

ANALISA KAPASITAS DAYA BATERAI UNIT 1 DAN UNIT 2 PADA GARDU INDUK 150 KV BREBES

Faisal Mulyana ¹⁾ ✉, Hartono Hartono ²⁾ ✉, Fitrizawati Fitrizawati ³⁾

^{1,2,3)} Jurusan Teknik Elektro,
STT Wiworotomo Purwokerto
Jl. Semangir No. 1 Purwokerto 53134

Abstract

A substation is a critical facility in the power system that functions to transmit and distribute energy from the generating plant to consumers through transmission and distribution networks. The reliability of a substation heavily depends on the performance of its protection system, which is largely supported by the DC voltage supply from batteries. This study was conducted based on the two-yearly battery maintenance program at the 150 kV Brebes Substation, focusing on the capacity analysis of a 110 VDC battery system, particularly two units of Nickel-Cadmium (Ni-Cd) batteries. Testing was carried out through maintenance procedures including equalizing, discharging, and reboosting. The discharge test results showed that several cells in Unit 1 experienced voltage drops below the standard limit, resulting in a capacity of only 59.3% of the nominal condition. In contrast, Unit 2 demonstrated good performance with a capacity of 100%. Further analysis indicated that the capacity reduction in Unit 1 significantly affected the backup duration of the protection system supply, which could only last approximately 2.5 hours compared to the minimum standard of 6 hours. Recommendations include selective replacement of damaged cells, re-testing capacity after replacement, and implementing periodic maintenance in accordance with PLN and IEC standards. This research underscores the importance of regular battery condition monitoring to ensure the continuity of the DC supply, maintain the reliability of the substation protection system, and prevent potential widespread disturbances in the power network.

Keywords: Substation, 110 VDC Battery, Nickel-Cadmium, Battery Capacity, Protection System, Two-Yearly Maintenance.

1. PENDAHULUAN

Keandalan sistem tenaga listrik modern ditentukan oleh kestabilan pasokan daya dari pembangkit hingga ke konsumen. Gardu induk menjadi simpul utama dalam penyaluran energi listrik, menghubungkan jaringan transmisi dan distribusi. Fungsi vital ini membuat gardu induk harus memiliki sistem proteksi yang handal.

Salah satu komponen penting sistem proteksi gardu induk adalah suplai tegangan DC dari baterai. Baterai menyediakan energi cadangan saat terjadi gangguan pada suplai AC utama, sehingga peralatan proteksi dan kontrol tetap beroperasi. Dengan demikian, kondisi baterai menjadi faktor kritis dalam menjaga keamanan operasi gardu induk.

Namun, baterai mengalami degradasi kapasitas seiring waktu akibat proses kimia, suhu operasi, pola pengisian, serta umur pakai. Oleh karena itu, diperlukan pengujian kapasitas secara periodik untuk memastikan baterai masih memenuhi standar.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengkaji tentang peranan baterai dalam sistem proteksi gardu induk. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Rahman et al. (2020) yang menganalisis pengaruh kapasitas baterai terhadap keandalan sistem proteksi di beberapa gardu induk di kawasan perkotaan. Mereka menemukan bahwa baterai dengan kapasitas yang menurun dapat memperburuk kinerja sistem proteksi, yang mengarah pada risiko gangguan kelistrikan.[1]

Kumar *et al.* (2019) juga melakukan penelitian terkait evaluasi kapasitas baterai di gardu induk, namun fokusnya lebih kepada pengaruh umur baterai terhadap performa sistem kontrol. Mereka menggunakan metode regresi untuk menganalisis data kapasitas baterai pada beberapa gardu induk di wilayah India. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa baterai dengan umur lebih dari 5 tahun cenderung menunjukkan penurunan signifikan dalam daya tahan, yang berdampak pada keandalan sistem pengendalian.[2]

Penelitian ini berfokus pada analisis kapasitas baterai 110 VDC di Gardu Induk 150 kV Brebes. Dua unit baterai tipe Nickel-Cadmium (Ni-Cd) diuji dengan metode pemeliharaan dua tahunan sesuai standar PLN dan IEC. Tujuan penelitian adalah mengevaluasi kondisi baterai, menentukan kapasitas aktual, dan memberikan rekomendasi perbaikan.

