

Evaluasi Keandalan *Vacuum Circuit Breaker* (VCB) 6,3 kV Berdasarkan Hasil Inspeksi pada *Motor Primary Air Fan A* Unit 2 di PLTU Palabuhan Ratu

Rushland Qolbun ¹, Imam Taufiqurrahman ²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi, Jl. Mugarsari, Kec. Tamansari, Kota Tasikmalaya, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Received: May 12, 2026
Reviewed: June 13, 2026
Available online: June 30, 2026

KORESPONDEN

E-mail: 227002041@student.unsil.ac.id

A B S T R A C T

The Vacuum Circuit Breaker (VCB) is one of the critical components in the electrical system of a Coal-Fired Power Plant (CFPP), where it is employed as a protective device for medium-voltage auxiliary equipment such as the Primary Air Fan (PA Fan) motor. The PA Fan plays a vital role in supplying primary air to support coal pulverization drying and to convey pulverized coal into the combustion chamber. Therefore, the reliability of protective equipment such as the VCB is a key factor in ensuring the continuity and stability of power plant operation. This study aims to evaluate and analyze the inspection results of an eVB-12 type VCB rated at 12 kV/1250 A, which serves as the protective device for the PA Fan motor at Palabuhan Ratu Coal-Fired Power Plant. The research employed a case study approach based on inspection data obtained from several testing procedures, including visual inspection, coil resistance measurement, contact resistance measurement, operating time (timing) measurement, insulation resistance measurement, and vacuum interrupter testing. The tests were conducted using standardized measuring instruments, namely the FLUKE 179, OMICRON CIBANO 500, and MEGGER MIT525. The test results indicate that all measured parameters remain in good and normal condition in accordance with applicable standards. The contact resistance values for all three phases ranged from 39.23 to 39.55 $\mu\Omega$, which is well below the permissible limit ($\leq 100 \mu\Omega$). The closing operating time ranged from 37.70 to 38.80 ms (standard ≤ 70 ms), while the opening operating time ranged from 20.20 to 20.70 ms (standard ≤ 50 ms). The insulation resistance value was recorded at a minimum of 413 G Ω , exceeding the required standard (≥ 1000 M Ω), and the vacuum interrupter condition for all phases was categorized as acceptable. Based on the overall inspection results, it can be concluded that the VCB remains in good condition and operational to support continuous operation at the Palabuhan Ratu Coal-Fired Power Plant.

KEYWORD:

Vacuum Circuit Breaker, VCB, Primary Air Fan motor, steam power plant, inspection.

A B S T R A K

Vacuum Circuit Breaker (VCB) Adalah salah satu peralatan krusial pada sistem kelistrikan di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), penggunaannya digunakan sebagai proteksi peralatan bantu bertegangan menengah seperti motor *Primary Air Fan* (PA Fan), yang berfungsi sebagai penyuplai udara primer yang membantu proses pengeringan serbuk batubara dan menghembuskannya menuju ruang bakar. Keandalan peralatan proteksi seperti VCB inilah sangat menentukan dari keberlanjutan operasional unit pembangkitan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan menganalisis hasil inspeksi VCB tipe eVB-12 berkapasitas 12 kV/1250 A yang menjadi pengaman peralatan pada motor PA Fan yang ada di PLTU Palabuhan Ratu. Metode yang digunakan menggunakan pendekatan studi kasus yang berdasarkan data hasil inspeksi yang meliputi pegujian antara lain: inspeksi visual, pengukuran resistansi koil, pengukuran tahanan kontak, pengukuran waktu operasi (*timing*), pengukuran tahanan isolasi, dan pengujian vacuum interrupter. Pengujian yang dilakukan menggunakan alat ukur yang terstandarisasi seperti FLUKE 179, OMICRON CIBANO 500, dan MEGGER MIT525. Hasil pengujian menunjukan bahwa keseluruhan aspek parameter masih dalam keadaan baik dan normal sesuai dengan standar yang berlaku. Pada pengujian parameter tahanan kontak ketiga fasa berkisar 39,23–39,55 $\mu\Omega$ nilai standar yang berlaku (standar $\leq 100 \mu\Omega$), waktu operasi ketika tutup 37,70–38,80 ms (standar ≤ 70 ms), waktu operasi ketika buka 20,20–20,70 ms (standar ≤ 50 ms), nilai tahanan isolasi berada pada nilai minimum 413 G Ω (standar ≥ 1000 M Ω), dan *vacuum interrupter* seluruh fasa dalam kategori *acceptable*. Berdasarkan seluruh hasil inspeksi dapat disimpulkan bahwa VCB masih dalam keadaan baik dan layak operasi guna keberlangsungan operasional di PLTU.

KATA KUNCI:

Vacuum Cicuit Breaker, VCB, motor Primary Air Fan, PLTU, inspeksi.

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu pembangkit utama dalam sistem ketenagalistrikan karena mampu memasok energi listrik dalam kapasitas besar secara kontinu dan stabil, sehingga keandalannya menjadi faktor utama dalam menjaga kontinuitas pasokan daya pada sistem tenaga [1]. Keandalan operasi PLTU tidak hanya ditentukan oleh sistem utama pembangkitan seperti *boiler*, *turbin*, dan *generator*, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh keandalan sistem *auxiliary* yang mendukung proses pembakaran dan kestabilan operasi unit [1]. Gangguan pada sistem *auxiliary* dapat menurunkan efisiensi operasi, mengganggu kestabilan pembakaran, bahkan menyebabkan *derating* unit pembangkit apabila tidak ditangani secara tepat [2].

Salah satu peralatan bantu yang memiliki fungsi kritis pada sistem *auxiliary* PLTU adalah *Primary Air Fan* (PA Fan),

yaitu motor bantu yang berfungsi menyuplai udara primer untuk proses pengeringan dan transportasi serbuk batubara menuju *burner* [1]. Keandalan motor PA Fan sangat menentukan kestabilan proses pembakaran karena gangguan pada motor ini dapat menyebabkan terganggunya suplai udara primer, ketidakstabilan nyala api, penurunan efisiensi *boiler*, hingga potensi penurunan daya keluaran unit [3]. Oleh karena itu, motor PA Fan dikategorikan sebagai beban bantu kritis yang memerlukan sistem proteksi andal agar kontinuitas operasi PLTU tetap terjaga [4].

Pada sistem distribusi tegangan menengah PLTU, keandalan motor PA Fan sangat dipengaruhi oleh performa sistem proteksi pada *feeder* penggerakannya, yang umumnya terdiri atas *relay* proteksi, *current transformer* (CT), *potential transformer* (PT), dan *circuit breaker* sebagai elemen pemutus [1]. *Circuit breaker* memiliki fungsi penting untuk menghubungkan dan memutuskan suplai daya baik pada kondisi operasi normal maupun saat terjadi

gangguan, sehingga perannya sangat menentukan keberlangsungan operasi beban kritis [5]. Kegagalan operasi *circuit breaker* dapat menyebabkan *trip* motor secara tidak terencana, mengganggu suplai udara primer, dan menurunkan keandalan operasi boiler secara keseluruhan [6].

