiko kelistrikan tinggi akibat penggunaan panel distribusi sementara dan peralatan listrik portabel. Penggunaan MCB hanya melindungi dari arus lebih dan hubung singkat, sehingga diperlukan RCBO untuk mendeteksi arus bocor yang berpotensi menyebabkan sengatan listrik. Penelitian ini bertujuan menganalisis implementasi panel distribusi sementara berbasis RCBO dan konektor industri <i>5-pole</i> guna meningkatkan keselamatan kerja, keandalan sistem, serta mendukung penerapan PUIL 2011 di PT. Walsin Nickel Industrial Indonesia. Metode yang digunakan adalah <i>Action Research</i> melalui observasi, identifikasi bahaya, penilaian risiko, dan pengujian teknis. Hasil menunjukkan RCBO 30 mA berfungsi baik, tegangan keluaran 400 VAC, dan tahanan pembumian 2,3 Ω memenuhi standar PUIL. Implementasi ini meningkatkan keselamatan kelistrikan dan mencerminkan profesionalisme insinyur melalui <i>engineering judgement</i> dan <i>continuous improvement</i> .

*Corresponding author. Khevin Anugrah Laduu
Email address: Okkotz3279@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri pengolahan nikel di Indonesia sebagai bagian dari program hilirisasi mineral telah mendorong peningkatan kebutuhan terhadap sistem kelistrikan yang andal, aman, dan mampu menjamin kontinuitas proses produksi. Operasi *smelter* nikel modern sangat bergantung pada ketersediaan energi listrik karena hampir seluruh proses produksi menggunakan peralatan elektromekanis, motor listrik, sistem kontrol, instrumentasi, pompa, konveyor, serta berbagai peralatan pendukung lainnya yang membutuhkan suplai daya secara berkelanjutan. Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat menyebabkan terganggunya proses produksi, penurunan produktivitas, hingga kerugian ekonomi akibat *downtime* operasional (IEEE, 2015). Selain itu, sistem tenaga listrik pada fasilitas industri harus dirancang dan dioperasikan dengan tingkat keandalan yang tinggi untuk menjamin keberlangsungan proses produksi serta keselamatan pekerja yang terlibat dalam kegiatan operasi maupun pemeliharaan (ISO, 2018).

Keandalan sistem distribusi tenaga listrik menjadi salah satu aspek penting dalam lingkungan industri karena berfungsi sebagai media penyaluran energi dari sumber menuju berbagai beban produksi. Tingkat keandalan sistem distribusi yang tinggi berkontribusi terhadap kontinuitas operasi industri, pengurangan gangguan produksi, serta peningkatan efisiensi operasional (Billinton & Allan, 1996; Turnip, 2024). Pada industri pengolahan nikel, gangguan pada sistem distribusi dapat berdampak langsung terhadap peralatan proses yang memiliki karakteristik beban besar dan beroperasi secara kontinu. Oleh sebab itu, sistem proteksi dan instalasi distribusi tenaga listrik harus mampu meminimalkan kemungkinan terjadinya gangguan serta memberikan perlindungan yang memadai terhadap manusia dan peralatan (Turnip, 2024).

Salah satu aktivitas yang memiliki tingkat risiko tinggi dalam pengelolaan sistem kelistrikan industri adalah kegiatan *maintenance* atau pemeliharaan instalasi listrik. Aktivitas ini secara konsisten dilaporkan sebagai salah satu pekerjaan dengan potensi bahaya kelistrikan tertinggi karena melibatkan interaksi langsung dengan instalasi, peralatan, dan sumber energi listrik (Ajslev *et al.*, 2017; Jumaedi *et al.*, 2025). Aktivitas ini sering melibatkan pekerjaan pada instalasi bertegangan, penggunaan panel distribusi sementara, serta pengoperasian berbagai peralatan listrik portabel. Risiko yang dapat muncul selama pekerjaan pemeliharaan meliputi sengatan listrik (*electric shock*), hubung singkat (*short circuit*), arus bocor ke tanah (*earth leakage current*), kegagalan sistem pembumian (*grounding failure*), kerusakan peralatan, hingga potensi kebakaran akibat gangguan kelistrikan (NFPA, 2024). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kecelakaan kerja pada bidang kelistrikan masih didominasi oleh kontak langsung maupun tidak langsung dengan bagian bertegangan serta kegagalan sistem proteksi yang menyebabkan pekerja terpapar bahaya listrik (Jumaedi *et al.*, 2025).

Sesuai dengan prinsip Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), setiap aktivitas pemeliharaan harus dilaksanakan melalui proses identifikasi bahaya, penilaian risiko, dan penerapan langkah pengendalian yang efektif. ISO (2018) menegaskan bahwa pengendalian risiko harus dilakukan berdasarkan hierarki pengendalian, dimana pengendalian melalui rekayasa (*engineering control*) memiliki tingkat efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan pengendalian administratif maupun penggunaan alat pelindung diri. Dalam konteks pekerjaan kelistrikan, penerapan perangkat proteksi yang tepat merupakan salah satu bentuk pengendalian rekayasa untuk mengurangi risiko kecelakaan kerja akibat bahaya listrik.

Berdasarkan hasil observasi selama kegiatan praktik keinsinyuran di Departemen Elektrikal PT Walsin Nickel Industrial Indonesia, ditemukan beberapa kondisi yang

berpotensi meningkatkan risiko keselamatan kerja pada kegiatan *maintenance* kelistrikan. Panel distribusi sementara yang digunakan dalam pekerjaan pemeliharaan masih didominasi oleh penggunaan *Miniature Circuit Breaker* (MCB) sebagai perangkat proteksi utama. MCB dirancang untuk memberikan perlindungan terhadap arus lebih (*Overload*) dan hubung singkat (*short circuit*), namun tidak memiliki kemampuan mendeteksi arus bocor ke tanah yang berpotensi menyebabkan sengatan listrik pada pekerja maupun kerusakan instalasi (IEC, 2019).

