



Identifikasi Potensi Bahaya pada Keamanan, Keselamatan, Kesehatan Kerja, dan Lingkungan (K3L) di Gardu Induk Balaraja Lama Menggunakan Metode Hirarc (*Hazard Identification, Risk Assessment, Risk Control*)

Muhamad Putra Dermawan^{1*}, Belinda Ayuningtyas²

¹⁻²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Dian Nusantara, Indonesia

*Penulis Korespondensi: 531212010@mahasiswa.undira.ac.id

Abstract: Substations are critical components of electrical power systems but pose significant occupational safety risks due to medium-voltage equipment operation. This study aims to identify potential hazards and analyze Occupational Safety, Health, and Environment (K3L) risks at the Balaraja Lama Substation based on electrical testing of the Algojo Feeder using the Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC) method. Hazard identification was conducted through field observations, visual equipment inspections, and electrical tests, including circuit breaker (PMT) contact resistance and AC/DC power supply polarity measurements. The PMT contact resistance values were 92.5 $\mu\Omega$ (R), 60.2 $\mu\Omega$ (S), and 98.6 $\mu\Omega$ (T), meeting IEC 62271 and IEC 60694 standards. The power supply voltages were 229 V (AC) and 104.9 V (DC), with no significant grounding anomalies, while visual inspection revealed no major equipment damage. The Algojo Feeder was therefore considered operationally reliable. However, HIRARC analysis identified latent hazards associated with equipment aging and workplace conditions. Risk control measures, including routine maintenance, safe work procedures, and consistent use of personal protective equipment (PPE), are recommended to maintain operational safety and reliability.

Keywords: Electrical Testing; HIRARC; Occupational Safety and Health (K3L); Risk Assessment; Substation.

Abstrak. Gardu Induk (GI) merupakan bagian vital dalam sistem tenaga listrik yang memiliki potensi bahaya tinggi terhadap keselamatan kerja akibat pengoperasian peralatan bertegangan menengah. Oleh karena itu, penerapan Keselamatan, Kesehatan Kerja, dan Lingkungan (K3L) yang terencana menjadi hal yang penting. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi bahaya dan menganalisis tingkat risiko K3L di Gardu Induk Balaraja Lama berdasarkan hasil uji elektrikal Penyulang Algojo menggunakan metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control* (HIRARC). Identifikasi bahaya dilakukan melalui observasi lapangan, pemeriksaan visual peralatan, serta analisis hasil uji elektrikal yang meliputi pengukuran tahanan kontak Pemutus Tenaga (PMT) dan pengukuran polaritas sistem catu daya AC/DC. Penilaian risiko dilakukan dengan mempertimbangkan *parameter severity* dan *likelihood*. Hasil uji elektrikal menunjukkan nilai tahanan kontak PMT pada fasa R sebesar 92,5 $\mu\Omega$, fasa S sebesar 60,2 $\mu\Omega$, dan fasa T sebesar 98,6 $\mu\Omega$, yang masih memenuhi standar IEC 62271 dan IEC 60694. Tegangan sistem catu daya tercatat sebesar 229 V untuk AC dan 104,9 V untuk DC, serta tidak ditemukan anomali signifikan terhadap ground dengan nilai +47,7 V dan -57,2 V. Pemeriksaan visual pada kubikel 20 kV juga tidak menunjukkan kerusakan fisik yang signifikan. Berdasarkan hasil tersebut, Penyulang Algojo dinyatakan layak operasi dan memiliki keandalan yang baik. Meskipun demikian, analisis HIRARC menunjukkan masih adanya potensi bahaya laten akibat usia peralatan dan kondisi lingkungan kerja. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian risiko melalui pemeliharaan berkala, penerapan prosedur kerja aman, dan penggunaan APD secara konsisten.

Kata Kunci: Gardu Induk; HIRARC; Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3L); Pengujian Kelistrikan; Penilaian Risiko.

1. LATAR BELAKANG

Gardu Induk (GI) memegang peranan penting dalam sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik sebagai titik penghubung antara pembangkit dan konsumen akhir. Aktivitas di GI melibatkan peralatan bertegangan tinggi dan proses teknis yang kompleks, yang menimbulkan berbagai potensi bahaya terhadap keselamatan dan kesehatan kerja (K3) serta lingkungan (L) (Wonmaly & Jamlaay, 2023). Risiko seperti sengatan listrik, ledakan, kebakaran, hingga

kegagalan peralatan dapat terjadi apabila tidak dilakukan pengelolaan risiko secara sistematis dan berkelanjutan (Widana, Wiryajati, & Adnyani, 2024). Penelitian ini bertempat di Gardu Induk Balaraja Lama yang berlokasi di Jl. Raya Kresek No. 99, Kec. Sukamulya, Kabupaten Tangerang, Banten. Salah satu bagian penting yang menjadi fokus penelitian adalah Penyulang Algojo, yaitu penyulang tegangan menengah 20 kV yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk menuju jaringan distribusi dan pelanggan. Penyulang ini memiliki peran strategis dalam menjaga kontinuitas pasokan listrik di wilayah pelayanan.

Namun, karena telah beroperasi dalam jangka waktu yang cukup lama (± 30 tahun), kondisi peralatan pada Penyulang Algojo berpotensi mengalami penurunan performa (*asset aging*), yang dapat meningkatkan risiko gangguan maupun kecelakaan kerja. Faktor usia peralatan (*asset aging*) menjadi pemicu risiko elektrik yang signifikan (Della Putri Adjani & Restu Hikmah Ayu Murti, 2024). Ini meningkatkan potensi kegagalan mekanik, yang secara langsung berkorelasi dengan bahaya kebakaran dan sengatan listrik. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya mengidentifikasi bahaya umum menggunakan HIRARC, tetapi juga menganalisis korelasi antara data teknis spesifik (seperti tahanan isolasi dan umur aset) dengan risiko K3L yang mengancam keselamatan pegawai (Fandi Rahman, Muh. Fitrah, Suryani Suryani, & Hafsah Nirwana, 2024). Metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control* (HIRARC) digunakan untuk mengidentifikasi potensi bahaya kerja di Gardu Induk Balaraja Lama PT. PLN (Persero) UPT Cikupa.