1.1. Rumusan Masalah

Dalam pembuatan skripsi ini penulis membuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana proses pemeliharaan baterai 110 V di gardu induk.
2. Bagaimana proses menghitung kapasitas baterai 110 V di gardu induk.
3. Apakah kapasitas baterai pada Gardu Induk yang menggunakan tegangan DC 110 V berpengaruh terhadap kinerja sistem proteksi di gardu induk?

1.2. Batasan Masalah

Agar pokok permasalahan tidak keluar dari masalah, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Skripsi ini hanya membahas di GI 150 kV Brebes.
2. Skripsi ini hanya akan menganalisis baterai yang digunakan untuk suplai tegangan DC 110 V di GI 150 kV Brebes.
3. Dalam akan dilakukan menggunakan metode pengujian langsung terhadap performa baterai. yang mencakup pengukuran tegangan dan arus untuk mengukur kapasitas baterai.
4. Penelitian ini akan bergantung pada data yang tersedia di lapangan yang diperoleh dari gardu induk yang telah dipilih untuk penelitian.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kapasitas baterai yang digunakan di gardu induk pada tegangan DC 110 V di GI 150 kV Brebes
2. Menilai faktor-faktor yang mempengaruhi daya tahan dan kapasitas baterai dalam menunjang keandalan sistem proteksi di GI 150 kV Brebes
3. Memberikan rekomendasi untuk pemeliharaan dan peningkatan kinerja baterai untuk menjaga kontinuitas pelayanan transmisi tenaga listrik.

2. METODE DAN BAHAN

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan mulai dari studi literatur, pengumpulan data, pelaksanaan uji kapasitas, hingga analisis hasil. Alur penelitian ditunjukkan dalam flowchart berikut:



Gambar 1. Flowchart

Metode penelitian ini diawali dengan tahap persiapan berupa perizinan lapangan, penyusunan jadwal, dan briefing keselamatan. Selanjutnya dilakukan studi pustaka terhadap standar PLN, IEC, IEEE, serta referensi terkait baterai dan uji kapasitas sebagai dasar teori. Data awal baterai Unit 1 dan Unit 2 dikumpulkan melalui inventarisasi jumlah sel, tipe, tahun produksi, kondisi fisik, dan riwayat pemeliharaan. Pengukuran tegangan dilakukan pada tiap sel baik dalam kondisi open-circuit maupun saat *discharge* untuk mendeteksi sel yang abnormal. Uji kapasitas dilakukan dengan metode *discharge* menggunakan arus standar hingga tegangan *cut-off*, kemudian kapasitas aktual dihitung dari hasil perkalian arus dan waktu. Kapasitas tersebut dikonversi menjadi energi (Wh) dan dibandingkan dengan kebutuhan beban proteksi untuk menentukan estimasi waktu *backup*. Analisis hasil dilakukan dengan membandingkan kapasitas terhadap standar kelayakan serta mengidentifikasi sel yang bermasalah. Tahap akhir berupa perumusan kesimpulan, penyusunan laporan, dan pemberian rekomendasi pemeliharaan kepada pihak gardu induk.

2.1. Alat Penelitian

- Multimeter
- Hydrometer
- Thermometer
- Megger Torkel 900
- Kabel rol suplai AC
- Alat Pelindung Diri (APD)
- Alat Tulis
- Majun/Lap kering

2.2. Bahan Penelitian

Objek penelitian adalah baterai 110 VDC pada Gardu Induk 150 kV Brebes, terdiri dari dua unit:

- Jurnal/Artikel terakait baterai 100 VDC
- **Unit 1:** 86 sel Ni-Cd
- **Unit 2:** 84 sel Ni-Cd

Pengujian dilakukan menggunakan Megger Torkel 900 dengan setting tegangan dan arus sesuai standar.[3][4]

Tabel 1. Seting Tegangan dan Arus Alat Uji Kapasitas.

Baterai	Jumlah Sel	Seting Tegangan (V)	Seting Arus (A)
Baterai Unit 1	86	86	41.6
Baterai Unti 2	84	84	41.6

Pada tabel 1. didapat seting tegangan dan seting arus untuk alat uji kapasita. Seting arus ini digunakan untuk membebani baterai selama 5 jam. Kemudian untuk seting tegangan digunakan pada alat Megger Torkel agar tercapai nilai tegangan akhir yang diinginkan.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Hasil Uji baterai Unit 1

Hasil Uji Baterai Unit 1

Hasil uji kapasitas baterai Unit 1 menunjukkan adanya beberapa sel yang mengalami penurunan tegangan signifikan. Kapasitas hanya mencapai 59,3%, sehingga tidak memenuhi standar minimal cadangan 6 jam.[5]

