



Analisis Desain Kubikel 20kV untuk Peningkatan Efisiensi dan Keandalan Sistem Distribusi Listrik

Muhamad Sadewa¹, Endi Permata²

^{1,2} Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

2283220035@untirta.ac.id^{1*}

Alamat: Jl. Ciwaru Raya, Cipare, Kec. Serang, Kota Serang, Banten 42117

Korespondensi penulis: 2283220035@untirta.ac.id

Abstract. *Electrical energy is a vital element in daily life, supporting nearly all equipment used. One of the main components in the electrical distribution system is the 20 kV cubicle. This cubicle plays an essential role in controlling power flow, protecting the system from faults, measuring electrical parameters, and enabling remote monitoring and control. Additionally, the cubicle functions to maintain the stability, reliability, and efficiency of power flow to load centers. However, various technical issues, such as short-circuit faults, protection system failures, and corona phenomena caused by high humidity, often threaten its performance. This study aims to evaluate and optimize the design and operation of 20 kV cubicles in electrical distribution systems. The research focuses on analyzing technical factors that affect energy efficiency and system reliability, as well as identifying challenges in implementation, such as installation and maintenance issues. The research methods include literature reviews, interviews, and field observations. The results indicate that modular designs, high-quality insulating materials, and modern technologies such as Intelligent Electronic Devices (IEDs) and Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) enhance system efficiency and reliability. It is recommended that cubicle designs be adapted to the load capacity and routine maintenance be performed to maintain efficiency and extend equipment lifespan.*

Keywords: 20 kV cubicle, electrical distribution system, efficiency energy, SCADA, IEDs.

Abstrak. Energi listrik adalah elemen penting dalam kehidupan sehari-hari, mendukung hampir semua peralatan yang digunakan. Salah satu komponen utama dalam sistem distribusi listrik adalah kubikel 20 kV. Kubikel ini memiliki peran penting dalam mengendalikan aliran listrik, melindungi sistem dari gangguan, mengukur parameter kelistrikan, serta memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh. Selain itu, kubikel berfungsi menjaga stabilitas, keandalan, dan efisiensi aliran listrik menuju pusat beban. Namun, berbagai masalah teknis, seperti gangguan hubung singkat, kegagalan sistem proteksi, dan fenomena korona akibat kelembapan tinggi, sering mengancam kinerjanya. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi dan mengoptimalkan desain serta operasional kubikel 20 kV dalam sistem distribusi listrik. Fokus penelitian adalah menganalisis faktor-faktor teknis yang memengaruhi efisiensi energi dan keandalan sistem, serta mengidentifikasi kendala dalam implementasi, seperti masalah instalasi dan pemeliharaan. Metode penelitian meliputi tinjauan pustaka, wawancara, dan observasi lapangan. Hasil menunjukkan bahwa desain modular, material isolasi berkualitas tinggi, serta teknologi modern seperti IEDs dan SCADA meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem. Disarankan desain kubikel disesuaikan dengan kapasitas beban dan rutinitas pemeliharaan dilakukan untuk menjaga efisiensi serta memperpanjang umur peralatan.

Kata kunci: Kubikel 20 kV, sistem distribusi listrik, efisiensi energi, SCADA, IEDs.

1. LATAR BELAKANG

Di era modern, listrik telah menjadi kebutuhan utama, seiring dengan meningkatnya permintaan energi. Efisiensi energi menjadi aspek penting dalam mendukung keberlanjutan dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Sunardi et al., 2024). Energi listrik adalah sumber daya yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Hampir seluruh peralatan bergantung pada listrik, sehingga kebutuhan akan energi ini terus meningkat karena sifatnya yang efisien dan mampu mendukung kemudahan berbagai aktivitas harian. Kubikel

20 kV merupakan salah satu komponen utama dalam sistem distribusi listrik yang memiliki peran penting dalam menjaga stabilitas, keandalan, dan efisiensi aliran listrik ke pusat-pusat beban. Kubikel dirancang untuk menjalankan berbagai fungsi, termasuk pengendalian aliran listrik, proteksi terhadap gangguan, pengukuran parameter kelistrikan, serta pemantauan dan pengendalian jarak jauh. Salah satu aspek penting dalam perawatan kubikel adalah memastikan bahwa tahanan isolasi tetap stabil dan tidak mengalami kebocoran, yang dapat diuji menggunakan alat bernama insulation tester atau megger (Sukoco et al., 2023).

Sebagai pengendali aliran listrik, kubikel memungkinkan operator untuk membuka atau menutup jalur listrik secara aman tanpa harus mematikan seluruh jaringan. Hal ini sangat penting dalam pengaturan beban serta memastikan sistem tetap berjalan selama pemeliharaan atau perbaikan dilakukan. Kubikel juga dilengkapi dengan relay proteksi untuk mendeteksi kondisi abnormal seperti hubung singkat atau beban berlebih. Jika terdeteksi, kubikel dapat memutuskan aliran listrik untuk melindungi peralatan dan personel dari potensi bahaya.

Dalam aspek pengukuran dan monitoring, kubikel sering dilengkapi dengan transformator arus (CT) dan transformator tegangan (VT) untuk mengukur arus dan tegangan di jaringan. Data ini digunakan untuk mengontrol dan mengelola distribusi listrik secara efisien. Secara keseluruhan, kubikel 20 kV merupakan komponen yang esensial dalam distribusi listrik modern. Perannya mencakup stabilisasi aliran listrik, peningkatan keandalan sistem, efisiensi operasional, dan perlindungan terhadap gangguan, yang semuanya berkontribusi pada penyediaan pasokan listrik yang stabil dan handal untuk memenuhi kebutuhan masyarakat.