Kondisi tersebut menjadi perhatian karena pekerjaan *maintenance* di lingkungan industri melibatkan penggunaan berbagai peralatan listrik portabel yang dioperasikan secara langsung oleh pekerja. Pada situasi tertentu, terjadinya arus bocor akibat kerusakan isolasi, kelembaban lingkungan kerja, atau gangguan pada peralatan dapat meningkatkan risiko tersengat listrik apabila tidak terdeteksi oleh sistem proteksi yang digunakan. Arus bocor pada sistem tegangan rendah dapat menimbulkan kondisi berbahaya bagi manusia maupun peralatan listrik sehingga diperlukan perangkat proteksi arus sisa (*residual current protection*) yang mampu mendeteksi dan memutus gangguan secara cepat (Möller et al., 2023). Dengan demikian, penggunaan MCB sebagai satu-satunya perangkat proteksi pada panel distribusi sementara dinilai belum mampu memberikan perlindungan yang komprehensif terhadap seluruh potensi bahaya kelistrikan yang dapat muncul selama pekerjaan pemeliharaan.

Selain itu, hasil observasi juga menunjukkan bahwa pada beberapa pekerjaan *maintenance* masih ditemukan penggunaan konektor non-standar yang tidak dirancang khusus untuk aplikasi industri. Penggunaan konektor tersebut berpotensi mengganggu kontinuitas sistem pembumian (*grounding*), meningkatkan kemungkinan kesalahan penyambungan instalasi sementara, serta menurunkan efektivitas sistem proteksi ketika terjadi gangguan kelistrikan. Kontinuitas jalur pembumian merupakan faktor penting dalam sistem proteksi karena berfungsi sebagai jalur pelepasan arus gangguan sehingga tegangan sentuh yang diterima pekerja dapat diminimalkan. Sistem pembumian yang baik terbukti berperan penting dalam mengurangi risiko sengatan listrik dan meningkatkan efektivitas kerja perangkat proteksi saat terjadi gangguan hubung tanah (Bang et al., 2024; Gönen, 2015). Gangguan pada sistem pembumian diketahui dapat meningkatkan risiko sengatan listrik dan menurunkan efektivitas sistem proteksi yang digunakan (Bang et al., 2024).

Berdasarkan kondisi tersebut, permasalahan utama yang dihadapi adalah belum tersedianya sistem distribusi sementara yang mampu memberikan perlindungan secara terpadu terhadap arus lebih, hubung singkat, dan arus bocor ke tanah sekaligus menjamin keandalan sistem pembumian selama pekerjaan *maintenance* berlangsung. Kondisi ini berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan kerja, kerusakan peralatan, serta gangguan terhadap kontinuitas kegiatan pemeliharaan yang mendukung operasi produksi perusahaan.

Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011 menegaskan bahwa instalasi listrik harus dirancang dan dipasang sedemikian rupa sehingga mampu memberikan perlindungan terhadap manusia, ternak, dan instalasi dari berbagai bahaya yang ditimbulkan oleh energi listrik (BSN, 2011). Dalam pekerjaan *maintenance* yang menggunakan panel distribusi sementara, pemilihan perangkat proteksi dan sistem koneksi yang sesuai menjadi bagian penting dari upaya pengendalian risiko melalui pendekatan rekayasa sebelum diterapkannya prosedur kerja maupun penggunaan alat pelindung diri.

Sebagai upaya meningkatkan keselamatan kerja dan keandalan sistem kelistrikan, pada kegiatan praktik keinsinyuran ini diterapkan panel distribusi sementara berbasis *Residual Current Circuit Breaker with Overcurrent Protection* (RCBO) yang dipadukan dengan

konektor industri *5-pole*. RCBO merupakan perangkat proteksi yang mengintegrasikan fungsi perlindungan terhadap arus lebih, hubung singkat, dan arus bocor ke tanah dalam satu perangkat sehingga mampu memberikan tingkat perlindungan yang lebih komprehensif dibandingkan penggunaan MCB konvensional. Standar IEC (2010) menjelaskan bahwa RCBO dirancang untuk memberikan perlindungan terhadap gangguan arus sisa sekaligus perlindungan arus lebih dalam satu unit perangkat proteksi. Sementara itu, penggunaan konektor industri *5-pole* sesuai standar IEC 60309-1 (2012) bertujuan menjaga kontinuitas pembumian, meningkatkan keamanan proses penyambungan dan pelepasan beban, serta mengurangi risiko kesalahan koneksi selama pekerjaan pemeliharaan.

Penerapan panel distribusi sementara berbasis RCBO dan konektor industri *5-pole* tidak hanya merupakan peningkatan dari aspek teknis, tetapi juga mencerminkan penerapan prinsip profesionalisme keinsinyuran dalam mengidentifikasi potensi bahaya, melakukan analisis risiko, memilih solusi berdasarkan standar teknis yang berlaku, serta mengutamakan keselamatan pekerja tanpa mengabaikan keandalan sistem dan keberlangsungan operasi perusahaan. Pendekatan tersebut sejalan dengan prinsip dasar profesi insinyur yang menempatkan keselamatan publik, kepatuhan terhadap standar, dan tanggung jawab profesional sebagai dasar dalam setiap pengambilan keputusan teknik.

Berdasarkan kondisi tersebut, kegiatan praktik keinsinyuran ini bertujuan untuk menganalisis implementasi panel distribusi sementara berbasis RCBO dan konektor industri *5-pole* sebagai upaya meningkatkan keselamatan kerja, keandalan sistem kelistrikan, serta mendukung penerapan Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011 pada kegiatan *maintenance* di PT Walsin Nickel Industrial Indonesia. Hasil praktik keinsinyuran ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem proteksi kelistrikan yang lebih aman, andal, dan sesuai dengan kebutuhan operasional di kawasan industri.

