



Rancang Bangun Panel Instalasi Listrik Berbasis *Engineering safety* untuk Oven Pengecatan Bodi Kendaraan

Design and Development of an Engineering-Safety-Based Electrical Installation Panel for Vehicle Body Painting Ovens

Fawwaz Naufal^{1*}, Ahmad Arif¹, Hasan Maksum¹, Donny Fernandez¹

Abstrak

Keselamatan kerja pada ruang oven pengecatan bodi kendaraan sering terabaikan, terutama pada sistem kelistrikan yang beroperasi pada suhu tinggi dan kelembapan tinggi. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun panel instalasi listrik berbasis *engineering safety* untuk oven pengecatan di Laboratorium Teknik Otomotif Universitas Negeri Padang. Penelitian menggunakan metode *Research and Development* dengan model *Planning, Production, and Evaluation* (PPE). Panel dirancang untuk melayani beban 3.736,6 W pada tegangan 220 V, dilengkapi *Miniature Circuit Breaker* (MCB) 20 A, tombol *Emergency Stop*, sistem *grounding*, *pilot lamp*, dan *thermostat* yang mengacu pada standar SNI dan PUIL 2011. Validasi dua ahli menyatakan panel layak digunakan, sedangkan uji fungsional menunjukkan MCB bekerja responsif dan tombol *Emergency Stop* mampu memutus arus dalam waktu kurang dari 0,5 detik. Hasil ini mengindikasikan bahwa panel yang dikembangkan efektif meningkatkan keselamatan kerja dan menjadi media pembelajaran praktikum kelistrikan serta teknologi pengecatan di pendidikan vokasi otomotif.

Kata Kunci

Engineering safety; panel instalasi listrik; oven pengecatan; keselamatan kerja; Miniature Circuit Breaker (MCB); Emergency Stop; pendidikan vokasi otomotif.

Abstract

Occupational safety in painting ovens is often overlooked, particularly in electrical systems operating in high-temperature, high-humidity environments. This study designs and constructs an electrical installation panel based on engineering safety principles in the Automotive Engineering Laboratory of Universitas Negeri Padang using a Research and Development approach with the Planning, Production, and Evaluation (PPE) model. The panel supplies a load of 3,736.6 W at 220 V and is equipped with a 20 A Miniature Circuit Breaker (MCB), Emergency Stop button, grounding system, pilot lamp, and thermostat in accordance with SNI and PUIL 2011. Validation by two experts confirmed that the panel is feasible for use, while functional testing showed that the MCB operates responsively and the Emergency Stop disconnects the circuit in less than 0.5 s. These findings indicate that the panel enhances safety and provides a practical learning medium for electrical systems and painting technology in vocational automotive education.

Keywords

Engineering safety; electrical installation panel; painting oven; occupational safety; Miniature Circuit Breaker (MCB); Emergency Stop; vocational automotive education.

¹ Departemen Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar, Padang Sumatera Barat, Indonesia

* opal.barnet123@gmail.com

Dikirimkan: 25 Oktober 2025. Diterima: 17 November 2025. Diterbitkan: 30 November 2025.



PENDAHULUAN

Perkembangan industri otomotif di Indonesia yang terus meningkat menuntut peningkatan kualitas proses produksi, khususnya pada tahap pengecatan bodi kendaraan yang memerlukan sistem pengeringan dengan suhu terkontrol di dalam ruang oven. Proses pengeringan menggunakan oven terbukti efektif meningkatkan kualitas hasil pengecatan karena mampu menghasilkan permukaan cat yang rata, mengkilap, dan lebih keras dengan waktu pengeringan yang dapat diatur sesuai kebutuhan [1]. Namun demikian, sistem kelistrikan pada ruang oven pengecatan di lingkungan bengkel pelatihan atau unit pendidikan vokasional sering kali belum dirancang berdasarkan standar *engineering safety* yang memadai. Sistem kelistrikan pada ruang oven pengecatan beroperasi pada kondisi ekstrem dengan suhu mencapai 40–65 °C dan kelembaban tinggi akibat uap pelarut cat, sehingga menciptakan lingkungan yang berisiko tinggi terhadap korsleting listrik, arus bocor, dan potensi kebakaran [2].

Penerapan prinsip *engineering safety* dalam perancangan panel instalasi listrik menjadi sangat penting untuk melindungi peralatan, lingkungan, dan manusia dari potensi bahaya kelistrikan, yang mencakup pemilihan komponen sesuai standar, penerapan sistem pengaman arus lebih, pemasangan sistem pentanahan (*grounding*), serta perlindungan terhadap kelembapan dan paparan air sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan PUIL 2011 [3]. Kondisi di Laboratorium Bodi dan Pengecatan Departemen Teknik Otomotif Universitas Negeri Padang menunjukkan bahwa ruang oven pengecatan belum dilengkapi dengan perangkat keselamatan memadai seperti *Miniature Circuit Breaker* (MCB) dan tombol *Emergency Stop*, sehingga ketika terjadi beban lebih (*overload*) atau korsleting (*short circuit*), komponen-komponen oven berisiko mengalami kerusakan dan operator tidak dapat menghentikan sistem secara cepat dalam kondisi darurat. Hal ini mengindikasikan lemahnya penerapan prinsip *engineering safety* dan meningkatnya risiko kecelakaan kerja serta kerusakan peralatan.

Dalam konteks tersebut, panel instalasi listrik memegang peranan penting sebagai pusat kendali dan pengaman sirkuit listrik yang terdiri atas berbagai peralatan proteksi, pengendali, dan pengukur yang dirancang untuk menyalurkan daya listrik dari sumber ke beban secara aman, efisien, dan terstruktur [4]. Pada ruang oven pengecatan bodi kendaraan, panel listrik harus dirancang dengan mempertimbangkan kondisi suhu tinggi dan kelembapan yang dapat memicu kegagalan isolasi atau korosi komponen listrik, sehingga diperlukan *panel box* berbahan logam yang mampu melindungi dan mendistribusikan energi listrik dengan aman [5]. Komponen proteksi utama meliputi MCB sebagai perangkat pembatas arus yang melindungi instalasi dari gangguan hubung singkat dan beban lebih dengan kemampuan memutus aliran listrik secara otomatis ketika arus melebihi nilai nominal [6], *magnetic contactor* sebagai saklar listrik yang dikendalikan secara elektromagnetik untuk menghubungkan atau memutus rangkaian daya berkapasitas besar seperti pemanas [7], serta tombol *Emergency Stop* sebagai komponen vital yang menyediakan sarana sederhana dan efektif bagi pengguna untuk segera menghentikan sistem pada kondisi darurat [8]. Selain itu, *terminal block* digunakan sebagai titik sambung dan pemutus sementara sebelum daya didistribusikan ke komponen lain secara paralel [5], *pilot lamp* atau lampu indikator memberikan informasi visual mengenai status operasi rangkaian [9], sedangkan sistem *grounding* berfungsi mengalirkan arus gangguan ke tanah untuk melindungi manusia dan komponen dari risiko sengatan listrik serta kerusakan akibat arus abnormal [10].