Kubikel 20 kV, sebagai salah satu komponen vital dalam sistem distribusi listrik, sering menghadapi berbagai masalah teknis yang dapat memengaruhi kinerjanya. Salah satu permasalahan umum adalah gangguan hubung singkat, yang dapat menyebabkan kenaikan suhu dan tekanan mekanik tinggi. Hal ini tidak hanya berdampak pada kerusakan transformator tetapi juga mengganggu kelancaran distribusi listrik [3]. Selain itu, kegagalan sistem proteksi pada kubikel, seperti sole fuse atau relay proteksi, sering menjadi tantangan. Komponen ini mungkin tidak bekerja optimal karena usia, kerusakan, atau konfigurasi yang tidak tepat, sehingga tidak mampu mencegah kerusakan lebih lanjut pada sistem. Masalah korona, yang terjadi akibat ionisasi udara di sekitar konduktor, juga sering ditemukan. Fenomena ini biasanya dipicu oleh kelembaban tinggi atau tidak berfungsinya pemanas (heater) di dalam kubikel, yang berpotensi merusak isolasi dan komponen lain. Kurangnya pemeliharaan rutin menjadi salah satu penyebab utama permasalahan ini. Komponen seperti busbar, saklar, dan perangkat proteksi dapat mengalami keausan jika tidak diperiksa dan dirawat secara berkala.

Selain itu, ketidaksesuaian antara kapasitas kubikel dan beban yang ditangani dapat menyebabkan overloading atau overheating, sehingga menambah risiko kerusakan sistem. Desain kubikel 20 kV yang digunakan dalam gardu distribusi memengaruhi efisiensi distribusi listrik dengan berbagai cara. Kubikel berfungsi sebagai pembagi, pemutus, penghubung, pengontrol, dan proteksi pada sistem distribusi tenaga listrik. Desain yang kompak dengan penempatan perangkat seperti relay proteksi, transformer arus, dan indikator posisi mekanis membantu operator untuk melakukan pengendalian dan pemeliharaan secara efisien. Desain kubikel yang memperhatikan sistem interlock, ruang cukup untuk pemasangan kabel, dan kemudahan akses ke perangkat kritis mengurangi risiko kesalahan manusia dan mempermudah pemeliharaan. Parameter utama dalam peningkatan keandalan kubikel antara lain, penggunaan relay proteksi arus lebih (OCR), relay gangguan tanah (GFR), dan alat monitoring canggih seperti Intelligent Electronic Device (IED) meningkatkan kemampuan deteksi dini terhadap gangguan. Pemilihan busbar, saklar beban, dan transformer arus yang sesuai dengan kapasitas sistem distribusi sangat penting untuk memastikan keandalan operasional. Misalnya, kapasitas arus dan kemampuan pemutusan harus dirancang sesuai dengan beban maksimum yang diantisipasi. Pemeliharaan rutin pada komponen seperti sakelar pembumian, transformator tegangan, dan fuse sangat penting untuk mencegah kegagalan operasional.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan peran kubikel 20 kV dalam sistem distribusi listrik. Fokus utama penelitian ini adalah menganalisis desain kubikel dari perspektif teknis dan operasional untuk menentukan elemen-elemen yang dapat meningkatkan efisiensi energi dan keandalan sistem. Selain itu, penelitian ini juga berupaya mengidentifikasi berbagai kendala yang muncul dalam implementasi kubikel di lapangan, termasuk masalah instalasi, pemeliharaan, dan adaptasi terhadap teknologi terbaru. Dengan mengevaluasi kinerja operasional kubikel, seperti kapasitas proteksi, kemampuan menangani beban, dan kontribusinya terhadap pengurangan gangguan atau kerugian daya, penelitian ini dapat memberikan wawasan tentang efisiensi penggunaan kubikel dalam jaringan distribusi listrik. gangguan yang sering terjadi pada kubikel 20 kV, seperti korona, resistansi isolasi rendah, korosi, dan pengaruh lingkungan (kelembaban, debu, dll.), yang dapat menyebabkan korsleting dan kerugian pada sistem distribusi listrik (Kautsar & Fatkhurrohman, 2024).

2. KAJIAN TEORITIS

Sistem distribusi tenaga listrik adalah sistem yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari sumber input ke titik output (Nanang et al., n.d.). Kubikel adalah rangkaian panel hubung bagi dengan tegangan kerja 20.000 Volt yang dipasang di gardu induk. Fungsi

utamanya meliputi pengendalian aliran listrik, baik untuk menyambungkan maupun memutuskan arus, yang dapat dilakukan dalam kondisi berbeban atau tidak berbeban (Takwa, 2024). Selain itu, kubikel juga berperan sebagai alat proteksi untuk melindungi sistem dari gangguan seperti arus lebih dan hubung singkat, sehingga memastikan keamanan dan stabilitas operasional. Kubikel juga berfungsi sebagai pembagi tenaga listrik, mendistribusikan energi dari sumber ke berbagai titik beban. Secara sederhana, Sistem Distribusi Tenaga Listrik dapat didefinisikan sebagai sarana untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber ke pusat-pusat beban (Dimas et al., n.d.). Dengan dilengkapi alat ukur seperti voltmeter, amperemeter, dan KWh meter, kubikel memungkinkan pengukuran besaran listrik secara akurat, mendukung pemantauan dan pengelolaan energi listrik secara efisien. Kubikel terdiri dari berbagai komponen utama yang bekerja secara sinergis untuk memastikan fungsi distribusi, proteksi, dan pengukuran dalam sistem tenaga listrik. Busbar berfungsi untuk mengumpulkan dan membagi tenaga listrik dengan tegangan 20 kV secara efisien, sementara kompartemen rel berfungsi sebagai lokasi penempatan busbar atau rel. Kompartemen ini dilengkapi dengan isolator penyangga yang berperan menjaga posisi rel agar tetap kokoh (Hariansyah & Awaluddin, 2014).