2. METODE PELAKSANAAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan pendekatan studi kasus (*case study*) dan evaluasi teknis (*engineering assessment*). Metode deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi eksisting panel distribusi sementara yang digunakan dalam pekerjaan *maintenance* instalasi listrik, sedangkan pendekatan studi kasus diterapkan karena penelitian difokuskan pada satu objek yaitu Departemen Elektrikal PT Walsin Nickel Industrial Indonesia. Evaluasi teknis dilakukan untuk menilai efektivitas implementasi panel distribusi sementara berbasis *Residual Current Circuit Breaker with Overcurrent Protection* (RCBO) dan konektor industri *5-pole* dalam meningkatkan keselamatan kerja serta keandalan sistem kelistrikan. Menurut Creswell dan Creswell (2017), penelitian deskriptif bertujuan menggambarkan suatu fenomena atau kondisi secara sistematis berdasarkan fakta yang ditemukan di lapangan, sedangkan studi kasus digunakan untuk memperoleh pemahaman mendalam terhadap suatu sistem, aktivitas, atau proses dalam konteks nyata.

Kegiatan praktik keinsinyuran ini dilaksanakan di Departemen Elektrikal PT Walsin Nickel Industrial Indonesia pada pekerjaan pemeliharaan (*maintenance*) instalasi listrik di kawasan industri. Lingkup kegiatan difokuskan pada evaluasi sistem panel distribusi sementara yang digunakan sebagai sumber tenaga listrik selama pekerjaan *maintenance*, kemudian dilakukan implementasi panel distribusi sementara berbasis *Residual Current Circuit Breaker with Overcurrent Protection* (RCBO) dan konektor industri *5-pole* sebagai upaya meningkatkan keselamatan kerja dan keandalan sistem kelistrikan.

Metode pelaksanaan diawali dengan observasi lapangan untuk mengidentifikasi kondisi eksisting panel distribusi sementara, jenis perangkat proteksi yang digunakan, sistem pembumian (*grounding*), serta potensi bahaya yang dapat terjadi selama pekerjaan

maintenance. Identifikasi dilakukan melalui inspeksi visual terhadap panel distribusi, pengamatan proses kerja teknisi, serta diskusi dengan personel yang terlibat dalam kegiatan pemeliharaan guna memperoleh gambaran mengenai kondisi operasional di lapangan. Pendekatan observasi lapangan dan identifikasi bahaya secara langsung banyak digunakan dalam kegiatan pemeliharaan untuk memperoleh informasi aktual mengenai potensi risiko kerja dan kondisi peralatan yang beroperasi di lapangan (Nurriwanti *et al.*, 2023).

Tahap berikutnya adalah identifikasi bahaya dan penilaian risiko berdasarkan prinsip Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Risiko yang dievaluasi meliputi potensi sengatan listrik (*electric shock*), arus bocor (*earth leakage*), hubung singkat (*short circuit*), kegagalan sistem pembumian, serta kesalahan penyambungan konektor listrik. Hasil identifikasi digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan peningkatan sistem proteksi melalui pendekatan pengendalian teknis (*engineering control*) (ISO, 2018). Metode identifikasi bahaya dan penilaian risiko terbukti efektif dalam menentukan prioritas pengendalian risiko pada pekerjaan kelistrikan dan aktivitas pemeliharaan instalasi tenaga listrik (Nurlita & Yuamita, 2026).

Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, dilakukan implementasi panel distribusi sementara yang dilengkapi RCBO sebagai perangkat proteksi terhadap arus lebih, hubung singkat, dan arus bocor, serta penggunaan konektor industri 5-pole untuk menjamin kontinuitas sistem pembumian dan mengurangi risiko kesalahan penyambungan selama pekerjaan *maintenance*. Pemilihan perangkat mempertimbangkan kesesuaian terhadap Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011 (BSN, 2011), karakteristik beban listrik, serta kondisi lingkungan kerja di kawasan industri (IEC, 2019). Kontinuitas sistem pembumian dan pengendalian tegangan sentuh merupakan aspek penting dalam pencegahan sengatan listrik pada lingkungan kerja industri (Bang *et al.*, 2024).

Tahap selanjutnya adalah pengujian dan evaluasi terhadap panel yang telah diimplementasikan. Pengujian dilakukan dengan memeriksa fungsi kerja RCBO, kontinuitas sistem pembumian, kondisi sambungan konektor, serta kesiapan panel sebelum digunakan pada pekerjaan *maintenance*. Selain pengujian teknis, dilakukan pula evaluasi secara komparatif antara sistem sebelumnya yang menggunakan MCB dengan sistem baru berbasis RCBO untuk menilai peningkatan aspek keselamatan, keandalan, dan kemudahan operasional. Kegiatan inspeksi dan pengujian sistem proteksi listrik diperlukan untuk memastikan seluruh perangkat bekerja sesuai standar keselamatan dan mampu memberikan perlindungan yang efektif terhadap pekerja maupun instalasi listrik (Jumaedi *et al.*, 2025).

Seluruh tahapan pelaksanaan mengacu pada prinsip praktik keinsinyuran yang menempatkan keselamatan kerja, kepatuhan terhadap PUIL 2011, serta penerapan *engineering judgement* (Indonesia, 2014) sebagai dasar dalam setiap pengambilan keputusan teknis. Dengan pendekatan tersebut, solusi yang diterapkan tidak hanya memenuhi aspek teknis, tetapi juga mendukung terciptanya sistem kerja yang lebih aman, andal, dan sesuai dengan kebutuhan operasional perusahaan.