Di sisi lain, oven pengering cat merupakan perangkat pemanas yang dirancang khusus untuk mempercepat proses pengeringan lapisan cat pada berbagai jenis permukaan benda kerja dengan cara meningkatkan suhu di sekitar objek yang telah dicat sehingga pelarut dalam cat dapat menguap lebih cepat dan menghasilkan lapisan pengecatan yang lebih merata, kuat,

dan berkualitas [11]. Oven pengering cat memegang peranan penting dalam tahap *finishing* karena berpengaruh langsung terhadap kualitas akhir produk, khususnya pada industri otomotif dan manufaktur logam yang umumnya memanfaatkan sumber panas berupa pemanas listrik, gas, atau sistem inframerah untuk mencapai suhu optimum proses *curing* [12]. Komponen utama oven meliputi elemen pemanas yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui mekanisme hambatan listrik [13], lampu inframerah yang menghasilkan panas melalui radiasi sehingga mempercepat proses pengeringan dengan distribusi panas yang lebih merata [14], serta *blower* atau kipas sirkulasi yang mendistribusikan udara panas secara merata ke seluruh ruang pengering [15]. Sensor suhu dan pengendali (*thermostat*) berfungsi mendeteksi perubahan suhu dan mengatur kerja elemen pemanas agar temperatur tetap stabil pada nilai yang diinginkan [16]. Selain itu, *dimmer/variator/potensiometer* (AC) memungkinkan pengaturan intensitas daya listrik yang dialirkan ke elemen pemanas untuk mengendalikan suhu secara lebih presisi [17], sementara kipas *intake* memasukkan udara segar guna menjaga sirkulasi dan distribusi panas [18], dan kipas *exhaust* membuang udara kotor, uap pelarut, serta partikel cat untuk mencegah penumpukan uap yang berpotensi menimbulkan cacat pengecatan maupun bahaya keselamatan [19].

Dari perspektif keselamatan, *engineering safety* dalam instalasi listrik merupakan faktor krusial untuk mencegah kecelakaan kerja, kebakaran, maupun kerusakan peralatan akibat kesalahan perancangan, pemasangan, atau pemeliharaan sistem kelistrikan [20]. Salah satu penyebab terjadinya korsleting listrik adalah kurangnya pemahaman mengenai penggunaan listrik yang aman, misalnya menghubungkan terlalu banyak peralatan pada satu stop kontak sehingga menimbulkan beban berlebih yang dapat memicu kebakaran, sehingga penggunaan MCB menjadi komponen pelindung yang vital untuk mencegah dan mengatasi gangguan tersebut [21]. Sistem *Emergency Stop* yang dirancang sesuai standar keselamatan industri dan regulasi pemerintah juga memiliki efektivitas tinggi dalam menghadapi kondisi darurat pada sistem penyaluran daya listrik [8]. Lebih lanjut, prinsip-prinsip *engineering safety* pada instalasi listrik oven pengering cat mengharuskan perancangan sistem kelistrikan yang mematuhi standar teknis seperti PUIL 2011 atau IEC guna menjamin pemilihan kabel, peralatan, dan sistem proteksi yang sesuai, serta implementasi pengaman seperti MCB dan tombol *Emergency Stop* sebagai pengendali utama terhadap korsleting dan beban lebih.

Perancangan sistem instalasi listrik wajib mematuhi standar dan regulasi yang berlaku untuk menjamin keamanan, efisiensi, dan keandalan sistem yang dibangun, di mana ketentuan tersebut disusun oleh lembaga nasional maupun internasional guna memastikan keseragaman dan keselamatan mulai dari pemilihan komponen, metode pemasangan, hingga penerapan sistem proteksi [22]. Di Indonesia, acuan utama yang digunakan adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN), sedangkan standar internasional yang sering dijadikan rujukan adalah IEC (*International Electrotechnical Commission*) yang menyediakan pedoman teknis terkait perancangan, instalasi, dan pemeliharaan sistem kelistrikan [22]. Regulasi tersebut tidak hanya mengatur aspek keselamatan untuk mencegah sengatan listrik, kebakaran akibat korsleting, dan kerusakan peralatan melalui penerapan *grounding*, pemutus arus (MCB), serta sistem proteksi petir, tetapi juga menekankan efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan melalui pemilihan peralatan berdaya guna tinggi, penerapan sistem otomatisasi, dan perancangan tata letak kabel serta panel yang meminimalkan rugi daya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun panel instalasi listrik yang memenuhi prinsip *engineering safety* untuk ruang oven pengecatan bodi kendaraan dengan mengimplementasikan sistem keamanan kelistrikan berlapis menggunakan MCB 20 A, tombol *Emergency Stop*, sistem *grounding*, *pilot lamp*, dan *thermostat* secara efektif dalam rangka meningkatkan keselamatan kerja dan mencegah risiko