Menurut penelitian ini, ada tujuh bahaya potensial bagi pekerjaan, masing-masing dengan lima risiko tinggi, satu risiko sedang, dan satu risiko rendah. Untuk mencegah bahaya tersebut, disarankan untuk menerapkan prosedur operasional standar (SOP) keselamatan, menggunakan APD, dan memberikan instruksi kepada karyawan. Metode HIRARC dipilih dalam penelitian ini karena memiliki tahapan analisis yang sistematis dan mudah diterapkan di lingkungan kerja gardu induk. Metode HIRARC diawali dengan identifikasi bahaya, yaitu mengidentifikasi potensi bahaya K3L yang bersumber dari hasil uji elektrik penyulang Algojo, kondisi fisik kubikel serta hasil observasi lapangan. Tahap selanjutnya adalah penilaian risiko, yaitu menilai setiap bahaya berdasarkan tingkat keparahan (*severity*) dan kemungkinan kejadian (*likelihood*) untuk menentukan tingkat risiko. Tahap terakhir adalah pengendalian risiko, yaitu menetapkan langkah pengendalian sesuai hierarki pengendalian risiko, mulai dari pengendalian teknis, administratif, hingga penggunaan alat pelindung diri (APD) guna menurunkan tingkat risiko ke level yang dapat diterima. HIRARC memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi potensi bahaya secara langsung melalui observasi lapangan, menilai tingkat risiko berdasarkan tingkat keparahan dan kemungkinan kejadian, serta menentukan

prioritas pengendalian sesuai hierarki pengendalian risiko. Metode ini juga banyak digunakan dalam penelitian terdahulu terkait K3 di gardu induk, sehingga relevan digunakan untuk mengidentifikasi bahaya elektrikal, mekanikal, maupun lingkungan yang ada di GI Balaraja Lama. Dengan demikian, HIRARC menjadi metode yang paling sesuai untuk mencapai tujuan penelitian, yaitu memberikan gambaran risiko nyata di lapangan dan rekomendasi pengendalian yang dapat diterapkan secara praktis oleh pihak manajemen.

2. KAJIAN TEORITIS

Keselamatan dan Kesehatan Kerja serta Lingkungan (K3L) pada Sistem Tenaga Listrik

Keselamatan dan Kesehatan Kerja serta Lingkungan (K3L) merupakan aspek fundamental dalam pengoperasian sistem tenaga listrik, khususnya pada instalasi distribusi tegangan menengah. K3L bertujuan untuk melindungi tenaga kerja dari potensi kecelakaan kerja, menjaga keandalan peralatan, serta meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan sekitar. Pada sistem kelistrikan, potensi bahaya dapat muncul akibat adanya tegangan tinggi, arus listrik besar, serta kondisi peralatan yang mengalami degradasi seiring waktu (Seftiani dkk., 2024). Pendekatan K3L yang berbasis pada kondisi teknis peralatan memungkinkan identifikasi potensi bahaya dilakukan secara preventif. Dengan demikian, risiko kecelakaan kerja dan gangguan operasional dapat diminimalkan sebelum terjadi kegagalan peralatan (Gusmedi, Hakim, & Ramadan, 2024).



Gambar 1. Ilustrasi Penyulang di Gardu Induk.

Sistem Distribusi Tenaga Listrik dan Penyulang Algojo 20 kV

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke konsumen (Pratiwi, Rachman, Halid, Mz, & Suriansyah -, 2024). Salah satu komponen utama dalam sistem distribusi adalah penyulang, yaitu saluran yang membawa energi listrik dari busbar gardu induk menuju jaringan distribusi (Yusniati, Pelawi, Armansyah, & Taufik, 2021). Penyulang 20 kV umumnya digunakan pada sistem distribusi tegangan menengah dan dilengkapi dengan berbagai peralatan

proteksi dan pengendalian, seperti Pemutus Tenaga (PMT), relai proteksi, sistem catu daya AC/DC, serta kubikel. Keandalan penyulang sangat dipengaruhi oleh kondisi teknis peralatan-peralatan tersebut. Gangguan pada salah satu peralatan dapat menyebabkan pemadaman listrik dan meningkatkan risiko keselamatan kerja (Pratama, 2024). Oleh karena itu, pemeliharaan dan pengujian berkala terhadap peralatan penyulang menjadi bagian penting dalam menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik serta keselamatan personel (Harahap, Armansyah, Yusmartato, & Iqbal, 2024).

Standar Evaluasi Sistem Catu Daya AC/DC pada Gardu Induk

Sistem catu daya AC/DC memiliki peran penting dalam mendukung operasional peralatan proteksi dan kontrol pada gardu induk. Catu daya AC umumnya digunakan sebagai sumber utama, sedangkan catu daya DC digunakan untuk sistem kontrol, relai proteksi, dan mekanisme operasi PMT (Irawati, Amien, Sumarno, & Rosyadi, 2023). Tegangan catu daya AC yang umum digunakan adalah 220 VAC dengan rentang toleransi tertentu, sedangkan tegangan catu daya DC umumnya berada pada nilai nominal 110 VDC. Stabilitas dan keandalan sistem catu daya AC/DC sangat menentukan kinerja sistem proteksi. Gangguan pada catu daya dapat menyebabkan relai proteksi tidak bekerja sebagaimana mestinya atau PMT gagal beroperasi saat dibutuhkan (Wijaya, Panjaitan, & Palit, 2015). Parameter Sistem Catu Daya AC dan DC Di Penyulang Algojo Gardu Induk; Tegangan AC 220 VAC masih berada dalam rentang $\pm 10\%$ atau sekitar 198–242 VAC. Tegangan DC 110 VDC masih berada dalam rentang $\pm 15\%$ atau sekitar 94–127 VDC. Tidak terdapat perbedaan tegangan yang signifikan terhadap ground. Tegangan terukur stabil dan tidak mengalami fluktuasi yang berlebihan. Pengukuran tegangan AC dan DC, termasuk pengukuran terhadap ground, dilakukan untuk memastikan tidak adanya anomali seperti ketidakseimbangan tegangan atau kebocoran arus. Berdasarkan standar IEC 60694, hasil pengukuran yang berada dalam rentang standar menunjukkan bahwa sistem catu daya bekerja normal dan aman untuk mendukung operasional peralatan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control* (HIRARC). Pendekatan tersebut dipilih untuk mengidentifikasi potensi bahaya, menilai tingkat risiko, dan menentukan strategi pengendalian risiko pada aktivitas operasional Penyulang Algojo di Gardu Induk Balaraja Lama. Penelitian dilaksanakan di Gardu Induk Balaraja Lama, Kabupaten Tangerang, Banten. Data penelitian diperoleh melalui observasi lapangan, dokumentasi teknis, hasil pemeliharaan

kubikel dan busbar 20 kV, serta pengujian elektrik yang meliputi pengujian tahanan kontak Pemutus Tenaga (PMT), pengukuran sistem catu daya AC/DC, dan pemeriksaan visual kubikel 20 kV. Seluruh hasil pengujian dibandingkan dengan standar IEC 62271, IEC 60694, serta Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) sebagai dasar penentuan kondisi teknis peralatan.