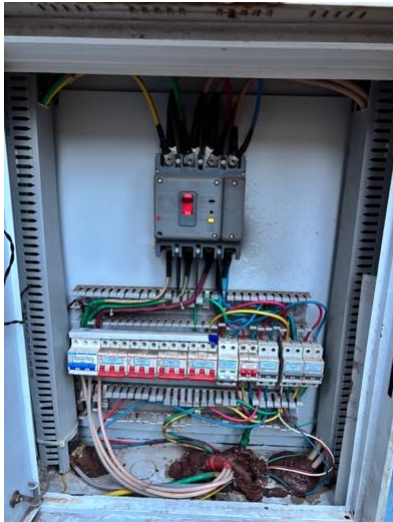
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Eksisting Sistem Distribusi Sementara

Hasil observasi menunjukkan bahwa pekerjaan *maintenance* di Departemen Elektrikal PT Walsin Nickel Industrial Indonesia menggunakan panel distribusi sementara sebagai sumber daya listrik untuk berbagai peralatan kerja. Panel tersebut dirancang agar mudah dipindahkan sesuai lokasi pekerjaan sehingga dapat mendukung kegiatan pemeliharaan pada area produksi.

Sebelum implementasi, sistem proteksi panel masih menggunakan *Miniature Circuit Breaker* (MCB) sebagai perangkat utama. MCB memberikan perlindungan terhadap beban lebih (*overload*) dan hubung singkat (*short circuit*), namun belum memiliki kemampuan mendeteksi arus bocor (*earth leakage current*). Kondisi ini menyebabkan perlindungan terhadap bahaya sengatan listrik masih terbatas, terutama ketika pekerjaan dilakukan pada lingkungan industri dengan kelembapan tinggi, keberadaan struktur logam, dan penggunaan peralatan listrik portabel.

Selain itu, penggunaan konektor listrik yang belum sepenuhnya menggunakan standar industri berpotensi menimbulkan risiko kesalahan penyambungan, penurunan kontinuitas pembumian, serta meningkatkan kemungkinan terjadinya tegangan sentuh (*touch voltage*) apabila terjadi gangguan isolasi.



Gambar 1.

Kondisi Panel Distribusi Sementara Sebelum Implementasi

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026.

3.2 Identifikasi Bahaya dan Analisis Risiko

Berdasarkan hasil observasi lapangan dan identifikasi bahaya, diperoleh beberapa potensi risiko yang berkaitan dengan penggunaan panel distribusi sementara. Risiko tersebut meliputi kondisi perangkat proteksi, sistem pembumian (*grounding*), serta metode penyambungan peralatan listrik yang berpotensi menimbulkan gangguan kelistrikan dan membahayakan keselamatan pekerja. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi terhadap sistem yang digunakan untuk memastikan keandalan dan keselamatan instalasi selama kegiatan *maintenance*.

Tabel 1.

Identifikasi Bahaya Sistem *Eksisting*

Potensi bahaya	Penyebab	Dampak
Sengatan Listrik	Arus bocor tidak terdeteksi	Cedera Pekerja
Hubung Singkat	Kerusakan Kabel	Kerusakan Panel
<i>Overload</i>	Beban berlebih	<i>Trip MCB</i>
<i>Grounding</i> Kurang optimal	Konektor Tidak standar	Tegangan Sentuh
Kesalahan penyambungan	<i>Human Error</i>	Gangguan operasi

(Sumber: Hasil Observasi dan Analisis Penulis, 2026)

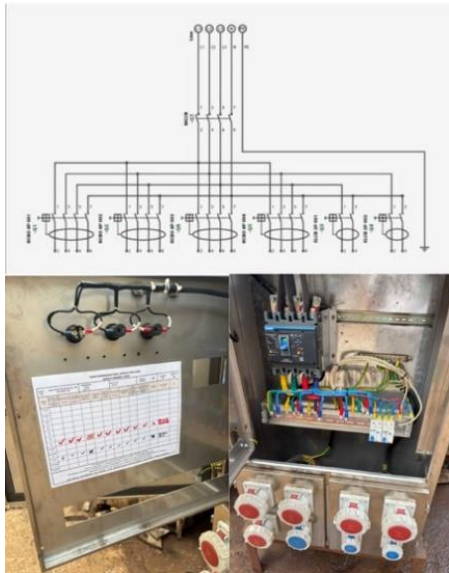
Berdasarkan Tabel 1, terdapat beberapa potensi bahaya pada penggunaan panel distribusi sementara, yaitu sengatan listrik akibat arus bocor yang tidak terdeteksi, hubung singkat karena kerusakan kabel, *overload* akibat beban berlebih, *grounding* yang kurang optimal karena penggunaan konektor non-standar, serta kesalahan penyambungan akibat *human error*. Potensi bahaya tersebut dapat berdampak pada keselamatan pekerja, kerusakan peralatan, dan gangguan operasional sehingga diperlukan peningkatan sistem proteksi dan koneksi listrik yang lebih aman. Prinsip K3, risiko-risiko tersebut dikendalikan melalui *engineering control*, yaitu dengan meningkatkan sistem proteksi panel sehingga potensi bahaya dapat dikurangi dari sumbernya.

3.3 Implementasi Panel Distribusi Sementara Berbasis RCBO

Sebagai upaya peningkatan keselamatan kerja, dilakukan implementasi panel distribusi sementara yang dilengkapi dengan Residual Current Circuit Breaker with Overcurrent Protection (RCBO) sebagai perangkat proteksi utama. RCBO dipilih karena mampu menyediakan tiga fungsi proteksi secara bersamaan, yaitu proteksi terhadap arus lebih (*overcurrent protection*), proteksi terhadap hubung singkat (*short circuit protection*), serta proteksi terhadap arus bocor (*residual current protection*) sesuai dengan ketentuan IEC (2024). Selain peningkatan sistem proteksi, panel distribusi sementara juga menggunakan socket industri 5-pole yang disesuaikan dengan konfigurasi sistem tiga fasa, netral, dan pembumian. Penggunaan konektor industri tersebut memberikan kontinuitas sistem pembumian yang lebih baik dibandingkan konektor konvensional, sehingga mampu meningkatkan aspek keselamatan pada saat proses penyambungan maupun pelepasan peralatan listrik.

