



Rancang Bangun Panel Instalasi Listrik dengan Prinsip *Engineering Safety* Ruang *Spray Booth* Pengecatan Bodi Kendaraan

Aldi Zulkarnain Hasibuan^{1*}, Donny Fernandez², Andrizal³, Nuzul Hidayat⁴

¹⁻⁴ Pendidikan Teknik Otomotif, Universitas Negeri Padang, Indonesia.

Email : aldizulkarnainhasibuan@gmail.com

*Penulis Korespondensi: aldizulkarnainhasibuan@gmail.com

Abstract. *This study aims to design and develop an electrical installation panel by applying engineering safety principles in the water spray booth of a vehicle body painting system. Field observations indicate that electrical panels in painting rooms often do not meet safety standards, which can lead to short circuits and potential fire hazards. The research employed a Research and Development (R&D) method using a simplified Borg and Gall model consisting of nine stages, starting from problem identification to effectiveness testing. Expert validation results obtained a score of 87.5% (highly valid), practicality testing yielded 90% (very practical), and effectiveness tests showed an average current of 4.1 A, with both the MCB and emergency stop functioning optimally. The developed panel product is declared feasible to be used as a practical learning media for automotive electrical systems. Based on the test results, the panel product was declared suitable for use and can be used as a learning medium in automotive electrical practice, helping to increase understanding of the application of safety in electrical installations in the automotive industry.*

Keywords: *Automotive, Electrical Panel, Engineering Safety, Occupational Safety, Water Spray Booth.*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan panel instalasi listrik dengan penerapan prinsip *engineering safety* pada ruang *water spray booth* pengecatan bodi kendaraan. Masalah di lapangan menunjukkan bahwa panel listrik pada ruang pengecatan sering belum memenuhi standar keselamatan sehingga berpotensi menimbulkan korsleting dan kebakaran. Penelitian menggunakan metode *Research and Development* (R&D) model Borg and Gall yang disederhanakan menjadi sembilan tahap, mulai dari identifikasi masalah hingga uji keefektifan. Hasil validasi ahli memperoleh nilai 87,5% (sangat valid), uji kepraktisan 90% (sangat praktis), dan uji keefektifan menunjukkan arus rata-rata 4,1 A dengan fungsi MCB dan emergency stop bekerja optimal. Produk panel dinyatakan layak digunakan sebagai media pembelajaran praktik kelistrikan otomotif. Berdasarkan hasil uji tersebut, produk panel dinyatakan layak digunakan dan dapat dijadikan media pembelajaran dalam praktik kelistrikan otomotif, membantu meningkatkan pemahaman tentang penerapan keselamatan dalam instalasi listrik pada industri otomotif.

Kata kunci: *Engineering Safety, Keselamatan Kerja, Otomotif, Panel Listrik, Water Spray Booth*

1. LATAR BELAKANG

Keselamatan kerja dalam sistem kelistrikan industri merupakan aspek fundamental yang harus diprioritaskan karena berhubungan langsung dengan potensi kecelakaan dan kebakaran di tempat kerja (Pinto et al., 2024). Di lingkungan industri otomotif, salah satu area yang memiliki risiko tinggi terhadap bahaya kelistrikan adalah ruang *water spray booth* yang digunakan pada proses pengecatan bodi kendaraan. Sistem ini bekerja dengan menyemprotkan air untuk mengikat partikel cat dan debu agar tidak mencemari udara sekitar (Ahmad, 2016). Namun, kondisi kelembapan tinggi serta keberadaan uap bahan kimia yang mudah terbakar menjadikan area tersebut sangat sensitif terhadap gangguan listrik seperti percikan api,

korsleting, atau arus bocor. Kombinasi faktor-faktor ini menuntut penerapan sistem kelistrikan yang benar-benar aman dan sesuai dengan prinsip *engineering safety*.

Panel instalasi listrik berperan penting sebagai pusat distribusi daya sekaligus sistem proteksi utama pada ruang *spray booth*. Panel ini mengatur aliran listrik menuju berbagai komponen seperti blower, pompa air, dan penerangan ruang pengecatan. Apabila perancangan panel dilakukan tanpa memperhatikan aspek keselamatan teknik, maka potensi bahaya seperti arus lebih (*overcurrent*), pemanasan berlebih, hingga kebakaran dapat meningkat (Wijaya, I, 2020). Untuk mencegah hal tersebut, diperlukan penerapan sistem proteksi seperti MCB (*Miniature Circuit Breaker*), *emergency stop*, dan *grounding* yang bekerja cepat ketika terjadi gangguan (Kodir et al., 2025). Selain itu, pemilihan material dan ukuran kabel yang sesuai standar menjadi faktor penting agar panel mampu menyalurkan arus secara stabil serta tahan terhadap kondisi lingkungan lembap di ruang *spray booth*.