Tabel 2. Hasil Uji Kapasitas Baterai Unit 1

Jam ke	Jumlah Sel	Seting Tegangan (V)	Seting Arus (A)
0.15	111.8	41.6	0
0.13	103.9	41.6	10.3
0.45	102.2	41.6	20.6
1	100.8	41.6	30.9
1.15	99.1	41.6	41.2
1.30	98.4	41.6	51.4
1.45	96	41.6	61.6
2	94.9	41.6	71.9
2.15	93.3	41.6	82.2
2.30	92.2	41.6	92.5
2.45	89.9	41.6	102.8
3	88.6	41.6	113.1

3.2. Hasil Uji baterai Unit 2

Baterai Unit 2 menunjukkan kondisi lebih stabil dengan kapasitas penuh (100%). Hanya terdapat satu sel (nomor 76) yang sempat menunjukkan penurunan tegangan, namun tidak memengaruhi performa keseluruhan.

Tabel 3. Hasil Uji Kapasitas Baterai Unit 2

Jam ke	Jumlah Sel	Seting Tegangan (V)	Seting Arus (A)
0	116	41,6	0
0.15	102,8	41,6	10,3
0.30	100,1	41,6	20,6
0.45	99,1	41,6	30,8
1	98,4	41,6	41,1
1.15	97,8	41,6	51,3
1.30	97,4	41,6	61,6
1.45	96,9	41,6	71,9
2	96,6	41,6	82,2
2.15	96,4	41,6	92,5
2.30	96	41,6	102,9
2.45	95,8	41,6	113,2
3	95,5	41,6	123,5
3.15	95,3	41,6	133,8
3.30	95	41,6	144,1
3.45	94,7	41,6	154,4
4	94,5	41,6	164,7
4.15	94,3	41,6	175
4.3	93	41,6	185,4
4.45	91	41,6	195,9

3.3. Standar Kapasitas Baterai

Menurut standar PLN dan IEC, Jika kapasitas < 60%, maka baterai tidak layak digunakan.[6][5]

Tabel 4. Hasil Uji Kapasitas Baterai Unit 2

Pemeriksaan	Kondisi normal	Rekomendasi	Pemeriksaan
Kapasitas baterai		< 60 %	- Lakukan penggantian sel yang rusak

a. Baterai Unit 1

$$Efisiensi = \frac{123.5 Ah}{208 Ah} \times 100$$

$$= 59.3 \%$$

b. Baterai Unit 2

$$Efisiensi = \frac{208 Ah}{208 Ah} \times 100\%$$

$$= 100 \%$$

Dari perhitungan kapasitas baterai menunjukkan bahwa hasil pengukuran tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan. Pada Tabel 4 disebutkan rekomendasi untuk tindak lanjut pada baterai dengan kapasitas tidak sesuai standar (hasilnya <60 %) adalah dengan dilakukan penggantian sel baterai yang rusak.[7]

3.4. Pengaruh Penurunan Kapasitas Baterai

Tabel 5. Daya Coil PMT

No	Peralatan	Fasa	Daya (Watt)
1	Bay Trafo 1	RST	352
2	Bay Trafo 2	RST	149,7
3	Bay Trafo 3	RST	250
4	Bay Kopel	RST	207
5	Bay Kanci 1	RST	405
6	Bay Kanci 2	RST	405
7	Bay Kebasen 1	RST	405
8	Bay Kebasen 2	RST	405
9	Inc Trafo 1	RST	223
10	Inc Trafo 2	RST	161,2
11	Inc Trfao 3	RST	99,4
Daya Total			2710,3

Tabel 6. Hasil Uji Kapasitas Baterai Unit 2

No	Peralatan	Tegangan (Vdc)	Arus (A)
1	BCU Bay Trafo 1	110	1
2	BCU Bay Trafo 2	110	1
3	BCU Bay Trafo 3	110	1
4	BCU Bay Kopel	110	1
5	BCU Bay Kanci 1	110	1
6	BCU Bay Kebasen 1	110	1
7	BCU Bay Kanci 2	110	1
8	BCU Bay Kebasen 2	110	1
9	OCR/GFR Trafo 1	110	1
10	Diff Trafo 1	110	1
11	OCR/GFR Trafo 3	110	1
12	Diff Trafo 3	110	1
13	OCR kopel	110	1
14	OCR Kanci 1	110	1
15	Line Diff Kanci 1	110	1
16	OCR Kanci 2	110	1
17	Line Diff Kanci 2	110	1
18	OCR Kebasen 1	110	1
19	Dist Kebasen 1	110	1
20	OCR Kebasen 2	110	1
21	Dist Kebasen 2	110	1
22	OCR Inc Trafo 1	110	1
23	OCR Inc Trafo 2	110	1
24	OCR Inc Trafo 3	110	1
Daya Total			2640