Panel distribusi sementara ini menerapkan konsep koordinasi proteksi bertingkat (*protective coordination*) melalui konfigurasi penggunaan MCCB 63 A pada sisi *incoming* dan RCBO 32 A pada setiap sirkit keluaran. MCCB berfungsi sebagai perangkat proteksi utama terhadap gangguan arus lebih dan hubung singkat pada penghantar utama panel, sedangkan RCBO berperan memberikan proteksi secara selektif terhadap masing-masing sirkit beban. Dengan penerapan konfigurasi tersebut, apabila terjadi gangguan pada salah satu peralatan atau beban yang terhubung, RCBO pada sirkit terkait akan bekerja lebih dahulu sehingga mencegah terputusnya suplai listrik secara keseluruhan akibat *trip* pada MCCB utama. Hal ini memungkinkan kontinuitas operasional panel tetap terjaga selama aktivitas *maintenance* berlangsung.

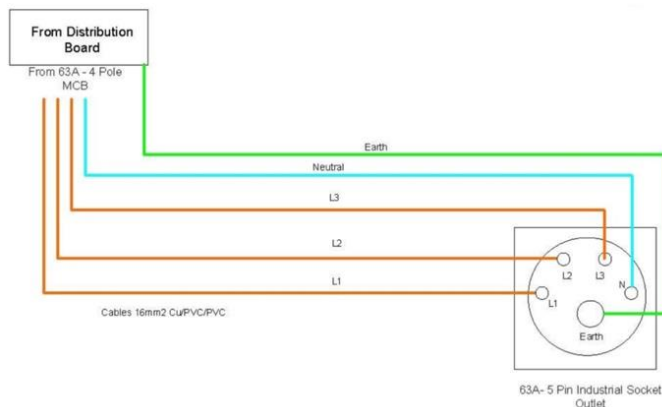
Pemilihan RCBO dengan sensitivitas arus bocor sebesar 30 mA juga menjadi bagian penting dalam upaya perlindungan tambahan terhadap risiko sengatan listrik akibat kontak langsung dengan manusia. Nilai sensitivitas tersebut sesuai dengan praktik umum sistem instalasi tegangan rendah sebagaimana direkomendasikan dalam IEC (2025) serta mendukung penerapan ketentuan PUIL 2011 mengenai perlindungan tambahan bagi personel yang bekerja menggunakan peralatan listrik portabel. Dengan demikian, implementasi panel distribusi sementara berbasis RCBO tidak hanya meningkatkan keandalan sistem kelistrikan, tetapi juga memperkuat aspek keselamatan kerja melalui penerapan prinsip proteksi berlapis dan pengendalian risiko kelistrikan.

**Gambar 2.**

Panel Distribusi Sementara Berbasis RCBO

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

Gambar 2 memperlihatkan panel distribusi sementara berbasis RCBO yang dirancang untuk meningkatkan keselamatan dan keandalan sistem kelistrikan selama pekerjaan operasional dan *maintenance*. Panel ini menggunakan sistem proteksi berlapis melalui kombinasi MCCB pada sisi *incoming* dan RCBO pada masing-masing sirkit keluaran. Konfigurasi tersebut memberikan perlindungan terhadap gangguan arus lebih, hubung singkat, dan arus bocor, sekaligus menjaga kontinuitas suplai listrik apabila terjadi gangguan pada salah satu beban.

**Gambar 3.**

Socket Industri 5-Pole

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026)

Gambar 3 menunjukkan socket industri 5-pole yang digunakan sebagai konektor pada panel distribusi sementara. Socket ini memiliki konfigurasi tiga fasa, netral, dan pembumian (*protective earth/PE*) yang mendukung sistem distribusi listrik tiga fasa secara aman. Penggunaan konektor industri ini memberikan keandalan sambungan yang lebih baik, meningkatkan kontinuitas sistem pembumian, serta mengurangi risiko kesalahan penyambungan selama proses instalasi maupun pemeliharaan peralatan listrik.

3.4 Pengujian Sistem

Setelah implementasi selesai dilakukan, panel diuji untuk memastikan seluruh fungsi proteksi bekerja sesuai perencanaan.

Pengujian sistem dilakukan melalui beberapa tahapan yang meliputi::

- inspeksi visual panel,
- pemeriksaan kekencangan terminal,
- pemeriksaan kontinuitas *grounding*,
- pengujian fungsi RCBO menggunakan tombol TEST,
- pengujian distribusi tegangan keluaran.

Seluruh tahapan pengujian mengacu pada Persyaratan Umum Instalasi Listrik (BSN, 2011).

Hasil pengujian menunjukkan seluruh komponen dapat beroperasi dengan baik dan sistem proteksi bekerja sesuai fungsi yang direncanakan.

Tabel 2.

Hasil Pengujian Panel

Parameter	Hasil
Tegangan <i>output</i>	Normal
RCBO	Berfungsi
<i>Grounding</i>	Kontinu
<i>Socket 5-pole</i>	Berfungsi
Panel	Siap digunakan

(Sumber: Hasil Pengujian dan Analisis Penulis, 2026.)

Berdasarkan Tabel 2, seluruh parameter pengujian menunjukkan hasil yang sesuai dengan kriteria operasional. Tegangan keluaran panel berada pada kondisi normal, RCBO berfungsi dengan baik, sistem pembumian (*grounding*) memiliki kontinuitas yang baik, dan seluruh *socket* industri 5-pole beroperasi sebagaimana mestinya. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa panel distribusi sementara telah memenuhi persyaratan dasar untuk digunakan dalam kegiatan *maintenance* secara aman dan andal.



