

ANALISIS PENYEBAB KEGAGALAN INVERTER DC-AC SISTEM BACK UP DAYA.pdf

by Ft` Unisma

Submission date: 03-Aug-2024 07:16PM (UTC+0700)

Submission ID: 2426640160

File name: ANALISIS_PENYEBAB_KEGAGALAN_INVERTER_DC-AC_SISTEM_BACK_UP_DAYA.pdf (474.26K)

Word count: 4971

Character count: 32311

Analisis Penyebab Kegagalan Inverter DC-AC Sistem Back Up Daya Di Gardu Induk Cibatu

Roni Kurniawan¹, Setyo Supratno^{2*}, Seta Samsiana³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam 45 Bekasi, Indonesia

Ronikurniawan@gmail.com¹, setyo@unismabekasi.ac.id^{2*}, setasamsiana@unismabekasi.ac.id³

*Corresponding author: setyo@unismabekasi.ac.id

Article Info

Article history:

Submitted March 2, 2023

Accepted April 10, 2023

Published Mei 1, 2023

Keywords:

Inverter DC-AC,
 sistem back up daya,
 Root Cause Analysis,
 kegagalan proteksi

*DC-AC inverter,
 back up power system,
 Root Cause Analysis,
 protection failure*

ABSTRACT

Studi ini berfokus pada analisis penyebab kegagalan inverter DC-AC dalam sistem backup daya di Gardu Induk Cibatu. Inverter yang diteliti adalah modul yang dilengkapi dengan sistem proteksi terhadap kelebihan beban (overload), tegangan berlebih (overvoltage), hubungan pendek (short circuit), dan suhu berlebih (overtemperature). Meskipun terdapat berbagai sistem proteksi, insiden kebakaran mengindikasikan kegagalan sistem tersebut. Metode yang digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah adalah Root Cause Analysis (RCA), yang mencakup tahapan seperti inspeksi visual, pengumpulan data operasional dan lingkungan, analisis sistem proteksi, serta wawancara dengan teknisi dan staf pemeliharaan. Data yang diperoleh dianalisis untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berkontribusi terhadap kegagalan inverter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas material yang rendah adalah penyebab utama kegagalan inverter DC-AC. Selain itu, usia komponen yang tua, terutama mengingat Gardu Induk Cibatu telah beroperasi sejak tahun 1996, dan kerusakan fisik pada modul inverter, juga turut berkontribusi terhadap insiden kebakaran. Rekomendasi dari penelitian ini mencakup penggantian komponen dengan bahan berkualitas tinggi, peningkatan prosedur pemeliharaan, dan penerapan monitoring yang lebih ketat terhadap kondisi operasional untuk mencegah kegagalan serupa di masa mendatang.

This study focuses on analyzing the causes of failure in DC-AC inverters used in the backup power system at the Cibatu Substation. The inverters studied are modules equipped with protection systems against overload, overvoltage, short circuits, and overtemperature. Despite these protection systems, a fire incident indicated a system failure. The method used to identify the root causes of the problem is Root Cause Analysis (RCA), which involves several stages, including visual inspection, operational and environmental data collection, protection system analysis, and interviews with technicians and maintenance staff. The collected data were analyzed to identify factors contributing to the inverter failure. The study results indicate that low-quality materials are the primary cause of the DC-AC inverter failures. Additionally, the aging components, especially given that the Cibatu Substation has been operating since 1996, and physical damage to the inverter modules also contributed to the fire incident. The recommendations from this study include replacing components with high-quality materials, enhancing maintenance procedures, and implementing stricter monitoring of operational conditions to prevent similar failures in the future.



Corresponding Author:

Setyo Supratno

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam 45 Bekasi, Indonesia

Email: * setyo@unismabekasi.ac.id

1. PENDAHULUAN

Gardu induk merupakan komponen vital dalam sistem distribusi listrik, [1] memastikan kontinuitas dan keandalan pasokan listrik ke konsumen, [2]. Di gardu induk Cibatu, sistem back up daya menggunakan inverter DC-AC untuk mengubah arus searah (DC) dari sumber daya cadangan menjadi arus bolak-balik (AC) yang diperlukan untuk operasional peralatan kritis saat terjadi gangguan pada sumber utama. Inverter ini dilengkapi dengan sistem proteksi canggih yang dirancang untuk menangani berbagai kondisi abnormal seperti kelebihan beban (overload), [3] tegangan berlebih (overvoltage), hubungan pendek (short circuit), dan suhu berlebih (overtemperature). [4].

Sistem back up yang dibebankan pada inverter DC-AC mencakup beberapa komponen penting. *Pertama*, relay proteksi yang berfungsi untuk pembacaan arus gangguan dan tegangan gangguan yang terjadi di tower transmisi. *Kedua*, panel kontrol yang mengoperasikan peralatan pada gardu induk seperti Pemutus Tenaga (PMT), Pemisah Busbar (PMS), Pemisah Line, dan Pemisah Tanah/Grounding. *Ketiga*, Human Machine Interface (HMI) yang menampilkan single line diagram (150 kV, 20 kV) dari Switchyard serta menampilkan annunciator berupa indikasi gangguan dan alarm dari panel kontrol. Keseluruhan sistem ini bergantung pada inverter untuk memastikan operasional yang aman dan stabil dalam situasi darurat. [5].

