

STUDI IMPLEMENTASI STANDAR KESELAMATAN DAN KUALITAS VISUAL PADA PERAKITAN PANEL LISTRIK INDUSTRI TIPE WALL MOUNTING

Gusti Ananda Armyawan Rama Putra¹, Bambang Hadi Kunaryo², Afeef Kurnia Rahmawan³

*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas PGRI Semarang¹
Gedung Pusat Lantai 3, Kampus 1 Jl. Sidodadi Timur 24, Semarang*

E-mail : gustianandarp@gmail.com¹, bhadikunaryo@upgris.ac.id²,
afeefkurniarahman@upgris.ac.id³

Abstrak

Panel listrik tipe Wall Mounting memegang peranan krusial dalam distribusi daya sekunder di lingkungan industri, di mana keterbatasan ruang menuntut presisi tinggi dalam manajemen termal dan keselamatan elektrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi standar keselamatan dan kualitas visual pada proses perakitan panel tersebut, dengan studi kasus di PT. Omnielectrindo. Metode penelitian menggunakan observasi partisipatif selama periode magang (Agustus-November 2025) dan analisis komparatif terhadap standar IEC 61439-1 serta PUIL 2011. Fokus analisis mencakup fabrikasi busbar, manajemen kabel, dan integrasi komponen proteksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknik drat (tapping) pada busbar dan penggunaan mesin pelurus kabel berkontribusi signifikan terhadap efisiensi ruang dan estetika visual, yang secara linear berkorelasi dengan keamanan operasional. Ditemukan adanya tantangan dalam harmonisasi kode warna busbar antara standar lama (PUIL 2000) dan baru (PUIL 2011) di lapangan. Penelitian menyimpulkan bahwa integrasi ketat antara Prosedur Operasi Standar (SOP) perakitan, verifikasi torsi baut, dan inspeksi visual detail adalah prasyarat mutlak untuk menjamin keandalan panel wall mounting yang padat komponen.

Kata Kunci: Panel Wall Mounting, IEC 61439, PUIL 2011, Manajemen Kabel, Busbar.

I. PENDAHULUAN

Dalam ekosistem infrastruktur kelistrikan modern, keandalan sistem distribusi tenaga listrik menjadi parameter vital yang menentukan kontinuitas operasional industri. Di jantung sistem ini, panel listrik atau Low Voltage Switchgear and Controlgear Assemblies berfungsi tidak hanya sebagai titik distribusi energi, tetapi juga sebagai benteng pertahanan utama terhadap gangguan elektrik seperti arus lebih (overcurrent), hubung singkat (short circuit), dan kebocoran arus ke tanah (earth leakage). Kegagalan pada rakitan panel dapat berimplikasi fatal, mulai dari terhentinya lini produksi yang menyebabkan kerugian finansial masif, hingga risiko keselamatan jiwa akibat bahaya kebakaran atau ledakan busur api (arc flash).

Universitas PGRI Semarang (UPGRIS), melalui kurikulum Teknik Elektro yang terintegrasi dengan program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM), menekankan pentingnya penguasaan kompetensi praktis yang selaras dengan kebutuhan industri (link and match). Mahasiswa dituntut untuk tidak hanya memahami teori analisis rangkaian dan sistem tenaga, tetapi juga mampu menerjemahkan diagram garis tunggal (Single Line Diagram) menjadi produk fisik yang memenuhi standar rekayasa. Penelitian ini didasarkan pada data empiris yang diperoleh selama kegiatan magang industri di PT. Omnielectrindo,

sebuah entitas yang bergerak di bidang manufaktur switchboard dan distribusi komponen elektrik, yang berlokasi di Karangawen, Demak.