Analisis data dilakukan menggunakan tahapan HIRARC yang terdiri atas tiga tahap utama. Tahap pertama adalah *hazard identification*, yaitu mengidentifikasi seluruh potensi bahaya elektrik, mekanik, fisik, maupun lingkungan berdasarkan hasil observasi dan pengujian teknis. Tahap kedua adalah *risk assessment*, yaitu menentukan tingkat risiko setiap potensi bahaya menggunakan *parameter severity* (tingkat keparahan) dan *likelihood* (kemungkinan kejadian). Nilai kedua parameter dikombinasikan menggunakan matriks risiko sehingga diperoleh kategori risiko rendah, sedang, atau tinggi. Tahap terakhir adalah *risk control*, yaitu menyusun rekomendasi pengendalian berdasarkan prinsip *hierarchy of control* yang meliputi eliminasi, substitusi, rekayasa teknik, pengendalian administratif, serta penggunaan alat pelindung diri (APD). Hasil analisis kemudian digunakan sebagai dasar penyusunan rekomendasi peningkatan penerapan K3L pada operasional Penyulang Algojo Gardu Induk Balaraja Lama.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Elektrik Penyulang Algojo

Hasil uji elektrik pada Penyulang Algojo bertujuan untuk mengetahui kondisi kelistrikan peralatan serta tingkat keandalan sistem dalam mendukung operasional Gardu Induk Balaraja Lama. Pengujian dilakukan melalui pemeriksaan parameter elektrik yang meliputi kondisi peralatan, kestabilan tegangan, arus beban, sistem proteksi, serta potensi gangguan yang dapat menimbulkan risiko terhadap keselamatan kerja. Berdasarkan hasil pengujian, kondisi umum Penyulang menunjukkan bahwa peralatan masih berfungsi sesuai standar operasional, namun terdapat beberapa titik yang memiliki potensi bahaya elektrik yang perlu mendapat perhatian. Potensi bahaya tersebut antara lain risiko sengatan listrik, hubungan arus pendek, panas berlebih pada komponen tertentu, serta kemungkinan kegagalan isolasi yang dapat memicu gangguan sistem (Denny Fratista, Pambudi, Jaya, Syarifuddin, & Syamsir, 2025). Temuan ini menjadi dasar dalam analisis risiko menggunakan metode HIRARC untuk menentukan tingkat risiko dan langkah pengendalian yang diperlukan. Secara keseluruhan, hasil uji elektrik menunjukkan bahwa sistem masih dapat beroperasi dengan baik, namun diperlukan pengawasan berkala, perawatan preventif, serta penerapan prosedur K3L yang ketat guna meminimalkan risiko kecelakaan kerja dan gangguan operasional.

Pengujian Tahanan Kontak PMT

Pengujian tahanan kontak PMT (Pemutus Tenaga) dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai resistansi pada kontak utama saat PMT dalam kondisi tertutup (*close*). Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sambungan kontak dalam kondisi baik dan tidak mengalami kenaikan tahanan yang dapat menyebabkan pemanasan berlebih (*overheating*), rugi-rugi daya, maupun potensi gangguan pada sistem.

Pengukuran dilakukan menggunakan alat *Low Resistance Meter* (LRM) dengan metode injeksi arus sesuai standar pengujian peralatan tegangan menengah. Nilai tahanan kontak yang baik umumnya berada pada kisaran mikro-ohm ($\mu\Omega$) dan tidak melebihi batas standar yang ditetapkan oleh pabrikan maupun standar operasional pemeliharaan. Hasil pengujian pada masing-masing fasa kemudian dibandingkan untuk melihat keseragaman nilai dan mendeteksi adanya indikasi keausan atau ketidaknormalan pada salah satu kontak.



Gambar 2. Hasil Pengujian Tahanan Kontak Penyulang Algojo.

Pengujian tahanan kontak Pemutus Tenaga (PMT) dilakukan pada masing-masing fasa R, S, dan T dengan tujuan untuk memastikan bahwa nilai resistansi kontak masih berada dalam batas yang dipersyaratkan oleh standar IEC 62271 dan IEC 60694, yaitu $\leq 40 \mu\Omega$ per sambungan atau maksimal 120% dari nilai pabrikan. Parameter ini merupakan indikator penting dalam menilai kualitas permukaan kontak PMT, karena peningkatan nilai tahanan kontak dapat menyebabkan rugi daya yang lebih besar, peningkatan suhu lokal (*hot spot*), serta mempercepat degradasi komponen mekanis dan elektris. Pada hasil pengujian seluruh fasa menunjukkan nilai tahanan kontak yang masih berada dalam rentang standar yang diizinkan. Selain itu, tidak ditemukan perbedaan nilai yang signifikan antar fasa R, S, dan T, sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi mekanis dan elektris sistem kontak PMT relatif seragam. Kondisi ini mengindikasikan bahwa tidak terdapat indikasi awal terjadinya keausan berlebih, oksidasi, atau kontaminasi pada permukaan kontak yang dapat meningkatkan resistansi secara signifikan.