Kompartemen penting lainnya adalah Kompartemen Kontrol, yang berisi alat pengukuran seperti amperemeter, relay proteksi, dan panel kontrol tegangan rendah (LV), yang memungkinkan pemantauan dan pengelolaan sistem. Pemisah Rell digunakan untuk membuka dan menutup aliran listrik tanpa beban, meskipun tidak dilengkapi dengan media peredam busur api. Untuk membuka atau menutup aliran listrik, termasuk saat terjadi gangguan, digunakan Pemutus Tenaga (PMT/CB) yang dilengkapi dengan media peredam busur api untuk memastikan keselamatan operasi. Pengecekan PMT 20 kV bertujuan memastikan Tripping Coil berfungsi dengan baik dalam mengatur perintah buka-tutup PMT, menerima sinyal dari relay tanpa kendala, dan memiliki sumber DC yang mendukung operasinya (Kusumo, n.d.).

Selain itu, Kompartemen Kabel berfungsi sebagai ruang untuk kabel tegangan menengah yang dilengkapi dengan terminasi kabel, indikator neon untuk mendeteksi tegangan, serta trafo arus dan tegangan untuk pengukuran. Trafo Arus (Current Transformer) digunakan untuk menurunkan arus yang besar menjadi lebih kecil untuk keperluan pengukuran dan proteksi, sedangkan Trafo Tegangan (Potential Transformer) menurunkan tegangan tinggi menjadi rendah untuk pengukuran dan perlindungan sistem (Mahardika et al., 2024). Transformator bekerja berdasarkan prinsip hukum Ampere dan Faraday, yang menyatakan bahwa arus listrik dapat menghasilkan medan magnet, dan medan magnet dapat menghasilkan arus listrik

(Afrianda & Putra, 2023). Manajemen Pemeliharaan mencakup seluruh aktivitas yang berkaitan dengan pengelolaan objek pemeliharaan, termasuk penentuan prioritas, strategi, dan tanggung jawab. Kegiatan ini meliputi perencanaan, pengendalian, dan pengawasan pemeliharaan, serta metode perbaikan yang mempertimbangkan aspek ekonomis (Harsanto et al., 2021).

Korona adalah fenomena yang terjadi ketika udara di sekitar konduktor atau penghantar mengalami ionisasi. Berdasarkan pengaruh tekanan parsial udara terhadap korona, dapat dianalisis kemungkinan terjadinya atau tidak terjadinya korona pada kubikel (Rachman & Broto, 2020). Agar kelembapan di dalam kubikel tetap terjaga dan mencegah kerusakan isolasi akibat efek korona, Pemanas (Heater) dipasang sebagai langkah perlindungan tambahan (Lestari et al., 2020). Selain itu, kubikel juga sering dilengkapi dengan sakelar pemisah (PMS) dan sekring tegangan menengah seperti Sole Fuse, yang berfungsi untuk melindungi transformator dan jaringan dari gangguan (Pasra et al., 2018). Semua komponen ini dirancang untuk memastikan kinerja kubikel yang optimal dan andal dalam sistem distribusi tenaga listrik.

Kubikel konvensional adalah perangkat listrik tegangan menengah yang digunakan untuk mengendalikan, menghubungkan, memutus, melindungi, dan mendistribusikan aliran tenaga listrik secara manual. Sistem ini biasanya menggunakan komponen mekanis atau elektromekanis seperti relay proteksi arus lebih dan circuit breaker yang dioperasikan secara manual oleh teknisi di lokasi kubikel. Relay arus lebih adalah perangkat dalam sistem proteksi yang berfungsi mendeteksi arus berlebih, sehingga mampu mengidentifikasi gangguan seperti hubungan singkat yang berpotensi merusak peralatan pada sistem distribusi listrik (Ratipramesti & Bangsa, 2022). Pengendalian dilakukan melalui tombol fisik atau sakelar yang terdapat pada panel kubikel. Monitoring parameter listrik juga dilakukan secara langsung melalui alat ukur analog, seperti amperemeter dan voltmeter, yang terpasang pada panel. Karakteristik utama kubikel konvensional meliputi, operasi manual tanpa integrasi sistem otomatisasi, tidak dilengkapi teknologi pengawasan jarak jauh, bergantung pada inspeksi rutin untuk memantau kondisi sistem. Kubikel konvensional banyak digunakan di sistem distribusi tenaga listrik yang tidak memerlukan pengendalian yang kompleks atau yang hanya melayani area dengan tingkat kebutuhan monitoring rendah.