Salah satu jenis *circuit breaker* yang umum digunakan pada sistem distribusi tegangan menengah adalah *Vacuum Circuit Breaker* (VCB), yaitu pemutus tenaga yang menggunakan media vakum sebagai pemadam busur api saat proses pemutusan arus [7]. VCB banyak digunakan pada sistem tegangan menengah karena memiliki kemampuan pemutusan yang baik, kecepatan operasi tinggi, umur mekanis panjang, serta kebutuhan pemeliharaan yang relatif rendah dibandingkan media pemutus lainnya [8]. VCB juga dinilai sangat sesuai untuk aplikasi *switching* motor tegangan menengah karena mampu menangani arus operasi normal maupun arus gangguan secara andal pada sistem industri [8]. Meskipun demikian, VCB tetap berpotensi mengalami degradasi kondisi akibat frekuensi operasi, keausan mekanis, peningkatan tahanan kontak, degradasi isolasi, maupun penurunan kualitas *vacuum interrupter* yang dapat memengaruhi performa operasinya [9].

Degradasi kondisi pada VCB dapat menyebabkan kegagalan operasi seperti gagal buka (*failure to open*), gagal tutup (*failure to close*), ketidaksinkronan kontak, hingga penurunan kemampuan pemutusan arus gangguan, sehingga inspeksi dan pengujian berkala menjadi langkah penting untuk menilai kondisi aktual peralatan [10]. Evaluasi berbasis kondisi melalui parameter inspeksi visual, tahanan kontak, tahanan isolasi, waktu operasi, dan pengujian *vacuum interrupter* dinilai efektif untuk mendeteksi potensi gangguan sebelum terjadi kegagalan operasi [7]. Dengan demikian, inspeksi berkala tidak hanya berfungsi sebagai aktivitas pemeliharaan rutin, tetapi juga sebagai pendekatan preventif untuk menjaga keandalan sistem proteksi pada motor bantu kritis di PLTU [5].

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas sistem proteksi motor PA Fan dan evaluasi performa *circuit breaker* pada sistem tegangan menengah. Penelitian yang dilakukan oleh Anshori et al. berfokus pada inspeksi dan evaluasi *setting instantaneous overcurrent relay* pada motor PA Fan A Unit 2 PLTU Palabuhan Ratu, namun masih terbatas pada aspek koordinasi *relay* proteksi dan belum mengevaluasi kondisi aktual *Vacuum Circuit Breaker* (VCB) sebagai peralatan pemutus tenaga [1]. Sementara itu, penelitian Adityara et al. menunjukkan bahwa parameter seperti tahanan isolasi, tahanan kontak, keserempakan kontak, dan pengujian *vacuum interrupter* dapat digunakan untuk menilai kondisi teknis VCB pada sistem tegangan menengah [7]. Meskipun demikian, kajian yang mengintegrasikan seluruh parameter diagnostik tersebut dalam pendekatan *condition-based assessment* untuk mengevaluasi kelayakan operasi VCB 6,3 kV pada

feeder motor Primary Air Fan di lingkungan PLTU masih sangat terbatas. Oleh karena itu, kontribusi penelitian ini tidak hanya berupa pelaporan kondisi satu peralatan, tetapi juga menunjukkan penerapan evaluasi kondisi VCB secara menyeluruh melalui perpaduan inspeksi visual dan pengujian diagnostik sebagai dasar penilaian *serviceability* peralatan. Hasil evaluasi ini memberikan dampak teknis terhadap penerapan *condition-based maintenance* pada sistem proteksi motor bantu kritis di PLTU, sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan pemeliharaan yang lebih tepat, meningkatkan keandalan fungsi proteksi, serta meminimalkan risiko gangguan yang berpotensi mengganggu kontinuitas operasi unit pembangkit.

Berdasarkan uraian tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana kondisi aktual dan tingkat keandalan *Vacuum Circuit Breaker* (VCB) 6,3 kV pada *feeder motor Primary Air Fan A Unit 2* di PLTU Palabuhan Ratu berdasarkan hasil inspeksi lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi keandalan VCB 6,3 kV melalui analisis inspeksi visual, pengukuran resistansi koil, tahanan kontak, waktu operasi buka–tutup, tahanan isolasi, serta pengujian *vacuum interrupter* guna menilai kelayakan operasi peralatan. Batasan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada evaluasi kondisi teknis VCB 6,3 kV pada *feeder motor Primary Air Fan A Unit 2* berdasarkan data hasil inspeksi aktual, tanpa membahas koordinasi *relay* proteksi, analisis gangguan sistem, maupun studi transien *switching* pada jaringan tenaga.

TINJAUAN PUSTAKA

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit termal yang mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi listrik melalui siklus konversi energi panas, mekanik, dan elektrik, sehingga keandalannya sangat dipengaruhi oleh performa peralatan utama dan pendukung dalam satu sistem operasi yang saling terintegrasi [1]. Keandalan operasi PLTU tidak hanya ditentukan oleh *boiler*, *turbin*, dan *generator* sebagai sistem utama, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh sistem *auxiliary* yang mendukung kontinuitas pembakaran, suplai fluida, dan kestabilan proses pembangkitan [1]. Dalam sistem PLTU, gangguan pada salah satu peralatan bantu dapat menyebabkan penurunan efisiensi operasi, gangguan kestabilan pembakaran, hingga *derating* unit apabila tidak segera ditangani secara teknis [1]. Oleh karena itu, sistem *auxiliary* pada PLTU dipandang sebagai subsistem kritis yang memiliki pengaruh langsung terhadap keandalan dan kontinuitas operasi pembangkit secara keseluruhan [1].

Primary Air Fan (PA Fan) dan Sistem Auxiliary PLTU

Sistem *auxiliary* pada PLTU terdiri dari peralatan bantu yang mendukung kelangsungan proses pembangkitan agar tetap stabil dan andal [1]. Salah satu peralatan bantu yang berperan penting dalam sistem pembakaran adalah *Primary Air Fan* (PA Fan), yaitu motor bantu yang berfungsi menyuplai udara primer untuk proses pengeringan dan transportasi serbuk batubara menuju *burner* [1]. Pada penelitian ini, objek yang diamati adalah motor PA Fan unit 2 yang ditunjukkan pada Gambar 1, yaitu motor induksi berukuran besar yang digunakan sebagai penggerak utama sistem suplai udara primer pada PLTU Palabuhan Ratu.

Motor PA Fan beroperasi secara kontinu untuk menjaga kestabilan suplai udara primer selama proses pembakaran boiler. Secara fisik, motor ini dilengkapi dengan sistem ventilasi, *terminal box*, dan konstruksi tertutup yang dirancang untuk mendukung keandalan operasi di lingkungan industri. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa motor PA Fan merupakan peralatan bantu dengan tingkat kontinuitas operasi yang tinggi.