Fokus spesifik dari penelitian ini adalah pada perakitan panel tipe *Wall Mounting*. Berbeda dengan panel tipe *Floor Standing* atau *Free Standing* yang umumnya digunakan sebagai *Main Distribution Panel* (LVMDP) dengan ruang internal yang lega, panel *Wall Mounting* biasanya difungsikan sebagai *Sub-Distribution Panel* (SDP) atau panel kontrol lokal. Karakteristik fisik panel *Wall Mounting* yang kompak dan dimensinya yang terbatas menghadirkan tantangan rekayasa yang unik. Kepadatan komponen (*component density*) yang tinggi dalam volume ruang yang kecil menuntut strategi disipasi panas (*thermal dissipation*) yang jauh lebih ketat dibandingkan panel besar. Panas yang dihasilkan oleh rugi-rugi daya () pada busbar, kabel, dan komponen aktif seperti *Magnetic Contactor* atau *Inverter* harus dapat dibuang secara efektif melalui konveksi alami atau paksa, namun seringkali terhambat oleh manajemen kabel yang buruk atau desain tata letak yang tidak optimal.

Permasalahan mendasar yang diangkat dalam studi ini adalah adanya kesenjangan antara standar normatif ideal—seperti yang tertuang dalam IEC 61439-1 dan SNI 0225:2011 (PUIL 2011)—dengan realitas eksekusi di lapangan, terutama dalam aspek kualitas visual dan detail fabrikasi. Kualitas visual dalam konteks panel listrik, seperti kerapian jalur kabel (*wiring neatness*) dan penandaan warna (*color coding*), seringkali disalahartikan hanya sebagai aspek estetika semata. Padahal, dalam rekayasa panel yang padat (*compact*), kerapian adalah fungsi dari keselamatan. Kabel yang semrawut menghambat aliran udara pendingin, meningkatkan risiko *hotspot*, dan menyulitkan proses pemeliharaan atau *troubleshooting*. Selain itu, transisi regulasi warna busbar di Indonesia dari PUIL 2000 ke PUIL 2011 seringkali menimbulkan ambiguitas di lantai produksi yang berpotensi menyebabkan kesalahan koneksi fasa (*phase error*) yang berbahaya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis mendalam terhadap proses implementasi standar keselamatan dan kualitas visual pada perakitan panel *Wall Mounting*. Analisis akan mencakup evaluasi teknis terhadap metode fabrikasi busbar (termasuk teknik *tapping* dan torsi), manajemen kabel tingkat lanjut (*advanced cable management*), serta prosedur kontrol kualitas (*Quality Control*) yang diterapkan. Dengan membedah data logbook kegiatan harian dan membandingkannya dengan literatur standar, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi wawasan mengenai praktik terbaik (*best practice*) dalam menjembatani persyaratan teoritis yang ketat dengan kendala fisik dan operasional di industri manufaktur panel.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Cakupan pada metodologi penelitian terdiri dari cara dan model penelitian yang digunakan. Adapun metodologi penelitian disini dapat mencakup teori-teori yang digunakan pada tinjauan pustaka yang didapatkan pada literatur.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan metode observasi partisipatif (*participatory observation*). Penulis terlibat langsung sebagai teknisi magang dalam proses produksi, memungkinkan pengumpulan data primer yang mendetail dan kontekstual.

1. Desain Penelitian dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan di *workshop* perakitan panel PT. Omnielectrindo, Jl. Raya Semarang Purwodadi KM 18, Karangawen, Kabupaten Demak, Jawa Tengah. Durasi penelitian mencakup periode kegiatan magang dari Agustus hingga November 2025, dengan fokus pengambilan data intensif pada minggu ke-9 hingga ke-13 yang merupakan fase pengerjaan proyek Panel *Wall Mounting*.

2. Objek Penelitian

Objek utama penelitian adalah satu unit Panel Distribusi Daya 3-Fasa tipe *Wall Mounting*. Panel ini dirancang untuk melayani beban spesifik (klien: PT Guna Jasa Mitra Elektrik) dengan spesifikasi

komponen meliputi MCCB (*Molded Case Circuit Breaker*) sebagai pemutus utama, busbar tembaga sebagai konduktor utama, RCBO (*Residual Current Breaker with Overcurrent*) untuk proteksi sirkuit akhir, dan instrumen pengukuran digital.

3. Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui tiga instrumen utama:

1. **Jurnal Aktivitas Harian (Logbook):** Dokumen ini merekam secara kronologis setiap tahapan pekerjaan, mulai dari persiapan material, fabrikasi, *wiring*, hingga *finishing*. Data logbook memberikan detail mengenai jenis alat yang digunakan (misal: mesin pelurus kabel), ukuran material (kabel 4mm, 6mm, 10mm), dan tantangan teknis harian.
2. **Analisis Kegiatan Mingguan:** Dokumen ini berisi sintesis mingguan mengenai "Hal Baru yang Didapat" (*Key Learning*), yang merefleksikan pemahaman kognitif penulis terhadap proses teknis dan standar yang diterapkan.
3. **Observasi Visual dan Fisik:** Pengamatan langsung terhadap kualitas hasil kerja, seperti kekencangan baut, kerapian jalur kabel, konsistensi warna cat busbar, dan kebersihan panel.

4. Analisis Data

Data yang terkumpul dianalisis menggunakan metode komparasi standar. Setiap prosedur kerja yang dicatat dalam logbook dievaluasi kesesuaiannya dengan standar PUIL 2011 (untuk instalasi domestik) dan IEC 61439-1 (untuk standar manufaktur panel). Analisis difokuskan pada identifikasi deviasi, evaluasi risiko keselamatan, dan justifikasi teknis dari praktik yang dilakukan di lapangan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data observasi selama proses perakitan panel *wall mounting*, ditemukan bahwa proses manufaktur panel tidak sesederhana merangkai komponen, melainkan melibatkan serangkaian keputusan teknis yang berdampak pada kualitas akhir. Pembahasan ini dibagi menjadi tiga aspek utama: fabrikasi busbar, manajemen *wiring* dan proteksi, serta kontrol kualitas.

1. Fabrikasi Busbar: Presisi Mekanikal dan Integritas Elektrikal

Busbar merupakan tulang punggung distribusi daya dalam panel. Pada panel *wall mounting* yang memiliki keterbatasan ruang, desain dan fabrikasi busbar menuntut presisi tinggi.

Teknik *Tapping* (Drat) dan Implikasi Torsi

Data logbook pada minggu ke-9 mencatat aktivitas "Drat busbar". Pembuatan ulir (*tapping*) langsung pada batang busbar tembaga merupakan teknik yang umum digunakan pada panel kompak untuk menghemat ruang. Dengan membuat ulir pada busbar, baut dapat dipasang langsung tanpa memerlukan mur (*nut*) di sisi belakang, yang mengurangi kebutuhan kedalaman (*depth*) panel dan mempermudah akses pemasangan dari depan.



Gambar 1. Pengencangan Baut

Namun, teknik ini memiliki risiko teknis. Tembaga adalah logam lunak. Ulir pada tembaga rentan mengalami kerusakan (*stripped threads*) jika ditorsi berlebihan. Di sisi lain, koneksi yang kurang kencang akan meningkatkan resistansi kontak. Observasi mencatat adanya aktivitas "Pemasangan baut pada busbar panel dengan torsi yang tepat" pada tanggal 12 September 2025. Hal ini menunjukkan bahwa PT. Omnielectrindo menerapkan standar torsi untuk memitigasi risiko ini.