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 04-0225-2000) dan Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2011), sistem kelistrikan di lingkungan industri harus memenuhi prinsip keselamatan, efisiensi, dan keandalan operasi (BSN, 2000). Implementasi prinsip *engineering safety* tidak hanya melindungi operator dan peralatan, tetapi juga meningkatkan efisiensi energi, mengurangi risiko kerusakan, serta memperpanjang umur sistem listrik (Perdian et al., 2022). Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk merancang panel instalasi listrik pada *water spray booth* yang memenuhi prinsip keselamatan teknik sesuai standar industri. Panel ini diharapkan tidak hanya aman untuk digunakan di dunia kerja, tetapi juga efektif sebagai media pembelajaran praktik kelistrikan otomotif, sehingga peserta didik dapat memahami penerapan prinsip keselamatan dan proteksi listrik secara nyata di lingkungan bengkel otomotif.

2. KAJIAN TEORITIS

Water Spray Booth

Water spray booth merupakan ruang tertutup yang digunakan dalam proses pengecatan bodi kendaraan dengan sistem penyemprotan air sebagai media pengendali partikel cat di udara. Sistem ini dirancang untuk menjaga kebersihan udara di dalam ruang pengecatan dengan cara menangkap kabut cat dan debu menggunakan aliran air yang disirkulasikan melalui pompa dan saringan. Dengan demikian, partikel cat yang melayang tidak menyebar ke lingkungan sekitar sehingga kualitas hasil pengecatan menjadi lebih halus, merata, dan ramah lingkungan (Badri, 2023).

Dalam operasionalnya, *water spray booth* dilengkapi dengan sistem ventilasi dan blower untuk menjaga sirkulasi udara, serta penerangan yang cukup agar proses pengecatan dapat dilakukan secara presisi (Handoko, 2022). Kondisi ruang yang lembap dan mengandung uap bahan kimia mudah terbakar menuntut sistem kelistrikan yang aman dan tahan terhadap gangguan. Oleh karena itu, penerapan prinsip *engineering safety* menjadi sangat penting, meliputi penggunaan panel listrik kedap air, kabel berisolasi ganda, sistem *grounding*, serta pelindung arus lebih seperti MCB.

Prinsip Engineering Safety

Engineering safety merupakan pendekatan sistematis dalam perancangan dan pengoperasian peralatan teknik untuk memastikan sistem bekerja aman sesuai standar keselamatan kerja (Casey et al., 2021). Prinsip ini menekankan penerapan manajemen risiko, desain *fail-safe*, serta pengaturan sistem yang ergonomis. Dalam konteks kelistrikan, penerapan *engineering safety* mencakup perlindungan terhadap arus lebih melalui MCB, pemasangan sistem *grounding* yang efektif, penggunaan isolasi ganda pada penghantar, serta penerapan sistem proteksi otomatis untuk mencegah kerusakan peralatan dan melindungi operator dari bahaya listrik.

Klasifikasi Area Berbahaya

Menurut standar IEC 60079-10-1, area berbahaya diklasifikasikan menjadi tiga zona, yaitu Zona 0, Zona 1, dan Zona 2, berdasarkan tingkat kemungkinan adanya gas atau uap mudah terbakar di udara (Susilowati & Lestari, 2022). Zona 0 merupakan area di mana campuran gas atau uap mudah terbakar selalu ada atau terjadi dalam waktu yang lama. Zona 1 adalah area di mana atmosfer mudah terbakar kemungkinan besar muncul selama operasi normal, sedangkan Zona 2 adalah area yang jarang terjadi pelepasan gas berbahaya dan hanya berlangsung dalam waktu singkat. Dalam konteks industri otomotif, ruang *spray booth* tergolong Zona 1 karena selama proses pengecatan terjadi pelepasan uap pelarut dan partikel cat yang dapat membentuk atmosfer eksplosif. Oleh karena itu, sistem kelistrikan yang digunakan di area ini harus dirancang dengan perlindungan khusus terhadap percikan api, kelembapan, dan potensi arus bocor guna menjamin keselamatan kerja.