Namun, meskipun dilengkapi dengan berbagai mekanisme proteksi, insiden kebakaran yang terjadi baru-baru ini pada inverter di gardu induk Cibatu menimbulkan kekhawatiran serius. Kebakaran ini tidak hanya mengakibatkan kerusakan perangkat keras yang signifikan tetapi juga mengganggu kestabilan pasokan listrik, dengan potensi dampak luas terhadap pelayanan publik dan keselamatan. Kegagalan ini menyoroti perlunya analisis mendalam untuk mengidentifikasi akar penyebab dari kerusakan tersebut. Penting untuk memahami apakah kegagalan ini disebabkan oleh kekurangan dalam desain sistem proteksi, kesalahan manusia, kondisi operasional yang tidak terduga, atau kombinasi dari faktor-faktor ini. Mengidentifikasi dan mengatasi akar penyebab kegagalan adalah langkah penting untuk mencegah insiden serupa di masa depan, meningkatkan keandalan sistem, dan memastikan keselamatan operasional di gardu induk.

Pola kegagalan umum pada penyearah DC-AC sering dikaitkan dengan stress suhu yang mempengaruhi kapasitor dan semikonduktor daya, yang dapat menyebabkan kegagalan dan pemadaman sistem, [6] Selain itu, pemodelan kegagalan dependen, seperti Common Cause Failures (CCF), penting untuk memahami akar penyebab kegagalan dalam sistem tenaga, menekankan perlunya pemodelan berbasis fisika untuk secara eksplisit memasukkan mekanisme kegagalan dan dependensi antar komponen, [7]. Menerapkan analisis akar penyebab *Root Cause Analysis* (RCA) [8]-[9] dalam masalah mekanis dapat membantu menentukan alasan kegagalan peralatan kritis dengan mengkarakterisasi elemen yang gagal, melakukan analisis material, dan membandingkannya dengan penelitian sebelumnya untuk mengidentifikasi kemungkinan akar penyebab, [10]. Selanjutnya, perawatan kegagalan penyebab umum dalam studi reliabilitas melibatkan penanganan komponen yang gagal, pemeliharaan preventif, dan mode kegagalan terkait, menyoroti pentingnya mempertimbangkan asimetri dalam kelompok komponen. [11]

Studi literatur yang dilakukan penulis mencakup beberapa penelitian sebelumnya yang relevan. Penelitian Luh Nyoman Widyastuti mengkaji gangguan sistem transmisi listrik PT. PLN (Persero) di Sumatera yang menyebabkan kerugian energi sebesar 10.682,24 MWh. Menggunakan metode RCA, [12]-[13] penelitian ini mengidentifikasi 21 akar penyebab gangguan, dengan lima penyebab dominan: arus gangguan melebihi kapasitas alat, korosi pada konduktor, kurangnya kompetensi pelaksana pemasangan alat, kurangnya koordinasi dengan masyarakat sekitar, dan tindak lanjut inspeksi yang terlambat. Rekomendasi yang diajukan mencakup peningkatan jumlah jaga lapangan, penggantian konduktor dengan tipe ACCC, peningkatan koordinasi dengan masyarakat, respon cepat terhadap temuan inspeksi, dan peningkatan kompetensi pelaksana. Penelitian ini juga mengungkap empat kategori kejadian dasar yaitu gangguan peralatan, material, manusia, dan alam, serta menyarankan penelitian lebih lanjut pada gangguan transformator.

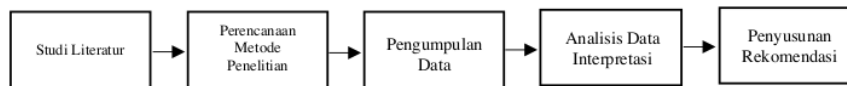
Penelitian [13] Andikha Kuswardana, Novi Eka Mayangsari, dan Haidar Natsir Amrullah menganalisis kecelakaan kerja di PT. PAL Indonesia dengan metode RCA yang didukung oleh analisis 5 Whys dan fishbone diagram. Dari 77 kecelakaan yang terjadi antara tahun 2014 hingga 2016, penelitian ini menyoroti kecelakaan tertimpa tangga besi sebagai kasus utama. Penyebab kecelakaan diidentifikasi dalam dua kategori utama: unsafe actions dan unsafe conditions. Rekomendasi yang diajukan termasuk pelatihan K3, peningkatan penerangan dan kebersihan, penggunaan APD yang konsisten, penerapan konsep 5R, dan penandaan bahaya. Penelitian ini menyimpulkan bahwa banyak kecelakaan disebabkan oleh tindakan dan kondisi tidak aman, yang dapat diatasi dengan pelatihan, penerapan SOP yang ketat, dan perbaikan lingkungan kerja untuk mengurangi frekuensi dan keparahan kecelakaan di PT. PAL Indonesia.

Mengacu pada kedua penelitian tersebut, penulis bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis akar penyebab kegagalan inverter dalam sistem back up daya di Gardu Induk Cibatu menggunakan metode RCA, fishbone diagram, dan 5M analysis untuk mengembangkan tindakan korektif dan pencegahan yang efektif. Penelitian ini menggunakan metode RCA untuk mengeksplorasi dan memahami faktor-faktor yang berkontribusi terhadap kegagalan pada inverter DC-AC tersebut. Dengan RCA, penelitian ini akan melalui proses sistematis mulai dari inspeksi visual, pengumpulan data operasional dan pengukuran, analisis sistem proteksi, hingga

wawancara dengan teknisi serta staf pemeliharaan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi praktis untuk perbaikan dan peningkatan sistem, serta langkah-langkah pencegahan yang efektif.