Karena berperan langsung dalam menjaga rasio udara dan bahan bakar, motor PA Fan sangat memengaruhi kestabilan pembakaran dan efisiensi boiler [1]. Pada PLTU Palabuhan Ratu yang memiliki kapasitas pembangkitan sebesar 3×350 MW, setiap unit pembangkit dilengkapi dengan lebih dari satu PA Fan yang bekerja bersamaan untuk memenuhi kebutuhan udara primer sesuai dengan beban operasi *boiler*. Jika salah satu motor PA Fan mengalami gangguan, maka kapasitas suplai udara primer akan berkurang. Hal ini menyebabkan distribusi serbuk batubara tidak optimal, mengurangi batas operasi *boiler*, dan dalam kondisi beban tinggi, dapat menyebabkan *derating* unit jika kapasitas PA Fan yang masih berfungsi tidak dapat memenuhi kebutuhan proses pembakaran. Jika gangguan semakin parah hingga menyebabkan seluruh sistem PA Fan berhenti bekerja atau tidak bisa diisolasi dengan cepat, kondisi ini bisa menyebabkan ketidakstabilan nyala api, *trip boiler*, hingga unit pembangkit harus berhenti beroperasi. Hal ini berdampak pada penurunan keandalan dalam penyuplai daya listrik [2]. Oleh karena itu, motor PA Fan dimasukkan dalam kategori beban bantu yang penting, sehingga membutuhkan sistem perlindungan yang baik, seperti *Vacuum Circuit Breaker* (VCB) 6,3 kV, agar gangguan bisa terdeteksi dan terisolasi dengan cepat serta tepat, sehingga operasi setiap unit pembangkit tetap berjalan lancar dan risiko kehilangan pasokan listrik bisa diperkecil [3].



Gambar 1. Motor Primary Air Fan

Vacuum Circuit Breaker (VCB)

Vacuum Circuit Breaker (VCB) merupakan pemutus tenaga yang menggunakan media vakum sebagai pemadam busur api pada saat proses pemutusan arus listrik [7]. VCB banyak digunakan pada sistem distribusi tegangan menengah karena memiliki kemampuan pemutusan arus yang baik, kecepatan operasi tinggi, umur mekanis panjang, dan kebutuhan pemeliharaan yang relatif rendah dibandingkan pemutus tenaga dengan media pemadam lainnya [7][8]. VCB bekerja dengan memisahkan kontak tetap dan kontak bergerak di dalam ruang vakum, sehingga busur api yang timbul saat proses pemutusan dapat segera dipadamkan karena minimnya partikel ionisasi di dalam media vakum [8]. VCB dinilai sangat sesuai untuk aplikasi *switching* motor tegangan menengah karena mampu menangani arus operasi normal maupun arus gangguan dengan performa pemutusan yang andal [8]. Pada sistem motor tegangan menengah di lingkungan industri, VCB berfungsi sebagai elemen proteksi utama yang menghubungkan dan memutus suplai daya saat kondisi normal maupun saat terjadi gangguan [7].

Prinsip Kerja dan Mekanisme Operasi VCB

Secara prinsip, VCB bekerja melalui mekanisme pemisahan kontak di dalam *vacuum interrupter* untuk memutus arus listrik pada kondisi operasi normal maupun gangguan [7]. Saat kontak bergerak terpisah dari kontak tetap, busur api terbentuk akibat ionisasi uap logam dari permukaan kontak, namun busur tersebut segera padam pada saat arus melewati titik nol karena media vakum memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi [8]. Mekanisme operasi VCB melibatkan sistem elektromekanis yang terdiri atas *closing coil*, *tripping coil*, *charging motor*, *spring charging mechanism*, dan *auxiliary contact* untuk mendukung proses buka-tutup breaker secara andal [7]. Kinerja mekanisme operasi VCB sangat dipengaruhi oleh kondisi aktuator elektromagnetik, sistem pegas, dan keserempakan gerak kontak, sehingga parameter operasi seperti *closing time* dan *opening time* menjadi indikator penting dalam evaluasi performa *breaker* [10].

Inspeksi dan Pengujian Vacuum Circuit Breaker

Inspeksi dan pengujian VCB merupakan bagian penting dari kegiatan pemeliharaan untuk menilai kondisi aktual

peralatan dan memastikan breaker tetap mampu bekerja sesuai fungsi proteksinya [7]. Inspeksi VCB umumnya dilakukan melalui pemeriksaan visual, pengujian elektris, pengujian mekanis, dan pengujian *vacuum interrupter* untuk mengevaluasi kondisi menyeluruh dari *breaker* [7]. Pemeriksaan visual dilakukan untuk menilai kondisi fisik komponen seperti isolator, mekanisme penggerak, kontak bantu, indikator status, dan indikasi kerusakan visual lainnya [5]. Pengujian elektris meliputi pengukuran resistansi koil, tahanan kontak, dan tahanan isolasi untuk menilai kondisi aktuator, kualitas kontak utama, serta integritas sistem isolasi *breaker* [7]. Pengujian mekanis dilakukan melalui pengukuran waktu operasi buka-tutup dan keserempakan kontak untuk mengevaluasi performa mekanisme operasi *breaker* [10]. Sementara itu, pengujian *vacuum interrupter* dilakukan untuk memastikan tingkat kevakuman pada *vacuum bottle* masih berada dalam batas layak operasi sehingga kemampuan pemadaman busur api tetap terjaga [7]. Gambar 2 menunjukkan dilakukannya inspeksi dan pengujian pada VCB.



Gambar 2. Inspeksi dan Pengujian VCB

Parameter Evaluasi Keandalan VCB

Evaluasi keandalan VCB dilakukan berdasarkan parameter teknis yang mewakili kondisi mekanis, elektris, dan dielektrik breaker [7]. Parameter resistansi koil digunakan untuk menilai kondisi aktuator elektromagnetik seperti *closing coil*, *tripping coil*, dan *charging motor* agar mekanisme operasi breaker dapat bekerja normal [7]. Parameter tahanan kontak digunakan untuk menilai kualitas kontak utama, karena peningkatan tahanan kontak dapat menyebabkan rugi daya dan pemanasan lokal pada titik kontak [7]. Parameter waktu operasi buka-tutup digunakan untuk mengevaluasi kecepatan dan keserempakan operasi breaker, karena deviasi waktu antar fasa dapat memengaruhi performa *switching* dan kestabilan sistem [10]. Parameter tahanan isolasi digunakan untuk menilai kualitas isolasi internal breaker terhadap kebocoran arus dan degradasi dielektrik [7]. Sementara itu, pengujian *vacuum interrupter* digunakan untuk menilai kelayakan *vacuum bottle* sebagai komponen utama pemadam busur api pada VCB [7].