Kubikel modern, sering disebut juga kubikel digital adalah evolusi dari kubikel konvensional yang dilengkapi dengan teknologi otomatisasi untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan keamanan operasional. Kubikel ini menggunakan perangkat cerdas seperti Intelligent Electronic Devices (IEDs), relay digital, dan sistem Supervisory Control and Data

Acquisition (SCADA) sistem yang memungkinkan pengawasan dan pengendalian peralatan secara terpusat dari jarak jauh dalam waktu nyata (Annuru & Bangsa, n.d.). Pemantauan kubikel tegangan menengah 20 kV pada gardu distribusi dapat dilakukan melalui RTU dengan memanfaatkan sistem SCADA (Simanjuntak et al., 2023). Ada beberapa fitur utama dalam kubikel modern antara lain, dapat dioperasikan melalui antarmuka komputer, memungkinkan pengendalian dan pengawasan dari pusat kontrol menggunakan Remote Terminal Unit (RTU), mampu mengukur parameter listrik seperti tegangan, arus, daya aktif, dan status perangkat secara langsung dan menyajikannya dalam format digital, menggunakan protokol komunikasi seperti IEC 104 untuk menghubungkan perangkat di lapangan dengan pusat kontrol, Sistem interlock dan perlindungan otomatis mencegah gangguan atau operasi yang salah (Sari et al., 2021). Kubikel modern sangat cocok untuk aplikasi di jaringan distribusi listrik yang kompleks dan luas, di mana kecepatan reaksi terhadap gangguan, efisiensi operasional, dan kemampuan analisis data menjadi prioritas (Nuril et al., 2022).

Keandalan sistem distribusi listrik mengacu pada kemampuan sistem untuk menyediakan pasokan listrik yang kontinu, aman, dan berkualitas kepada pelanggan, tanpa gangguan atau kerusakan signifikan (Gagah et al., 2021). Sistem distribusi listrik yang andal sangat penting untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat dan mendukung berbagai aktivitas ekonomi. Indikator Keandalan sistem distribusi listrik antara lain, 1) Mengukur rata-rata frekuensi gangguan per pelanggan dalam satu periode tertentu (kali/pelanggan/bulan). SAIFI menunjukkan seberapa sering pelanggan mengalami gangguan listrik (Nugraha et al., 2023). 2) SAIDI (System Average Interruption Duration Index): Indikator durasi rata-rata gangguan listrik per tahun untuk pelanggan, dalam satuan jam per tahun (Hamid et al., 2023). 3) CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index): Rata-rata durasi gangguan per pelanggan yang terkena dampak. Kubikel membantu mengurangi waktu pemadaman dan risiko kerusakan pada peralatan dengan cepat mendeteksi dan menangani gangguan. Sistem proteksi seperti relay, circuit breaker, dan interlock membantu memastikan keamanan selama pengoperasian dan pemeliharaan.

Pengoptimalan jaringan energi listrik menjadi elemen penting untuk mencapai efisiensi dan keberlanjutan di sektor energi (Halwana'a, 2023). Efisiensi sistem distribusi listrik menggambarkan kemampuan sistem untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke pelanggan dengan kerugian energi yang seminimal mungkin dan pemanfaatan sumber daya yang optimal. Dalam sistem distribusi yang efisien, aliran energi diatur dengan baik sehingga memastikan kontinuitas pasokan listrik, kualitas tegangan, serta meminimalkan kehilangan energi baik dari segi teknis maupun non-teknis. Kerugian teknis, seperti resistansi kabel,

penurunan tegangan, dan panas yang dihasilkan oleh komponen jaringan, sering kali menjadi tantangan utama. Permintaan terhadap ketersediaan energi listrik terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi pada peralatan rumah tangga dan industri yang memanfaatkan energi listrik sebagai sumber daya utama. Oleh karena itu, diperlukan sistem penyaluran listrik yang andal untuk mendistribusikan energi dari pusat pembangkit ke konsumen (Dimas et al., n.d.). Langkah-langkah seperti pengoptimalan ukuran kabel, perawatan transformator, dan pengaturan ulang konfigurasi jaringan menjadi penting untuk mengurangi kerugian tersebut. Di sisi lain, kerugian non-teknis, seperti pencurian listrik dan kesalahan pembacaan meter, juga memerlukan perhatian dengan memperkuat sistem pengawasan dan penegakan hukum. Selain itu, teknologi modern seperti Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) dan smart grid memungkinkan integrasi berbagai sumber energi, termasuk energi terbarukan, serta menyediakan informasi secara real-time kepada pengguna tentang konsumsi energi mereka (Siregar, n.d.). Teknologi ini memungkinkan pengawasan dan pengendalian sistem secara real-time, sehingga gangguan dapat diatasi lebih cepat dan aliran listrik dapat diatur lebih baik. Dengan efisiensi yang tinggi, sistem distribusi listrik dapat mengurangi biaya operasional, meningkatkan keandalan pasokan listrik, dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, sehingga memberikan manfaat yang lebih besar bagi pelanggan dan operator sistem tenaga listrik.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan mencakup tiga pendekatan utama, yaitu literature review untuk menggali referensi teoretis dan penelitian sebelumnya, wawancara ini dilakukan dengan salah satu SPV dari PT.Haleyora Powerindo dan juga Koordinator Lapangan PT. Haleyora Powerindo, serta observasi lapangan guna memperoleh data empiris langsung dari kondisi nyata di lokasi penelitian data yang diperoleh melalui ketiga metode ini kemudian dianalisis secara komprehensif untuk menghasilkan temuan yang relevan, mendukung validitas hasil penelitian, dan memberikan solusi yang aplikatif sesuai dengan tujuan studi yang telah ditetapkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain optimal kubikel dirancang untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan keamanan dalam sistem distribusi listrik. Kubikel dengan desain modular memberikan fleksibilitas tinggi, memungkinkan penggantian dan pengaturan komponen sesuai kebutuhan tanpa mengganggu operasi sistem secara keseluruhan. Bahan isolasi berkualitas tinggi dan tahan korosi digunakan