Namun demikian, interpretasi hasil pengujian tahanan kontak PMT perlu mempertimbangkan usia operasional peralatan yang telah mencapai ± 30 tahun. Pada peralatan dengan usia panjang, degradasi mekanis seperti penurunan tekanan kontak, keausan pegas, dan perubahan karakteristik material konduktor dapat terjadi secara bertahap dan tidak selalu terdeteksi melalui satu kali pengujian. Oleh karena itu, hasil pengujian ini perlu dipandang sebagai kondisi sesaat (*snapshot condition*) yang harus didukung oleh pemantauan tren nilai tahanan kontak secara berkala. Peningkatan nilai tahanan kontak dari waktu ke waktu dapat dijadikan sebagai indikator awal potensi kegagalan PMT yang berdampak pada keandalan sistem dan keselamatan kerja.

Pengukuran Sistem Catu Daya AC/DC

Pengukuran sistem catu daya AC/DC dilakukan untuk memastikan keandalan suplai daya yang digunakan dalam sistem proteksi dan kontrol di Gardu Induk (Janwar, Pranoto, & Hamdani, 2022). Sistem AC umumnya digunakan sebagai sumber utama peralatan bantu, sedangkan sistem DC berfungsi sebagai sumber daya untuk relay proteksi, sistem kontrol PMT, indikator, serta rangkaian trip coil yang harus tetap bekerja meskipun terjadi gangguan pada sistem utama (Pratama, 2024). Oleh karena itu, kestabilan tegangan dan kondisi grounding menjadi faktor penting dalam menjaga kontinuitas operasional peralatan. Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur digital (multimeter) pada beberapa titik, meliputi tegangan sumber AC, tegangan baterai DC, tegangan keluaran *charger/rectifier*, serta kondisi tegangan terhadap ground (Pratama, 2024). Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan standar operasional dan spesifikasi nominal sistem untuk mengetahui apakah nilai yang diperoleh masih dalam batas toleransi yang diizinkan [8]. Evaluasi ini bertujuan untuk mendeteksi adanya penyimpangan tegangan, penurunan performa baterai, atau potensi gangguan pada sistem pentanahan yang dapat memengaruhi keandalan sistem proteksi (Fauziyah, Susanti, & Nurjihad, 2021).



Gambar 3. Hasil Pengukuran Sumber AC/DC Dan Ground.

Pengukuran sistem catu daya AC/DC dilakukan untuk memastikan bahwa tegangan suplai bagi rangkaian kontrol, relay proteksi, serta mekanisme operasi PMT berada dalam kondisi normal dan stabil. Sistem catu daya ini memiliki peranan krusial dalam menjamin keandalan operasi peralatan proteksi, karena gangguan pada tegangan AC atau DC dapat menyebabkan kegagalan kerja relay proteksi maupun keterlambatan operasi PMT pada saat terjadi gangguan (Iskandar & N, 2022). Parameter yang diukur meliputi tegangan AC, tegangan DC, serta pengukuran terhadap ground untuk mendeteksi adanya kebocoran arus atau degradasi isolasi pada sistem catu daya, nilai tegangan AC dan DC berada dalam batas toleransi yang dipersyaratkan oleh standar operasional, serta tidak ditemukan adanya penyimpangan signifikan terhadap ground (Fauziyah dkk., 2021). Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem catu daya pendukung operasi PMT dan sistem proteksi berada dalam kondisi andal dan memenuhi persyaratan teknis.

Meskipun hasil pengukuran menunjukkan kondisi yang baik, potensi degradasi komponen catu daya seperti baterai, charger, dan panel distribusi tetap perlu diantisipasi, terutama mengingat usia peralatan yang tidak muda (Wonmaly & Jamlaay, 2023). Penurunan kapasitas baterai, ketidakstabilan output charger, maupun degradasi isolasi pada panel distribusi dapat terjadi secara bertahap dan berdampak langsung pada keandalan sistem proteksi. Oleh karena itu, pengujian berkala, pemantauan kondisi baterai, serta pemeliharaan preventif pada sistem catu daya AC/DC menjadi sangat penting untuk meminimalkan risiko kegagalan operasi yang dapat berdampak pada aspek K3L (Janwar et al., 2022).

Pemeriksaan Visual Penyulang Algojo 20 kV

Pemeriksaan visual Penyulang Algojo 20 kV dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi fisik peralatan yang tidak selalu dapat terdeteksi melalui pengujian kuantitatif, seperti adanya korosi, retakan isolator, karbonisasi, debu berlebih, kelembaban, atau indikasi *corona discharge* (Irawati et al., 2023). Pemeriksaan ini bertujuan untuk mendeteksi potensi bahaya elektrik yang dapat meningkatkan risiko sengatan listrik, flashover, maupun kebakaran. Berdasarkan hasil pemeriksaan visual tidak ditemukan kerusakan fisik yang signifikan pada Penyulang. Secara umum, kondisi fisik peralatan masih dinyatakan layak operasi, dengan tidak ditemukannya tanda-tanda degradasi berat pada isolator, busbar, maupun komponen mekanis utama. Hal ini menunjukkan bahwa Penyulang masih mampu memberikan tingkat perlindungan yang memadai terhadap risiko kontak langsung dan bahaya elektrik lainnya (Oktaviyanti, et al., 2024). Kegiatan pemeliharaan dilakukan terhadap PMT (Pemutus Tenaga) Penyulang Algojo setelah peralatan dikeluarkan dari kompartemen Penyulang dan diposisikan dalam kondisi terisolasi (*isolated position*). Pada kondisi ini, PMT sudah tidak terhubung

dengan rel/busbar maupun jaringan penyulang sehingga berada dalam keadaan aman untuk dilakukan pekerjaan pemeliharaan. Pelepasan PMT dari penyulang merupakan bagian dari prosedur pengamanan kerja guna memastikan tidak terdapat hubungan listrik dengan sistem yang masih bertegangan. Setelah PMT berada di luar Kompartemen dan ditempatkan pada posisi kerja yang stabil. Tahapan pembersihan meliputi penghilangan debu dan partikel kotoran pada isolator, kontak utama, Fasa R, S, T mekanisme penggerak (*operating mechanism*). Debu pada permukaan isolator dapat menyebabkan penurunan tahanan isolasi dan meningkatkan risiko terjadinya tracking atau flashover saat peralatan kembali dioperasikan. Oleh karena itu, pembersihan dilakukan menggunakan kain majun kering, dan peralatan bantu non-konduktif yang tidak merusak permukaan komponen.