METODE PENELITIAN

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif-analitis dengan pendekatan studi kasus (*case study*) yang berfokus pada evaluasi keandalan *Vacuum Circuit Breaker* (VCB) 6,3 kV pada *feeder* motor *Primary Air Fan* (PA Fan) A Unit 2 di PLTU Palabuhan Ratu. Metode deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi aktual peralatan berdasarkan data hasil inspeksi lapangan, sedangkan pendekatan analitis digunakan untuk mengevaluasi tingkat keandalan VCB berdasarkan parameter teknis hasil pengujian. Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak hanya bertujuan mendeskripsikan kondisi fisik dan operasional VCB, tetapi juga menganalisis kelayakan operasinya berdasarkan data pengujian aktual yang diperoleh dari lapangan. Dengan pendekatan studi kasus, penelitian difokuskan secara spesifik pada satu objek teknis, yaitu VCB 6,3 kV yang berfungsi sebagai pemutus tenaga pada motor PA Fan A Unit 2, sehingga hasil analisis dapat memberikan gambaran kondisi aktual peralatan secara rinci, faktual, dan kontekstual sesuai kondisi operasi di lingkungan PLTU Palabuhan Ratu.

Lokasi dan Objek Penelitian

Pada gambar 3 menunjukan lokasi penelitian yang dilakukan. Penelitian dilaksanakan di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Palabuhan Ratu, Jawa Barat, dengan objek penelitian berupa *Vacuum Circuit Breaker* (VCB) 6,3 kV pada *feeder* motor *Primary Air Fan* A Unit 2. Pemilihan objek penelitian didasarkan pada peran strategis motor PA Fan sebagai salah satu beban bantu kritis dalam sistem *auxiliary* PLTU, khususnya pada proses pembakaran *boiler*.



Gambar 3. PLTU Palabuhan Ratu

Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang disusun secara sistematis untuk memperoleh hasil evaluasi yang terstruktur dan komprehensif. Tahapan-tahapan pada penelitian antara lain:

- Studi literatur untuk pengumpulan referensi ilmiah yang berkaitan dengan PLTU, sistem *auxiliary*, motor *Primary Air Fan*, *Vacuum Circuit Breaker* dan metode inspeksi dan pengujian VCB. Studi literatur dilakukan untuk membangun dasar teoritis penelitian dan menentukan parameter evaluasi yang relevan.
- Identifikasi objek penelitian, yaitu untuk menentukan spesifikasi teknis VCB 6,3 kV yang digunakan pada feeder motor PA Fan A Unit 2, meliputi data *nameplate*, konfigurasi sistem, dan fungsi operasional peralatan.
- Pengumpulan data lapangan melalui observasi langsung dan dokumentasi teknis. Pengambilan data hasil inspeksi aktual VCB yang mencakup pemeriksaan visual, pengujian elektrik, pengujian mekanis, dan pengujian vacuum interrupter.
- Pengolahan dan analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil inspeksi dan pengujian terhadap kriteria kelulusan (*acceptance criteria*) yang mengacu pada manual pabrikan, manual peralatan pengujian, dan SOP pemeliharaan yang berlaku. Penjelasan mengenai kriteria evaluasi setiap parameter disajikan pada Subbab Kriteria Evaluasi Hasil Pengujian.
- Analisis dan penarikan kesimpulan dan penyusunan rekomendasi pemeliharaan berdasarkan hasil evaluasi yang diperoleh apakah kondisi peralatan masih layak atau perlu dilakukan perbaikan.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui observasi lapangan, dokumentasi teknis, dan pengambilan data hasil inspeksi. Observasi lapangan dilakukan secara langsung pada panel VCB 6,3 kV di feeder motor PA Fan A Unit 2 untuk mengamati kondisi fisik, konfigurasi panel, serta kondisi operasional peralatan. Dokumentasi teknis dilakukan dengan mengumpulkan data *nameplate*, data spesifikasi manufaktur, *single line diagram*, dan histori inspeksi atau pemeliharaan peralatan. Selain itu, data utama penelitian diperoleh dari hasil inspeksi teknis VCB yang dilakukan pada saat kegiatan pemeliharaan. Data inspeksi tersebut meliputi hasil pemeriksaan visual, pengukuran resistansi koil, pengukuran tahanan kontak, pengukuran waktu operasi buka–tutup, pengukuran tahanan isolasi, dan pengujian vacuum interrupter. Seluruh data yang diperoleh kemudian dicatat, diklasifikasikan, dan disusun secara sistematis untuk memudahkan proses analisis..

Parameter Pengujian

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas parameter visual, tahanan koil, tahanan kontak, pengukuran waktu, tahanan isolasi dan pengujian pemutus vakum. Parameter visual meliputi pemeriksaan kondisi fisik komponen VCB seperti *counter*, *charging motor*, *closing coil*, *status indicator*, *control board*, *tripping coil*, *auxiliary contact*, *transmission shaft charging spring* dan *charging indicator*. Parameter elektrik meliputi

pengukuran resistansi coil, tahanan kontak, dan tahanan isolasi. Pengukuran resistansi koil digunakan untuk menilai kondisi aktuator elektromagnetik seperti *closing coil*, *tripping coil*, dan *charging motor*. Pengukuran tahanan kontak digunakan untuk mengevaluasi kualitas kontak utama antar fasa, sedangkan pengukuran tahanan isolasi digunakan untuk menilai kualitas sistem isolasi breaker terhadap kebocoran arus dan degradasi dielektrik. Parameter mekanis meliputi pengukuran waktu operasi *closing* dan *opening* untuk menilai kecepatan serta keserempakan operasi *breaker*. Parameter dielektrik meliputi pengujian *vacuum interrupter* untuk menilai kondisi kevakuman *vacuum bottle* sebagai komponen utama pemadam busur api. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi FLUKE 179 digital multimeter untuk pengukuran resistansi koil, OMICRON CIBANO 500 untuk pengukuran tahanan kontak dan waktu operasi, MEGGER MIT525 untuk pengukuran tahanan isolasi, serta *Vacuum Interrupter Tester* MAC-TS4 untuk pengujian kevakuman *vacuum interrupter*.