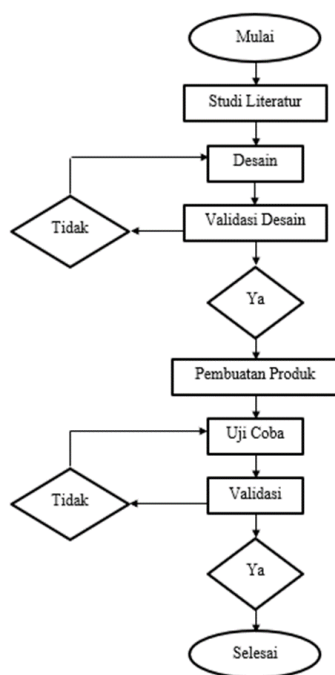
gangguan kelistrikan di Laboratorium Bodi dan Pengecatan Departemen Teknik Otomotif. Kontribusi penelitian ini adalah menghasilkan prototipe panel instalasi listrik yang tidak hanya fungsional dalam mengatur distribusi daya, tetapi juga dilengkapi sistem proteksi berlapis yang mampu memberikan perlindungan maksimal bagi operator dan peralatan. Secara praktis, penelitian ini menyediakan solusi konkret berupa panel siap pakai yang dapat langsung diimplementasikan untuk mengurangi risiko kecelakaan kerja dan meningkatkan keselamatan mahasiswa serta dosen saat praktikum. Secara akademik, penelitian ini menghasilkan dokumentasi teknis yang dapat menjadi referensi bagi institusi pendidikan vokasional lainnya serta bahan ajar dalam mata kuliah Keselamatan Kerja dan Instalasi Listrik Industri. Dari sisi standarisasi, penelitian ini memberikan contoh implementasi konkret standar SNI dan PUIL 2011 dalam perancangan panel instalasi listrik untuk lingkungan khusus, yang dapat diadaptasi pada aplikasi industri sejenis guna mendukung keselamatan kerja dan proses pembelajaran Teknologi Pengecatan yang selaras dengan standar keselamatan kelistrikan nasional dan internasional.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model *Planning, Production, and Evaluation* (PPE) yang dikembangkan oleh Sugiyono [23]. Metode R&D dipilih karena bertujuan menghasilkan produk konkret berupa panel instalasi listrik berbasis *engineering safety* sekaligus menguji kelayakan dan fungsinya. Model PPE menekankan proses pengembangan secara bertahap mulai dari perencanaan, pembuatan produk, hingga evaluasi, sehingga setiap tahap memberikan umpan balik untuk penyempurnaan desain sampai produk siap diimplementasikan [24]. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Bodi dan Pengecatan Departemen Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.

Secara operasional, tahapan penelitian mengikuti alur pada [Gambar 1](#) (Kerangka Konseptual) yang dimulai dari studi literatur, penyusunan desain panel, validasi desain, pembuatan produk, uji coba, dan validasi akhir. Apabila pada tahap validasi desain atau uji coba produk dinyatakan belum layak, maka dilakukan perbaikan dan pengulangan tahap sebelumnya hingga diperoleh panel instalasi listrik yang memenuhi kriteria kelayakan. Kerangka ini sekaligus mengintegrasikan tahapan PPE: studi literatur dan analisis kebutuhan pada fase *planning*, perancangan dan pembuatan panel pada fase *production*, serta uji coba dan validasi produk pada fase *evaluation*.

Pada tahap perencanaan (*planning*), peneliti melakukan observasi langsung terhadap sistem kelistrikan oven pengecatan di laboratorium untuk mengidentifikasi masalah, khususnya ketiadaan sistem proteksi yang memadai dan potensi bahaya kelistrikan. Selanjutnya dilakukan analisis kebutuhan sistem proteksi berdasarkan karakteristik lingkungan kerja yang lembap dan bersuhu tinggi, disertai studi literatur mendalam mengenai standar instalasi kelistrikan nasional (PUIL 2011, SNI) dan internasional (IEC), serta hasil penelitian terkait panel instalasi listrik pada lingkungan khusus. Tahap ini menghasilkan spesifikasi kebutuhan fungsional dan keselamatan panel, termasuk kapasitas beban 3.736,6 W pada tegangan 220 V AC serta penentuan komponen proteksi utama.



Gambar 1. Kerangka konseptual

Tahap produksi (production) meliputi perancangan dan pembuatan panel instalasi listrik. Perancangan dilakukan melalui penyusunan diagram satu garis dan diagram pengawatan, penentuan ukuran *panel box* berbahan logam, serta pemilihan komponen sesuai standar, antara lain *Miniature Circuit Breaker* (MCB) 20 A sebagai proteksi arus lebih, *magnetic contactor* sebagai pengendali beban besar, tombol *Emergency Stop* sebagai pemutus darurat, *pilot lamp* sebagai indikator visual, *terminal block* untuk distribusi daya, dan sistem *grounding* untuk keselamatan. Setelah desain dinyatakan layak secara konseptual, dilakukan proses fabrikasi *panel box*, pemasangan rel dan komponen, pengkabelan sesuai diagram, serta penandaan setiap terminal dan jalur kabel untuk memudahkan inspeksi dan pemeliharaan.

Tahap evaluasi (*evaluation*) dilakukan melalui dua bentuk kegiatan, yaitu validasi ahli dan pengujian fungsional. Validasi produk dilakukan oleh dua ahli di bidang kelistrikan dan keselamatan kerja dari Departemen Teknik Otomotif menggunakan lembar validasi yang mencakup aspek desain rangkaian, pemilihan dan penataan komponen, kelengkapan sistem proteksi, kemudahan operasi, serta kesesuaian dengan standar PUIL 2011 dan SNI. Penilaian menggunakan skala bertingkat; skor yang diperoleh kemudian diolah secara deskriptif kuantitatif dengan menghitung persentase kelayakan sebagai perbandingan antara skor perolehan dan skor maksimum untuk menentukan kategori (misalnya layak atau sangat layak). Selanjutnya, dilakukan pengujian fungsionalitas panel menggunakan *multimeter* dan pengujian langsung pada sistem oven pengecatan untuk memverifikasi kinerja MCB saat terjadi beban lebih, respon waktu tombol *Emergency Stop* dalam memutus arus, kontinuitas dan keandalan rangkaian kontrol melalui *magnetic contactor*, serta efektivitas sistem *grounding*. Seluruh proses perakitan, pengujian, dan perbaikan didokumentasikan menggunakan kamera digital sebagai bahan evaluasi teknis dan pelaporan.

Objek penelitian adalah panel instalasi listrik berbasis prinsip *engineering safety* yang diintegrasikan dengan oven pengecatan bodi kendaraan di Laboratorium Bodi dan Pengecatan. Panel dirancang dengan sistem proteksi berlapis menggunakan MCB 20 A, tombol *Emergency Stop*, sistem *grounding*, *pilot lamp*, *terminal block*, dan komponen kelistrikan lain yang terhubung dengan elemen pemanas, lampu inframerah, kipas sirkulasi, *thermostat*, serta sistem ventilasi oven. Data penelitian diperoleh melalui observasi kondisi awal instalasi, studi

dokumen standar kelistrikan, hasil validasi dua ahli, hasil uji fungsi komponen, dan dokumentasi proses pengembangan. Data kualitatif dari observasi dan catatan ahli dianalisis secara deskriptif untuk mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan desain, sedangkan data kuantitatif dari lembar validasi dianalisis menggunakan persentase kelayakan untuk menilai kualitas akhir panel instalasi listrik yang dikembangkan.