Komponen Panel Listrik

Komponen utama panel listrik terdiri atas MCB (*Miniature Circuit Breaker*), *emergency stop*, kabel penghantar, kontaktor, dan lampu indikator (Sunarto et al., 2022). MCB berfungsi sebagai pelindung utama sistem terhadap arus lebih (*overcurrent*) dan hubungan singkat (*short circuit*) dengan cara memutus aliran listrik secara otomatis ketika arus melebihi batas nominal (Vio et al., 2022). Komponen *emergency stop* digunakan sebagai saklar pemutus

darurat yang bekerja secara manual untuk menghentikan aliran listrik dengan cepat saat terjadi keadaan berbahaya, sehingga mencegah kerusakan peralatan maupun risiko terhadap operator.

Sistem Instalasi *Alternating Current*

Instalasi arus bolak-balik (AC – *Alternating Current*) merupakan sistem distribusi listrik yang paling banyak digunakan di lingkungan industri maupun pendidikan karena mampu menyalurkan energi listrik secara efisien pada jarak jauh dan beban besar (Kussoy et al., 2024). Sistem ini bekerja dengan perubahan arah arus secara periodik, umumnya pada frekuensi 50 Hz di Indonesia, sehingga lebih hemat energi dibanding sistem arus searah (DC). Dalam penerapannya, instalasi AC harus mengikuti ketentuan Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) dan Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk menjamin keamanan, keandalan, dan efisiensi sistem.

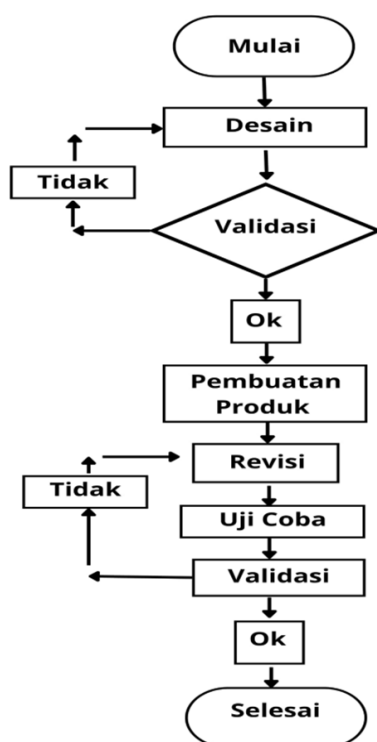
Penerapan sistem AC pada panel listrik *spray booth* mencakup penggunaan kabel penghantar sesuai kapasitas arus, pemilihan isolasi tahan panas dan lembap, serta pemasangan sistem *grounding* untuk mencegah kebocoran arus dan bahaya sengatan listrik. Selain itu, penggunaan MCB dan *contactor* pada rangkaian AC berfungsi sebagai pengaman dan pengendali beban secara otomatis, memastikan seluruh komponen bekerja stabil.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan *Borg and Gall* yang disederhanakan menjadi sembilan tahap, mulai dari identifikasi masalah hingga menghasilkan produk akhir (Waruwu, 2024). Model ini dipilih karena mampu menghasilkan produk pembelajaran yang aplikatif dan sesuai kebutuhan praktik di bidang teknik otomotif. Subjek penelitian adalah panel instalasi listrik yang dirancang untuk sistem *water spray booth* pengecatan bodi kendaraan. Penelitian dilaksanakan di Bengkel Praktik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang dengan melibatkan dua validator ahli (kelistrikan dan otomotif) serta enam mahasiswa sebagai pengguna untuk menguji kepraktisan produk.

Instrumen penelitian meliputi lembar validasi ahli, lembar observasi kepraktisan, dan lembar uji keefektifan teknis, serta dokumentasi visual proses perancangan (Okpatrioka, 2023). Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif menggunakan perhitungan persentase untuk menilai validitas, kepraktisan, dan keefektifan panel. Hasil analisis digunakan untuk menentukan kelayakan produk dari aspek keamanan, kemudahan penggunaan, dan kinerja teknis.

Tahapan rinci penelitian digambarkan dalam kerangka berpikir yang menunjukkan alur logis dari identifikasi masalah, pengumpulan data, perancangan panel, validasi desain, hingga uji keefektifan. Kerangka berpikir ini menegaskan keterkaitan antara penerapan prinsip *engineering safety* pada sistem kelistrikan *spray booth* dengan tujuan penelitian, yaitu menghasilkan panel instalasi listrik yang aman, efisien, dan layak digunakan sebagai media pembelajaran praktik kelistrikan otomotif.



Gambar 1. Kerangka Berfikir.