Gambar 4. Kondisi Saat PMT Dibersihkan.

Secara teknis, pemeliharaan dalam kondisi PMT terlepas dari sistem memberikan tingkat keselamatan kerja yang lebih tinggi serta memungkinkan pemeriksaan yang lebih komprehensif. Kegiatan ini merupakan bagian dari preventive maintenance yang bertujuan menjaga keandalan (*reliability*), memperpanjang umur pakai peralatan (*service life*), serta memastikan kesiapan operasi PMT sebelum dikembalikan ke Penyulang Algojo.



Gambar 5. Kondisi Saat PMT Sesudah Dibersihkan.

Berdasarkan hasil pemeriksaan visual, kondisi kubikel Penyulang Algojo berada dalam keadaan baik dan layak operasi. Secara fisik, panel kubikel terpasang dengan kokoh, tidak ditemukan kerusakan mekanis, deformasi, maupun tanda- tanda keausan yang dapat

mempengaruhi kinerja peralatan. Area sekitar kubikel dalam kondisi bersih, tertata, serta bebas dari genangan air dan material yang berpotensi menimbulkan bahaya kerja. Dari aspek Keselamatan dan Kesehatan Kerja serta Lingkungan (K3L), pekerjaan pada kubikel Penyulang dilaksanakan dengan memperhatikan penggunaan alat pelindung diri (APD) yang sesuai, seperti helm keselamatan dan pakaian kerja standar, sehingga risiko kecelakaan kerja dapat diminimalkan. Selain itu, kondisi lingkungan kerja di sekitar kubikel terjaga dengan baik, yang mendukung keselamatan personel serta mencegah potensi gangguan lingkungan akibat kerusakan peralatan, seperti risiko kebakaran atau pelepasan energi listrik yang tidak terkendali. Dengan demikian, kondisi visual kubikel Penyulang Algojo dapat dinyatakan memenuhi persyaratan teknis dan K3L, sehingga mendukung keandalan operasional sistem Penyulang serta keselamatan personel dan lingkungan di Gardu Induk.

Analisis Parameter Lingkungan Kubikel 20 kV

Analisis parameter fisik dan lingkungan dilakukan untuk mengetahui pengaruh kondisi ruang kubikel terhadap keandalan operasional peralatan tegangan menengah 20 kV. Pengukuran dilakukan menggunakan *thermo-hygrometer* analog yang terpasang di dalam ruang kubikel pada saat observasi lapangan. Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh suhu ruang sebesar $\pm 28\text{--}29^\circ\text{C}$ dan kelembaban relatif sebesar $\pm 50\%$ RH. Berdasarkan standar IEC 62271-1 yang diterbitkan oleh *International Electrotechnical Commission* mengenai *normal service conditions* untuk peralatan switchgear tegangan menengah, suhu udara ambien maksimum rata-rata 24 jam yang diperbolehkan adalah 35°C dengan batas maksimum absolut 40°C . Nilai suhu hasil pengukuran sebesar $28\text{--}29^\circ\text{C}$ masih berada dalam rentang operasional normal ($20\text{--}35^\circ\text{C}$), sehingga tidak berpotensi menyebabkan peningkatan temperatur berlebih pada konduktor maupun komponen isolasi. Suhu tersebut masih tergolong kondisi optimal untuk mendukung stabilitas kerja peralatan.

Selain suhu, kelembaban relatif merupakan parameter penting dalam evaluasi lingkungan kubikel karena berpengaruh terhadap karakteristik isolasi dan potensi kondensasi. Berdasarkan hasil pengukuran, kelembaban relatif tercatat sebesar 42% RH. Dalam praktik operasional sistem distribusi tegangan menengah, rentang kelembaban yang direkomendasikan untuk ruang panel adalah 40–60% RH guna mencegah terbentuknya kondensasi dan memperlambat proses degradasi isolasi. Meskipun IEC 62271-1 menyatakan bahwa peralatan dirancang mampu beroperasi pada kelembaban relatif hingga 95% dalam kondisi tertentu, nilai tersebut merupakan batas toleransi desain, bukan kondisi ideal untuk menjaga keandalan jangka panjang.



Gambar 6. Hasil Ukur Kondisi Suhu dan Kelembaban.

Dengan kelembaban sebesar 42% RH, kondisi ruang kubikel berada dalam kategori optimal karena risiko kondensasi sangat rendah, kemungkinan terjadinya penurunan tahanan isolasi dapat diminimalkan, serta potensi korosi pada komponen logam relatif kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa faktor lingkungan tidak memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan probabilitas gangguan peralatan. Dalam kaitannya dengan metode HIRARC, parameter suhu dan kelembaban digunakan sebagai dasar dalam penentuan nilai likelihood (L) pada potensi bahaya yang berkaitan dengan degradasi isolasi. Karena kedua parameter lingkungan masih berada dalam batas standar operasional dan tidak menunjukkan kondisi ekstrem, maka faktor lingkungan dikategorikan memiliki tingkat kemungkinan gangguan yang rendah. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa kondisi fisik dan lingkungan ruang kubikel 20 kV pada saat pengukuran berada dalam kategori aman dan mendukung keandalan operasional sistem distribusi.

Data Umum dan Spesifikasi Peralatan

Tabel 1. Data Umum dan Spesifikasi Peralatan Penyulang Algojo.

No	Parameter	Keterangan
1	Tegangan sistem	20 kV
2	Merk kubikel	Merlin Gerin
3	Tahun pembuatan kubikel	1995
4	Jenis kubikel	Outgoing
5	Media PMT	Vacuum (FluArc)
6	Relay proteksi	Schneider MiCOM P123
7	Tahun instalasi relay proteksi	2017

Sumber: Laporan pemeliharaan Gardu Induk Balaraja Lama, 2025.