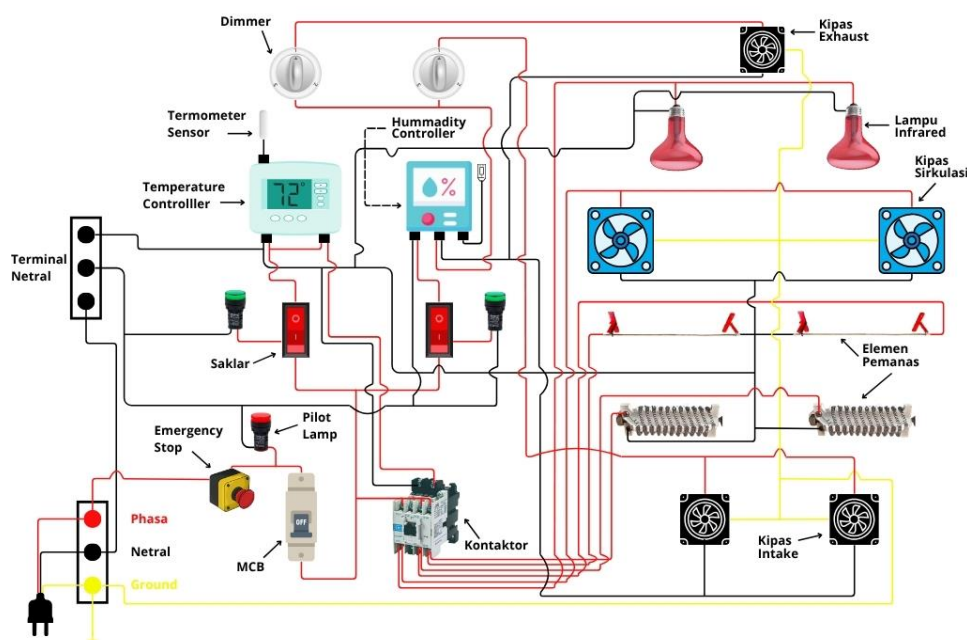
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model *Planning, Production, and Evaluation* (PPE) untuk mengembangkan panel instalasi listrik berbasis prinsip *engineering safety* pada ruang oven pengecatan bodi kendaraan.

Tahap Perencanaan (Planning)

Tahap perencanaan diawali dengan analisis kebutuhan melalui observasi di Laboratorium Bodi dan Pengecatan Departemen Teknik Otomotif UNP. Hasil observasi mengidentifikasi tiga permasalahan utama: (1) belum tersedianya panel instalasi listrik yang dirancang berdasarkan *engineering safety*, (2) tidak adanya perangkat proteksi MCB dan tombol *Emergency Stop*, dan (3) kondisi lingkungan kerja yang lembap dan panas yang berpotensi meningkatkan risiko gangguan kelistrikan. Berdasarkan temuan tersebut dilakukan perhitungan teknis untuk menentukan spesifikasi komponen sesuai beban operasional oven pengecatan.

Pemilihan MCB 20 A memberikan margin keamanan di atas arus beban maksimum, sejalan dengan rekomendasi PUIL 2011 bahwa arus nominal MCB harus lebih besar daripada arus beban. Desain rangkaian instalasi listrik oven pengering cat ditunjukkan pada [Gambar 2](#). Panel dirancang dengan memperhatikan tiga aspek utama, yakni: (1) tata letak komponen yang sistematis berdasarkan fungsi, (2) diagram rangkaian listrik yang memuat jalur distribusi daya dan sistem proteksi, serta (3) penerapan lima aspek *engineering safety* meliputi proteksi arus lebih, pemutus darurat, sistem pentanahan, indikator visual, dan kontrol suhu otomatis.