Kriteria Evaluasi Hasil Pengujian

Hasil inspeksi dan pengujian *Vacuum Circuit Breaker* (VCB) dianalisis dengan membandingkan nilai hasil pengukuran terhadap *acceptance criteria* yang mengacu pada manual book VCB eVB-12, manual peralatan pengujian, serta Standar Operasional Prosedur (SOP) pemeliharaan PLTU Palabuhan Ratu. Setiap parameter memiliki batas kelulusan yang berbeda sesuai karakteristik pengujian sehingga interpretasi kondisi VCB dilakukan berdasarkan acuan teknis yang relevan. Ringkasan kriteria evaluasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar Acuan Evaluasi Parameter Inspeksi dan Pengujian Vacuum Circuit Breaker (VCB)

Parameter	Acceptance Criteria	Standar Acuan
<i>Visual inspection</i>	Tidak terdapat kerusakan fisik	SOP Inspeksi
<i>Coil resistance</i>	Sesuai spesifikasi kumparan	Manual Book VCB eVB-12
<i>Contact resistance</i>	$\leq 100 \mu\Omega$	SOP Pemeliharaan/ASEA
<i>Closing time</i>	$\leq 70 \text{ ms}$	Manual Book VCB eVB-12
<i>Opening time</i>	$\leq 50 \text{ ms}$	Manual Book VCB eVB-12
<i>Insulation resistance</i>	$\geq 1000 \text{ M}\Omega$ (5000 Vdc)	SOP Pengujian Tahanan Isolasi
<i>Vacuum interrupter</i>	Acceptable	Manual MAC-TS4, SOP Inspeksi

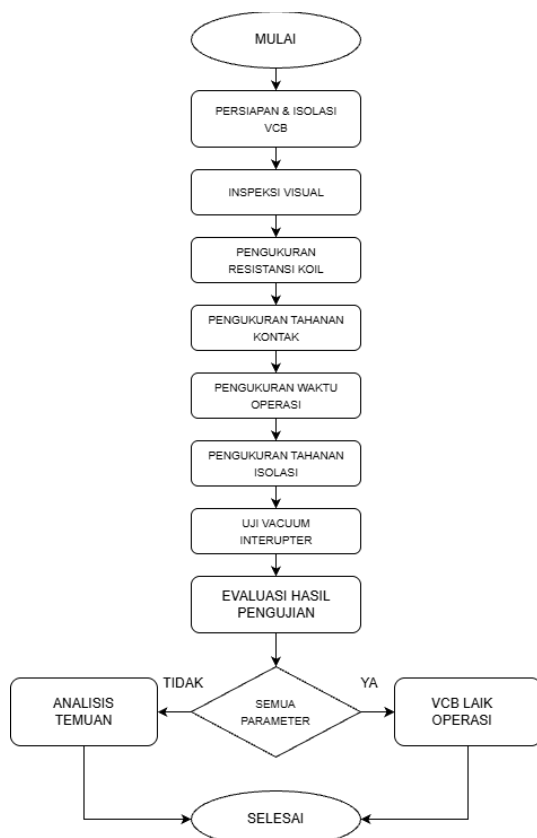
Berdasarkan kriteria pada Tabel 1, setiap parameter dikategorikan memenuhi syarat (*acceptable/serviceable*) apabila hasil pengujian berada dalam batas yang

dipersyaratkan. Sebaliknya, apabila hasil pengujian berada di luar batas tersebut, VCB memerlukan evaluasi lanjutan, tindakan pemeliharaan, atau penggantian komponen sesuai rekomendasi manual pabrikan dan prosedur pemeliharaan yang berlaku.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dilakukan secara deskriptif-analitis dengan membandingkan hasil pengujian aktual terhadap standar kelayakan teknis, spesifikasi manufaktur, dan referensi pengujian VCB. Data hasil inspeksi visual dianalisis secara kualitatif untuk menilai kondisi fisik komponen dan mendeteksi indikasi kerusakan awal. Data hasil pengujian elektris, mekanis, dan dielektrik dianalisis secara kuantitatif dengan membandingkan nilai pengukuran aktual terhadap batas standar yang ditetapkan. Nilai resistansi koil dianalisis untuk menilai kestabilan aktuator elektromagnetik. Nilai tahanan kontak dianalisis untuk menilai kualitas kontak utama dan potensi rugi daya akibat kenaikan resistansi. Nilai waktu operasi dianalisis untuk mengevaluasi kecepatan dan keserempakan operasi *breaker*. Nilai tahanan isolasi dianalisis untuk menilai integritas sistem isolasi. Sementara itu, hasil pengujian *vacuum interrupter* dianalisis untuk menentukan kelayakan *vacuum bottle*. Berdasarkan hasil analisis tersebut, kondisi VCB kemudian dikategorikan ke dalam kondisi layak operasi, perlu pemeliharaan, atau tidak layak operasi.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian pada Gambar 4 menunjukkan tahapan penelitian yang disusun secara sistematis untuk mengevaluasi keandalan *Vacuum Circuit Breaker* (VCB) 6,3 kV pada motor *Primary Air Fan A* Unit 2 di PLTU Palabuhan Ratu. Penelitian diawali dengan tahap persiapan dan isolasi VCB guna memastikan peralatan dalam kondisi aman sebelum dilakukan inspeksi dan pengujian. Setelah itu, dilakukan inspeksi visual untuk menilai kondisi fisik komponen VCB secara awal, sehingga dapat diketahui indikasi kerusakan atau ketidakwajaran yang tampak secara langsung pada peralatan.

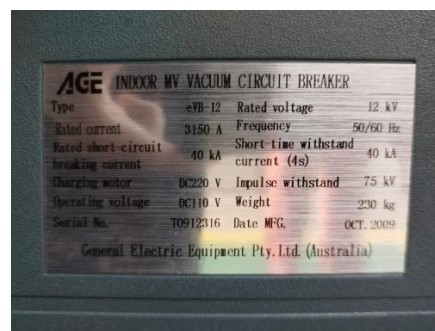
Tahap selanjutnya adalah pelaksanaan pengujian teknis yang meliputi pengukuran resistansi koil, pengukuran tahanan kontak, pengukuran waktu operasi, pengukuran tahanan isolasi, dan uji *vacuum interrupter*. Pengujian tersebut dilakukan untuk mengevaluasi kondisi VCB dari aspek elektris, mekanis, dan dielektrik. Setiap parameter pengujian digunakan untuk menilai performa komponen utama VCB, mulai dari sistem aktuasi, kualitas kontak utama, kecepatan operasi, kualitas isolasi, hingga kondisi kevakuman sebagai media pemadam busur api.

Seluruh hasil pengujian kemudian dievaluasi dan dianalisis berdasarkan standar teknis serta spesifikasi peralatan untuk menentukan tingkat keandalan VCB. Apabila seluruh parameter menunjukkan hasil yang sesuai standar, maka VCB dinyatakan layak operasi. Namun, apabila ditemukan penyimpangan, maka dilakukan analisis temuan untuk menentukan tindak lanjut pemeliharaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi Vacuum Circuit Breaker

Data yang diperoleh berasal dari peralatan proteksi *Vacuum Circuit breaker* yang terdapat di PLTU Palabuhan Ratu. Gambar 5 menunjukan spesifikasi dari VCB yang digunakan.