Berdasarkan penelitian diketahui bahwa sistem Penyulang Algojo beroperasi pada tegangan 20 kV dengan kubikel merk Merlin Gerin yang diproduksi pada tahun 1995. Hal ini menunjukkan bahwa komponen utama berupa kubikel dan PMT telah beroperasi selama kurang lebih 30 tahun. Sementara itu, sistem proteksi telah mengalami pembaruan melalui penggunaan *relay digital Schneider MiCOM P123* yang dipasang pada tahun 2017. Perbedaan

usia operasional antara peralatan utama dan sistem proteksi ini menjadi faktor penting dalam analisis risiko K3L. Meskipun relay proteksi tergolong modern dan andal dalam mendeteksi gangguan, keandalan sistem secara keseluruhan tetap sangat dipengaruhi oleh kondisi fisik dan elektrik peralatan utama. Kubikel dan PMT dengan usia operasional yang panjang berpotensi mengalami degradasi isolasi, keausan mekanis, serta peningkatan risiko kegagalan peralatan yang dapat berdampak pada keselamatan kerja.

Rekapitulasi Hasil Uji Elektrikal Penyulang Algojo

Rekapitulasi hasil uji elektrik Penyulang Algojo sebagai dasar evaluasi menyeluruh terhadap kondisi teknis peralatan utama, yaitu PMT, sistem catu daya AC/DC, dan kubikel 20 kV. Seluruh parameter pengujian menunjukkan nilai yang masih berada dalam batas standar yang dipersyaratkan, sehingga secara teknis peralatan dinyatakan layak operasi. Namun demikian, hasil rekapitulasi ini tidak dapat ditafsirkan secara sederhana sebagai kondisi bebas risiko. Interpretasi data perlu dilakukan dengan mempertimbangkan konteks usia peralatan (± 30 tahun), intensitas operasi Penyulang, serta kondisi lingkungan kerja yang mencakup kelembaban, debu, dan potensi kontaminasi. Dengan demikian, rekapitulasi hasil uji elektrik ini diposisikan tidak hanya sebagai verifikasi kelayakan teknis, tetapi juga sebagai indikator awal potensi bahaya elektrik yang dapat berdampak pada aspek K3L.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Uji Elektrikal Penyulang Algojo.

No.	Jenis Pengujian	Standar Acuan	Hasil Pengujian	Evaluasi
1	Pengujian tahanan kontak PMT	IEC 62271 dan IEC 60694. Batas tahanan kontak $\leq 120\%$ nilai pabrikan atau $\leq 40 \mu\Omega$ per sambungan.	Phasa R = 92,5 $\mu\Omega$ Phasa S = 60,2 $\mu\Omega$ Phasa T = 98,6 $\mu\Omega$	Layak operasi
2	Pengukuran polaritas sumber AC/DC	IEC 60694 Ed. 2.2 (2002). Tegangan AC: 220 VAC (187–242 VAC). Tegangan DC: 110 VDC (94–121 VDC).	AC = 229 VDC = 104,9 V V+ Ground = 47,7 V Ground = 57,2 V	Catu daya AC/DC normal dan tidak ditemukan anomali
3	Pemeriksaan visual kubikel	SPLN Kubikel 20 kV	Tidak ditemukan kerusakan fisik pada kubikel	Baik

Sumber: Data hasil pengujian elektrik GI Balaraja Lama, 2025.

Hasil uji elektrik Pengujian Tahanan Kontak PMT, Pengukuran polaritas sumber AC/DC, pada Penyulang Algojo menunjukkan masih berada dalam batas standar yang dipersyaratkan. Meskipun secara teknis peralatan dinyatakan layak operasi, hasil pengujian ini tetap menunjukkan adanya potensi bahaya laten apabila terjadi penurunan kualitas isolasi akibat faktor usia peralatan dan kondisi lingkungan. Potensi terjadinya arus bocor, *flashover*, maupun sengatan listrik tetap perlu diwaspadai. Dengan demikian, hasil uji elektrik tidak hanya digunakan untuk menyatakan kelayakan operasi, tetapi juga sebagai indikator awal potensi bahaya elektrik terhadap pekerja dan peralatan.

Dari sisi tahanan kontak PMT, nilai pada fasa R, S, dan T masih berada dalam batas standar IEC 62271 dan IEC 60694. Keceragaman nilai antar fasa menunjukkan bahwa sistem kontak masih bekerja secara relatif stabil. Meskipun demikian, nilai tahanan kontak yang mendekati batas atas standar pada salah satu fasa perlu mendapat perhatian khusus dan dimonitor secara berkala sebagai bagian dari pemeliharaan berbasis kondisi (*condition-based maintenance*), guna mendeteksi kecenderungan peningkatan resistansi yang dapat menjadi indikasi awal degradasi kontak. Pada sistem catu daya AC/DC, nilai tegangan AC dan DC berada dalam rentang toleransi, serta tidak ditemukan anomali signifikan terhadap ground. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sistem kontrol dan proteksi masih mendapatkan suplai energi yang stabil. Akan tetapi, mengingat peran krusial catu daya DC dalam operasi relay proteksi dan mekanisme PMT, kestabilan ini tetap perlu diverifikasi secara periodik untuk mengantisipasi degradasi baterai, ketidakstabilan charger, serta potensi gangguan pada panel distribusi. Hasil pemeriksaan visual kubikel 20 kV menunjukkan tidak adanya kerusakan fisik signifikan. Secara umum, kondisi fisik peralatan dinyatakan baik dan layak operasi. Namun, pemeriksaan visual bersifat kualitatif dan hanya merepresentasikan kondisi sesaat, sehingga tetap perlu dilengkapi dengan inspeksi rutin dan pengujian lanjutan terhadap parameter isolasi, seperti uji tahanan isolasi dan partial discharge. Secara keseluruhan, rekapitulasi hasil uji elektrik Penyalang Algojo menunjukkan bahwa peralatan masih berada dalam kondisi layak operasi. Akan tetapi, kelayakan teknis ini tidak serta-merta menghilangkan potensi risiko K3L, terutama pada instalasi dengan usia operasional panjang. Oleh karena itu, hasil rekapitulasi ini menjadi dasar integrasi antara evaluasi teknis dan analisis risiko menggunakan metode HIRARC.

Tabel Identifikasi Bahaya, Penilaian Risiko, dan Pengendalian Risiko (HIRARC)

Tabel HIRARC berikut disusun secara sistematis berdasarkan hasil uji elektrik Penyalang Algojo, inspeksi visual lapangan, serta kondisi operasional aktual di GI Balaraja Lama. Penilaian risiko dilakukan dengan mengalikan nilai *Severity* (S) dan *Likelihood* (L) sehingga diperoleh *Risk Rating* yang kemudian diklasifikasikan ke dalam kategori risiko rendah, sedang, dan tinggi.