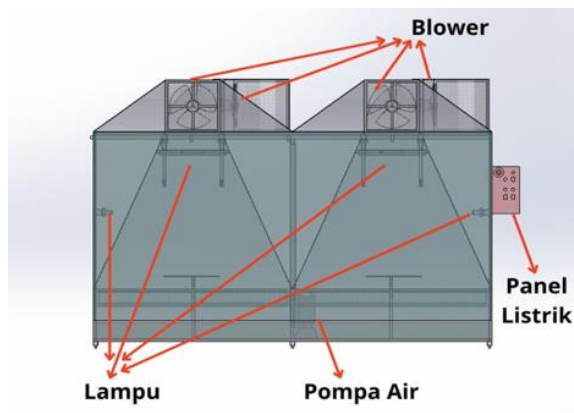
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan panel instalasi listrik berbasis *engineering safety* yang dirancang khusus untuk sistem *water spray booth* pengecatan bodi kendaraan. Panel yang dikembangkan terdiri dari beberapa komponen utama seperti MCB, *emergency stop*, pompa air, blower, lampu penerangan, serta kabel NYM 3×2,5 mm² sesuai standar PUIL 2011. Panel dirancang dalam box logam tertutup dengan perlindungan isolasi dan sistem *grounding* untuk mencegah kebocoran arus.

Desain Panel Instalasi Listrik

Panel listrik *water spray booth* yang dikembangkan berfungsi sebagai pusat pengatur dan pengaman distribusi daya listrik pada sistem pengecatan bodi kendaraan. Panel ini terdiri dari komponen utama seperti *Miniature Circuit Breaker* (MCB) sebagai pelindung arus lebih,

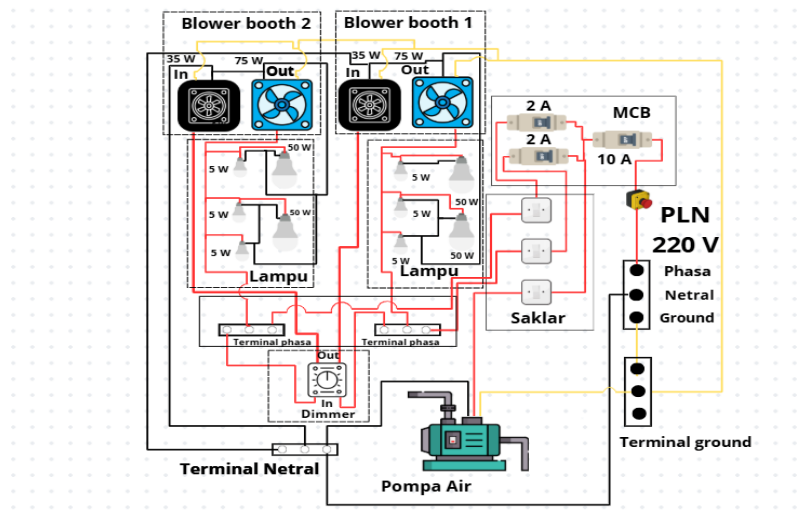
emergency stop sebagai pemutus arus darurat, pompa air untuk sirkulasi air penyaring partikel cat, blower untuk ventilasi udara, serta lampu LED sebagai penerangan ruang pengecatan. Seluruh komponen dirangkai menggunakan kabel penghantar berstandar SNI dan ditempatkan dalam box panel tertutup yang tahan terhadap kelembapan, sehingga aman digunakan di lingkungan ruang *spray booth* yang berisiko tinggi terhadap gangguan listrik.



Gambar 2. Desain Alat.

Dari desain tersebut menunjukkan rancangan sistem *water spray booth* yang dilengkapi dengan komponen utama berupa blower, pompa air, lampu penerangan, dan panel listrik sebagai pusat kendali sistem. Dua unit blower *in* dan blower *out* berfungsi menjaga sirkulasi udara agar uap cat tidak terakumulasi di ruang pengecatan, sedangkan pompa air bertugas mensirkulasikan air pada sistem penyaring partikel cat untuk menjaga kebersihan udara di ruang kerja. Lampu LED dipasang di bagian depan untuk memastikan pencahayaan optimal selama proses pengecatan berlangsung. Seluruh komponen dikendalikan melalui panel listrik yang dirancang menggunakan prinsip *engineering safety*, dilengkapi sistem proteksi MCB, *grounding*, dan *emergency stop* untuk menjamin keamanan operasi pada lingkungan yang lembap dan berisiko tinggi terhadap gangguan listrik.

Gambar berikut menampilkan rangkaian kelistrikan panel instalasi listrik pada sistem *water spray booth* yang berfungsi sebagai pengendali utama seluruh komponen. Rangkaian ini menunjukkan alur distribusi daya dari sumber listrik menuju beban kerja seperti pompa air, blower, dan lampu penerangan, yang diatur melalui sistem proteksi dan kontrol pada panel listrik utama.



Gambar 3. Rangkain Kelistrikan.