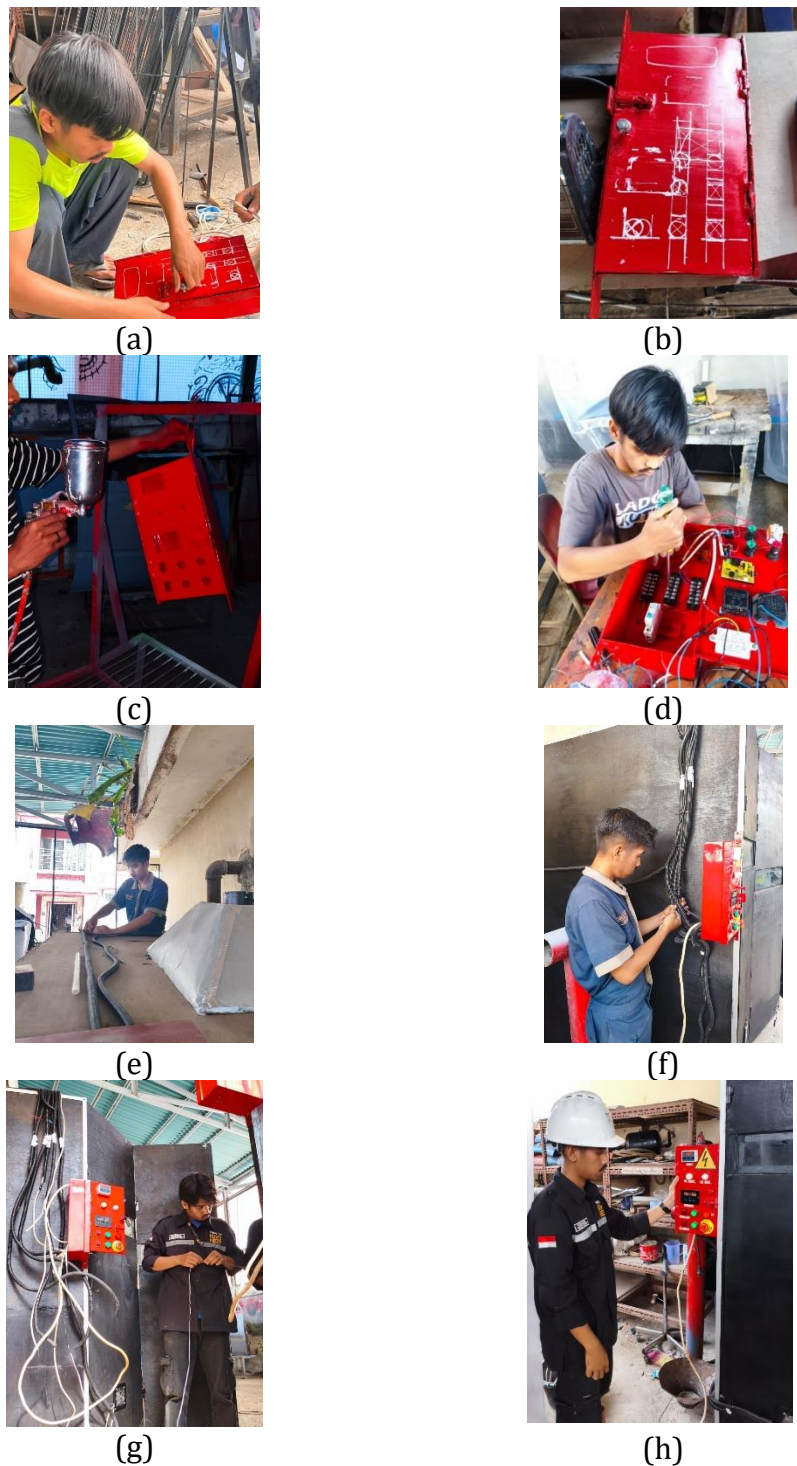


Gambar 2. Desain Rangkaian Instalasi Listrik Oven Pengering Cat

Tahap Produksi (Production)

Tahap produksi dilakukan di Laboratorium Bodi dan Pengecatan melalui rangkaian proses yang meliputi persiapan material, perakitan *panel box*, pengkabelan, dan implementasi sistem keamanan. *Panel box* dibuat dari bahan logam, kemudian dipasang rel dan komponen utama

sesuai desain. Proses pengkabelan mengikuti standar instalasi dengan penggunaan kabel NYM $3 \times 2.5 \text{ mm}^2$ untuk jalur utama, NYM $2 \times 0.75 \text{ mm}^2$ untuk beban individual, dan NYA 1.5 mm^2 warna kuning-hijau untuk *grounding*. Penataan kabel dibuat rapi dan diberi penandaan untuk memudahkan identifikasi jalur dan meningkatkan keselamatan. Tahapan produksi panel dan integrasinya dengan sistem oven divisualisasikan pada Gambar 3(a)-2(h).



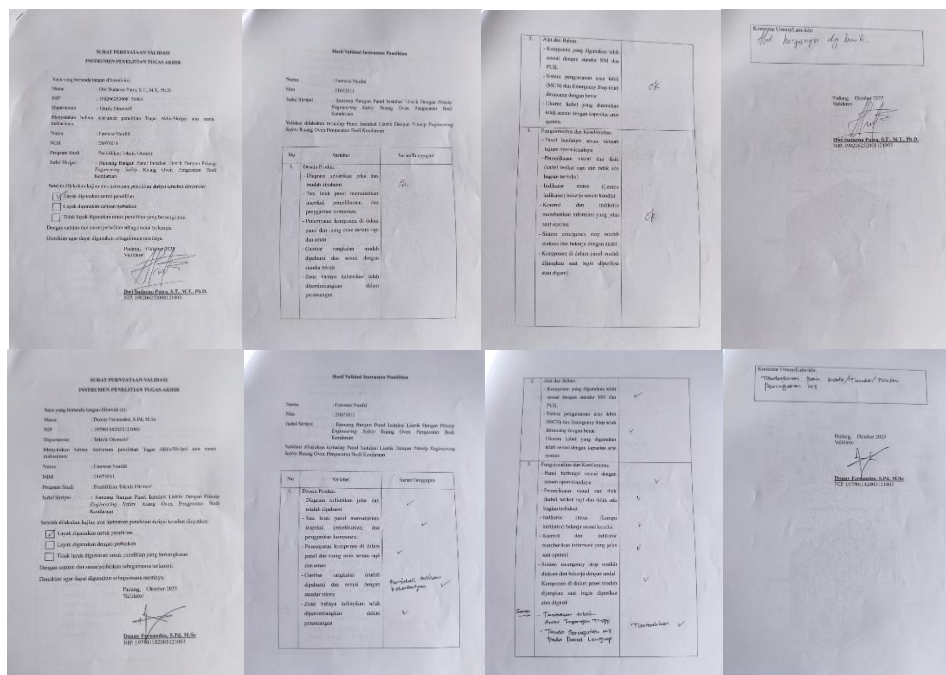
Gambar 3. Proses produksi, (a) Proses pembuatan *panel box*, (b) . Proses pelubangan *panel box*, (c) Proses pengecatan *panel box*, (d) Proses pemasangan komponen pada *panel box*, (e) Pemasangan kabel bagian atas oven, (f) Proses Pemasangan kabel bagian samping oven, (g) Pemasangan kabel oven ke *panel box*, (h) *Finishing* produk

Tahap *Evaluasi (Evaluation)*

Tahap evaluasi bertujuan menilai kelayakan dan kinerja panel instalasi listrik yang telah dikembangkan melalui dua langkah utama, yaitu validasi ahli dan uji coba fungsionalitas produk.

1. Validasi ahli

Validasi dilakukan oleh dua validator yang merupakan ahli kelistrikan dan keselamatan kerja dari Departemen Teknik Otomotif UNP. Penilaian dilakukan pada Oktober 2025 menggunakan lembar validasi yang mencakup aspek kejelasan diagram, kerapian tata letak, ketepatan pemilihan komponen, kelengkapan sistem proteksi, dan kesesuaian dengan PUIL 2011. Hasil validasi menunjukkan bahwa panel instalasi listrik dinyatakan “layak digunakan untuk penelitian”, karena telah memenuhi standar instalasi dan menerapkan prinsip *engineering safety* secara menyeluruh. Rekapitulasi hasil validasi ahli ditampilkan pada [Gambar 4](#).



Gambar 4. Validasi Alat

2. Uji coba fungsionalitas produk

Setelah dinyatakan layak oleh validator, dilakukan uji fungsionalitas untuk memverifikasi kinerja aktual setiap komponen keselamatan pada panel instalasi listrik. Pengujian dilakukan berdasarkan protokol yang disusun pada tahap perencanaan.