Gambar 6.

Pengujian RCBO

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2026.

Tabel 3.

Implementasi RCBO memberikan peningkatan dibandingkan sistem sebelumnya.

Parameter	Sebelum	Sesudah
Proteksi Arus Bocor	Tidak Tersedia	RCBO 30 mA
Proteksi Hubung singkat	MCB	RCBO
Proteksi Arus Lebih	MCB	RCBO
Grounding	Belum Optimal	Lebih Andal
Kontinuitas PE	Terbatas	Terintegrasi
Kesesuaian PUIL	Sebagian	Lebih Sesuai

(Sumber: Data Primer yang Diolah Penulis, 2026)

Hasil implementasi menunjukkan bahwa penggunaan RCBO memberikan perlindungan tambahan terhadap arus bocor tanpa mengurangi fungsi proteksi terhadap arus lebih maupun hubung singkat. Selain itu, penggunaan *socket* industri IEC 60309 tipe 5-pole meningkatkan kontinuitas penghantar proteksi (*protective earth*) sehingga risiko kesalahan penyambungan pada saat pekerjaan *maintenance* dapat diminimalkan.

3.5 Pembahasan Praktik Keinsinyuran

Implementasi panel distribusi sementara berbasis RCBO merupakan bentuk penerapan praktik keinsinyuran yang mengedepankan keselamatan kerja, pengendalian risiko, dan peningkatan keandalan sistem kelistrikan. Pemilihan RCBO tidak hanya didasarkan pada kemampuan teknis perangkat, tetapi juga mempertimbangkan hasil identifikasi potensi bahaya, karakteristik pekerjaan *maintenance*, serta kebutuhan perlindungan terhadap pekerja dan instalasi listrik. Pendekatan berbasis identifikasi bahaya dan pengendalian risiko menjadi aspek penting dalam pekerjaan yang memiliki potensi bahaya kelistrikan karena mampu menentukan tindakan perbaikan yang sesuai terhadap kondisi lapangan (Widana *et al.*, 2024).

Dari perspektif profesionalisme insinyur, keputusan mengganti sistem proteksi MCB dengan RCBO merupakan bentuk penerapan *engineering judgement* dalam memilih solusi teknis yang lebih sesuai terhadap tingkat risiko yang ditemukan. Penggunaan perangkat proteksi tambahan seperti RCBO dapat meningkatkan perlindungan terhadap gangguan arus bocor, beban lebih, dan risiko sengatan listrik pada instalasi listrik. Penelitian Kusumo dan Krisnandi (2023) menunjukkan bahwa penerapan RCBO mampu memberikan perlindungan terhadap gangguan arus bocor, hubung singkat, serta kondisi yang berpotensi menyebabkan sengatan listrik pada sistem distribusi listrik.

Implementasi konektor industri 5-pole juga mendukung peningkatan keselamatan sistem kelistrikan melalui kontinuitas konduktor pembumian (*protective earth*) dan pengurangan risiko kesalahan penyambungan pada instalasi sementara. Pengendalian risiko melalui perbaikan sistem teknis merupakan salah satu langkah penting dalam mengurangi potensi kecelakaan kerja pada aktivitas yang melibatkan instalasi listrik. Hasil penelitian terkait penerapan metode HIRARC pada lingkungan kelistrikan menunjukkan bahwa identifikasi bahaya dan pengendalian teknis diperlukan untuk menurunkan tingkat risiko kecelakaan serta meningkatkan keselamatan operasional (Widana *et al.*, 2024; Wulandari *et al.*, 2024).

Dengan demikian, implementasi panel distribusi sementara berbasis RCBO dan konektor industri 5-pole tidak hanya memberikan peningkatan dari sisi teknis, tetapi juga mencerminkan penerapan prinsip keinsinyuran melalui pengambilan keputusan berbasis

risiko, peningkatan keselamatan kerja, dan dukungan terhadap keberlangsungan operasi perusahaan.

Tabel 4.

Spesifikasi Komponen Panel Distribusi Sementara Berbasis RCBO

Komponen	Spesifikasi	Fungsi
MCCB	3P+N, 63 A, 415 VAC, 10 kA	Proteksi utama panel terhadap arus lebih dan hubung singkat
RCBO	3P+N, 32 A, 30 mA, Curve C	Proteksi Arus lebih, Hubung singkat dan arus bocor
Socket Industri	IEC 60309, 5-Pole (3P+N+PE), IP67, 32 A	Koneksi Peralatan listrik industri
Industrial Plug	IEC 60309, 5-Pole, IP67	Konektor Beban
Power Indicator	LED R-S-T	Indikator keberadaan Tegangan
Emergency Stop (opsional)	Push Button	Penghentian Darurat
Enclosure Panel	Steel Powder Coating, IP65	Perlindungan Komponen Panel
Busbar Tembaga	3 phase + Neutral	Distribusi Daya Listrik
Ground Bar	Copper GroundBar	Distribusi Grounding
Cable Incoming	NYY 4 × 16 mm ² + PE 16 mm ²	Saluran Masuk Panel
Cable Outgoing	NYY 4 × 6 mm ² + PE 6 mm ²	Saluran keluar Panel

(Sumber: Hasil Perancangan dan Datasheet Komponen, 2026)

Berdasarkan Tabel 4, panel distribusi sementara berbasis RCBO terdiri atas beberapa komponen utama yang berfungsi untuk mendukung keselamatan dan keandalan sistem kelistrikan. RCBO digunakan sebagai perangkat proteksi terhadap arus lebih, hubung singkat, dan arus bocor, sedangkan MCCB berfungsi sebagai proteksi utama panel. Selain itu, penggunaan *industrial plug* dan *socket* 5-pole sesuai standar IEC 60309 membantu menjaga kontinuitas sistem pembumian dan meningkatkan keamanan proses penyambungan peralatan listrik. Seluruh komponen dipilih sesuai kebutuhan operasional dan standar instalasi listrik yang berlaku.