Spesifikasi lengkap komponen yang digunakan pada panel instalasi listrik *water spray booth* disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Komponen.

No	Komponen	Spesifikasi
1	MCB	10 A, 220V AC, 1300 W, 1 Phase
2	<i>Emergency Stop</i>	250V AC, 6A, warna merah
3	Pompa Air	220V, 250W, 4 m ³ /jam
4	Blower	35 Watt, 1380 RPM
5	Lampu LED	26W, 175–265V
6	Kabel	NYM 3×2,5 mm ²

Hasil perhitungan total daya panel mencapai 700 Watt dengan arus kerja 4,1 Ampere, menunjukkan sistem bekerja stabil pada tegangan 220 Volt. Penggunaan kabel NYM 3×2,5 mm² sesuai standar PUIL 2011 karena mampu menahan arus hingga 20 Ampere dan tahan terhadap panas serta kelembapan (Irman et al., 2022). Semua komponen dipasang dalam panel box logam tertutup dengan sistem *grounding* dan label keselamatan untuk mengurangi risiko kebocoran arus dan memudahkan pengoperasian (Perdian et al., 2022). Desain ini menjadikan panel aman dan efisien digunakan di lingkungan *water spray booth*.

Uji Validitas

Uji validitas dilakukan oleh dua dosen ahli bidang kelistrikan dan otomotif. Delapan aspek utama dievaluasi menggunakan skala Likert (1–5). Penilaian meliputi kesesuaian rancangan panel dengan standar keselamatan kerja, kelengkapan fungsi komponen, dan kerapian tata letak instalasi. Hasil validasi digunakan sebagai dasar untuk melakukan revisi produk sebelum tahap uji kepraktisan dan keefektifan agar panel yang dikembangkan benar-benar layak dan aman digunakan.

Tabel 2. Hasil Uji Validitas.

No	Aspek yang Dinilai	Persentase	Kategori
1.	Prinsip <i>engineering safety</i>	90	Sangat valid
2.	Kesesuaian standar SNI & PUIL	85	Sangat valid
3.	Proteksi arus lebih (MCB)	88	Sangat valid
4.	Ukuran dan jenis kabel	86	Sangat valid
5.	Keamanan pengoperasian	90	Sangat valid
6.	Kerapian dan tata letak	84	Valid
7.	Fungsi komponen	88	Sangat valid

Nilai validitas rata-rata sebesar 87,5% menunjukkan bahwa desain panel instalasi listrik telah sesuai dengan prinsip *engineering safety* dan memenuhi standar SNI 04-0225-2000 (BSN, 2000). Validator menilai panel ini sudah aman digunakan karena sistem proteksi seperti MCB, *grounding*, dan *emergency stop* berfungsi dengan baik. Desainnya juga dinilai efisien dan mudah dioperasikan sehingga layak digunakan sebagai media pembelajaran maupun penerapan di lingkungan kerja otomotif

Uji Kepraktisan

Uji kepraktisan dilakukan kepada enam mahasiswa pengguna untuk menilai tingkat kemudahan dan kenyamanan dalam mengoperasikan panel instalasi listrik. Penilaian dilakukan menggunakan angket dengan skala Likert (1–4) yang mencakup aspek kemudahan penggunaan, kejelasan simbol dan label, keamanan operasional, kerapian tampilan panel, serta efisiensi waktu saat praktik. Setiap mahasiswa diminta mengoperasikan panel sesuai prosedur,

mulai dari menyalakan sistem hingga memanfaatkan fungsi proteksi seperti MCB dan *emergency stop*. Hasil penilaian dari keenam responden dapat dilihat pada tabel berikut yang menampilkan tingkat kepraktisan panel instalasi listrik secara keseluruhan.

Tabel 3. Hasil Uji Kepraktisan.

No.	Aspek yang Dinilai	Persentase	Kategori
1	Kemudahan Penggunaan	92	Sangat Praktis
2	Kejelasan Label & Simbol	88	Sangat Praktis
3	Keamanan Operasional	90	Sangat Praktis
4	Kerapian Tampilan	91	Sangat Praktis
5	Efisiensi Penggunaan	89	Sangat Praktis
6	Kenyamanan Pengguna	90	Sangat Praktis

Dengan nilai rata-rata 90%, panel instalasi listrik dikategorikan *sangat praktis* untuk digunakan sebagai media praktik pembelajaran. Hasil ini menunjukkan bahwa mahasiswa dapat mengoperasikan panel dengan mudah sesuai prosedur tanpa mengalami kesulitan berarti. Panel dinilai memiliki tata letak komponen yang ergonomis, label simbol yang jelas, serta sistem pengamanan yang intuitif melalui fungsi MCB dan *emergency stop* yang responsif (Yored et al., 2022). Selain itu, panel dianggap efisien karena mempersingkat waktu pengoperasian dan memudahkan pemahaman konsep kelistrikan otomotif secara langsung. Berdasarkan hasil tersebut, panel ini terbukti mendukung proses pembelajaran praktik secara efektif dengan tetap memperhatikan aspek keselamatan kerja.