Tabel 3. Identifikasi Bahaya dan Penilaian Risiko Penyulang Algojo.

No.	Sumber Bahaya	Aktivitas/Kondisi Kerja	Potensi Bahaya	Dampak yang Ditimbulkan	S	L	Nilai Risiko	Kategori	Pengendalian Risiko
1	Kubikel 20 kV (usia ± 30 tahun)	Operasi dan pemeliharaan	Penurunan kualitas isolasi	Sengatan listrik fatal	4	1	4	Rendah	Pemeliharaan berkala, optimasi kinerja kubikel, penggunaan APD lengkap, serta rencana penggantian aset.
2	PMT Vacuum	Operasi switching	Flashover atau kegagalan pemutusan	Kebakaran dan kerusakan peralatan	4	1	4	Rendah	Inspeksi visual rutin, pembersihan peralatan, dan monitoring temperatur.
3	Tahanan kontak PMT	Kondisi normal	Tegangan sisa dan kesalahan penempatan alat ukur	Cedera sedang	3	1	3	Rendah	Pemeliharaan preventif, pelepasan tegangan sisa melalui sistem grounding sebelum pekerjaan.
4	Mekanik PMT	Switching berulang	Kegagalan mekanik	Gangguan sistem dan risiko kecelakaan kerja	3	1	3	Rendah	Pelumasan mekanik, uji keserempakan (simultaneity test), serta penerapan SOP pemeliharaan.
5	Lingkungan (debu dan kelembapan)	Operasi harian	Percepatan degradasi isolasi	Penurunan keandalan sistem	1	1	1	Rendah	Housekeeping rutin, pengendalian kelembapan, dan perbaikan sistem ventilasi.

Implikasi Hasil Penelitian terhadap Sistem Manajemen K3L

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem manajemen K3L di Gardu Induk Balaraja Lama perlu diperkuat melalui integrasi antara data teknis hasil uji elektrikal dan analisis risiko HIRARC. Pendekatan ini memungkinkan penetapan prioritas pengendalian risiko yang lebih objektif dan berbasis kondisi aktual peralatan, khususnya pada potensi bahaya dengan severity tinggi dan likelihood yang cenderung meningkat akibat usia peralatan yang telah mencapai ± 30 tahun. Implikasi pertama adalah perlunya penerapan pemeliharaan preventif berbasis kondisi (*condition-based maintenance*) yang tidak hanya berorientasi pada jadwal waktu, tetapi juga pada tren parameter teknis seperti tahanan kontak PMT, kestabilan tegangan AC/DC, dan kondisi fisik kubikel. Pemantauan tren ini dapat digunakan sebagai

indikator dini peningkatan risiko K3L, sehingga tindakan korektif dapat dilakukan sebelum terjadi kegagalan peralatan atau kecelakaan kerja. Implikasi kedua berkaitan dengan penyesuaian Standar Operasional Prosedur (SOP) operasi dan pemeliharaan. SOP yang ada perlu diperbarui agar lebih adaptif terhadap kondisi peralatan yang menua, dengan memasukkan hasil HIRARC sebagai dasar dalam penentuan metode kerja, frekuensi inspeksi, serta persyaratan keselamatan tambahan bagi pekerja. Implikasi ketiga adalah pentingnya peningkatan kompetensi dan kesadaran K3L bagi personel operasi dan pemeliharaan. Pelatihan berkala mengenai interpretasi hasil uji elektrikal, analisis risiko, serta potensi bahaya spesifik pada peralatan tua perlu menjadi bagian integral dari sistem manajemen K3L, sehingga pekerja mampu mengenali risiko laten dan mengambil tindakan pencegahan yang tepat.

Implikasi keempat berkaitan dengan perencanaan penggantian aset dalam jangka panjang. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun peralatan masih layak operasi secara teknis, faktor asset aging meningkatkan risiko K3L secara bertahap. Oleh karena itu, hasil HIRARC dan data uji elektrikal dapat digunakan sebagai dasar dalam penyusunan roadmap penggantian peralatan secara bertahap untuk menjaga keselamatan kerja dan keandalan sistem. Secara keseluruhan, implikasi hasil penelitian ini menegaskan bahwa pengelolaan K3L yang efektif di lingkungan gardu induk harus didukung oleh integrasi antara data teknis, analisis risiko, kebijakan operasional, dan pengembangan sumber daya manusia. Pendekatan ini memungkinkan pengendalian risiko dilakukan secara lebih dini dan sistematis, sehingga dapat meningkatkan keselamatan kerja, keandalan peralatan, dan keberlanjutan operasi sistem distribusi tenaga listrik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa Penyulang Algojo di Gardu Induk Balaraja Lama secara teknis masih berada dalam kondisi layak operasi dan memiliki tingkat keandalan yang baik dalam mendukung kontinuitas penyaluran energi listrik. Hal ini ditunjukkan oleh hasil uji elektrikal, di mana nilai tahanan kontak PMT pada fasa R sebesar $92,5 \mu\Omega$, fasa S sebesar $60,2 \mu\Omega$, dan fasa T sebesar $98,6 \mu\Omega$ masih memenuhi batas standar IEC 62271 dan IEC 60694. Selain itu, hasil pengukuran sistem catu daya menunjukkan tegangan AC sebesar 229 V dan tegangan DC sebesar 104,9 V dengan kondisi tegangan terhadap *ground* (+47,7 V dan -57,2 V) yang tidak menunjukkan adanya anomali signifikan. Pemeriksaan visual kubikel 20 kV juga memperlihatkan bahwa peralatan berada dalam kondisi baik, tanpa ditemukan kerusakan fisik seperti korosi berat, retakan, karbonisasi, maupun indikasi *corona discharge*.