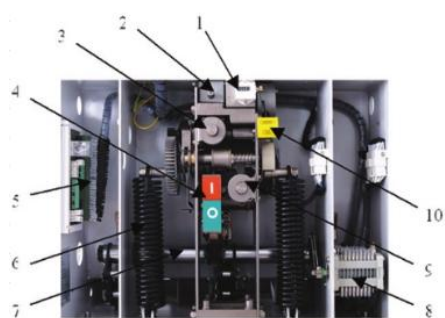
Gambar 5. Informasi Spesifikasi VCB

Tabel 2. Spesifikasi VCB

TECHNICAL DATA	
Type	eVB - 12
Rated Voltage	12 kV
Rated Current	1250 A

<i>Frequency</i>	50 / 60 Hz
<i>Rated Short - Circuit Breaking Current</i>	40 kA
<i>Short - Time Withstand Current</i>	40 kA / s
<i>Charging Motor</i>	DC220V
<i>Operating Voltage</i>	DC110V
<i>Degree of Protection</i>	IP41/IP2X
<i>Weight</i>	175 kg
<i>Delivery Date</i>	2009.10
<i>Standard</i>	GB3906 IEC 298
<i>Manufacture</i>	General Electric Equipment Pty.Ltd. (Australia)

Hasil Inspeksi Visual Vacuum Circuit Breaker



Gambar 6. Komponen Pada VCB

Inspeksi visual dilakukan sebagai tahap awal untuk menilai kondisi fisik dan kesiapan operasional VCB sebelum dilakukan pengujian lanjutan. Gambar 6 menunjukan parameter komponen VCB yang akan dilakukan inspeksi visual. Pemeriksaan visual meliputi sepuluh komponen utama, yaitu *counter*, *charging motor*, *closing coil*, *status indicator*, *control board*, *charging spring*, *transmission shaft*, *auxiliary contacts*, *tripping coil*, dan *charging indicator*. Hasil inspeksi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Inspeksi Visual

No.	Component	Condition	
		Good	Bad
1	Counter	00384	
2	Charging Motor	OK	2
3	Closing Coil	OK	3
4	Status Indicator	OK	4
5	Control Board	OK	5
6	Charging Spring	OK	6
7	Transmission Shaft	OK	7
8	Auxiliary Contacts	OK	8
9	Tripping Coil	OK	9
10	Charging Indicator	OK	10

Berdasarkan hasil inspeksi visual, seluruh komponen VCB berada dalam kondisi baik dan normal tanpa ditemukan indikasi kerusakan pada bagian mekanis maupun

kelistrikan. *Counter* mekanis menunjukkan angka operasi sebesar 00384, yang menandakan VCB telah melakukan 384 siklus operasi sejak mulai dioperasikan. Berdasarkan data *nameplate*, VCB tipe eVB-12 diproduksi oleh *General Electric Equipment Pty. Ltd. (Australia)* dengan tanggal pengiriman Oktober 2009, sehingga hingga pelaksanaan pengujian telah beroperasi selama sekitar 17 tahun. Mengacu pada manual pabrikan, VCB eVB-12 memiliki umur mekanis nominal sebesar 30.000 kali operasi untuk kelas tegangan 12 kV. Dengan demikian, jumlah operasi sebesar 384 kali hanya sekitar 1,28% dari umur mekanis nominal VCB. Rata-rata frekuensi *switching* selama masa operasi juga hanya sekitar 23 operasi per tahun atau sekitar dua operasi per bulan, yang menunjukkan bahwa intensitas operasi VCB relatif rendah. Kondisi tersebut sejalan dengan hasil inspeksi visual yang tidak menunjukkan adanya indikasi keausan mekanis maupun kerusakan pada mekanisme operasi. Komponen *charging motor*, *closing coil*, *tripping coil*, dan *charging spring* juga berada dalam kondisi normal sehingga mekanisme penyimpanan energi dan aktuasi masih berfungsi dengan baik. Berdasarkan hasil inspeksi visual tersebut, dapat disimpulkan bahwa secara fisik VCB masih berada dalam kondisi baik dan belum menunjukkan indikasi awal kerusakan yang berpotensi memengaruhi keandalan operasionalnya. Meskipun demikian, evaluasi kondisi VCB tidak hanya didasarkan pada nilai *counter* mekanis, tetapi juga perlu didukung oleh hasil pengujian karakteristik operasi seperti *closing time*, *opening time*, dan *contact resistance* untuk memastikan kinerja VCB masih memenuhi spesifikasi pabrikan.

Hasil Pengukuran Resistansi Coil

Pengukuran resistansi koil dilakukan untuk mengevaluasi kondisi aktuator elektromagnetik yang berperan dalam proses operasi mekanis VCB, yaitu *closing coil*, *tripping coil*, dan *motor charging*. Pengukuran resistansi koil dilakukan menggunakan alat ukur *Digital Multimeter* FLUKE 179. Hasil pengukuran dilampirkan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Resistansi Coil

Component	Resistance (Ω)
Closing Coil	41,0
Tripping Coil	39,1
Motor Charging	38,7

Hasil pengukuran menunjukkan nilai resistansi *closing coil*, *tripping coil*, dan *charging motor* masing-masing sebesar 41,0 Ω , 39,1 Ω , dan 38,7 Ω . Evaluasi kondisi koil pada penelitian ini tidak didasarkan pada perbandingan antar komponen, mengingat setiap komponen memiliki karakteristik listrik dan nilai resistansi nominal yang berbeda sesuai desain pabrikan. Oleh karena itu, interpretasi hasil dilakukan dengan mengacu pada prosedur inspeksi pemeliharaan yang berlaku, yang menunjukkan

tidak adanya penyimpangan nilai resistansi yang mengindikasikan *short winding*, *open circuit*, maupun kerusakan kumparan. Selain itu, selama pengujian tidak ditemukan gangguan pada fungsi *closing*, *tripping*, maupun mekanisme *charging motor*, sehingga sistem aktuasi elektromagnetik VCB masih beroperasi dengan baik. Berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian fungsional tersebut, kondisi koil dan mekanisme aktuasi dinyatakan masih layak operasi (*serviceable*). Meskipun demikian, penilaian kondisi koil akan lebih menyeluruh apabila dibandingkan dengan nilai resistansi nominal yang tercantum pada manual pabrik atau data inspeksi historis sehingga tren perubahan resistansi dapat dievaluasi secara kuantitatif.

Hasil Pengukuran Tahanan Kontak

Pengukuran tahanan kontak dilakukan untuk mengevaluasi kualitas kontak utama VCB pada masing-masing fasa. Pengukuran tahanan kontak menggunakan alat ukur OMICRON CIBANO 500 dengan nilai arus injeksi 100 A pada suhu ambien 20°C. Hasil pengukuran disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Tahanan Kontak

Fasa	Tahanan Kontak ($\mu\Omega$)	Standar ($\mu\Omega$)	Keterangan
R	39,35	≤ 100	Normal
S	39,55	≤ 100	Normal
T	39,23	≤ 100	Normal

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tahanan kontak fasa R sebesar 39,35 $\mu\Omega$, fasa S sebesar 39,55 $\mu\Omega$, dan fasa T sebesar 39,23 $\mu\Omega$ pada suhu lingkungan 20°C. Seluruh nilai tahanan kontak berada jauh di bawah batas standar maksimum 100 $\mu\Omega$, sehingga menunjukkan bahwa kondisi kontak utama VCB masih sangat baik. Nilai tahanan kontak yang rendah menunjukkan bahwa permukaan kontak utama masih memiliki konduktivitas yang baik dan tidak mengalami oksidasi, keausan berlebih, atau degradasi permukaan yang dapat meningkatkan resistansi kontak. Selain itu, nilai tahanan antar fasa juga relatif seragam dengan deviasi yang sangat kecil, yang menunjukkan bahwa distribusi tekanan kontak pada ketiga fasa masih merata. Kondisi ini sangat penting karena tahanan kontak yang tinggi dapat menimbulkan rugi daya, pemanasan lokal (*hotspot*), dan berpotensi mempercepat degradasi kontak utama. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa kontak utama VCB masih dalam kondisi baik dan layak untuk menghantarkan arus operasi secara andal.