Uji Keefektifan

Uji keefektifan dilakukan untuk mengetahui kinerja panel instalasi listrik dalam kondisi operasional sebenarnya, meliputi kestabilan arus, tegangan, serta fungsi sistem proteksi terhadap beban kerja. Pengujian dilakukan dengan mengaktifkan seluruh komponen utama, yaitu pompa air, blower, dan lampu penerangan secara bersamaan. Pengukuran dilakukan menggunakan multimeter dan tang ampere untuk memperoleh data arus dan tegangan tiap komponen, sekaligus memastikan sistem proteksi seperti MCB dan *emergency stop* berfungsi optimal. Hasil pengujian keefektifan panel instalasi listrik dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Hasil Uji Keefektifan.

Komponen	Tegangan (V)	Arus (A)	Keterangan
Pompa Air	220	1,4	Berfungsi Normal
Blower 1	220	0,6	Stabil
Blower 2	220	0,6	Stabil
Lampu 1	220	0,7	Penerangan Optimal
Lampu 2	220	0,7	Penerangan Optimal
Total Arus Sistem		4,1 A	Sesuai Perhitungan

Hasil uji keefektifan menunjukkan bahwa seluruh sistem pada panel instalasi listrik bekerja dengan baik dan stabil selama pengujian berlangsung. Arus rata-rata yang terukur sebesar 4,1 Ampere pada tegangan 220 Volt menunjukkan distribusi daya yang seimbang pada setiap komponen, tanpa adanya penurunan tegangan signifikan saat beban penuh. MCB berfungsi efektif dengan memutus arus secara otomatis ketika dilakukan simulasi *overcurrent*, sehingga mampu melindungi rangkaian dari risiko kerusakan akibat arus lebih. Sementara itu, *emergency stop* mampu menghentikan seluruh aliran listrik dalam waktu kurang dari satu detik, membuktikan tingkat respons yang cepat terhadap potensi bahaya listrik.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel instalasi listrik berbasis prinsip *engineering safety* yang dikembangkan telah memenuhi kriteria kelayakan produk baik dari aspek validitas, kepraktisan, maupun keefektifan. Berdasarkan uji validitas oleh dua ahli, diperoleh nilai rata-rata 87,5% yang termasuk kategori *sangat valid*, menandakan bahwa rancangan panel telah sesuai dengan SNI 04-0225-2000 tentang instalasi listrik industri (BSN, 2000). Nilai tertinggi diperoleh pada aspek keamanan pengoperasian dan penerapan prinsip *engineering safety*, menunjukkan bahwa desain panel telah mengintegrasikan sistem proteksi yang memadai, seperti MCB untuk mencegah arus lebih, sistem *grounding* untuk menghindari kebocoran arus, serta *emergency stop* untuk penghentian darurat. Hasil ini mendukung temuan (Djulihenanto et al., 2025) yang menyatakan bahwa penerapan sistem proteksi otomatis dalam panel mampu mengurangi risiko korsleting, meningkatkan keamanan, dan memperpanjang umur instalasi.

Dengan demikian, rancangan panel yang dikembangkan sudah sesuai dengan standar keselamatan industri dan prinsip rekayasa teknik kelistrikan yang aman.

Selanjutnya, hasil uji kepraktisan yang dilakukan terhadap enam mahasiswa menunjukkan nilai rata-rata 90% dengan kategori *sangat praktis*. Penilaian ini menegaskan bahwa panel mudah digunakan, efisien, serta mendukung kegiatan pembelajaran praktik kelistrikan otomotif secara interaktif. Mahasiswa menilai bahwa tata letak komponen di dalam panel mudah dipahami, posisi sakelar dan indikator jelas, serta prosedur pengoperasian sederhana. Sistem pengamanan seperti *emergency stop* dinilai bekerja cepat dan mudah dijangkau, sehingga pengguna merasa aman selama praktik berlangsung. Hal ini sesuai dengan pendapat (Permatasari et al., 2025) yang menjelaskan bahwa media praktik yang dirancang sesuai prinsip ergonomi dan keselamatan mampu meningkatkan partisipasi serta pemahaman peserta didik terhadap sistem kelistrikan industri. Selain itu, tampilan panel yang ringkas dan tertata rapi juga mempermudah kegiatan pembelajaran karena pengguna dapat langsung mengamati hubungan antara rangkaian kontrol dan beban kerja sistem *water spray booth* secara nyata.