2. METODE PENELITIAN

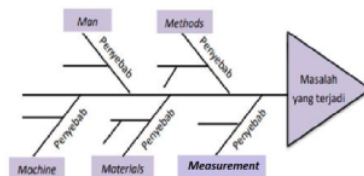
Penelitian ini menggunakan metode RCA, fishbone diagram, dan 5M Analysis untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan inverter dalam sistem back up daya di Gardu Induk Cibatu. Metode ini melibatkan pengumpulan data, inspeksi visual, analisis dokumentasi, serta wawancara dengan personel terkait untuk memahami faktor-faktor yang berkontribusi terhadap kegagalan sistem. Analisis ini bertujuan untuk mengembangkan tindakan korektif yang efektif dan meningkatkan keandalan sistem.



Gambar 1 Tahapan Metode Penelitian

Gambar 1, merupakan tahapan metode penelitian dengan penjelasan sebagai berikut:

- (1) *Studi literatur*, RCA adalah metode sistematis untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah. RCA digunakan dalam penelitian gangguan sistem transmisi listrik oleh Widyastuti (2023) dan kecelakaan kerja di PT. PAL Indonesia oleh Kuswardana et al. (2023). Fishbone diagram dan analisis 5 Whys adalah alat yang digunakan dalam RCA untuk mengkategorikan penyebab masalah berdasarkan manusia, mesin, metode, bahan, dan lingkungan. Widyastuti menggunakan fishbone diagram untuk mengidentifikasi penyebab dominan gangguan listrik, sementara Kuswardana et al. menggunakan 5 Whys untuk menemukan akar penyebab kecelakaan kerja. Metode 5M Analysis (*Man, Machine, Method, Material, Measurement*) juga membantu dalam mengidentifikasi faktor penyebab masalah. Studi ini menerapkan RCA, fishbone diagram, dan 5M Analysis untuk menganalisis kegagalan inverter dalam sistem back up daya di Gardu Induk Cibatu, dengan tujuan mengembangkan tindakan korektif dan pencegahan yang efektif.
- (2) Perencanaan Metode Penelitian Penelitian ini melibatkan proses RCA untuk mengidentifikasi akar penyebab kegagalan inverter melalui langkah-langkah yang signifikan untuk mengungkap penyebab utama kegagalan inverter DC-AC sistem back up daya di gardu induk Cibatu.
- (3) Pengumpulan data yang meliputi: (a) Inspeksi visual berisi pemeriksaan fisik terhadap inverter dan komponen terkait untuk mengidentifikasi erusakan fisik, tanda-tanda keausan, atau kondisi operasional yang tidak biasa. (b) Analisis dokumentasi dengan tahapan pemeriksaan laporan pemeliharaan, catatan pengukuran operasional, dan dokumentasi teknis terkait untuk mendapatkan wawasan tentang kondisi operasional sebelumnya, masalah yang pernah terjadi, dan tindakan perbaikan yang telah dilakukan. (c) Wawancara dengan personel terkait yakni mengumpulkan informasi dari teknisi, operator, dan personel pemeliharaan mengenai pengalaman mereka dengan inverter, observasi mereka terhadap insiden kebakaran, dan potensi masalah lainnya.
- (4) Analisis data interpretasi yakni, mencari penyebab utama akar permasalahan dengan menggunakan diagram fishbone atau analisis 5M. Fishbone diagram, juga dikenal sebagai diagram Ishikawa, membantu mengidentifikasi berbagai faktor atau penyebab masalah.



Gambar 1, Diagram Fishbone Pemecahan Masalah

Gambar 2, merupakan analisis 5M mengidentifikasi lima faktor utama (*Man, Machine, Method, Material, Measurement*) yang dapat menyebabkan kegagalan dalam sistem. Diagram fishbone atau analisis 5M digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab kegagalan inverter secara sistematis. Gambar visualisasi diagram fishbone atau analisis 5M menjelaskan metode yang telah diterapkan.

- (5) Penyusunan rekomendasi, terkait pemeliharaan dari pola analisis 5M yang menghasilkan rekomendasi untuk mengurangi kegagalan di masa yang akan datang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gambaran Inverter di Gardu Induk Cibatu

Pada Gardu Induk, sumber DC merupakan alat bantu utama yang sangat diperlukan sebagai supply arus searah (*direct current*) yang dipasok oleh inverter atau charger tiga fasa maupun satu fasa yang dihubungkan dengan satu atau dua set baterai yang digunakan untuk peralatan-peralatan kontrol, proteksi, dan peralatan lainnya yang menggunakan sumber arus DC, baik untuk Gardu Induk dalam keadaan normal maupun dalam keadaan darurat (*emergency*). Terdapat tiga sistem instalasi DC yang digunakan, yaitu sistem DC 250 Volt, 110 Volt, dan 48 Volt, yang masing-masing memiliki peran khusus untuk memastikan operasional gardu induk berjalan dengan optimal. *Pertama*, Instalasi sistem DC 250 Volt digunakan untuk menyalurkan suplai listrik dari inverter atau charger tiga fasa yang terhubung dengan baterai. Sistem ini mengoperasikan berbagai peralatan kritis di gardu induk, seperti motor yang menggerakkan komponen mekanis, motor PMT dan PMS yang mengoperasikan pemutus tenaga utama dan siaga, serta relay proteksi yang menjaga sistem perlindungan bekerja dengan baik. Selain itu, instrumen yang mendukung fungsi pengukuran dan monitoring serta tripping dan closing coil yang memfasilitasi operasi pembukaan dan penutupan sirkuit listrik juga mendapatkan suplai dari sistem ini. *Kedua*, Sistem instalasi DC 110 Volt dirancang untuk menyalurkan suplai dari inverter atau charger yang terhubung dengan baterai dan digunakan untuk mengoperasikan peralatan yang memerlukan daya sedang. Motor, motor PMT dan PMS, serta relay proteksi dan meter digital adalah beberapa peralatan yang menggunakan suplai dari sistem ini. Sistem ini juga memberikan daya untuk sinyal, alarm, dan indikasi serta tripping dan closing coil untuk operasi sirkuit yang lebih ringan. *Ketiga*, sistem instalasi DC 48 Volt dirancang untuk aplikasi yang memerlukan daya lebih rendah namun sangat vital, seperti SCADA/RTU yang menyediakan daya untuk sistem kendali dan akuisisi data, serta teleproteksi unit yang mengoperasikan unit proteksi jarak jauh. Selain itu, sistem ini mendukung perangkat komunikasi seperti PLC, continuous load yang memerlukan suplai daya konstan, dan perangkat yang mengeluarkan alarm, sinyal, serta indikasi status operasional.