Berdasarkan referensi standar torsi untuk baut metrik dengan material dan *grade* tertentu, penerapan torsi harus spesifik. Penerapan torsi harus spesifik sesuai ukuran baut untuk menjaga preload yang optimal. Standar rentang torsi yang digunakan sebagai acuan dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Standar Rentang Torsi

Ukuran Baut	Torsi Minimum (Nm)	Torsi Maksimum (Nm)
M6	3.5	5
M8	13	17.5
M10	30	35
M12	50	60

Kepatuhan terhadap nilai ini krusial untuk menjaga *preload* baut agar sambungan tetap kedap udara (mencegah oksidasi) dan tahan terhadap siklus pemuaian termal akibat perubahan beban arus. Kegagalan dalam penerapan torsi yang tepat adalah penyebab utama terjadinya *hotspot* yang dapat melelehkan isolator penyangga busbar dan memicu hubung singkat antar fasa.

Dinamika Kode Warna Busbar (PUIL 2000 vs 2011)

Salah satu temuan signifikan adalah aktivitas "Spraying Color pada busbar panel wall mounting" pada tanggal 7-8 Oktober 2025. Pewarnaan busbar (menggunakan cat atau *heat shrink sleeve*) adalah metode utama untuk identifikasi fasa.

Analisis terhadap praktik industri di Indonesia menunjukkan adanya masa transisi yang kompleks. Perbedaan signifikan skema warna antara standar lama dan baru disajikan secara rinci pada Tabel 2

Tabel 2. Perbedaan Skema Warna

Standar	Fasa R (L1)	Fasa S (L2)	Fasa T (L3)	Netral (N)	Ground (PE)
PUIL 2000	Merah	Kuning	Hitam	Biru	Kuning-Hijau
PUIL 2011 (IEC 60446)	Hitam	Cokelat	Abu-abu	Biru	Kuning-Hijau

Penggunaan standar lama ini seringkali didorong oleh permintaan klien untuk menjaga konsistensi dengan sistem instalasi gedung yang sudah ada (*legacy systems*). Meskipun secara teknis tidak mengurangi konduktivitas, ketidakseragaman standar warna menimbulkan risiko keselamatan serius (*safety hazard*). Seorang teknisi yang terbiasa dengan PUIL 2011 mungkin mengasumsikan kabel hitam sebagai L1, padahal dalam panel lama itu adalah L3 atau bahkan Netral (pada standar sangat lama). Oleh karena itu, jika warna isolasi busbar tidak mengikuti standar terbaru, sangat disarankan untuk menambahkan label alfanumerik (L1, L2, L3) yang permanen dan jelas di setiap titik terminasi untuk mencegah kesalahan koneksi di masa depan.

2. Manajemen Kabel dan Kualitas Visual (*Neatness*)

Pada panel *wall mounting*, manajemen kabel bukan sekadar soal estetika, melainkan faktor determinan untuk performa termal dan keselamatan.

Penggunaan Mesin Pelurus Kabel dan *Cable Duct*

Data minggu ke-10 mencatat penggunaan "mesin pelurus kabel" (*cable straightener*). Ini adalah indikator praktik manufaktur yang baik. Kabel dengan penampang besar (4mm, 6mm, 10mm) yang digunakan untuk daya utama cenderung kaku dan memiliki memori bentuk lengkungan dari gulungan aslinya. Kabel yang bengkok dan tidak teratur akan memakan volume ruang udara di dalam panel.



Gambar 2. Penataan Kabel dalam Duct

Dalam panel *wall mounting*, sirkulasi udara sangat terbatas. Kabel yang semrawut dapat menghambat aliran konveksi udara panas dari komponen bawah ke ventilasi atas. Dengan meluruskan kabel dan menatanya rapi di dalam *cable duct*, luas penampang efektif untuk aliran udara dapat dimaksimalkan. Selain itu, penataan yang rapi mencegah kabel bersentuhan langsung dengan busbar panas atau tepi tajam pelat logam, yang dapat merusak isolasi kabel seiring waktu akibat getaran atau gesekan.

Kualitas visual ini juga mempermudah proses inspeksi dan *troubleshooting*. Jalur kabel yang jelas dan terorganisir memungkinkan teknisi untuk menelusuri sirkuit dengan cepat tanpa harus membongkar tumpukan kabel, mengurangi waktu *downtime* saat terjadi gangguan.