untuk melindungi peralatan dari kerusakan akibat faktor lingkungan seperti kelembapan dan korosi. Integrasi teknologi modern seperti Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) memungkinkan pengawasan dan pengendalian jarak jauh, yang mempercepat respons terhadap gangguan dan mempermudah pengelolaan jaringan. Untuk proteksi, kubikel dilengkapi dengan perangkat cerdas seperti Intelligent Electronic Devices (IEDs) dan relay digital, yang memastikan deteksi dan pemutusan gangguan secara akurat dan cepat. Dalam bidang proteksi dan otomatisasi sistem daya di industri, IED adalah perangkat multifungsi yang meliputi perlindungan listrik, kontrol cerdas, kemampuan pemantauan, serta komunikasi yang terintegrasi langsung dengan sistem SCADA (Prasetyo & Winarno, 2015). Sistem interlock juga diterapkan untuk mencegah operasi yang tidak aman, memberikan perlindungan tambahan bagi operator. Desainnya juga memperhatikan ventilasi dan pengendalian suhu di dalam kubikel, dengan menggunakan pemanas atau sistem pengaturan kelembapan untuk mencegah efek korona yang dapat merusak isolasi. Kemudahan akses ke komponen utama adalah fitur penting lainnya, mempermudah teknisi dalam melakukan inspeksi, perbaikan, dan pemeliharaan rutin. Kubikel yang dirancang untuk mendukung jaringan loop juga memastikan kontinuitas suplai listrik meskipun terjadi gangguan di salah satu jalur. Dengan mengintegrasikan teknologi dan desain yang cermat, kubikel optimal mampu meningkatkan kinerja operasional dan memberikan keandalan yang lebih tinggi pada sistem distribusi listrik. Adapun beberapa hal yang perlu di perhatikan dalam perancangan dan instalasi kubikel sebagai berikut :

a. Persiapan Lokasi

Lokasi pemasangan harus memenuhi kriteria tertentu, seperti memiliki permukaan yang datar dan bebas dari kelembapan. Di beberapa wilayah, terutama daerah dengan kondisi tanah gambut, kubikel perlu dipasang di atas fondasi yang lebih tinggi untuk mencegah gangguan akibat kelembapan.

b. Penempatan Kubikel

Kubikel dipindahkan menggunakan alat berat seperti forklift atau katrol untuk memastikan penempatan presisi di lokasi pemasangan. Kubikel kemudian diamankan padaudukannya untuk mencegah pergeseran selama operasi.

c. Sambungan Komponen

Setelah penempatan, komponen internal kubikel seperti busbar, transformator tegangan (PT), dan pemutus tenaga (CB) disambungkan sesuai dengan diagram garis tunggal yang telah dirancang. Sambungan kabel menggunakan terminasi yang sesuai standar, seperti plug-in atau straight-through terminating, untuk memastikan koneksi yang aman dan stabil.

d. Pemasangan Sistem Proteksi dan Monitoring

Kubikel modern dilengkapi perangkat proteksi seperti relay digital dan perangkat monitoring berbasis IoT untuk mendeteksi suhu dan kelembapan. Perangkat ini dipasang dan dikonfigurasi untuk integrasi dengan sistem SCADA jika diperlukan. Maka dari itu, peran sistem proteksi sangat krusial untuk meminimalkan atau mengurangi gangguan listrik yang menyebabkan pemadaman pada pelanggan (Saputra et al., 2024).

e. Pengujian Awal

Setelah instalasi selesai, dilakukan pengujian operasional termasuk pengujian isolasi, pengujian fungsi perangkat proteksi, dan uji kontinuitas sambungan listrik. Tujuannya adalah memastikan setiap komponen bekerja dengan baik sebelum kubikel dioperasikan. Hasil pengujian kesalahan konstruksi menunjukkan bahwa semua komponen sistem proteksi telah terhubung dengan benar pada terminal masing-masing (Naibaho & Mukti, 2021).

f. Inspeksi Visual dan Dokumentasi

Langkah akhir melibatkan inspeksi visual untuk memastikan tidak ada kesalahan pemasangan atau kerusakan fisik pada kubikel. Semua proses dan hasil pengujian didokumentasikan sebagai bagian dari laporan instalasi. Setelah selesai pemasangan akan dilakukan sebuah inspeksi gardu dilakukan secara rutin setiap tiga bulan untuk memeriksa kondisi peralatan di dalam gardu, mencatat hasil pengamatan, dan memberikan rekomendasi perbaikan jika ditemukan indikasi gangguan pada kubikel (Sriyadi et al., 2021).