3.2 Komponen utama peralatan sistem DC meliputi

3.2.1 Rectifier/Charger

Charger atau bisa juga disebut dengan rectifier adalah suatu alat yang digunakan untuk mengubah arus AC menjadi arus DC. Charger juga digunakan untuk memberikan *charger current* pada baterai. Charger sebagai pengisi baterai selalu di hubungkan ke baterai agar kapasitasnya tetap terjaga penuh sehingga keandalan sumber DC pada Gardu Induk terjamin.



Gambar 3.1 Rectifier

Gambar 3.1 merupakan rectifier yang digunakan secara berkelanjutan beban, dan menjaga baterai dalam kondisi penuh, sehingga memastikan keandalan sistem cadangan daya. Umumnya Rectifier yang terpasang di Gardu Induk berfungsi untuk mengisi muatan baterai, memasok daya secara kontinu ke beban dan menjaga baterai agar tetap dalam kondisi penuh.

3.2.2 Inverter

Alat yang berfungsi untuk mengubah menjadi arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) Selain itu, alat ini juga berfungsi untuk memberikan arus pengisian pada baterai, sehingga memastikan bahwa baterai selalu siap digunakan sebagai sumber daya cadangan.

3.2.3 Baterai

Alat penyimpan energi listrik dalam bentuk arus searah. Fungsinya sebagai sumber cadangan sangat penting untuk menjaga kontinuitas suplai listrik ke berbagai beban di gardu induk, terutama saat terjadi gangguan pada suplai listrik utama. Baterai



Gambar 3.2 Baterai Back Up Daya

Gambar 3.2 merupakan sistem backup daya yang digunakan sebagai sumber cadangan energi listrik. Konfigurasi baterai dalam sistem ini dirangkai secara paralel atau seri, tergantung pada kebutuhan tegangan dan kapasitas yang diperlukan untuk mendukung operasi sistem. Masing-masing konfigurasi memiliki karakteristik dan fungsi yang berbeda.

3.2.4 Konduktor

Komponen yang berfungsi untuk menghantarkan energi listrik arus searah dari inverter/charger atau baterai ke berbagai peralatan di gardu induk. Kualitas konduktor yang baik memastikan bahwa aliran listrik dapat terdistribusi dengan efisien dan minim kehilangan energi.



Gambar 3.2 Kabel Penghubung

Gambar 3.2 merupakan kabel yang menyediakan sumber daya utama untuk sistem, menghubungkan unit kontrol dengan sumber listrik eksternal. Biasanya terbuat dari bahan tembaga berkualitas tinggi untuk memastikan konduktivitas optimal dan meminimalkan kehilangan energi.

3.2.5 Terminal-terminal

Merupakan titik percabangan dalam sistem distribusi listrik DC di mana energi listrik akan dikirim atau dibagi ke berbagai beban. Terminal-terminal ini memungkinkan penyaluran listrik secara teratur dan terarah ke berbagai komponen yang memerlukan daya, sehingga mendukung operasional yang optimal dari seluruh sistem di gardu induk.

3.3 Identifikasi Masalah

Penelitian ini mengidentifikasi dua isu utama yang mempengaruhi kinerja sistem, yakni penurunan tegangan dan kerusakan pada modul inverter. Inverter memainkan peranan penting dalam sistem penyaluran DC di Gardu Induk Cibatu. Inverter ini menyediakan tegangan DC yang diperlukan untuk berbagai perangkat dan sistem operasional, dengan spesifikasi sebagai berikut:

- (1) DC 48V, tegangan ini digunakan untuk menyuplai berbagai perangkat kritis, termasuk SCADA/RTU, sistem teleproteksi, unit komunikasi (PLC), unit continuous load, serta sistem alarm, sinyal, dan indikasi.
- (2) DC 110V, tegangan ini digunakan untuk menyuplai motor-motor (PMT dan PMS), relay proteksi, meter digital, serta sistem sinyal, alarm, indikasi tripping, dan closing coil.

Permasalahan utama yang teridentifikasi adalah penurunan tegangan pada inverter DC 48V unit 2. Penurunan tegangan ini menyebabkan ketidakstabilan dalam penyediaan daya untuk perangkat yang tergantung pada tegangan ini. Investigasi lebih lanjut mengungkapkan bahwa kerusakan ini disebabkan oleh salah satu komponen modul inverter yang terbakar akibat tegangan lebih. Kejadian ini tidak hanya mengakibatkan penurunan tegangan tetapi juga menyebabkan kerusakan yang lebih parah pada modul inverter, yang berakibat pada pembakaran unit tersebut. Penurunan tegangan dan kerusakan modul inverter ini menunjukkan perlunya tindakan perbaikan dan pemeliharaan lebih lanjut untuk memastikan keandalan dan stabilitas sistem penyaluran daya di Gardu Induk Cibatu. Langkah-langkah perbaikan yang tepat harus diambil untuk mengatasi masalah ini dan mencegah terulangnya kerusakan serupa di masa depan.