3. Wiring Komponen Proteksi RCBO

Aktivitas spesifik "Wiring kabel netral untuk tiap RCBO 1P dengan kabel 4mm" pada minggu ke-11 menunjukkan implementasi teknis yang benar terhadap perangkat proteksi arus sisa. RCBO (*Residual Current Breaker with Overcurrent*) bekerja dengan memantau keseimbangan vektor arus antara fasa dan netral.



Gambar 3. Hasil Wiring RCBO

Jika kabel netral dari beban digabung (*common*) di busbar netral utama sebelum masuk ke RCBO, maka RCBO tidak akan dapat mendeteksi ketidakseimbangan arus pada sirkuit spesifik tersebut, atau akan mengalami *tripping* palsu karena adanya jalur paralel bagi arus netral. Penarikan kabel netral secara individual untuk setiap RCBO memastikan bahwa arus yang kembali dari beban benar-benar melewati sensor *toroid* di dalam RCBO tersebut. Ini adalah detail instalasi yang krusial untuk menjamin fungsi keselamatan manusia dari bahaya sengatan listrik (proteksi sentuh tidak langsung).

3. Integrasi Sistem Kontrol dan *Quality Control*

Integrasi Kontrol dan Indikator

Proses pelubangan (*punching*) pintu panel untuk lampu indikator (RST, Trip, Fault) dan sakelar kontrol (AOM - Auto/Off/Manual) pada minggu ke-11 mencerminkan aspek ergonomi dan operasional. Tata letak komponen di pintu panel harus mempertimbangkan kemudahan operasional dan visibilitas. Jarak antar komponen harus cukup untuk memungkinkan operasi jari tangan operator tanpa risiko menyentuh komponen lain secara tidak sengaja. Selain itu, *wiring* dari pintu ke bodi panel harus dilindungi dengan selongsong spiral (*spiral wrap*) dan dipasang dengan *loop* yang cukup agar kabel tidak tegang atau terjepit saat pintu dibuka-tutup, sebuah standar yang sering diperiksa dalam inspeksi visual IEC 61439-1.

Prosedur *Quality Control* (QC)

Aktivitas QC yang tercatat meliputi pengecekan mekanikal (pengait TOR) dan fungsional (output MCB). Dalam konteks standar IEC 61439-1, *Routine Verification* adalah tahap wajib bagi setiap unit yang diproduksi. Verifikasi ini meliputi:

1. **Inspeksi Visual:** Memastikan kesesuaian dengan diagram, kualitas pengerjaan, dan penandaan (*marking*). Kerapian kabel dan kekencangan baut diperiksa di sini.
2. **Uji Kontinuitas:** Memastikan semua bagian konduktif terbuka (seperti pintu panel dan pelat *mounting*) terhubung sempurna ke terminal *Grounding* (PE). Hal ini vital untuk memastikan bahwa jika terjadi kebocoran isolasi ke bodi panel, arus gangguan akan mengalir ke tanah dan memicu proteksi, bukan menyengat operator.
3. **Uji Dielektrik:** Meskipun tidak secara eksplisit dirinci dalam logbook harian, uji tegangan tinggi (biasanya 2.5 kV selama 1 menit) adalah standar untuk memastikan tidak ada cacat isolasi atau jarak bebas yang terlanggar.