Pada uji keefektifan, panel menunjukkan kinerja teknis yang stabil dengan arus rata-rata 4,1 Ampere pada tegangan 220 Volt, yang berarti seluruh komponen bekerja sesuai perhitungan daya total sebesar 700 Watt. Hasil pengujian membuktikan bahwa MCB mampu memutuskan arus secara otomatis saat terjadi simulasi *overcurrent*, dan *emergency stop* berhasil menghentikan seluruh sistem dalam waktu kurang dari satu detik, menunjukkan respons cepat terhadap kondisi bahaya. Sistem *grounding* juga bekerja baik dalam menjaga kestabilan tegangan dan mencegah kebocoran arus pada bodi panel. Stabilitas arus yang diperoleh membuktikan bahwa desain instalasi dan pemilihan kabel NYM 3×2,5 mm² sudah sesuai dengan standar PUIL 2011, yang direkomendasikan untuk sistem dengan kapasitas arus hingga 20 A. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa panel instalasi listrik yang dikembangkan layak, aman, efisien, dan efektif digunakan baik sebagai media pembelajaran praktik maupun untuk penerapan pada sistem kelistrikan ruang *spray booth* di lingkungan industri otomotif. Dengan demikian, panel ini tidak hanya berfungsi sebagai media pembelajaran yang aplikatif tetapi juga dapat dijadikan prototipe standar bagi penerapan sistem kelistrikan berbasis keselamatan di industri otomotif modern.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa panel instalasi listrik berbasis prinsip *engineering safety* yang dikembangkan telah

memenuhi kriteria valid, praktis, dan efektif untuk digunakan pada sistem *water spray booth* pengecatan bodi kendaraan. Hasil uji validitas oleh dua ahli memperoleh nilai rata-rata 87,5% dengan kategori sangat valid, menunjukkan bahwa desain panel telah sesuai dengan standar keselamatan kelistrikan SNI 04-0225-2000. Uji kepraktisan oleh enam mahasiswa menghasilkan nilai rata-rata 90% dengan kategori sangat praktis, yang berarti panel mudah dioperasikan, aman, dan efisien digunakan dalam kegiatan pembelajaran. Uji keefektifan menunjukkan arus kerja rata-rata 4,1 Ampere dengan tegangan stabil 220 Volt, serta sistem proteksi MCB, *grounding*, dan *emergency stop* berfungsi optimal dalam mencegah risiko kelistrikan. Secara keseluruhan, panel dinyatakan layak, aman, dan sesuai untuk digunakan sebagai media praktik pembelajaran maupun penerapan di lingkungan industri otomotif. Selain itu, desain panel juga terbukti mampu menjaga kestabilan sistem kelistrikan pada kondisi beban penuh tanpa terjadi penurunan tegangan yang signifikan. Dengan hasil tersebut, pengembangan panel instalasi listrik berbasis *engineering safety* ini dapat menjadi acuan dalam penerapan sistem kelistrikan aman pada ruang *water spray booth* maupun pengembangan media pembelajaran praktik di bidang kelistrikan otomotif.

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan agar panel instalasi listrik ini dilengkapi dengan sistem monitoring digital berbasis mikrokontroler agar data arus dan tegangan dapat ditampilkan secara *real-time*. Selain itu, perlu dilakukan pengujian jangka panjang untuk mengetahui ketahanan komponen terhadap suhu dan kelembapan tinggi di ruang *spray booth*. Penelitian berikutnya juga dapat memperluas penerapan panel pada sistem otomasi industri sederhana guna memperkaya fungsi pembelajaran praktik kelistrikan otomotif.

DAFTAR REFERENSI

- Ahmad Fiqkhi Dinnia. (2016). Teknologi Pengecatan Permahyd Water Base Sebagai Teknologi Ramah Lingkungan Pengganti Teknologi Pengecatan Solvent Base. *01*, 1-23.
- Badri, M. (2023). Rancang Bangun Tempat Pengecatan Body dan Part Sepeda Motor. <https://doi.org/10.24036/jtpvi.v1i4.49>
- Casey, T. W., Mason, H. M., Huang, J., & Franklin, R. C. (2021). Shaping frontline practices: A scoping review of human factors implicated in electrical safety incidents. *Safety*, 7(4), 1-16. <https://doi.org/10.3390/safety7040076> <https://doi.org/10.3390/safety7040076>
- Djulihenanto, S., Saputra, M., Luthfi, S., & Nabel, D. (2025). Implementasi Sistem Proteksi Arus dan Tegangan Lebih Pada PLTS. *12*(1), 49-54. <https://doi.org/10.33795/elposys.v12i1.6849>
- Handoko, R. (2022). Analisis Efisiensi Blower Mesin Pengering Padi dengan Daya Penggerak 1000 RPM dan 818 RPM di CV Jasa Bhakti Karawang. *Analisis Efisiensi Blower Mesin*