- a. Perhitungan waktu yang dicapai baterai unit 1

Berdasarkan tabel 5. dan tabel 6., maka daya dan waktu baterai dapat dihitung sebagai berikut:[3]

$$\text{Daya baterai} = 208 \text{ Ah} \times 110 \text{ V}$$

$$= 22880 \text{ Watt} - \text{Hours}$$

$$\text{Daya baterai 1} = 123,5 \text{ Ah} \times 110 \text{ V}$$

$$= 13585 \text{ Watt} - \text{Hours}$$

$$\text{Waktu kondisi normal baterai 1}$$

$$= \frac{22880 \text{ Watt} - \text{Hours}}{5350,3 \text{ Watt}}$$

$$= 6,4 \text{ Hours}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Waktu tercapai baterai 1} \\
 &= \frac{13585 \text{ Watt} - \text{Hours}}{5350,3 \text{ Watt}} \\
 &= 2,5 \text{ Hours}
 \end{aligned}$$

- b. Perhitungan waktu yang dicapai baterai unit 2

Berdasarkan tabel 5. dan tabel 6., maka daya dan waktu baterai dapat dihitung sebagai berikut:[3]

$$\begin{aligned}
 \text{Daya baterai} &= 208 \text{ Ah} \times 110 \text{ V} \\
 &= 22880 \text{ Watt} - \text{Hours}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Daya baterai 2} &= 208 \text{ Ah} \times 110 \text{ V} \\
 &= 22880 \text{ Watt} - \text{Hours}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Waktu kondisi normal baterai 2} \\
 &= \frac{22880 \text{ Watt} - \text{Hours}}{5350,3 \text{ Watt}} \\
 &= 6,4 \text{ Hours}
 \end{aligned}$$

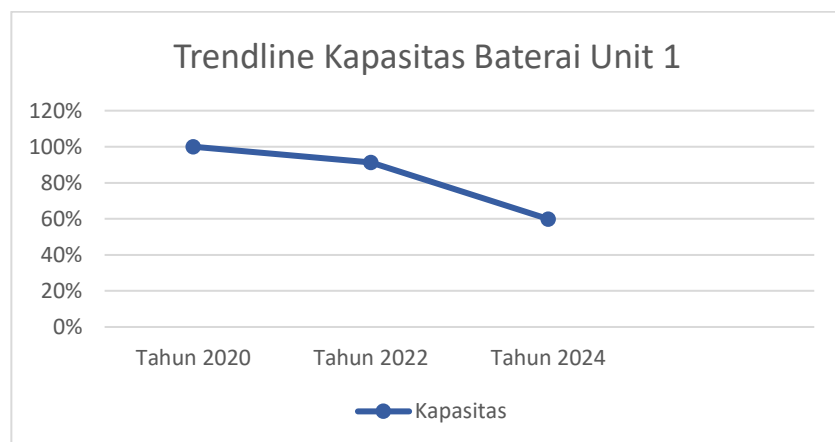
$$\begin{aligned}
 & \text{Waktu tercapai baterai 2} \\
 &= \frac{22880 \text{ Watt} - \text{Hours}}{5350,3 \text{ Watt}} \\
 &= 6,4 \text{ Hours}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka dapat diketahui bahwa baterai unit 1 GI 150 kV Brebes hanya mampu bertahan selama 2 jam 30 menit, sedangkan baterai unit 2 mampu bertahan selama 6 jam 15 menit. Hal ini sangat membahayakan gardu karena ketika terjadi gangguan yang menyebabkan gardu kehilangan tegangan, maka gardu hanya bergantung dari tegangan 110 V DC. Proses pemulihan gardu induk dari gangguan yang menyebabkan padam bisanya memerlukan waktu yang cukup lama, karena dipatcher biasanya perlu melakukan konfigurasi terlebih dahulu.