Hasil Pengukuran Waktu Operasi (Timing Test)

Pengujian waktu operasi dilakukan untuk mengevaluasi performa mekanis VCB pada proses penutupan (*closing*)

dan pembukaan (*opening*). Pengukuran ini dilakukan menggunakan alat ukur OMICRON CIBANO 500. Hasil pengukuran disajikan pada tabel 6 dan tabel 7.

Tabel 6. Hasil Pengukuran *Closing Time*

Fasa	<i>Closing Time</i>	Standar (ms)	Keterangan
R	38,80	≤ 70	Normal
S	37,70	≤ 70	Normal
T	38,20	≤ 70	Normal

Tabel 7. Hasil Pengukuran *Opening Time*

Fasa	<i>Opening Time</i>	Standar (ms)	Keterangan
R	20,50	≤ 50	Normal
S	20,20	≤ 50	Normal
T	20,70	≤ 50	Normal

Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu *closing* untuk fasa R sebesar 38,80 ms, fasa S sebesar 37,70 ms, dan fasa T sebesar 38,20 ms. Seluruh nilai tersebut masih berada di bawah batas standar maksimum 70 ms, sehingga menunjukkan bahwa mekanisme penutupan VCB masih bekerja dengan baik.

Pada pengujian waktu *opening*, diperoleh nilai fasa R sebesar 20,50 ms, fasa S sebesar 20,20 ms, dan fasa T sebesar 20,70 ms. Seluruh nilai ini juga masih berada di bawah batas standar maksimum 50 ms, sehingga menunjukkan bahwa mekanisme pembukaan *breaker* masih responsif dan sesuai standar operasional.

Selain kecepatan operasi, hasil pengujian juga menunjukkan bahwa keserempakan operasi antar fasa (*synchronism*) masih berada dalam kondisi sangat baik. Pada proses *closing*, diperoleh waktu operasi sebesar 38,80 ms (fasa R), 37,70 ms (fasa S), dan 38,20 ms (fasa T), sehingga deviasi maksimum antar fasa hanya sebesar 1,10 ms. Sementara itu, pada proses *opening*, waktu operasi masing-masing fasa adalah 20,50 ms, 20,20 ms, dan 20,70 ms dengan deviasi maksimum hanya 0,50 ms. Seluruh nilai *closing time* dan *opening time* juga masih berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan dalam manual book VCB eVB-12, yaitu masing-masing ≤ 70 ms dan ≤ 50 ms. Deviasi waktu antar fasa yang sangat kecil menunjukkan bahwa mekanisme penggerak setiap kutub bekerja secara serempak sehingga tidak menimbulkan ketidakseimbangan transien selama proses *switching*. Kondisi ini mengindikasikan bahwa mekanisme operasi VCB masih memiliki sinkronisasi yang baik dan mampu mendukung proses pembukaan maupun penutupan kontak secara andal.

Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem isolasi VCB dalam menahan kebocoran arus serta mendeteksi indikasi degradasi

dielektrik. Pengujian menggunakan *Insulation Resistance Tester* MEGGER MIT525 dengan tegangan uji sebesar 5000 Vdc, mengacu pada standar minimum tahanan isolasi sebesar 1000 MΩ. Sebelum pengujian dilaksanakan, VCB dipastikan berada dalam kondisi tidak bertegangan (*de-energized*), permukaan isolator berada dalam kondisi bersih dan kering, serta tidak terdapat indikasi kontaminasi yang dapat memengaruhi hasil pengukuran. Nilai tahanan isolasi dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti suhu, kelembapan, tingkat kebersihan permukaan isolator, dan durasi pembacaan pengukuran. Oleh karena itu, interpretasi hasil pengujian dilakukan dengan mempertimbangkan bahwa pengukuran dilaksanakan pada kondisi lingkungan yang layak untuk pengujian peralatan tegangan menengah. Hasil pengukuran tahanan isolasi disajikan pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi

Fasa	Tahanan Isolasi (GΩ)	Standar	Keterangan
R – GND	413,00	≥ 1000 MΩ (1 GΩ)	Normal
S – GND	442,00	≥ 1000 MΩ (1 GΩ)	Normal
T – GND	503,00	≥ 1000 MΩ (1 GΩ)	Normal
R – S	607,00	≥ 1000 MΩ (1 GΩ)	Normal
R – T	758,00	≥ 1000 MΩ (1 GΩ)	Normal
S – T	726,00	≥ 1000 MΩ (1 GΩ)	Normal

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tahanan isolasi fasa ke *ground* masing-masing sebesar 413 GΩ (R-GND), 442 GΩ (S-GND), dan 503 GΩ (T-GND), sedangkan tahanan isolasi antar fasa sebesar 607 GΩ (R-S), 758 GΩ (R-T), dan 726 GΩ (S-T).

Seluruh nilai pengukuran berada jauh di atas batas minimum standar, sehingga menunjukkan bahwa sistem isolasi VCB masih berada dalam kondisi sangat baik. Nilai tahanan isolasi yang sangat tinggi menunjukkan bahwa material isolasi internal masih memiliki kemampuan dielektrik yang baik dan tidak menunjukkan indikasi kelembapan, kontaminasi, retakan mikro, maupun degradasi termal. Kondisi ini menandakan bahwa sistem isolasi VCB masih mampu menahan tegangan operasi secara aman tanpa risiko kebocoran arus yang signifikan. Berdasarkan hasil tersebut, keselarasan dielektrik VCB

dapat dinyatakan sangat baik dan masih layak untuk mendukung operasi sistem tegangan menengah secara andal.