Pengering Padi Dengan Daya Penggerak 1000 RPM Dan 818 RPM di CV Jasa Bhakti Karawang, 8(8), 1-8. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6618707>

Irman, I., Latifah, L., Ruskardi, R., & Arief, M. S. (2022). Pemilihan Kabel Instalasi Listrik Untuk Bangunan Gedung Berdasarkan Kualitas Tahanan Isolasi. *Jurnal ELIT*, 3(1), 39-47. <https://doi.org/10.31573/elit.v3i1.406> <https://doi.org/10.31573/elit.v3i1.406>

Kodir, A., Bahar, A., Aziz, A., & Hartanto, S. (2025). Analisis Instalasi Listrik Gedung Untuk Lantai Lobby PT Bimoli. *13*(2), 87-93.

Kussoy, S. D., Prasetyo, J., & Widodo, S. (2024). Rancang Bangun Panel Listrik 3 Phase Untuk Kegiatan Praktikum Di Laboratorium Instalasi Listrik *10*(2).

Okpatrioka Okpatrioka. (2023). Research And Development (R&D) Penelitian Yang Inovatif Dalam Pendidikan. *Dharma Acariya Nusantara: Jurnal Pendidikan, Bahasa Dan Budaya*, 1(1), 86-100. <https://doi.org/10.47861/jdan.v1i1.154> <https://doi.org/10.47861/jdan.v1i1.154>

Perdian, H., Yusmartato, Y., & Nasution, R. (2022). Analisis Panel Kelistrikan Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 10 Ton/Jam di PT. SMS. *JET (Journal of Electrical Technology)*, 7(3), 113-118. <https://doi.org/10.30743/jet.v7i3.6305> <https://doi.org/10.30743/jet.v7i3.6305>

Permatasari, R. D., Bora, M. A., Wijaya, I. M. S., & Munir, Z. (2025). Meningkatkan Kesiapan Kerja Siswa SMK Melalui Pelatihan Ergonomi dan K3: Studi Kasus di SMKN 4 Batam. *14*(2), 2042-2050. <https://doi.org/10.22236/solma.v14i2.17394>

Pinto, G. P. M., Setyanto, D., & Soewono, A. D. (2024). Instalasi Proteksi Kebakaran pada Gedung Laboratorium Menggunakan Detektor Panas dan Detektor Asap. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 8(3), 1343-1353. <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i3.4296> <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i3.4296>

Sunarto, S., Santosa, Y., & Supriyanto, S. (2022). Analisis Perbandingan Sistem Proteksi Tegangan Sentuh Tidak Langsung Menggunakan ELCB dan MCB. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 7(1), 83. <https://doi.org/10.31544/jtera.v7.i1.2022.83-90> <https://doi.org/10.31544/jtera.v7.i1.2022.83-90>

Susilowati, E., & Lestari, F. (2022). KLASIFIKASI AREA BERBAHAYA PADA AREA TEMPAT PENYIMPANAN GAS HIDROGEN DI PT. XY HAZARDOUS AREA CLASSIFICATION FOR HYDROGEN GAS STORAGE AREA IN PT. XY. *7*(1), 80-93. <https://doi.org/10.21111/jihoh.v7i1.8555>

Vio, K., Rusyatul, N., Rifadil, M. M., & Mahendra, L. S. (n.d.). *EMITOR: Jurnal Teknik Elektro*. Iml.

Waruwu, M. (2024). Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 9(2), 1220-1230. <https://doi.org/10.29303/jipp.v9i2.2141> <https://doi.org/10.29303/jipp.v9i2.2141>

Wijaya, I, K. (2020). Penggunaan Dan Pemilihan Pengaman Mini Circuit Breaker (Mcb). *Teknologi Elektro*, 6(2), 1-4. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/JTE/article/download/244/197/>

Yored, M., Rufii, & Harwanto. (2022). Development of Constructivistic Economic Learning Tools with Advance Organizer. *Jurnal Mantik*, 6(3), 2841-2854.
<http://www.iocscience.org/ejournal/index.php/mantik/article/view/2949%0Ahttps://www.iocscience.org/ejournal/index.php/mantik/article/download/2949/2315>