Tabel 5.

Kesesuaian Implementasi terhadap PUIL 2011

Persyaratan PUIL 2011	Kondisi <i>Eksisting</i>	Setelah Implementasi	Status
Proteksi Terhadap Arus Berlebih	MCB	RCBO	Sesuai
Proteksi Terhadap Hubung Singkat	Ada	Ada	Sesuai
Proteksi Terhadap Arus Bocor	Tidak Tersedia	RCBO 30 mA	Sesuai
Sistem Pembumian	Sistem pembumian belum Terintegrasi	Sistem pembumian Terintegrasi melalui <i>Socket</i> industri 5-pole	Sesuai
Kontinuitas <i>Grounding</i>	Belum optimal	Menggunakan <i>socket</i> 5-pole	Sesuai
Perlindungan terhadap sentuh tidak langsung	Terbatas	Meningkat	Sesuai
Kemudahan Inspeksi panel	Sedang	Lebih baik	Sesuai

(Sumber: Hasil Observasi, Pengujian, dan Analisis Penulis berdasarkan PUIL 2011, 2026)

Berdasarkan hasil implementasi, panel distribusi sementara telah memenuhi aspek utama keselamatan instalasi listrik sesuai PUIL 2011. Penggunaan MCCB 63 A sebagai proteksi utama (*upstream protective device*) dan RCBO 32 A sebagai proteksi pada setiap

sirkuit keluaran (*outgoing circuit*) menerapkan prinsip koordinasi proteksi (*protective coordination*) sesuai IEC 60364. Konfigurasi ini memungkinkan perangkat proteksi bekerja secara selektif sehingga apabila terjadi gangguan pada salah satu sirkuit keluaran, RCBO akan memutuskan sirkuit yang mengalami gangguan tanpa menyebabkan MCCB utama bekerja.

Tabel 6.**Hasil Pengujian Panel**

Parameter	Standar	Hasil	Parameter
<i>Incoming Voltage</i>	380–415 VAC	400 VAC	<i>Incoming Voltage</i>
<i>Output Voltage</i>	380–415 VAC	400 VAC	<i>Output Voltage</i>
<i>Ground Resistance</i>	< 5 Ω	2,3 Ω	<i>Ground Resistance</i>
<i>RCBO Test Button</i>	<i>Trip</i>	Berfungsi	<i>RCBO Test Button</i>
<i>Socket 5 pole</i>	Normal	Normal	<i>Socket 5 pole</i>
<i>Indikator Lamp</i>	Normal	Normal	<i>Indikator Lamp</i>

(Sumber: Hasil Observasi, Pengujian, dan Analisis Penulis berdasarkan PUIL 2011, 2026)

Tabel 7.**Dampak Implementasi**

Aspek	Sebelum	Sesudah
Proteksi arus bocor	Tidak tersedia	Tersedia
<i>Grounding</i>	Belum terintegrasi	Terintegrasi
Kontinuitas PE	Terbatas	Lebih baik
Keandalan proteksi	MCB	RCBO
Kesesuaian PUIL	Sebagian	Lebih sesuai

(Sumber: Hasil Observasi, Pengujian, dan Analisis Penulis, 2026)

Berdasarkan Tabel 7, implementasi panel distribusi sementara berbasis RCBO dan konektor industri 5-pole memberikan peningkatan pada aspek keselamatan dan keandalan sistem kelistrikan. Setelah implementasi, proteksi arus bocor telah tersedia, sistem pembumian menjadi lebih terintegrasi, kontinuitas *protective earth* (PE) meningkat, serta keandalan proteksi menjadi lebih baik dengan penggunaan RCBO. Selain itu, tingkat kesesuaian terhadap persyaratan PUIL 2011 juga meningkat dibandingkan kondisi sebelumnya.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil praktik keinsinyuran di PT Walsin Nickel Industrial Indonesia, implementasi panel distribusi sementara berbasis *Residual Current Circuit Breaker with Overcurrent Protection* (RCBO) dan konektor industri 5-pole mampu meningkatkan keselamatan kerja dan keandalan sistem kelistrikan pada kegiatan *maintenance*. RCBO memberikan perlindungan yang lebih komprehensif dibandingkan *Miniature Circuit Breaker* (MCB) karena mampu melindungi sistem dari gangguan arus lebih, hubung singkat, dan arus bocor ke tanah dalam satu perangkat proteksi. Sementara itu, penggunaan konektor industri 5-pole mendukung kontinuitas sistem pembumian dan meningkatkan keamanan penyambungan instalasi sementara.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa panel distribusi sementara yang diterapkan telah berfungsi sesuai dengan tujuan perancangan dan memenuhi persyaratan keselamatan instalasi listrik yang mengacu pada PUIL 2011. Dari perspektif praktik keinsinyuran, penerapan RCBO dan konektor industri 5-pole merupakan bentuk pengendalian risiko berbasis rekayasa (*engineering control*) yang mendukung peningkatan keselamatan pekerja,