Hasil Pengujian Vacuum Interrupter

Pengujian *vacuum interrupter* dilakukan untuk mengevaluasi kondisi kevakuman sebagai komponen utama pemadam busur api pada VCB. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fasa, yaitu R, S, dan T, berada dalam kondisi *acceptable* atau layak operasi. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat ukur *Vacuum Interrupter Tester* MAC-TS4, tegangan uji yang digunakan adalah sebesar 12 kV. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengujian Vacuum Interrupter

Fasa	Acceptable	Defective
R	OK	-
S	OK	-
T	OK	-

Hasil pengujian *vacuum interrupter* dilakukan menggunakan MAC Test Set (MAC-TS4) produksi *Vacuum Interrupters, Inc.* untuk mengevaluasi kondisi kevakuman berdasarkan pengukuran tekanan internal (*internal pressure*) *vacuum interrupter* menggunakan prinsip Penning Discharge. Alat ini memiliki rentang pengukuran 1×10^{-5} Pa hingga 1×10^{-1} Pa dengan akurasi $\pm 10\%$. Pada penelitian ini pengujian dilakukan dengan tegangan uji 12 kV sesuai konfigurasi pengujian yang diterapkan. Hasil pengujian menunjukkan seluruh fasa memperoleh status *acceptable*, yang mengindikasikan bahwa tekanan internal *vacuum interrupter* masih berada pada rentang yang memenuhi kriteria kelulusan alat sehingga tidak terdapat indikasi penurunan kevakuman yang dapat memengaruhi kemampuan isolasi maupun pemadaman busur api. Berdasarkan kriteria interpretasi MAC-TS4, *vacuum interrupter* dengan tekanan internal yang masih berada di bawah batas penggantian (1×10^{-2} Pa) dinyatakan masih layak untuk dioperasikan. Oleh karena itu, kemampuan pemadaman busur api saat proses *switching* masih dapat bekerja secara optimal sehingga fungsi utama VCB sebagai pemutus tenaga tetap berada dalam kondisi andal dan aman untuk dioperasikan.

KESIMPULAN

Berdasarkan seluruh hasil inspeksi dan pengujian, VCB 6,3 kV pada feeder motor *Primary Air Fan A* Unit 2 menunjukkan kondisi yang baik secara fisik, elektris, mekanis, dan dielektrik. Inspeksi visual menunjukkan tidak adanya indikasi kerusakan fisik. Pengukuran resistansi koil menunjukkan kondisi aktuator elektromagnetik normal. Pengukuran tahanan kontak menunjukkan kualitas kontak utama masih sangat baik. Pengujian *timing* menunjukkan operasi buka-tutup *breaker*

masih cepat dan serempak. Pengukuran tahanan isolasi menunjukkan integritas dielektrik sangat baik, dan pengujian *vacuum interrupter* menunjukkan seluruh fasa masih dalam kondisi *acceptable*.

Bedasarkan hasil inspeksi visual dan pengujian diagnostik yang dilakukan, *Vacuum Circuit Breaker* (VCB) dapat dikategorikan berada dalam kondisi layak operasi (*serviceable*) berdasarkan pendekatan *condition-based assessment*. Seluruh parameter pengujian, meliputi kondisi mekanis, tahanan isolasi, tahanan kontak, karakteristik operasi, serta kondisi *vacuum interrupter*, masih memenuhi kriteria yang dipersyaratkan sehingga tidak ditemukan indikasi degradasi kritis maupun potensi kegagalan dini pada saat inspeksi. Dengan demikian, VCB dinyatakan masih memenuhi persyaratan teknis untuk digunakan sebagai sistem proteksi motor PA Fan A Unit 2 di PLTU Palabuhan Ratu. Namun demikian, hasil penelitian ini merepresentasikan kondisi VCB pada saat pengujian dan belum dapat digunakan sebagai dasar untuk menyimpulkan tingkat keandalan jangka panjang. Evaluasi keandalan yang lebih komprehensif memerlukan dukungan data historis, seperti frekuensi operasi, riwayat gangguan, interval pemeliharaan, serta indikator keandalan, misalnya *Mean Time Between Failures* (MTBF) dan *availability*, sehingga dapat menggambarkan performa VCB selama siklus operasinya.

REFERENSI

- [1] W. Anshori, N. busaeri -, and F. nugraha -, "Studi Inspeksi Dan Setting Proteksi Instantaneous Over Current Relay Pada Motor Primary Air Fan a Unit 2 Pltu Pelabuhan Ratu," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 14, no. 1, 2026, doi: 10.23960/jitet.v14i1.8331.
- [2] A. Sumiyati and I. Irwanto, "Analisis Sistem Proteksi Primary Air Fan Pada Boiler Unit 5-7 Pt. Pln Indonesia Power Ubp Suralaya," *Teknika*, vol. 10, no. 1, pp. 36–43, 2025, doi: 10.52561/teknika.v10i1.428.
- [3] R. Ramandani and B. Dwi Cahyono, "Proteksi Motor Berbasis Relay Ge Multilin pada Primary Air Fan di PT Indonesia Power," *INSOLOGI J. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 5, pp. 512–519, 2022, doi: 10.55123/insologi.v1i5.861.
- [4] S. S. Imah, P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. M. Surakarta, "Evaluasi Sistem Proteksi Motor Primary Air Fan Di Pltu Tanjung Jati B Unit 3," 2021.
- [5] Y. Harpono, H. Abdillah, and A. Baihaqi, "Technical Maintenance of Pole Mounted Circuit Breaker (PMCB) on the Tanjung Tembaga Feeder at PT PLN (Persero) ULP Probolinggo Distribution Network," *J. Inform. dan Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 23–28, 2025, doi: 10.51747/intro.v4i1.413.
- [6] A. H. Rachmanto and C. F. Nugraha, "Analysis of Mean Time Between Failures and Reliability of a 150 kV Circuit Breaker at Bantul Substation Using the Maximum Likelihood Estimation Method," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 24, no. 3, pp. 287–297, 2024, doi: 10.23917/emit.v24i3.5908.
- [7] F. B. Adityara, M. Dhofir, and R. N. Hasanah, "ANALISIS KINERJA VACUUM CIRCUIT BREAKER PADA SISI 13,8 kV PT PAITON OPERATION & MAINTENANCE INDONESIA (POMI) UNIT 3," *J. Mhs. Tek. Elektro Univ. Brawijaya*, 2024, [Online]. Available: <https://elektro.studentjournal.ub.ac.id/index.php/tub/article/view/2136>
- [8] K. Reddyvanna, A. Lawall, D. Gentsch, and M. Leusenkamp, "Suitability of Vacuum Circuit Breakers for Generator Switching Applications according to Dual Logo standard IEC/IEEE 62271-37-013," *Proc. 2019 5th Int. Conf. Electr. Power Equip. - Switch. Technol. Front. Switch. Technol. a Futur. Sustain. Power Syst. ICEPE-ST 2019*, pp. 130–135, 2019, doi: 10.1109/ICEPE-ST.2019.8928761.
- [9] E. A. L. Vianna, A. R. Abaide, L. N. Canha, and V. Miranda, "Substations SF6 circuit breakers: Reliability evaluation based on equipment condition," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 142, pp. 36–46, 2017, doi: 10.1016/j.epsr.2016.08.018.
- [10] C. C. Hsu, G. Frusque, M. Muratovic, C. M. Franck, and O. Fink, "Vacuum Circuit Breaker Closing Time Key Moments Detection via Vibration Monitoring: A Run-to-Failure Study," *Conf. Proc. - IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern.*, vol. 2022-Octob, pp. 254–260, 2022, doi: 10.1109/SMC53654.2022.9945354.