Desain kubikel yang efisien menggabungkan beberapa elemen penting untuk meningkatkan kinerja dan mengurangi kerugian daya dalam sistem distribusi listrik. Beberapa karakteristik desain yang mendukung efisiensi meliputi:

- a. Material Isolasi: Penggunaan bahan isolasi berkualitas tinggi seperti komposit resin atau silikon yang tahan terhadap tegangan tinggi, kelembapan, dan suhu ekstrem, serta material tahan korosi yang memperpanjang umur peralatan dan mengurangi kebutuhan perawatan. Dalam prosesnya untuk mengukur tahanan isolasi adalah dengan memberi tegangan pada masing masing terminal yang diukur dengan probe sebagai perantara (Effendi & Handoyo, 2020).
- b. Arsitektur Internal: Desain modular dan pengaturan kompartemen yang efisien memungkinkan pemeliharaan lebih mudah, mengurangi gangguan, dan memastikan

distribusi daya yang optimal. Busbar yang dirancang dengan material konduktif baik mengurangi kerugian daya.

- c. Proteksi dan Monitoring Cerdas: Integrasi sistem proteksi dengan Intelligent Electronic Devices (IEDs) dan teknologi SCADA memungkinkan deteksi gangguan yang cepat dan pengelolaan daya yang lebih baik, meminimalkan kerugian energi dan biaya operasional.
- d. Ventilasi dan Pengendalian Suhu: Sistem ventilasi dan pemanas yang efektif menjaga suhu dan kelembapan pada tingkat yang optimal, mencegah kerusakan peralatan dan memastikan kinerja kubikel tetap stabil. Heater atau pemanas adalah perangkat yang berfungsi menghasilkan panas di ruang terminal kubikel untuk menjaga kelembapan tetap stabil (Rahmadani et al., 2022).

Dengan desain yang memperhatikan aspek-aspek tersebut, kubikel dapat beroperasi dengan efisien, meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik, serta mengurangi pemborosan energi dan biaya operasional. Selain adanya desain kubikel yang optimal dan aspek yang perlu di perhatikan dalam pemasangan kubikel, ada juga yang perlu di perhatikan antara kubikel konvensional dan kubikel modern karena sangat penting dalam peningkatan efisiensi dan keandalan dalam sistem distribusi listrik yang dapat dilihat pada Tabel 1. Sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil data kubikel

Aspek	Kubikel Konvensional	Kubikel Modern
Pengendalian	Pengendalian manual oleh operator di lokasi menggunakan sakelar dan tombol mekanis.	Pengendalian otomatis dan pengawasan jarak jauh melalui SCADA dan sistem kontrol berbasis IoT.
Proteksi	Menggunakan relay elektromekanis untuk proteksi.	Menggunakan relay digital dan perangkat proteksi berbasis IED (Intelligent Electronic Devices) untuk pengendalian yang lebih akurat dan cepat.
Monitoring Sistem	Monitoring terbatas dengan alat ukur analog (amperemeter, voltmeter).	Monitoring real-time menggunakan IoT, SCADA, dan sensor pintar untuk pengukuran parameter seperti suhu, kelembapan, dan arus.
Efisiensi Energi	Kerugian daya lebih tinggi karena pengaturan manual dan sambungan kabel yang kurang optimal.	Pengaturan otomatis untuk meminimalkan kerugian daya dan optimasi distribusi energi dengan pengelolaan berbasis data.

Keandalan	Keandalan lebih rendah karena proteksi yang lebih lambat dan kesalahan manusia.	Keandalan lebih tinggi dengan deteksi gangguan otomatis dan proteksi berbasis digital.
Pemeliharaan	Pemeliharaan lebih sering dan memerlukan waktu lebih lama karena tidak adanya teknologi monitoring real-time.	Pemeliharaan lebih efisien dengan sistem monitoring otomatis yang dapat mendeteksi masalah lebih awal, mengurangi downtime.
Kapasitas dan Komponen	Kapasitas lebih terbatas dan bergantung pada komponen mekanis.	Kapasitas lebih besar dan didukung oleh komponen digital yang memungkinkan penyesuaian kapasitas sesuai kebutuhan.
Biaya Operasional	Biaya operasional lebih tinggi karena pemeliharaan manual dan lebih seringnya gangguan.	Biaya operasional lebih rendah karena pengelolaan otomatis dan pemeliharaan berbasis data.
Keamanan Operasional	Lebih rentan terhadap kesalahan manusia dan gangguan.	Lebih aman dengan proteksi otomatis dan kemampuan mendeteksi gangguan lebih cepat.
Fleksibilitas Desain	Desain lebih kaku dan terbatas pada konfigurasi tradisional.	Desain lebih fleksibel dengan opsi modular dan kemampuan menyesuaikan kapasitas sesuai kebutuhan beban.
Kinerja di Kondisi Ekstrem	Rentan terhadap kerusakan akibat kondisi ekstrem (misal kelembapan tinggi atau suhu ekstrem).	Lebih tahan terhadap kondisi ekstrem dengan sistem proteksi dan material yang lebih canggih.
Durabilitas	Umur peralatan cenderung lebih pendek tanpa pemantauan real-time.	Durabilitas lebih panjang karena sistem pemantauan yang efektif dan pencegahan kerusakan lebih dini.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain dan operasional kubikel 20 kV memiliki peran krusial dalam memastikan efisiensi dan keandalan sistem distribusi listrik. Penggunaan desain modular yang fleksibel memudahkan penggantian komponen tanpa mengganggu operasional sistem secara keseluruhan. Selain itu, pemilihan material isolasi berkualitas tinggi meningkatkan daya tahan terhadap kelembapan dan korosi. Integrasi teknologi modern, seperti Intelligent Electronic Devices (IEDs) dan Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), memberikan keunggulan dalam hal pengawasan dan pengendalian jarak jauh, yang mempercepat respons terhadap gangguan. Dengan penyesuaian desain sesuai kapasitas beban dan pelaksanaan pemeliharaan rutin, umur peralatan dapat diperpanjang, dan efisiensi sistem distribusi listrik dapat lebih terjaga.