Uji fungsi MCB dilakukan dengan memeriksa kelancaran tuas ON/OFF dan mengukur kontinuitas menggunakan *multimeter*. Hasil pengujian menunjukkan kontak internal bekerja normal sehingga MCB layak digunakan sebagai pelindung arus lebih dan hubung singkat. Pengujian sistem kontrol dilakukan dengan mengoperasikan saklar dan *magnetic contactor*; hasilnya, fungsi penghubung dan pemutus aliran listrik berjalan baik dalam mengendalikan beban daya tinggi (elemen pemanas, lampu inframerah, dan kipas sirkulasi) dengan perpindahan kontak yang halus tanpa percikan berlebihan. Sistem indikator *pilot lamp* memberikan umpan balik visual yang jelas, dengan lampu hijau menunjukkan kondisi ON dan lampu merah menunjukkan kondisi siaga; intensitas cahaya tetap terbaca dengan baik pada berbagai kondisi pencahayaan ruangan.

Tombol *Emergency Stop* diuji pada berbagai kondisi operasi (idle, pemanasan, dan beban penuh). Hasil pengujian menunjukkan bahwa tombol mampu memutus aliran listrik dalam waktu kurang dari 0.5 s. Mekanisme *push-to-stop* bekerja responsif dan tetap terkunci untuk

mencegah penyalan tidak disengaja, sedangkan fungsi *twist-to-reset* memastikan sistem hanya dapat diaktifkan kembali setelah operator secara sadar membuka kunci. Penempatan tombol pada bagian depan panel dengan warna merah mencolok dan label "*Emergency Stop*" memudahkan akses cepat dari berbagai sudut pandang. Dokumentasi proses uji fungsionalitas produk ditunjukkan pada [Gambar 5](#).



[Gambar 5](#). Uji Coba Fungsionalitas Produk

Secara teknis, panel instalasi listrik yang dikembangkan memenuhi persyaratan *engineering safety* dengan sistem proteksi berlapis. Total beban terpasang sebesar 3,736.6 W dengan arus beban penuh 16.98 A, sehingga pemilihan MCB 20 A memberikan margin keselamatan yang memadai sesuai PUIL 2011 untuk lingkungan lembap seperti ruang oven pengecatan. Sistem *Emergency Stop* dengan waktu respons kurang dari 0.5 s, didukung oleh konfigurasi *push-to-stop* dan *twist-to-reset*, menunjukkan bahwa panel mampu memberikan perlindungan efektif bagi operator dan mengurangi risiko kecelakaan kerja akibat gangguan kelistrikan pada oven pengecatan bersuhu tinggi dan kelembapan tinggi.

Karakteristik produk akhir ditandai oleh keberadaan sistem proteksi berlapis (MCB dan *Emergency Stop*), tata letak komponen yang ergonomis dan mudah dioperasikan, serta dokumentasi teknis yang lengkap sehingga mendukung pemeliharaan jangka panjang. Panel pada tahap ini masih memiliki sejumlah batasan, yakni sistem pemantauan yang masih manual tanpa pencatatan data otomatis, belum tersedianya alarm khusus untuk kondisi abnormal (misalnya suhu berlebih atau gangguan ventilasi), serta kapasitas beban maksimum 3,736.6 W yang membatasi perluasan penggunaan. Temuan ini menjadi dasar bagi pengembangan berikutnya, seperti integrasi teknologi IoT untuk *monitoring real-time*, sistem kendali berbasis PLC untuk otomatisasi yang lebih lanjut, dan penambahan sistem alarm berbasis sensor sebagai peringatan dini.

Pembahasan

Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan *Research and Development* dengan model *Planning, Production, and Evaluation* (PPE) efektif digunakan untuk mengembangkan panel instalasi listrik berbasis *engineering safety* pada ruang oven pengecatan bodi kendaraan. Pada tahap perencanaan, identifikasi tiga masalah utama, ketiadaan panel berbasis keselamatan, belum adanya perangkat proteksi MCB dan *Emergency Stop*, serta karakteristik lingkungan yang lembap dan bersuhu tinggi, membuktikan adanya kesenjangan antara kebutuhan keselamatan di lapangan dan kondisi instalasi yang ada. Kesenjangan ini sejalan dengan temuan umum di lingkungan pendidikan vokasi, di mana fasilitas praktik sering kali belum sepenuhnya mengikuti standar instalasi kelistrikan meskipun risiko kebakaran dan sengatan listrik cukup tinggi. Dengan demikian, produk yang dikembangkan dalam penelitian ini menjawab kebutuhan nyata akan sistem proteksi yang lebih andal di laboratorium pengecatan.

Desain panel yang mengintegrasikan MCB 20 A, *magnetic contactor*, *Emergency Stop*, *pilot lamp*, *terminal block*, dan sistem *grounding* merepresentasikan implementasi langsung prinsip

engineering safety yang telah diuraikan pada bagian pendahuluan. Total beban 3,736.6 W dengan arus beban penuh 16.98 A kemudian dijadikan dasar pemilihan MCB 20 A, sehingga diperoleh margin keselamatan yang memadai sesuai rekomendasi PUIL 2011 untuk lingkungan lembap. Artinya, perancangan panel tidak hanya berorientasi pada pemenuhan kebutuhan fungsional, tetapi juga memperhitungkan faktor keandalan dan keamanan jangka panjang. Hal ini penting mengingat oven pengecatan bekerja pada suhu tinggi dan kelembapan yang dapat mempercepat degradasi isolasi maupun korosi komponen listrik.

Hasil validasi ahli menunjukkan bahwa panel instalasi listrik yang dikembangkan telah memenuhi aspek kejelasan diagram, kerapian tata letak, ketepatan pemilihan komponen, dan kelengkapan sistem proteksi. Penilaian dua validator yang menyatakan panel “layak digunakan untuk penelitian” memperkuat bahwa rancangan telah selaras dengan standar PUIL 2011 dan prinsip *engineering safety* yang direkomendasikan. Secara metodologis, keterlibatan ahli pada tahap evaluasi memberikan legitimasi teknis terhadap produk yang dihasilkan, sekaligus meminimalkan kemungkinan kesalahan desain yang mungkin luput dari peneliti. Hal ini juga menegaskan bahwa panel tidak hanya sesuai untuk konteks pendidikan, tetapi memiliki potensi untuk diadaptasi pada lingkungan industri dengan penyesuaian kapasitas beban.