Dampak yang ditimbulkan maka proses penormalan akan terhambat dan sebagian wilayah kabupaten brebes akan mengalami padam menyeluruh dan akan sangat merugikan PLN, karena semakin banyak waktu yang diperlukan untuk proses penormalan.[8]

3.5. Grafik Trendline

Hasil uji kapasitas divisualisasikan pada grafik berikut.



Gambar 2. Grafik Trendline Kapasitas Baterai Unit 1

Pada gambar 2. menunjukkan perubahan kapasitas baterai unit 1 pada GI 150 kV Brebes berdasarkan hasil pengujian dari tahun 2020 hingga 2024. Kapasitas diukur dalam satuan persen terhadap kapasitas awal (100%) dan diplot terhadap sumbu waktu (tahun penggunaan).

Penurunan kapasitas terjadi secara progresif:

- Dalam 2 tahun pertama (2020–2022), terjadi penurunan sekitar 8.7%
- Dalam 2 tahun berikutnya (2022–2024), penurunan meningkat drastis sebesar 32%

Ini menunjukkan bahwa:

- Awal degradasi berjalan lambat, namun setelah usia penggunaan melewati 2 tahun, laju degradasi meningkat signifikan
- Kurva penurunan pada grafik menunjukkan kecenderungan non-linier, yang merupakan ciri umum degradasi baterai, terutama jika sel mulai mengalami kerusakan kimiawi atau kelelahan material internal

Gambar 2. menunjukkan adanya penurunan performa signifikan dalam waktu 4 tahun, dengan tren penurunan yang semakin tajam. Tanpa adanya tindakan perbaikan atau penggantian, baterai diperkirakan tidak mampu lagi memenuhi kebutuhan suplai sistem proteksi gardu dalam 2 tahun ke depan.[9]

- Kapasitas rendah pada Unit 1 membuktikan adanya degradasi sel yang signifikan.
- Unit 2 masih menunjukkan performa optimal sehingga dapat menjadi referensi standar perbandingan.
- Penurunan kapasitas pada Unit 1 berpotensi mengurangi keandalan sistem proteksi jika tidak segera ditindaklanjuti.

3.6 Rekomendasi Peggantian Sel Baterai Rusak Pada Unit 1

Tabel 7. Tabel Sel Baterai Unit 1 Yang Rusak

Sel Baterai	Pengujian Sel Baterai Per Jam			
	0	2	2.30	3
9	1.27	1.10	1.05	0.19
19	1.27	0.47	0.25	0.19
37	1.27	0.22	0.22	0.24
39	1.27	1.13	1.13	0.80
56	1.27	1.13	0.95	0.85
59	1.27	0.26	0.26	0.24
60	1.27	1.23	0.24	0.24
61	1.27	0.24	0.24	0.24
63	1.27	0.95	0.22	0.22

Dari tabel 7. disimpulkan bahwa sel-sel tersebut tidak mampu mempertahankan tegangan stabil selama proses pembebanan (discharge), yang merupakan indikasi umum dari potensi kerusakan permanen pada sel baterai.

a. Penggantian Selektif Sel Rusak

10 sel yang teridentifikasi rusak (tegangan akhir < 0.9 V) harus segera diganti dengan sel baru yang memiliki:[10][9]

- Tegangan nominal: 1 V
- Kapasitas: 208 Ah
- Tipe: Ni-Cd (Nickel-Cadmium)

Pastikan sel pengganti berasal dari produsen yang sama atau kompatibel secara teknis agar sistem tetap seimbang.

b. Pengujian Ulang Setelah Penggantian

Lakukan pengujian discharge ulang terhadap baterai unit 1 setelah penggantian sel.

Parameter yang harus diuji ulang:

- Tegangan tiap sel setiap 30 menit
- Waktu backup total (target minimal: 6 jam)

- c. Asumsi perhitungan waktu yang dicapai baterai unit 1
Maka daya dan waktu baterai dapat dihitung sebagai berikut:[3]

$$\begin{aligned}\text{Daya baterai} &= 208 \text{ Ah} \times 110 \text{ V} \\ &= 22880 \text{ Watt-Hours} \\ \text{Daya baterai 2} &= 208 \text{ Ah} \times 110 \text{ V} \\ &= 22880 \text{ Watt-Hours}\end{aligned}$$

Waktu kondisi normal baterai 2

$$= \frac{22880 \text{ Watt-Hours}}{5350,3 \text{ Watt}} = 6,4 \text{ Hours}$$

Waktu tercapai baterai 2

$$= \frac{22880 \text{ Watt-Hours}}{5350,3 \text{ Watt}} = 6,4 \text{ Hours}$$

Dari asumsi perhitungan ulang ketika sel baterai unit 1 yang rusak telah dilakukan penggantian, maka baterai unit 1 dapat bertahan selama 6 jam 15 menit yang sebelumnya hanya 2 jam 30 menit. Hal ini sudah sesuai dengan standar dari PLN.