Dalam rangka mengoptimalkan kinerja kubikel 20 kV, disarankan agar desain kubikel disesuaikan dengan kebutuhan spesifik sistem distribusi listrik, termasuk kapasitas beban dan kondisi lingkungan setempat. Pemanfaatan teknologi cerdas seperti SCADA dan IEDs perlu diperluas untuk meningkatkan efisiensi operasional dan kemampuan deteksi dini gangguan. Pemeliharaan rutin juga harus menjadi prioritas utama guna mengurangi risiko kerusakan yang disebabkan oleh keausan komponen. Selain itu, pelatihan teknis bagi operator kubikel diperlukan agar mereka mampu mengoperasikan dan memelihara perangkat modern dengan optimal. Evaluasi dan pembaruan secara berkala terhadap desain dan teknologi kubikel juga penting untuk menjamin kinerja yang tetap sesuai dengan perkembangan kebutuhan sistem distribusi listrik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT. Haleyora Powerindo yang telah memberikan dukungan penuh dalam pelaksanaan penelitian ini, baik dalam bentuk fasilitas maupun sumber daya. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini, termasuk para narasumber yang telah memberikan wawasan dan informasi yang sangat berharga, serta teknisi yang telah membantu dalam observasi lapangan. Terakhir, penulis juga menyampaikan apresiasi kepada keluarga yang selalu memberikan dukungan moral dan motivasi selama proses penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan sistem distribusi listrik yang lebih efisien dan andal di masa depan.

DAFTAR REFERENSI

- Afrianda, R., & Putra, S. R. (2023). *Perancangan instalasi kabel 20 kV pada auxiliary transformer sebagai alternatif back feeding PLTGU Jawa 2*. 28(2), 85–98.
- Annuru, R. H., & Bangsa, I. A. (n.d.). *OPTIMALISASI MANUVER JARINGAN MENGGUNAKAN SUPERVISORY CONTROL AND DATA AQUISITION (SCADA) DALAM MENINGKATKAN KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI PT PLN (Persero) UP3 BEKASI*. 6(1), 56–66.
- Dimas, N., Arlewes, G., & Simamora, G. (n.d.). *ANALISA SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK PADA GEDUNG AUTOGRAPH JAKARTA*. *Jurnal Cahaya Mandalika*.
- Effendi, B. A., & Handoyo, E. (2020). *PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI PADA PEMELIHARAAN PEMUTUS TENAGA KUBIKEL OUTGOING 20 KV MENGGUNAKAN INSULATION TESTER*. *Jurnal Kajian Teknik Elektro (JKTE)*, 5(2), 126–140.
- Gagah, M., Abdul, A., & Emidiana. (2021). *ANALISIS KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PADA GARDU INDUK SUNGAI JUARO*. *TEKNIKA: Jurnal*

Teknik, 10(2), 182–194.

- Haluana'a, F. J. (2023). Optimisasi Jaringan Energi Listrik untuk Meningkatkan Efisiensi dan Keberlanjutan. *WriteBox*, 1–7. <https://writebox.cloud/index.php/wb/article/download/10/15>
- Hamid, M. I., Sulfandri, & Afifah. (2023). *The Effect of Electricity Supply Interruptions on Small Business Productivity in West Sumatra*. 12(3), 38–49.
- Hariansyah, M., & Awaluddin, J. (2014). APLIKASI PENGGUNAAN KUBIKEL 20 kV PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI (PLTP) BINARY CYCLE DIENG. *Jurnal Teknik Elektro Dan Sains*, 1(1), 1–7.
- Harsanto, B., Magister, M., Universitas, M., Magister, D., Universitas, M., Magister, D., & Universitas, M. (2021). *Usulan model pemeliharaan distribusi tenaga listrik menggunakan metode TRDX untuk meningkatkan keandalan pada pelanggan industri*. 13(3), 342–350.
- Kautsar, A., & Fatkhurrohman, M. (2024). *20kV Cubicle Maintenance at PT PLN (Persero) APJ Banten Utara Rayon Prima Krakatau*. 6(3), 148–155. <https://doi.org/10.52005/fidelity.v6i2.226>
- Kusumo, B. (n.d.). ANALISIS TERJADINYA GAGAL TRIP PENYULANG KACA PIRING PADA SISTEM KUBIKEL 20 KV GARDU INDUK KEBON JERUK. *Jurnal Cahaya Mandalika*, 1944–1962.
- Lestari, N., Suwanto, H., & Gunawan, R. (2020). Sistem Pemantauan Kubikel Tegangan Menengah Berbasis Internet of Things. *Infotronik : Jurnal Teknologi Informasi Dan Elektronika*, 5(1), 37–42. <https://doi.org/10.32897/infotronik.2020.5.1.5>
- Mahardika, M. R., Fadhil, M., Nadhiroh, N., & Kamil, I. (2024). *Perancangan dan Instalasi Kubikel 20 kV Schneider RM6 Pada Bengkel Distribusi Listrik*. 10, 124–129.
- Naibaho, N., & Mukti, A. D. (2021). ANALISA KEGAGALAN SISTEM PROTEKSI PADA GARDU T 149 PT PLN (PERSERO) UP3 MENTENG. *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna*, 9(1), 22–27. [https://www.bing.com/ck/a?!&p=678839e1ff1da1bb6061abaf4d50ded0554cf57eb0b3d60d5ff577c28d10980dJmltdHM9MTczMjc1MjAwMA&ptn=3&ver=2&hsh=4&clid=119849b5-7945-6f48-2c0d-5bfd78136ee8&psq=ANALISA+KEGAGALAN+SISTEM+PROTEKSI+PADA+GAR+RDU+T+149+PT+PLN+\(PERSERO\)+UP3+](https://www.bing.com/ck/a?!&p=678839e1ff1da1bb6061abaf4d50ded0554cf57eb0b3d60d5ff577c28d10980dJmltdHM9MTczMjc1MjAwMA&ptn=3&ver=2&hsh=4&clid=119849b5-7945-6f48-2c0d-5bfd78136ee8&psq=ANALISA+KEGAGALAN+SISTEM+PROTEKSI+PADA+GAR+RDU+T+149+PT+PLN+(PERSERO)+UP3+)
- Nanang, S., Sumpena., & Sugiharto, A. (n.d.). *ANALISIS KONSUMSI DAYA DAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK. 1*.
- Nugraha, A., Felycia, F., & Suryana, A. (2023). Distribution Network System Reliability Index Study PLN North Banten in 2023. *Fidelity : Jurnal Teknik Elektro*, 5(3), 201–205. <https://doi.org/10.52005/fidelity.v5i3.181>
- Nuril, A., Dany'el, N., & Dwi, Y. (2022). REMOTE TERMINAL UNIT (RTU) SCADA PADA KUBIKEL TEGANGAN MENENGAH 20kV. *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)*, 1(1), 1–7. <https://doi.org/10.33379/metrotech.v1i1.947>
- Pasra, N., Makkulau, A., & Abriyanto, M. O. (2018). Analisa Efek Korona Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20 kV Pada Gardu Beton. *Jurnal Ilmiah SUTET*, 8(2), 103–113. <https://stt-pln.e-journal.id/sutet/article/view/235>