3.4 Analisis Data

Inverter memiliki komponen utama dalam sistem kinerjanya yaitu trafo yang berfungsi sebagai penurun tegangan AC 220/380 V menjadi 110/48 V. Seiring bertambahnya waktu, umur dari setiap peralatan yang ada pada Gardu Induk bertambah pula, sehingga permasalahan pada inverter DC 48V unit 2 yang mengalami kehilangan tegangan atau tegangan di bawah normal karena trafo step-down yang tidak bekerja sesuai fungsinya. Untuk menganalisis masalah ini, dilakukan beberapa langkah analisis data sebagai berikut:

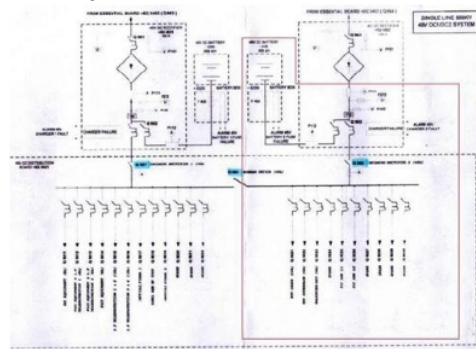
- (1) Inspeksi Visual dilakukan terhadap inverter dan komponen-komponen terkaitnya untuk mengidentifikasi adanya kerusakan fisik, tanda-tanda keausan, atau kondisi operasional yang tidak biasa. Langkah ini penting untuk mendeteksi masalah yang mungkin tidak terlihat secara langsung namun berdampak pada kinerja inverter.



Gambar 3.3 Hasil Inspeksi Visual Modul Inverter

Gambar 3.3 hasil inspeksi visual menunjukkan warna hitam di pojok kanan atas modul inverter, yang disebabkan oleh terbakar salah satu komponen. Akibatnya, modul inverter DC 48V unit 2 mengalami pemanasan berlebihan dan tidak dapat menghasilkan tegangan.

- (2) Analisis dokumentasi terkait operasi, pemeliharaan, dan riwayat perbaikan inverter dianalisis untuk memberikan wawasan mengenai kondisi operasional sebelumnya dan masalah yang pernah terjadi. Analisis ini membantu dalam memahami pola kerusakan dan menentukan apakah masalah saat ini berkaitan dengan isu-isu sebelumnya.



Gambar 3.4 Pengoperasian Manuver Paralel inverter

Gambar 3.4 merupakan wiring diagram untuk mengatur inverter DC 48V unit 1 dan unit 2 dalam konfigurasi paralel, langkah-langkah berikut harus diikuti, pertama dengan memasukkan MCB Q963 (busbar switch) dari posisi 0 ke posisi 1. Tindakan ini menghubungkan inverter DC 48V unit 1 dengan inverter DC 48V unit 2, sehingga keduanya dapat beroperasi dalam konfigurasi paralel. *Kedua*, keluarkan switch Q962. Dengan mengeluarkan switch ini, beban yang semula ditanggung oleh inverter DC 48V unit 2 akan sepenuhnya dipikul oleh inverter DC 48V unit 1. Hal ini memastikan bahwa inverter unit 2 tidak lagi menanggung beban, yang memungkinkan inverter unit 1 untuk menangani beban tersebut. *Ketiga*, matikan charger 2 dengan menekan tombol merah. Ini menghentikan proses pengisian pada charger kedua dan menyelesaikan proses konfigurasi paralel. Setelah langkah-langkah ini dilakukan, sistem inverter akan berfungsi sesuai dengan konfigurasi paralel yang diinginkan, memastikan operasi yang efisien dan terkelola dengan baik.

- (3) **4** meliharaan
Pemeliharaan baterai dan sistem *charging* dilakukan untuk menjaga *efisiensi* operasi dan daya tahan peralatan pada Gardu Induk, khususnya baterai agar dapat bekerja sebagaimana semestinya, sehingga keandalan peralatan dan penyaluran tenaga listrik dapat terjaga.



Gambar 3.5 (a) Pengukuran Tegangan Baterai, (b) Pengukuran Berat Jenis, (c) Pengisian Air Elektrolit

Gambar 3.5 (a) Pengukuran tegangan dilakukan pada setiap sel baterai untuk memastikan bahwa tegangan tersebut sesuai dengan standar yang ditetapkan. Untuk baterai dengan tegangan 110VDC, setiap sel harus menunjukkan tegangan sekitar 1,40VDC, dan hal yang sama berlaku untuk baterai 48VDC. Pengukuran penting untuk memastikan bahwa baterai beroperasi dalam rentang tegangan yang sesuai. (b) Pengukuran berat jenis elektrolit pada setiap sel baterai bertujuan untuk memeriksa konsentrasi elektrolit dan memastikan tidak adanya kebocoran. Selain itu, pemeriksaan juga dilakukan untuk mengidentifikasi perubahan warna pada air elektrolit yang dapat mengindikasikan ketidaknormalan atau kerusakan pada sel baterai. Pengecekan ini membantu dalam mendeteksi masalah sebelum menjadi lebih serius. (c) Pengisian air elektrolit dilakukan jika ditemukan penurunan volume air elektrolit di bawah level normal setelah pemeliharaan. Proses ini dilakukan secara rutin setiap minggu, atau lebih sering jika diperlukan. Selain itu, pemeliharaan ini juga melibatkan penanganan segera setelah terjadi gangguan pada sistem DC, baik pada baterai maupun inverter, untuk memastikan pasokan sumber DC tetap handal dan sistem berfungsi dengan optimal.