4. KESIMPULAN

4.1. Kesimpulan

1. Pemeliharaan baterai terdiri dari 3 proses, antara lain proses *equalizing* baterai, *discharging* baterai, *reboosting* baterai. Pemeliharaan ini bertujuan untuk memastikan kapasitas baterai dan memastikan keandalan sumber DC.
2. Hasil uji kapasitas baterai unit 1 GI 150 kV Brebes merk SBM 208 diperoleh hasil 59,3 %. Hal ini dikarenakan banyak sel yang mengalami pemburukan. Baterai Unit 2 diperoleh hasil 100 %
3. Hasil uji kapasitas sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem proteksi gardu induk, karena semua sistem proteksi gardu induk menggunakan suplai tegangan 110 DC. Dampak terjadi gangguan saat sistem proteksi tidak siap maka dapat menyebabkan meluasnya gangguan.

4.2. Saran

1. Segera dilakukan penggantian sel baterai rusak karena hal ini dapat membahayakan keandalan sistem proteksi gardu induk.
2. Meningkatkan proses pemeliharaan 2 tahunan baterai.
3. Selalu memastikan keandalan sumber tegangan DC.
4. Pelaksanaan pekerjaan harus selalu menggunakan Alat Pelindung Diri untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja, mengingat setiap pekerjaan terdapat potensi bahaya.

PERNYATAAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada STT Wiworotomo Purwokerto dan PT PLN (Persero) yang telah memberikan dukungan data serta fasilitas dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Kumar, A. Singh, and S. Verma, “Battery Life Cycle and Its Impact on Control System Efficiency in Substations,” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, pp. 550–559, 2019.
- [2] H. Rahman, S. Ahmed, and M. Uddin, “Impact of Battery Capacity on Protection System Reliability in Substations,” *Journal of Power Systems Engineering*, pp. 123–134, 2020.
- [3] L. Lonteng, E. K. Allo, and L. S. Patras, “Analisa Kemampuan Sumber DC (Baterai dan Charge) dalam Memenuhi Kebutuhan Gardu Induk Teling,” *Jurnal Teknik Elektro*, Sam Ratulangi Univ., 2022.
- [4] D. Shanefield, “Ohm’s Law and Measurements,” in *Industrial Electronics for Engineers, Chemists, and Technicians*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001, pp. 11–25.
- [5] PT PLN (Persero), *Buku Pedoman Pemeliharaan Sistem Suplai ACDC*, Dokumen PDM/PGI/19:2014, Lampiran SK Dir. No. 0520-2.K/DIR/2014. Jakarta: PT PLN (Persero), 2014.
- [6] D. Anggita, Fitrizawati, and U. Sutisna, “Studi Kasus Penggantian Baterai 110 VDC Unit 1 di PT. PLN (Persero) Gardu Induk 150 kV Mrica,” *Intuisi Teknologi dan Seni*, vol. 17, no. 1, pp. 1–9, Apr. 2025.
- [7] R. F. Rizal and H. D. Atmaja, “Analisis Checkup Pemeliharaan Battery Capacity Test (BCT) 110 VDC di PT. PLN (Persero) Gardu Induk 150 kV Jatigedong Jombang,” *Alinier: Journal of Artificial Intelligence and Electrical Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 70–78, Nov. 2022.
- [8] E. R. Irvan, Saputra, and M. H. A. Putra, “Analisis Kelayakan Battery 110 VDC dalam Mengsuplai Pembebanan (Studi Kasus Gardu Induk Perawang 150 kV),” *International Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy (IJEERE)*, vol. 2, no. 1, pp. 29–38, Jun. 2022.
- [9] H. Hardhika, “Analisis Checkup Pemeliharaan Battery Capacity Test (BCT) 110 VDC di PT. PLN (Persero) Gardu Induk 150 kV Jatigedong Jombang,” *ALINIER: Journal of Artificial Intelligence & Applications*, vol. 3, no. 2, pp. 1–8, 2022.
- [10] IEC, *IEC 60896: Stationary Lead-Acid Batteries – General Requirements and Methods of Test*, 2nd ed. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2020.