- Prasetyo, W. A., & Winarno, H. (2015). Simulator Kubikel Minimum Untuk Investigasi Gangguan Scada Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20 Kv. *Gema Teknologi*, 17(4), 164–169. <https://doi.org/10.14710/gt.v17i4.8936>
- Rachman, M. G. A., & Broto, S. (2020). Perancangan Sistem Kontrol Suhu dan Kelembapan Udara Pada Kubikel 20 kV Berbasis IoT. *Jurnal Maestro*, 3(2), 440–450.
- Rahmadani, A., Windarko, N. A., & Raharja, L. P. S. (2022). Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan serta Kendali Dua Heater pada Kubikel 20 kV Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 21(2), 219. <https://doi.org/10.24843/mite.2022.v21i02.p09>
- Ratipramesti, R. M., & Bangsa, I. A. (2022). Optimalisasi Proteksi Relai Arus Lebih Penyulang Kemuning pada Gardu VBRA Di PT PLN (Persero) UP3 Bekasi UID Jawa Barat. *Jurnal Teknika*, 14(2), 83. <https://doi.org/10.30736/jt.v14i2.825>
- Saputra, I. G. D., Sofwan, A., & Isnanto, R. R. (2024). *Desain Proteksi Kubikel 20 kV pada Gardu Distribusi Pelanggan Tegangan Menengah di PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Bali Utara*. 2(4), 232–237.
- Sari, M. S. A., Achadiyah, A. N., & Wati, I. (2021). *Sistem Pengendali Panel Gardu Distribusi 20 kV menggunakan Saitel DR HU_B sebagai RTU Sistem*. 11(2), 77–82.
- Simanjuntak, R. P., Diriyanti Novalina, S., & Aulia, R. (2023). Rancang Bangun Sistem Kontrol Kubikel Pada Panel Tegangan Menengah dengan Menggunakan Programmable Logic Controller. *Airman: Jurnal Teknik Dan Keselamatan Transportasi*, 6(2), 108–119. <https://doi.org/10.46509/ajtk.v6i2.322>
- Siregar, A. M. (n.d.). *Pengaruh Pengembangan Smart Grid terhadap Pengelolaan Energi Listrik*. 1–6.
- Sriyadi, S., Pangestu, A., Wilyanti, S., Al Hakim, R. R., & Vresdian, D. J. (2021). Prototipe Alat Pendeteksi Korona Sebagai Proteksi Kubikel Keluaran 20 KV Pelanggan Tegangan Menengah. *Jurnal Sosial Teknologi*, 1(5), 366–375. <https://doi.org/10.59188/jurnalsostech.v1i5.96>
- Sukoco, M. Y., Izzati, N., & Wardana, H. K. (2023). *Pengukuran Tahanan Isolasi Terminal Incoming Gardu Kubikel 20KV Di PT Haleyora Power Region 3 Jawa Timur Area Mojokerto*. 1(2), 32–41.
- Sunardi, Nurdiyanto, A. W., & Rifa'i, H. (2024). Optimalisasi Efisiensi Energi Melalui Perapihan, Gambar Dan Perbaikan Instalasi Listrik Di Ruang Kelas Lantai 1. *AMMA : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(1), 46–53.
- Takwa, A. A. (2024). Analisis Kubikel 20 Kv Di Wilayah Kerja Pt Pln (Persero) Up3 Makassar Selatan. *Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek*, 2(7), 32–44