- (4) Wawancara dengan personel terkait dilakukan dengan teknisi operator dan personel pemeliharaan untuk memperoleh informasi mendalam mengenai pengalaman mereka dengan inverter serta observasi mereka terhadap insiden kegagalan. Informasi dari wawancara ini memberikan perspektif praktis mengenai bagaimana inverter beroperasi dan masalah yang mungkin tidak tercatat dalam dokumentasi resmi. *Pertama*, wawancara dengan teknisi operator menunjukkan bahwa teknisi tersebut hanya menjalankan tugasnya untuk mengontrol panel dan melakukan pemeliharaan rutin sesuai agenda mingguan yang telah ditetapkan. Tugas ini penting untuk menjaga keamanan sistem dan memastikan keandalannya di Gardu Induk. Dari hasil pemeliharaan dan pengukuran yang dilakukan, tidak ditemukan hasil yang berada di bawah standar SOP. Namun, terdapat masalah pada panel kontrol yang tidak dapat di-reset, meskipun kinerja pemeliharaan secara umum dinilai baik.

Kedua, wawancara dengan personel pemeliharaan mengungkapkan bahwa tugas mereka meliputi penyimpanan, pemeliharaan rutin, dan investigasi terhadap gangguan yang dapat mempengaruhi keandalan sistem. Personel pemeliharaan memperoleh informasi dari teknisi operator mengenai gangguan pada inverter. Pengecekan visual dan pemeliharaan rutin yang dilakukan menunjukkan hasil yang konsisten dan baik. Berdasarkan informasi yang didapat dari teknisi operator dan hasil pengecekan, personel pemeliharaan dapat mengidentifikasi bahwa indikasi masalah pada panel kontrol yang tidak dapat di-reset disebabkan oleh kegagalan inverter. Dengan demikian, personel pemeliharaan berhasil mengetahui sumber gangguan dan berusaha mencari solusinya.

Langkah (1) sampai (4) ini dirancang untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai penyebab penurunan tegangan dan membantu dalam menentukan tindakan perbaikan yang tepat untuk mengatasi permasalahan yang ada.

3.5 Analisis Penyebab Kegagalan

Data yang diperoleh dari inspeksi visual, analisis dokumentasi, dan wawancara diolah menggunakan alat bantu seperti fishbone diagram dan analisis 5M untuk mengidentifikasi akar penyebab kegagalan. Analisis 5M diterapkan untuk mengidentifikasi lima faktor utama yang dapat menyebabkan kegagalan dalam sistem:

(1) *Man* (Manusia)

Faktor manusia yang berperan dalam kegagalan inverter mencakup kurangnya komunikasi antar teknisi yang mengakibatkan kesalahan saat pemeliharaan dan perbedaan jadwal kerja yang menyulitkan pelaksanaan knowledge sharing. Rekomendasi meliputi pendampingan teknisi oleh supervisor,

pembentukan tim untuk knowledge sharing secara online, dan pelaksanaan DIKLAT secara internal di Gardu Induk.

(2) *Machine* (Mesin)

Faktor mesin berhubungan dengan kondisi fisik inverter yang mengalami keausan, kegagalan komponen, dan kelemahan desain. Penting untuk memilih mesin dengan teknologi tinggi dan kapasitas besar untuk menjaga keandalan sistem dan mencegah overload.

(3) *Method* (Metode)

Metode yang digunakan dalam pemeliharaan, pengoperasian, dan perbaikan inverter harus mengikuti prosedur yang tepat. Rekomendasi mencakup pengawasan manuver parallel oleh atasan dan penggunaan panel miniatur untuk praktek pemeliharaan, serta pelaporan hasil pemeliharaan kepada supervisor.

(4) *Material* (Bahan)

Faktor bahan berkaitan dengan kualitas dan keandalan komponen inverter. Penggunaan bahan berkualitas tinggi dan penggantian inverter yang sudah tua dengan yang lebih modern dan canggih diperlukan untuk mencegah kegagalan dan memastikan sistem berfungsi dengan baik.

(5) *Measurement* (Pengukuran)

Faktor pengukuran melibatkan kesalahan dalam pengukuran dan pemantauan kinerja inverter. Rekomendasi mencakup penambahan indikasi atau annunciator pada panel kontrol untuk mendeteksi metering inverter lemah dan pemasangan metering digital pada panel kontrol atau HMI untuk pengukuran tegangan dan berat jenis baterai.