Uji coba fungsionalitas memberikan bukti empiris bahwa sistem proteksi yang telah dirancang bekerja secara efektif. MCB terbukti berfungsi normal berdasarkan pengujian kontinuitas dan operasi tuas, sehingga dapat diandalkan sebagai pelindung terhadap arus lebih dan hubung singkat. Kinerja *magnetic contactor* yang mampu mengendalikan beban daya tinggi (elemen pemanas, lampu inframerah, kipas sirkulasi) tanpa percikan berlebih menunjukkan bahwa pemilihan dan perhitungan kapasitas komponen telah tepat. *Pilot lamp* yang memberikan indikasi jelas kondisi ON dan siaga memperkuat aspek *human-machine interface*, sehingga operator memperoleh umpan balik visual yang cepat dan intuitif.

Secara khusus, performa tombol *Emergency Stop* menjadi indikator utama keberhasilan penerapan *engineering safety* dalam penelitian ini. Waktu respons kurang dari 0.5 s, mekanisme *push-to-stop* yang langsung memutuskan aliran listrik, serta *twist-to-reset* yang mengharuskan tindakan sadar dari operator sebelum sistem diaktifkan kembali, menunjukkan bahwa panel telah dirancang untuk meminimalkan waktu respon dalam situasi darurat dan mencegah *unintentional restart*. Penempatan tombol pada area yang mudah dijangkau dengan warna merah yang kontras juga mendukung prinsip ergonomi dan visibilitas tinggi. Kombinasi faktor-faktor ini secara signifikan menurunkan risiko kecelakaan kerja akibat kegagalan pemutusan daya pada ruang oven yang bersuhu tinggi dan lembap.

Implikasi praktis dari temuan ini bagi lingkungan pendidikan vokasi sangat penting. Panel instalasi listrik yang dikembangkan tidak hanya meningkatkan keselamatan mahasiswa dan dosen saat praktikum, tetapi juga berfungsi sebagai media pembelajaran nyata mengenai penerapan standar instalasi listrik, sistem proteksi berlapis, dan konsep *engineering safety*. Dengan adanya dokumentasi teknis yang lengkap, panel ini dapat dijadikan contoh rujukan untuk perancangan panel-panel lain di laboratorium ataupun bengkel otomotif, sehingga mendorong terciptanya budaya keselamatan yang lebih kuat. Di sisi lain, penelitian ini mengisi celah literatur dengan menghadirkan studi pengembangan panel khusus untuk oven pengecatan, yang selama ini relatif jarang disorot dibandingkan instalasi umum atau panel distribusi biasa.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang penting untuk dicermati. Sistem pemantauan masih bersifat manual dan belum dilengkapi pencatatan data otomatis, sehingga informasi historis mengenai beban, frekuensi trip MCB, atau kejadian aktivasi *Emergency Stop* belum terdokumentasi secara kuantitatif. Selain itu, belum adanya sistem alarm khusus untuk kondisi abnormal seperti kenaikan suhu berlebih atau gangguan ventilasi membuat operator masih sangat bergantung pada pemantauan visual. Kapasitas

beban maksimum 3,736.6 W juga membatasi penerapan panel pada oven dengan kapasitas lebih besar. Oleh karena itu, penelitian lanjutan perlu mengintegrasikan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk *monitoring real-time*, sistem kontrol berbasis PLC atau mikrokontroler untuk otomatisasi proteksi, serta penambahan alarm berbasis sensor sebagai peringatan dini. Dengan pengembangan tersebut, panel instalasi listrik yang berangkat dari konteks pendidikan vokasi ini berpotensi berkembang menjadi prototipe sistem proteksi kelistrikan yang lebih komprehensif untuk aplikasi industri pada lingkungan bersuhu tinggi dan lembap.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun panel instalasi listrik oven pengecatan bodi kendaraan berbasis prinsip *engineering safety* di Laboratorium Bodi dan Pengecatan Departemen Teknik Otomotif UNP dengan menggunakan metode *Research and Development* model *Planning, Production, and Evaluation* (PPE). Panel dirancang sesuai standar SNI dan PUJL 2011 untuk melayani beban total 3.736,6 W pada tegangan 220 V AC dan dilengkapi sistem proteksi berlapis berupa MCB 20 A sebagai pelindung arus lebih, tombol *Emergency Stop* sebagai pemutus daya darurat, sistem *grounding, pilot lamp* sebagai indikator visual, serta pengendalian suhu otomatis melalui *thermostat*. Hasil validasi oleh dua ahli menyatakan panel layak digunakan tanpa perbaikan signifikan, sedangkan uji fungsionalitas menunjukkan MCB bekerja responsif saat terjadi *overload* atau *short circuit* dan *Emergency Stop* mampu memutus aliran listrik dalam waktu kurang dari 0,5 detik, dengan sistem kontrol dan indikator berfungsi baik. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengembangkan panel instalasi listrik yang aman, andal, dan mendukung proses pembelajaran Teknologi Pengecatan pada lingkungan oven bersuhu tinggi dan lembap telah tercapai.

Saran

Panel instalasi listrik yang dikembangkan disarankan diimplementasikan secara konsisten sebagai sistem proteksi utama oven pengecatan, disertai penyusunan prosedur operasi standar, perawatan berkala, dan pelatihan keselamatan kelistrikan bagi dosen, teknisi, dan mahasiswa agar fungsi proteksi tetap optimal. Untuk penyempurnaan, penelitian lanjutan perlu mengintegrasikan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan pencatatan data otomatis untuk *monitoring* jarak jauh, menambahkan sistem alarm berbasis sensor untuk mendeteksi kondisi abnormal (misalnya suhu berlebih atau gangguan ventilasi), serta mengembangkan sistem kendali berbasis PLC atau mikrokontroler dan aplikasi *mobile* sebagai antarmuka pengguna. Selain itu, studi komparatif dengan panel berkapasitas beban lebih besar atau pada lingkungan industri sejenis penting dilakukan guna menguji skalabilitas desain dan memperkuat kontribusi penelitian terhadap pengembangan standar proteksi kelistrikan pada lingkungan kerja lembap dan bersuhu tinggi.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] A. R. Laoli, M. S. D. Mendrofa, S. M. Kakisina, and K. S. Zai, "Analisis Quality Control dalam Meningkatkan Kualitas Hasil Body Paint di Abraham Motor," *J. Ekon. Bisnis, Manaj., dan Akunt.*, vol. 4, no. 3, pp. 1885–1894, 2024, doi: 10.35912/jebma.v4i3.254.
- [2] A. Makkulau et al., "Edukasi Listrik Sehat untuk Mencegah Bahaya Kebakaran pada Perumahan Padat Penduduk di Jakarta Barat," *Minda Baharu*, vol. 8, no. 1, pp. 189–200, 2024, doi: 10.33373/jmb.v8i1.5886. [Online]. Available: <https://www.journal.unrika.ac.id/index.php/MNDBHRU>.