keandalan sistem kelistrikan, serta keberlangsungan operasional perusahaan. Dengan demikian, sistem yang diterapkan layak digunakan sebagai panel distribusi sementara pada pekerjaan *maintenance* di lingkungan industri.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Ajslev, J., Dastjerdi, E. L., Dyreborg, J., Kines, P., Jeschke, K. C., Sundstrup, E., Jakobsen, M. D., Fallentin, N., & Andersen, L. L. (2017). Safety climate and accidents at work: Cross-sectional study among 15,000 workers of the general working population. *Safety Science*, 91, 320–325. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.08.029>
2. Bang, S. Y., Kim, D. H., & Kim, S. C. (2024). Analysis of touch voltage and electric shock risk before and after installation of equipotential bonding in the sewage treatment plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 91, 105371. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jlp.2024.105371>
3. Billinton, R., & Allan, R. N. (1996). Reliability Evaluation of Power Systems. *Springer Nature*. [https://www.iqytechnicalcollege.com/Reliability Evaluation of Power Systems \(PDFDrive \).pdf](https://www.iqytechnicalcollege.com/Reliability%20Evaluation%20of%20Power%20Systems%20(PDFDrive).pdf) . Diakses tanggal 5 Juni 2026.
4. BSN. (2011). *Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011*. (Data Tidak Lengkap)
5. Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). Research Design: *Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*: SAGE Publications. (<https://books.google.co.id/books?id=KGNADwAAQBAJ>). Diakses tanggal 8 Juni 2026.
6. Gönen, T. (2015). *Electric Power Distribution Engineering*. CRC Press: Taylor & Francis Group. (<https://books.google.co.id/books?id=JIDSBQAAQBAJ>). Diakses tanggal 15 Juni 2026.
7. IEC. (2010). *IEC 61009-1:2010 Residual Current Operated Circuit-Breakers with Integral Overcurrent Protection for Household and Similar Uses (RCBOs) – Part 1: General Rules*. International Electrotechnical Commission.
8. IEC. (2012). *IEC 60309-1: Plugs, Socket-Outlets and Couplers for Industrial Purposes – Part 1: General Requirements*. International Electrotechnical Commission.
9. IEC. (2019). *IEC 60898-1: Electrical Accessories – Circuit-Breakers for Overcurrent Protection for Household and Similar Installations*. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/20161/6ea162a225a842cdb5446dd0cd668ab8/IEC-60898-1-2015.pdf>
10. IEC. (2024). *IEC 61009-1:2024 Residual Current Operated Circuit-Breakers with Integral Overcurrent Protection for Household and Similar Uses (RCBOs) – Part 1: General Rules*.
11. IEC. (2025). *IEC 60364-1:2025 Low-voltage electrical installations - Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, and definitions* (6.0).
12. IEEE. (2015). IEEE Std 3007.2-2015 Recommended Practice for the Operation and Maintenance of Industrial and Commercial Power Systems. In *IEEE Std 3007.2-2015* (pp. 1–56). <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2010.5618906>
13. Republik Indonesia. (2014). *Undang-undang (UU) No. 11 Tahun 2014 Tentang Keinsinyuran*.
14. ISO. (2018). ISO 45001:2018 Occupational Health and Safety Management Systems – Requirements with Guidance for Use. *International Standard, 2018*. (<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:45001:ed-1:v1:en>) .Diakses tanggal 5 Juni 2026.

15. Jumaedi, J., Kartika, I. I., Triyuliana, C., Widhiantika, W., Darmawan, W., Fitriyastanti, D., Azhari, Y., & Rismaya, A. M. (2025). Analysis of Electrical Inspection and Testing Implementation in Supporting Occupational Safety and Health at PT Cipta Pratama Inspeksi Indonesia. *Jurnal Kesehatan Dan Kedokteran*, 4(2 SE-Articles), 140–153. <https://doi.org/10.56127/jukeke.v4i2.2759>
16. Kusumo, B., & Krisnandi, D. (2023). Analisa Kebocoran Arus Pada Distribusi Listrik Dengansimulasi Penerapan Rco Schneider 1 Fasa 6 Amper Padarumah Hunian. *Jurnal Elektro*, 11(1), 81–95. <https://jurnalteknik.unkris.ac.id/index.php/jie/article/view/430/340>. Diakses tanggal 15 Juni 2026.
17. Möller, F., Blanco, A. M., & Meyer, J. (2023). Characteristic leakage current of household devices and their impact on the tripping behaviour of residual current devices. *Electric Power Systems Research*, 214, 108832. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108832>
18. NFPA. (2024). *National Electrical Code NEC (NFPA 70) National Electrical Code (NEC)*.
19. Nurlita, L., & Yuamita, F. (2026). Identifikasi Potensi Bahaya Dalam Aktivitas Pemeliharaan Listrik Dengan Metode HIRARC & FTA Pada PLN ULP Ajibarang. Kampus Akademik Publisngjurnal, *Ilmiah Research Student (JIRS)*, 3(1), 374–385. <https://doi.org/10.61722/jirs.v3i1.8664>
20. Nurriwanti, N. S. S., Wahyudiono, Y. D. A., Paskarini, I., & Handayani, A. P. S. (2023). Hazard Identification and Risk Assessment of Sensor Maintenance Work Activity on The Suramadu Bridge Steel Box Girder Area. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 12(2 SE-Articles), 227–236. <https://doi.org/10.20473/ijosh.v12i2.2023.227-236>
21. Turnip, T. T. A. (2024). *Evaluasi Konfigurasi Sistem Koordinasi Proteksi Di PT Smelting Akibat Penambahan Kapasitas Daya PLN Dengan Metode Kurva Arus Waktu*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
22. Widana, A. K., Wiryajati, I. K., & Adnyani, I. A. S. (2024). Identifikasi Bahaya Dan Penilaian Risiko Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Menggunakan Metode Hirarc Pada Gardu Induk Ampenan Arya. *Jitet (Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan)*, 12(3), 4129–4136. <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.5272>
23. Wulandari, A., Rendiyansah, & Muharni, Y. (2024). Penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja di PT. XYZ Menggunakan Metode HIRADC (Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control). *Journal of Systems Engineering and Management*, 3(1), 45–54. <https://doi.org/10.36055/joseam.v3i1.25076>