3.6 Temuan Penelitian

Berdasarkan analisis 5M, penelitian ini menyoroti aspek Material (Bahan) sebagai penyebab utama kegagalan inverter di Gardu Induk Cibatu. Dalam analisis ini, teridentifikasi bahwa penggunaan bahan berkualitas rendah dan usia komponen yang sudah tua merupakan faktor utama yang menyebabkan kegagalan inverter. *Pertama*, penggunaan bahan berkualitas rendah dalam pembuatan atau perakitan inverter menjadi salah satu penyebab utama masalah. Bahan yang tidak memenuhi standar kualitas dapat memengaruhi performa dan daya tahan inverter, berpotensi menyebabkan kerusakan yang signifikan pada sistem. Komponen yang terbuat dari bahan yang kurang baik cenderung mengalami keausan lebih cepat dan kegagalan fungsional lebih awal, mengakibatkan gangguan pada operasi sistem backup daya. *Kedua*, usia komponen yang sudah tua juga berkontribusi terhadap kegagalan inverter. Seiring dengan berjalannya waktu, komponen-komponen inverter mengalami penurunan kinerja dan efisiensi. Komponen yang telah lama digunakan cenderung mengalami keausan dan kerusakan, yang pada gilirannya memengaruhi keandalan keseluruhan sistem inverter. Usia komponen yang sudah tua dapat menyebabkan kegagalan operasional dan mengurangi efektivitas inverter dalam mendukung sistem backup daya. *Ketiga*, untuk mengatasi permasalahan ini, perbaikan dengan mengganti inverter dan komponen terkait dengan yang lebih modern dan berkualitas tinggi sangat diperlukan. Inverter yang lebih baru, yang dibuat dengan bahan berkualitas tinggi dan teknologi mutakhir, dapat meningkatkan keandalan sistem backup daya secara signifikan. Dengan mengganti komponen-komponen lama dengan yang lebih canggih, diharapkan performa dan daya tahan sistem dapat diperbaiki, mengurangi risiko kegagalan dan meningkatkan efisiensi operasional di Gardu Induk Cibatu.

Gardu Induk Cibatu dioperasikan sejak tahun 1996, menyebabkan banyak komponen, termasuk modul pada *inverter*, telah mencapai usia tua dan tidak dapat beroperasi dengan baik. Kualitas komponen yang buruk atau tidak sesuai dengan fungsinya juga berkontribusi terhadap kegagalan ini. Contoh konkret dari kegagalan ini dapat dilihat pada panel 500KV *synchronizing & common service +ES1100*, di mana indikator "*48VDC 2 board fault*" menyala dan tidak dapat direset. Pengukuran tegangan pada baterai 48V menunjukkan penurunan tegangan di DC 48V unit 2, menyebabkan indikator tetap menyala dan tidak bisa direset. Setelah pemeriksaan lebih lanjut, ditemukan kerusakan fisik pada modul *inverter* akibat salah satu komponen terbakar, menyebabkan *inverter* DC 48V unit 2 menjadi gosong dan tidak beroperasi.

Analisis ini menegaskan bahwa material berkualitas rendah dan komponen yang sudah tua adalah penyebab utama kegagalan *inverter*. Oleh karena itu, penggantian *inverter* dan komponen terkait dengan yang lebih modern dan berkualitas tinggi adalah langkah penting untuk meningkatkan keandalan sistem *back up* daya di Gardu Induk Cibatu.

3.7 Penyusunan Rekomendasi

Berdasarkan temuan penelitian, rekomendasi praktis disusun untuk meningkatkan keandalan dan keselamatan sistem backup daya di Gardu Induk Cibatu, yang mencakup: *Pertama*, pemeliharaan perlu ditingkatkan dengan implementasi prosedur pemeliharaan yang lebih ketat dan terjadwal. Hal ini mencakup penjadwalan pemeliharaan rutin dan preventif untuk menghindari kerusakan yang tidak terduga serta memastikan bahwa semua komponen sistem berfungsi dengan baik. *Kedua*, pengawasan atasan dalam pengoperasian manuver parallel antara inverter unit 1 dan unit 2 harus diperketat. Pengawasan ini penting untuk memastikan bahwa prosedur dijalankan dengan benar dan untuk mendeteksi serta mengatasi potensi masalah sebelum berkembang menjadi isu yang lebih besar. *Ketiga*, setelah pemeliharaan inverter dilakukan, penting

untuk melakukan briefing dan evaluasi. Briefing ini bertujuan untuk menilai efektivitas pemeliharaan dan mendiskusikan hasilnya, sehingga area perbaikan dapat diidentifikasi dan pemeliharaan dapat dilakukan sesuai dengan standar yang ditetapkan. *Keempat*, dalam hal pengembangan teknologi, mengganti inverter yang ada dengan model terbaru yang menggunakan teknologi canggih sangat dianjurkan. Inverter yang lebih baru biasanya menawarkan performa yang lebih baik dan fitur tambahan yang mendukung operasi yang lebih stabil. *Kelima*, mesin yang dilengkapi dengan teknologi tinggi dan mampu menangani kapasitas besar harus dipilih untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem. Pilihan mesin yang tepat akan meningkatkan daya tahan dan kinerja sistem secara keseluruhan. *Keenam*, pembuatan metering digital yang dipasang pada panel kontrol atau Human Machine Interface (HMI) juga direkomendasikan. Metering digital akan memudahkan pemantauan dan pengelolaan sistem dengan memberikan data yang akurat dan real-time mengenai kondisi sistem, memungkinkan tindakan cepat jika terjadi gangguan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengungkap bahwa kegagalan inverter DC-AC pada sistem backup daya di Gardu Induk Cibatu terutama disebabkan oleh penggunaan material berkualitas rendah, yang mengakibatkan penurunan performa dan keandalan sistem serta ketidakmampuan untuk bertahan dalam kondisi operasional yang berat. Selain itu, banyak komponen di gardu tersebut telah mencapai usia tua, termasuk modul inverter yang tidak lagi berfungsi optimal, sehingga meningkatkan risiko kegagalan sistem. Kerusakan fisik, seperti komponen yang terbakar pada modul inverter, menunjukkan dampak dari material berkualitas rendah dan menyebabkan gangguan pada keandalan sistem. Oleh karena itu, untuk meningkatkan keandalan sistem backup daya di Gardu Induk Cibatu, penting untuk memastikan penggunaan material berkualitas tinggi dan mengganti komponen yang sudah tua dengan yang lebih modern.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada tim Penelitian Program Studi Teknik Elektro S1, Direktur LPPM Universitas Islam 45 Bekasi yang telah memberikan support dan dukungan, pimpinan Fakultas Teknik dan Universitas Islam 45 Bekasi.