-
- [3] D. A. Pratiwi, A. I. Soumi, and W. Kurniawan, "The Effect of Light Type and Distance on Indoor Photovoltaic System," *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, vol. 8, no. 2, pp. 271–278, 2024, doi: 10.31544/jtera.v8.i2.2023.271-278.
- [4] D. P. Nanggala and A. Ahfas, "Sub Distribution Panel's Design Rancangan SubDistribution Panel," *Procedia Eng. Life Sci.*, vol. 5, pp. 355–361, 2024, doi: 10.21070/pels.v7i0.1484.
- [5] J. M. H. Prasetya and A. S. Wardoyo, "Rancang Bangun Safety Device dan Rangkaian Kontrol untuk Mesin Pengupas Kabel," *J. Instrumentasi dan Teknologi Informasi*, vol. 4, no. 1, pp. 8–16, 2022.
- [6] S. Muhamad and H. Munnik, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Relay," *J. Teknol. Elektro, Univ. Mercu Buana*, vol. 8, no. 2, pp. 87–94, May 2017, doi: 10.22441/jte.v8i2.1601.
- [7] N. Indrihastuti, A. Prayoga, and M. Musyaffa, "Perancangan Kendali 2 Kontaktor Bekerja Berurutan Secara Otomatis Berbasis PLC CPM1A 40CDR_A," *J. Cahaya Bagaskara*, vol. 6, no. 2, pp. 15–22, Aug. 2021.
- [8] D. R. H. Desrul, R. A. Priramadhi, and D. Darlis, "Sistem Keamanan Pada Alat Penyalur Daya Listrik Portable," *e-Proceeding Eng.*, vol. 11, no. 1, pp. 39–42, Feb. 2024.
- [9] P. Yosua, D. B. Santoso, and A. Stefanie, "Rancang Bangun Automatic Washing and Drying System untuk Mesin Pencuci Cylinder Block Motor," *J. Ilm. Wahana Pendidik.*, vol. 7, no. 4, pp. 430–444, 2021, doi: 10.5281/zenodo.5167080.
- [10] Y. M. Seftiani and Novizon, "Studi Kelayakan Sistem Pentanahan pada Gedung Teknik Elektro Universitas Andalas," *Elektron: J. Ilm.*, vol. 14, no. 2, pp. 45–49, Dec. 2022, doi: 10.30630/eji.14.2.297.
- [11] H. D. R. K. T. Suryadi et al., "Teknologi Pengeringan dalam Proses Pengecatan," *Tek. Indones.*, 2018.
- [12] Rahman et al., "Energy-Efficient Design of Paint Drying Ovens Using Thermal Insulation," *Mech. Eng. Res.*, vol. 12, no. 3, pp. 45–52, 2020.
- [13] D. P. Sekulic, "Compact Heat Exchangers," in *Handbook of Thermal Science and Engineering*. Cham, Switzerland: Springer, 2018, pp. 1501–1520, doi: 10.1007/978-3-319-26695-4_36.
- [14] Krause, "Infrared *Curing* and Drying," 2020.
- [15] A. C. Irawan, A. Zulkarnain, and A. Sembiring, "Saklar Lampu Otomatis dengan Kendali Android Berbasis Mikrokontroler," *J. Ilmu Komput. dan Sist. Komput. Terap. (JIKSTRA)*, vol. 3, no. 2, pp. 59–67, Oct. 2021, doi: 10.35447/jikstra.v3i2.396.
- [16] M. Zhang, H. Chen, A. S. Mujumdar, J. Tang, S. Miao, and Y. Wang, "Recent developments in high-quality drying of vegetables, fruits, and aquatic products," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 57, no. 6, pp. 1239–1255, 2017, doi: 10.1080/10408398.2014.979280.
- [17] R. Singh, P. Kuchhal, S. Choudhury, and A. Gehlot, "Implementation and *evaluation* of heating system using PID with genetic algorithm," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 8, no. 5, pp. 413–418, 2015, doi: 10.17485/ijst/2015/v8i5/60472.
- [18] Y. Yin, J. Yang, Y. Jia, S. Lan, and Z. Liao, "Modeling of Ventilation's Influence on Energy Consumption in Multi-cylinder Dryer Section Part 2: Simulations and Applications," *Int. J. Comput. Intell. Syst.*, vol. 15, no. 1, Art. no. 40, 2022, doi: 10.1007/s44196-022-00095-4.
- [19] F. D. U. Gayuh, "Pengaruh Kecepatan dan Arah Aliran Udara Terhadap Kondisi Udara Dalam Ruangan Pada Sistem Ventilasi Alamiah," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 299–304, 2012.
- [20] U. Nursusanto, S. Rahman, and A. Sony, "Edukasi Keselamatan Ketenagalistrikan Pada Instalasi Listrik Bangunan Residensial," *J. Tek. Elektro: Electron. Control, Telecommun., Comput. Inf. Power Syst.*, vol. 10, no. 1, pp. 79–90, Mar. 2025.
-

- [21] A. G. Hutajulu, M. C. Malino, and J. M. Tambunan, "Implementasi Pengujian Karakteristik Miniatur Circuit Breaker Berdasarkan SNI 60898-1:2009 di PT PLN (Persero) Pusat Sertifikasi," in *Pros. Semin. Nas. Penelit. LPPM UMJ*, Nov. 2024, pp. 1–10. [Online]. Available: <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit>.
- [22] A. Syahid and D. Suhardi, "Analisa Desain Instalasi Listrik Gedung 11 Lantai Tower 3 Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya," *Semin. Keinsinyuran Progr. Stud. Progr. Profesi Ins.*, vol. 2, no. 1, pp. 18–27, 2021, doi: 10.22219/skpsppi.v2i1.4339.
- [23] Sugiyono, *Metode Penelitian Pendidikan: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung, Indonesia: Alfabeta, 2019.
- [24] Sugiyono, *Metode Penelitian Pendidikan: Kuantitatif, Kualitatif dan Kombinasi*. Bandung, Indonesia: Alfabeta, 2017.

Halaman ini sengaja di kosongkan.