Meskipun demikian, hasil analisis HIRARC menunjukkan bahwa masih terdapat potensi risiko K3L yang perlu menjadi perhatian, terutama yang berkaitan dengan usia peralatan (*asset aging*), kemungkinan penurunan kualitas isolasi, serta pengaruh kondisi lingkungan kerja yang berpotensi meningkatkan risiko sengatan listrik maupun kegagalan peralatan apabila tidak dilakukan pemantauan secara berkelanjutan. Oleh karena itu, pengendalian risiko perlu dilakukan secara komprehensif melalui pemeliharaan dan pengujian berkala sebagai pengendalian teknis, penerapan prosedur operasional standar (SOP) dan pelatihan K3L sebagai pengendalian administratif, serta penggunaan alat pelindung diri (APD) secara konsisten guna menurunkan tingkat risiko hingga berada pada level yang dapat diterima sekaligus menjaga keandalan sistem dan keselamatan kerja di Gardu Induk Balaraja Lama.

DAFTAR REFERENSI

- Della Putri Adjani & Restu Hikmah Ayu Murti. (2024). Identifikasi Bahaya Menggunakan Metode HIRARC Pada Pekerjaan Pemeliharaan Gardu dan Jaringan Distribusi PT PLN UP3 Cengkareng. *Antigen : Jurnal Kesehatan Masyarakat dan Ilmu Gizi*, 2(2), 39–51. <https://doi.org/10.57213/antigen.v2i2.257>.
- Denny Fratista, K. A., Pambudi, M. R., Jaya, A., Syarifuddin, A., & Syamsir. (2025). Evaluasi Skema Trip Non-Kaskade Penyulang GI Marisa untuk Mencegah Incoming Trip Akibat Akumulasi Arus Gangguan. *Jurnal LOGITECH Logika Technology*, 8(2). <https://doi.org/10.64109/n67j1877>.
- Fandi Rahman, Muh. Fitrah, Suryani Suryani, & Hafsah Nirwana. (2024). Analisis Tahanan Isolasi Peralatan Utama Gardu Induk Panakkukang. *Globe: Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumian, Ilmu Perkapalan*, 2(3), 237–249. <https://doi.org/10.61132/globe.v2i3.507>.
- Fauziyah, S., Susanti, R., & Nurjihad, F. (2021). Risk assessment for occupational health and safety of Soekarno-Hatta international airport accessibility project through HIRARC method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 700(1), 012048. Institute of Physics. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/700/1/012048>.
- Gusmedi, H., Hakim, L., & Ramadan, R. (2024). Evaluasi Keandalan Jaringan Distribusi 20 KV Penyulang Stroberi 2 Pt. PLN (PERSERO) Ulp Kota Metro Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA). *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i1.3617>.
- Harahap, R., Armansyah, A., Yusmartato, Y., & Iqbal, M. (2024). Pengaruh Endapan Polutan Garam Pada Isolator Piring Terhadap Arus Bocor. *JET (Journal of Electrical Technology)*, 9(1), 25–30. <https://doi.org/10.30743/jet.v9i1.9760>.
- Irawati, I., Amien, M. T., Sumarno, E., & Rosyadi, F. (2023). Prototype Monitoring Suhu Dan Kelembapan Pada Kubikel 20 kV Berbasis IoT. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 25(3), 103–114. <https://doi.org/10.14710/transmisi.25.3.103-114>.
- Iskandar, A., & N, L. E. N. (2022). Analisis Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) Pada Tenaga Kerja (MANPOWER) Area Ash Silo PT PLN (PERSERO) UPK Nagan Raya. *JKM (Jurnal Kesehatan Masyarakat) Cendekia Utama*, 10(2), 220–231. <https://doi.org/10.31596/jkm.v10i2.1084>.

- Janwar, M. I. B., Pranoto, S., & Hamdani, H. (2022). Prototipe Monitoring Sistem Catu Daya 48 Volt DC pada Gardu Induk dengan Pemodelan HMI. *Seminar Nasional Teknik Elektro Dan Informatika (SNTEI)*, 8(1), 351–354.
- Oktaviyanti, R., Anjani, T. A., Rifaldi, M., Saepullah, M. Z., & Aribowo, D. (2024). Pemeliharaan Kubikel 20kV dan Keandalan Distribusi Listrik Pelanggan ULP Prima Krakatau. *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPCA)*, 7(2), undefined-undefined. <https://doi.org/10.33087/jepca.v7i2.116>.
- Pratama, V. (2024). Analisis Penyebab Arus Bocor Pada Instalasi Listrik Rumah Tinggal Terhadap Pembayaran Rekening Bulanan. *Power Elektronik : Jurnal Orang Elektro*, 13(3), 298–301. <https://doi.org/10.30591/polektro.v13i3.6974>.
- Pratiwi, G., Rachman, A. I., Halid, A., Mz, L., & Suriansyah -. (2024). Analisa Implementasi Sistem Informasi Dalam Demand Side Management Pada Gardu Induk Terhadap Faktor Beban. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi dan Teknik Informatika (JISTI)*, 7(1), 170–176. <https://doi.org/10.57093/jisti.v7i1.203>.
- Seftiani, Y. M., Aldi Rahman, Julsam, Nazris Nazaruddin, Aditya Wardhani, Afif Pratama, & Muhardika. (2024). Studi Kasus Dampak Sambaran Petir Terhadap Tower Transmisi 150 kV Berbasis Simulasi ATPDRAW di Jaringan Gardu Induk Kota Solok. *Jurnal Surya Energy*, 9(1), 34–45. <https://doi.org/10.32502/jse.v9i1.285>.
- 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. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3S1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.5272>.
- Wijaya, A., Panjaitan, T. W. S., & Palit, H. C. (2015). Evaluasi Kesehatan dan Keselamatan Kerja dengan Metode HIRARC pada PT. Charoen Pokphand Indonesia. *Jurnal Titra*, 3(1), 29–34.
- Wonmaly, M. L., & Jamlaay, M. (2023). Analisa Potensi Kecelakaan Kerja Pada Gardu Induk Wayame Menggunakan Metode Hazard Identification, Risk Assesment and Risk Control (HIRARC). *Jurnal ELKO (Elektrikal Dan Komputer)*, 4(2). <https://doi.org/10.54463/je.v4i2.99>.
- Yusniati, Y., Pelawi, Z., Armansyah, A., & Taufik, I. (2021). Pengukuran Resistansi Isolasi Instalasi Penerangan Basement Pada Gedung Rumah Sakit Grend Mitra Medika Medan. *Buletin Utama Teknik*, 16(3), 240–247. <https://doi.org/10.30743/but.v16i3.3788>.