Temuan "QC pengait Thermal Overload Relay" menunjukkan perhatian terhadap detail mekanikal. Mekanisme *tripping* TOR bersifat mekanis-termal. Pemasangan yang miring atau tidak pas (*fitting*) dapat menyebabkan kegagalan mekanisme *trip* saat terjadi beban lebih, yang berisiko membakar motor listrik.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa implementasi standar keselamatan dan kualitas visual pada perakitan panel *wall mounting* memiliki korelasi langsung dengan keandalan operasional sistem. Penerapan teknik *tapping* (drat) pada busbar terbukti efektif dalam menghemat ruang panel yang terbatas, namun menuntut pengawasan ketat terhadap standar torsi pengencangan baut (13-35 Nm untuk M8-M10) guna mencegah terjadinya *hotspot* akibat resistansi kontak. Selain itu, penggunaan alat pelurus kabel (*cable straightener*) dan manajemen jalur kabel yang rapi secara signifikan meningkatkan efisiensi sirkulasi udara termal di dalam panel. Ditemukan pula bahwa transisi standar kode warna dari PUIL 2000 ke PUIL 2011 masih menimbulkan tantangan konsistensi di lapangan, sehingga penambahan label alfanumerik (L1/L2/L3) direkomendasikan sebagai langkah mitigasi keselamatan. Oleh karena itu, integrasi antara kepatuhan SOP perakitan, verifikasi torsi, dan inspeksi visual mendetail merupakan prasyarat mutlak dalam manufaktur panel distribusi berdensitas tinggi.

VI. REFERENSI

- [1] Risdiyanto, A., Rachman, N. A., & Arifin, M. (2012). Effect of Contact Pressure on the Resistance Contact Value and Temperature Changes in Copper Busbar Connection. *Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, 3(2), 73-80.
- [2] ABB. (n.d.). Routine verification checklist (routine check protocol). ABB. Nomor Laporan: 2CPC000320L0201.

- [3] Eaton. (n.d.). Design verification as per IEC/EN 61439. Eaton. Nomor Laporan: 912584.
- [4] James, S., & Whales, D. (2005). The Framework of Electronic Goverment. U.S. Dept. of Information Technology. Nomor Laporan: 63.
- [5] nVent HOFFMAN. (2022). Calculating heat dissipation in nVent HOFFMAN enclosures. nVent. (Tanpa Nomor Laporan).
- [6] Putra, G.A.A.R. (2025). Analisis Kegiatan Mingguan Magang. PT. Omnielectrindo. Laporan Internal.
- [7] Schneider Electric. (n.d.). Torque Specifications - Easy UPS 3S 208/220 V. Schneider Electric. Nomor Laporan: 990-6426.
- [8] Andalan Tri Mitra. (n.d.). Mengapa Mengencangkan Baut Sesuai dengan Torsinya Penting untuk Kendaraan. Diakses dari <https://andalantrimitra.co.id>
- James, S., & Whales, D. (2005). The Framework of Electronic Goverment. U.S. Dept. of Information Technology. Nomor Laporan: 63.
- [9] Eabel. (n.d.). Wall-Mounted vs. Floor-Mounted Distribution Boxes: Which One Should You Choose? Diakses dari <https://www.eabel.com>
- [10]Electrical Engineering Portal (EEP). (n.d.). IEC 61439 standard for low voltage switchgear and controlgear assemblies. Diakses dari <https://electrical-engineering-portal.com>
- [11]ICEqube. (n.d.). Thermal Considerations for Enclosure Design. Diakses dari <https://iceqube.com>
- [12]Jinrui Bolts. (n.d.). Standar Torsi Baut, Tabel Standar Torsi Baut. Diakses dari <https://id.jinruibolts.com>
- [13]Payapress. (n.d.). IEC 61439 Designs Verification & Compliances for Low Voltage assemblies in the EU. Diakses dari <https://payapress.com>
- [14]PT PIMURHO. (n.d.). Standar warna kabel Listrik Indonesia. Diakses dari <https://www.pimurho.co.id>
- [15]Siemens. (n.d.). Norm IEC 61439. Siemens Global. Diakses dari <https://www.siemens.com>
- [16]Weidmuller. (n.d.). Clearance and creepage distances. Diakses dari <https://www.weidmuller.com>
- [17]Wilson Cable. (n.d.). Mengenal Perbedaan Kabel Listrik Fasa, Netral, dan Grounding. Diakses dari <https://www.wilsoncables.com>