REFERENSI

- [1] N. Nurdiana, "Studi Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Gardu Induk Talang Ratu Palembang," *J. Ampere*, vol. 2, no. 1, 2017, doi: 10.31851/ampere.v2i1.1208.
- [2] P. J. Diy, "Distribusi 20 Kv Di Wilayah Kerja Upj Balapulang Pt. Pln."
- [3] B. Wei, A. Marzabal, J. Perez, R. Pinyol, J. M. Guerrero, and J. C. Vasquez, "Overload and short-circuit protection strategy for voltage source inverter-based ups," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 34, no. 11, pp. 11371–11382, 2019, doi: 10.1109/tpel.2019.2898165.
- [4] I. Cortés, X. Perpiñà, J. Urresti, X. Jordà, and J. Rebollo, "Study of layout influence on ruggedness of npt-igbt devices by physical modelling," *Microelectron. Reliab.*, vol. 52, no. 9–10, pp. 2471–2476, 2012, doi: 10.1016/j.microrel.2012.06.074.
- [5] H. Yamashika, S. Syafii, A. Adrianti, and A. Aulia, "Literature review skema proteksi jaringan distribusi yang terhubung dengan pembangkit tersebar," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 22, no. 1, p. 87, 2023, doi: 10.24843/mite.2023.v22i01.p11.
- [6] S. Peyghami, H. Wang, P. Davari, and F. Blaabjerg, "Mission-Profile-Based System-Level Reliability Analysis in DC Microgrids," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 55, no. 5, pp. 5055–5067, 2019, doi: 10.1109/TIA.2019.2920470.
- [7] P. C. Cause, F. Modeling, and I. N. Probabilistic, "POWER2011-55324," pp. 1–10, 2011.
- [8] M. F. A. Muttaqin, "Analisis Gangguan Sistem Transmisi Listrik 150 Kv Menggunakan Metode Root Cause Analysis (Rca)." Universitas Pendidikan Indonesia, 2018.
- [9] A. F. Fuadi, M. A. Sahbana, and D. Hermawan, "Analisa kebocoran line warming up high pressure boiler feed pump menggunakan metode root cause and failure analysis di Pembangkit Listrik Tenaga Gas & Uap Grati," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 2, 2022.
- [10] J. D. Castro Castro and E. D. Cendales Ladino, "Casos aplicados del análisis de causa raíz: revisión," *Cienc. e Ing. Neogranadina*, vol. 29, no. 1, pp. 95–134, 2019, doi: 10.18359/rcin.3197.
- [11] S. S. Moosavi, A. Djerdar, Y. Ait-Amirat, D. A. Khaburi, and A. N'Diaye, "Artificial neural network-based fault diagnosis in the AC-DC converter of the power supply of series hybrid electric vehicle," *IET Electr. Syst. Transp.*, vol. 6, no. 2, pp. 96–106, 2016, doi: 10.1049/iet-est.2014.0055.
- [12] N. Widyastuti, "Analisis Gangguan Sistem Transmisi Listrik Menggunakan Metode Root Cause Analysis," *Ind. Eng. Online J.*, vol. 3, no. 3, pp. 1–8, 2014.
- [13] A. Kuswardana, N. Eka, and H. Natsir, "Analisis Penyebab Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode RCA (Fishbone Diagram Method And 5 – Why Analysis) di PT . PAL Indonesia (Analysis Of The Causes of Work Accidents Using the RCA Method (Fishbone Diagram Method And 5 - Why Analysis) in PT. PAL Indon," *Conf. Saf. Eng. Its Appl.*, vol. 1, no. 1, pp. 141–146, 2017.

ANALISIS PENYEBAB KEGAGALAN INVERTER DC-AC SISTEM BACK UP DAYA.pdf

ORIGINALITY REPORT

14%

SIMILARITY INDEX

13%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	eprints.undip.ac.id Internet Source	5%
2	ejournals.itda.ac.id Internet Source	3%
3	idoc.pub Internet Source	1%
4	docplayer.info Internet Source	1%
5	andihasad.files.wordpress.com Internet Source	1%
6	ejournal3.undip.ac.id Internet Source	1%
7	123dok.com Internet Source	<1%
8	Submitted to Universitas Islam Indonesia Student Paper	<1%
9	conf.nciet.id Internet Source	<1%

10	mat.fmipa.uny.ac.id Internet Source	<1 %
11	media.neliti.com Internet Source	<1 %
12	ejournal.kemenperin.go.id Internet Source	<1 %
13	www.labmutu.com Internet Source	<1 %
14	Nasrullah Nasrullah. "The Escalation of Child Trafficking in Makassar: A Criminological Analysis", SIGn Jurnal Hukum, 2023 Publication	<1 %
15	dspace.uii.ac.id Internet Source	<1 %
16	garuda.kemdikbud.go.id Internet Source	<1 %
17	pdfcoffee.com Internet Source	<1 %
18	renati.sunedu.gob.pe Internet Source	<1 %
19	repositorio.ufmg.br Internet Source	<1 %
20	edoc.pub Internet Source	<1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography On