

STUDI ANALISIS EFISIENSI PENGGUNAAN BATERAI DI GAS INSULATED SUBSTATION WARU

Ardhan Fajar Ramadhan¹, Alfian Naufal Fikriy Syafei², Daffa Sirajuddin Muzakki³, Sujito⁴

^{1,2,3,4} Departemen Elektro & Informatika/Prodi S1 Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Malang, Malang, Indonesia

¹ email: sujito.ft@um.ac.id

[submitted: dd-mm-yyyy | review: dd-mm-yyyy | published: dd-mm-yyyy]

ABSTRACT: Gas Insulated Switchgear (GIS) operates using two power sources, namely alternating (AC) and unidirectional (DC). The battery is an important tool to accommodate the DC source from the rectifier so that it can be utilized efficiently. This battery will supply power for use by machines and equipment that require a DC source. A battery with a good efficiency value means the battery is still of good quality so it is still safe to use. This research method was carried out directly at the GIS Waru battery maintenance location to collect data. Based on the results of analyzing battery maintenance data in GIS Waru, it is known that battery unit 1 110 VDC at GIS Waru is still worth using because it has a discharge capacity of 286 Ah with a discharge time of 7 hours and has an efficiency of 137,5%. This research can be used as a battery assessment to ensure its suitability for reuse.

KEYWORDS: Battery, Efficiency, GIS Waru, Capacity Test.

ABSTRAK: Gas Insulated Switchgear (GIS) dalam beroperasi menggunakan dua sumber daya yaitu bolak balik (AC) dan searah (DC). Baterai merupakan alat penting untuk menampung sumber DC dari rectifier agar dapat dimanfaatkan dengan efisien. Baterai ini akan mensuplai daya untuk dipergunakan mesin dan peralatan yang memerlukan sumber DC. Baterai dengan nilai efisiensi baik maka menunjukkan baterai masih berkualitas bagus sehingga masih aman untuk digunakan. Metode penelitian ini dilaksanakan secara langsung di lokasi pemeliharaan baterai GIS Waru untuk mengumpulkan data. Berdasarkan hasil dari menganalisis data pemeliharaan baterai di GIS Waru diketahui bahwa baterai unit 1 110 VDC di GIS Waru masih layak untuk digunakan karena mempunyai kapasitas pengosongan sebesar 286 Ah dengan waktu pengosongan selama 7 jam dan memiliki efisien sebesar 137,5%. Penelitian ini dapat menjadi penilaian baterai dalam memastikan kelayakan untuk dapat dimanfaatkan kembali.

KATA KUNCI: Baterai, Efisiensi, GIS Waru, Uji Kapasitas

I. PENDAHULUAN

Gas Insulated Substation (GIS) telah menjadi bagian integral dari sistem distribusi tenaga listrik modern, menawarkan keuntungan signifikan dalam hal efisiensi dan ruang [1]. Namun, dengan berkembangnya teknologi ini, tantangan baru muncul terutama terkait dengan efisiensi penggunaan baterai di dalam GIS.

Seiring dengan pertumbuhan pesat dalam penggunaan GIS, permintaan tenaga listrik terus meningkat. GIS memiliki keunggulan dalam hal efisiensi dan penghematan ruang, tetapi efisiensi penggunaan baterai di dalamnya menjadi krusial [2]. Baterai digunakan untuk menyediakan daya cadangan dan menjaga keandalan sistem, namun tantangan terkait dengan umur pakai, pemeliharaan, dan dampak lingkungan perlu dicermati secara mendalam [3].

Penggunaan baterai di GIS Waru belum sepenuhnya optimal dan mengalami beberapa masalah[4]. Setiap bagian penggunaan baterai, mulai dari sumber daya hingga perawatan, perlu dianalisis secara menyeluruh. Kondisi ini dapat menyebabkan kerugian dalam operasional dan lingkungan yang perlu

ditangani. Standar dalam SKDIR 0520-2.K/DIR/2014 menyatakan bahwa baterai yang memiliki efisiensi di atas 80% dianggap baik, sedangkan yang kurang dari 60% dianggap buruk atau rusak[5].

Pemecahan masalah yang efektif dalam penggunaan baterai di GIS Waru diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi dampak lingkungan. Pembaruan teknologi, manajemen pemeliharaan yang lebih baik, dan penerapan praktik-praktik terbaik dalam manajemen daya baterai merupakan bagian dari rencana pemecahan masalah ini. Dengan demikian, dapat menciptakan solusi yang berkelanjutan dan berdampak positif pada operasional GIS.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan menyajikan solusi-solusi yang efektif terkait dengan efisiensi penggunaan baterai di Gas Insulated Substation Waru. Dengan melakukan analisis mendalam, diharapkan dapat memberikan kontribusi pada peningkatan kinerja sistem, mengurangi dampak lingkungan, dan memastikan keandalan pasokan listrik.

Dengan pendekatan ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang berharga bagi para praktisi industri, peneliti, dan pengambil keputusan dalam memperbaiki efisiensi penggunaan baterai di dalam GIS Waru dan menghadapi tantangan masa depan yang mungkin muncul dalam sistem distribusi tenaga listrik.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. SISTEM SUPLAI DC

Dalam mengatur tenaga listrik di gardu induk, ada dua jenis sumber tenaga yang digunakan ialah, arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC). Penting bagi sumber tenaga yang digunakan dalam pengaturan ini untuk memiliki keandalan dan stabilitas yang tinggi. Oleh karena itu, baterai sering digunakan sebagai sumber arus searah karena dapat memenuhi persyaratan tersebut. Sumber daya DC ini digunakan untuk operasi relay proteksi, pengendalian, dan sistem SCADA[5].

Gardu Induk adalah sistem listrik yang terdiri dari berbagai peralatan yang dipasang di lokasi tertentu. Fungsinya adalah menerima dan mengalirkan tenaga listrik, mengatur tegangan sesuai kebutuhan, melakukan perubahan sambungan dalam sistem listrik, serta memastikan kehandalan sistem tenaga listrik yang terhubung[5]. Terdapat beberapa bagian utama pada peralatan-peralatan sistem DC meliputi:

1) Rectifier

Rectifier adalah suatu rangkaian alat listrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik AC (bolak-balik) menjadi DC (arus searah). Rectifier yang dipasang di gardu induk bertugas mengisi daya ke baterai, memberikan pasokan listrik yang terus menerus ke peralatan, dan menjaga agar baterai tetap terisi penuh[6]. Komponen-komponen utama dari rectifier meliputi trafo utama, penyearah, Automatic Voltage Regulator (AVR), filter, rangkaian voltage dropper, dan sistem alarm.

2) Baterai

Baterai atau akumulator merupakan sebuah sel listrik di mana terjadi proses elektrokimia yang dapat terbalik dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Proses elektrokimia yang dapat terbalik ini mencakup pengubahan zat kimia menjadi energi listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya, dari energi listrik menjadi zat kimia (proses pengisian)[3].

Pengisian ulang baterai dilakukan dengan cara mengembalikan elektroda-elektroda yang digunakan ke kondisi semula dengan mengalirkan arus listrik dalam arah yang berlawanan di dalam sel. Setiap sel baterai terdiri dari dua jenis elektroda yang berbeda, yaitu elektroda positif dan elektroda negatif, yang terendam dalam larutan kimia tertentu[3].

Baterai merupakan salah satu komponen yang sangat vital pada *gas insulated substation*, karena baterai harus mampu dalam menyuplai daya ke peralatan meskipun dalam kondisi tanpa charger atau dalam kondisi *blackout*.

B. JENIS-JENIS BATERAI

Beberapa jenis baterai yang sering dipakai pada umumnya, antara lain:

1) Baterai Asam

Dalam baterai asam, elektrolit adalah solusinya *asam sulfat* (*asam sulfat* = H_2SO_4). Dan asam baterai Elektroda terbuat dari pelat *timah peroksida* PbO_2 (*timbal peroksida*) sebagai anoda (fasa positif) dan Pb murni (fasa timbal) sebagai katoda (kutub negatif)[4]. Memiliki ciri umum dengan tegangan nominal per sel 2 Volt dan nilai berat jenis elektrolit sebanding dengan kapasitas baterai[5].

2) Baterai Alkali

Elektrolit dari baterai alkali terbuat dari larutan alkali (*potassium hydroxide*) yang terdiri dari *Nickel-Iron Alkaline* Baterai (*Ni-Fe* baterai) dan *Nickel Cadmium Alkaline* Baterai (*Ni-Cd* baterai). Baterai ini memiliki tegangan per selnya sebesar 1,2 Volt[7].

3) Baterai Kering/Lithium

Baterai lithium merupakan tipe baterai yang menggunakan *ion lithium* sebagai sumber energinya. Struktur dasar dari baterai ini terdiri dari anoda dan katoda yang terbuat dari material karbon dan oksida lithium. Sementara itu, elektrolitnya terdiri dari garam lithium yang larut dalam pelarut organik. Komposisi material anoda umumnya berupa grafit, sedangkan katoda dapat terdiri dari beberapa pilihan seperti *lithium kobalt oksida* ($LiCoO_2$), *lithium besi fosfat* ($LiFePO_4$), atau *lithium oksida mangan* ($LiMn_2O_4$). Garam lithium seperti *lithium hexafluorophosphate* ($LiPF_6$), *lithium tetrafluoroborate* ($LiBF_4$), dan *lithium perklorat* ($LiClO_4$) merupakan elektrolit yang biasa digunakan dan larut dalam pelarut organik seperti *etilen karbonat*, *dimetil karbonat*, dan *dietil karbonat*[8].

Baterai lithium-ion memiliki keunggulan dalam kepadatan energi yang tinggi dan kemampuan pengisian ulang, sehingga sangat diminati dalam berbagai aplikasi seperti kendaraan listrik, perangkat elektronik, dan beragam bidang lainnya.

C. BAGIAN UTAMA BATERAI

1) Elektroda

Tiap sel baterai mempunyai dua elektroda, yakni positif dan negatif, yang berada di dalam larutan kimia untuk mempermudah aliran elektron ketika proses pengisian dan pengosongan. Elektroda positif dan negatif dibentuk dari sejumlah grid yang terbuat dari rangka besi yang berfungsi sebagai tempat bagi bahan aktif[8]. Bahan aktif ini berperan sebagai zat kimia yang terlibat dalam reaksi kimia untuk menghasilkan energi listrik.

2) Elektrolit

Elektrolit merujuk kepada cairan atau larutan senyawa kimia yang memiliki fungsi dalam menghantarkan arus listrik. Hal ini terjadi ketika larutan tersebut dapat menghasilkan muatan positif dan negatif. Bagian yang membawa muatan positif disebut sebagai ion positif, sementara bagian yang membawa muatan negatif disebut sebagai ion negatif[9]. Semakin banyak jumlah ion yang dihasilkan oleh elektrolit, semakin tinggi kemampuannya dalam mengalirkan listrik.

Jenis cairan elektrolit dapat dibagi menjadi dua macam yaitu:

- Larutan *Asam Sulfat (H₂SO₄)* yang umumnya digunakan pada baterai asam.
- Larutan *Kalium Hidroksida (KOH)* yang seringkali digunakan pada baterai alkali.

3) Sel Baterai

Sel baterai memiliki peran sebagai wadah untuk menampung elektrolit dan elektroda[5]. Terdapat dua jenis bahan wadah yang digunakan:

- Wadah Baja
Sel baterai yang menggunakan wadah baja ditempatkan dalam rak kayu untuk mencegah terjadinya hubungan pendek antar sel baterai serta untuk menghindari hubungan dengan tanah[10].
- Wadah Plastik

Sel baterai yang menggunakan wadah plastik ditempatkan dalam rak besi yang terisolasi. Tujuannya adalah untuk menghindari terjadinya hubungan pendek antara sel baterai atau hubungan dengan tanah jika terjadi kerusakan atau kebocoran elektrolit baterai[10].

4) Terminal dan Penghubung Baterai

Terminal dan klem yang terdapat pada sel baterai berperan dalam menyambungkan kutub-kutub sel baterai, biasanya dibuat dari bahan seperti nikel berlapis baja atau tembaga. Sementara itu, untuk menghubungkan antar unit atau grup baterai, digunakan bahan berlapis nikel atau kabel fleksibel yang telah diisolasi [9].

D. KAPASITAS BATERAI

Kapasitas baterai merupakan banyaknya jumlah arus yang bisa diteruskan ke beban di jarak waktu tertentu[11].

$$C = I \times t \tag{1}$$

Keterangan:

C= Kapasitas

I = Arus

t = waktu (jam)

Kapasitas pada baterai untuk memahami suatu karakteristik pada baterai tersebut. Sehingga akan diketahui sejauh mana baterai mampu memasok arus DC saat terjadi gangguan.

E. PENGUJIAN KAPASITAS BATERAI

Kapasitas baterai dilakukan pengujian melalui pemberian beban (arus pengosongan) sebesar 0,2 C disesuaikan standarkan IEC (*International Electrotechnical Commission*), perlakuan ini bermaksud supaya baterai dalam pengujian tidak terjadi panas lebih di sel yang dapat membuat baterai rusak dengan cepat[12]. Hal yang harus diperhatikan saat pengosongan baterai diantaranya:

1. Arus pengosongan (I discharging) = 0,2 × kapasitas baterai (C)
2. Lama pengosongan (T stop) = kapasitas baterai : arus pengosongan
3. Tegangan akhir (V stop) = 1 Volt per sel
 4. Suhu maksimal elektrolit yang diperbolehkan selama pengosongan (40-45°C).

F. EFISIENSI BATERAI

Efisiensi baterai dapat diperoleh dari persentase perbandingan kapasitas pengisian terhadap kapasitas pengosongan baterai[12].

$$\eta = (Cd/Cc) \times 100 \% \tag{2}$$

Keterangan:

η = Efisiensi (%)

Cd = Kapasitas discharger

Cc = Kapasitas Charger

Standar dalam SKDIR 0520-2.K/DIR/2014, baterai dengan nilai efisiensi diatas 80% dianggap baik, dan jika kurang dari 60% dianggap tidak baik atau rusak[12].

G. BEBAN SUMBER DC

Macam beban yang membutuhkan suplai sumber DC di GIS Waru untuk dapat beroperasi, berikut beban:

1) *Sistem Kontrol*

Sistem kontrol yang terdapat di GIS Waru seperti panel kontrol, SCADA dan PLC[13].

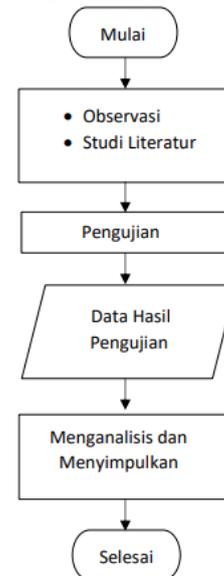
2) *Relai Proteksi*

GIS Waru memiliki ruang relai proteksi, diantaranya terdapat relai seperti relai OCR dan relai *differential* [13].

III. METODE

Metode penelitian dengan survei ke lokasi yaitu di GIS Waru Surabaya, melaksanakan penelitian dan pengambilan data secara langsung di lokasi pemeliharaan baterai GIS.

Data penelitian diperoleh dari data pemeliharaan baterai dan pengukuran baterai. Setelah data dikumpulkan akan dianalisa tegangannya serta membandingkan antara kapasitas baterai satu dengan lainnya.



Gbr 1. Flowchart Metode

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. DATA SEBELUM PENGOSONGAN BATERAI

Berikut hasil pengukuran tegangan tiap sel sebelum dilakukan pengosongan terhadap baterai 110 VDC unit 1

baterai 110 VDC yang ada di GIS Waru. Pengujian ini dilaksanakan setiap 2 tahun sekali, dengan spesifikasi baterai yang dipakai yaitu merk SAFT NIFE dengan type SBM 208-2, terdapat 84 jumlah sel baterai dengan kapasitas normal 208 Ah.

Tbl 1. Hasil Pengukuran Tiap Sel Sebelum Pengosongan

Sel No.	BJ	TEG	Sel No.	BJ	TEG
1	1200	1.401	43	1200	1.402
2	1225	1.401	44	1200	1.402
3	1200	1.401	45	1200	1.404
4	1225	1.403	46	1200	1.406
5	1200	1.404	47	1225	1.406
6	1250	1.402	48	1175	1.402
7	1175	1.402	49	1200	1.405
8	1175	1.402	50	1200	1.405
9	1225	1.402	51	1200	1.406
10	1200	1.402	52	1200	1.407
11	1200	1.404	53	1225	1.407
12	1225	1.404	54	1200	1.405
13	1200	1.404	55	1200	1.402
14	1200	1.404	56	1200	1.402
15	1200	1.405	57	1200	1.401
16	1225	1.404	58	1200	1.402
17	1200	1.405	59	1200	1.404
18	1225	1.405	60	1200	1.404
19	1225	1.402	61	1200	1.405
20	1220	1.402	62	1200	1.404
21	1200	1.410	63	1200	1.407
22	1200	1.404	64	1200	1.402
23	1225	1.402	65	1200	1.410
24	1225	1.400	66	1200	1.405
25	1200	1.401	67	1200	1.402
26	1200	1.402	68	1200	1.405
27	1200	1.405	69	1200	1.405
28	1200	1.405	70	1200	1.404
29	1200	1.401	71	1200	1.402
30	1200	1.400	72	1200	1.402
31	1200	1.402	73	1225	1.406
32	1200	1.402	74	1200	1.405
33	1200	1.404	75	1200	1.405
34	1200	1.402	76	1200	1.404
35	1200	1.400	77	1200	1.404
36	1200	1.402	78	1200	1.402
37	1200	1.405	79	1200	1.405
38	1200	1.405	80	1200	1.403
39	1200	1.405	81	1250	1.404
40	1200	1.405	82	1200	1.403
41	1200	1.471	83	1200	1.403
42	1200	1.404	84	1200	1.402

Melalui hasil perolehan pengukuran tegangan dan berat jenis tiap sel ketika sebelum proses pengosongan (*discharging*) tabel 1, tegangan yang diperoleh dari tiap sel sebesar 1,4 Volt dan tegangan total sebesar 117,97 Volt. Dari data diatas dapat dikatakan bahwa baterai tidak memiliki variasi tegangan besar disetiap sel baterai. Menurut standar pengukuran untuk tegangan yang dijelaskan pada SK DIR 0520-2.K/DIR/2014, baterai dikatakan baik jika tegangan

nominal yang dimiliki baterai antara 1,2 - 2 disetiap sel. Dapat disimpulkan dari data tabel 1 bahwa baterai unit 1 110 VDC pada GIS Waru masih normal, karena dalam pengukuran tegangan disetiap sel ketika sebelum proses pengosongan (*discharging*) tegangan rata-rata tiap sel sebesar 1,40. Apabila terdapat perbedaan atau variasi besar pada tegangan di beberapa sel dalam baterai, maka dapat dimengerti bahwa baterai terjadi kerusakan[8][14].

B. DATA SESUDAH PENGOSONGAN BATERAI

Tbl 2. Hasil Pengukuran Tiap Sel Setelah Pengosongan

Sel No.	BJ	TEG	Sel No.	BJ	TEG
1	1200	1.147	43	1200	1.176
2	1225	1.152	44	1200	1.180
3	1200	1.153	45	1200	1.180
4	1225	1.155	46	1200	1.181
5	1200	1.152	47	1225	1.174
6	1250	1.152	48	1175	1.175
7	1175	1.152	49	1200	1.180
8	1175	1.154	50	1200	1.180
9	1225	1.155	51	1200	1.194
10	1200	1.155	52	1200	1.182
11	1200	1.162	53	1225	1.180
12	1225	1.166	54	1200	1.182
13	1200	1.156	55	1200	1.180
14	1200	1.160	56	1200	1.187
15	1200	1.160	57	1200	1.182
16	1225	1.161	58	1200	1.188
17	1200	1.157	59	1200	1.181
18	1225	1.160	60	1200	1.180
19	1225	1.165	61	1200	1.178
20	1220	1.165	62	1200	1.175
21	1200	1.168	63	1200	1.184
22	1200	1.170	64	1200	1.184
23	1225	1.162	65	1200	1.190
24	1225	1.162	66	1200	1.190
25	1200	1.161	67	1200	1.188
26	1200	1.165	68	1200	1.189
27	1200	1.168	69	1200	1.184
28	1200	1.172	70	1200	1.184
29	1200	1.167	71	1200	1.184
30	1200	1.170	72	1200	1.184
31	1200	1.162	73	1225	1.188
32	1200	1.164	74	1200	1.188
33	1200	1.163	75	1200	1.188
34	1200	1.163	76	1200	1.189
35	1200	1.170	77	1200	1.189
36	1200	1.170	78	1200	1.189
37	1200	1.172	79	1200	1.188
38	1200	1.171	80	1200	1.187
39	1200	1.172	81	1250	1.198
40	1200	1.172	82	1200	1.195
41	1200	1.087	83	1200	1.193
42	1200	1.174	84	1200	1.194

Melalui hasil pengukuran untuk tegangan setiap sel setelah dilakukan pengosongan (*discharging*) dari tabel 2

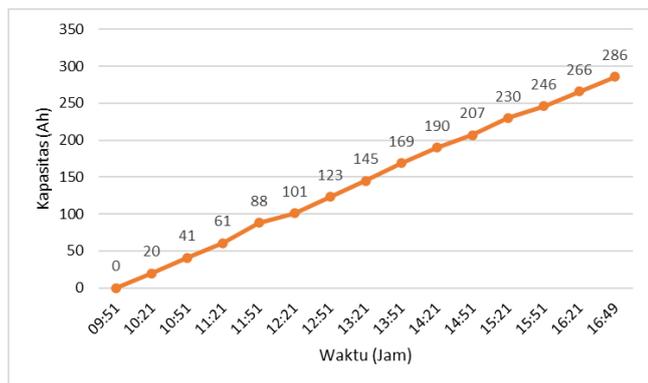
dapat diamati bahwa baterai pada GIS Waru mempunyai tegangan rata-rata sebesar 1.18 Volt dan tegangan total yang dimiliki sebesar 98,5 Volt. Data yang dihasilkan juga tidak terjadi perbedaan yang besar pada tegangan baterai tiap sel[14].

C. DATA PENGUKURAN SAAT PENGOSONGAN BATERAI

Tbl 3. Hasil Pengukuran Pada Saat Pengosongan

Jam Ke	Pukul	Arus	TEG. BAT.	TEG/Sel	Ah
0	09.51	41	107	1.274	0
	10.21	41	102	1.214	20
1	10.51	41	101	1.202	41
	11.21	41	100	1.190	61
2	11.51	41	100	1.181	88
	12.21	41	100	1.177	101
3	12.51	41	100	1.190	123
	13.21	41	99.6	1.186	145
4	13.51	41	99.6	1.186	169
	14.21	41	99.6	1.186	190
5	14.51	41	99.6	1.186	207
	15.21	41	98.6	1.174	230
6	15.51	41	95	1.131	246
	16.21	41	91	1.083	266
7	16.49	41	86	1.000	286

Berdasarkan hasil pengujian dari pengukuran baterai pada GIS Waru saat proses pengosongan (*discharging*) melalui sampel dengan jarak 30 menit. Data yang diperoleh sesuai tabel 3, dapat dikatakan bahwa terjadi penurunan pada tegangan baterai dengan signifikan saat periode mula 30 menit, hal ini terjadi akibat baterai menerima mendadak suatu beban. Melalui hasil tabel dapat grafik

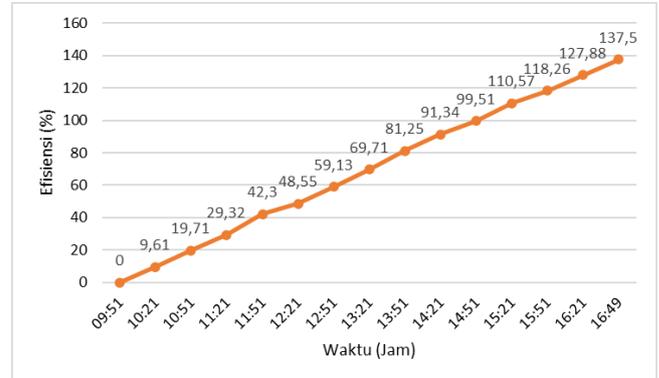


Gbr 2. Grafik Kapasitas Discharging Baterai

Dari grafik kapasitas baterai bisa diamati bahwa setelah dilakukan proses pengosongan baterai selama 7 jam lamanya, maka akan dapat mengetahui kapasitas total pengosongan baterai 110 VDC Unit 1 GIS Waru adalah sebesar 286 Ah[9][12].

D. Efisiensi Baterai

Setelah pengujian pengosongan baterai 110 VDC Unit 1 GIS Waru, maka selanjutnya menghitung efisiensi baterai selama pengosongan. Perhitungan melalui perhitungan efisiensi sesuai dengan rumus (2) dengan kapasitas charging 208 Ah. Hasil Keseluruhan efisiensi dapat dilihat pada grafik berikut[16][17].



Gbr 3. Grafik Efisiensi Selama Discharging Baterai

Grafik efisiensi selama 7 jam discharge baterai menunjukkan peningkatan efisiensi setiap waktunya. Melalui data grafik diwaktu 16:49 menunjukkan nilai efisiensi akhir perbandingan persentase kapasitas total pengosongan terhadap kapasitas total pengisian baterai yaitu sebesar 137,5 %. Maka Kondisi baterai Unit 1 110 VDC di GIS Waru menurut standar PLN dalam kondisi baik karena diatas standar atau diatas 80%.

V. KESIMPULAN

Pengujian pengukuran tegangan kapasitas dan efisiensi baterai sebagai bentuk pemeliharaan sangat berpengaruh terhadap kondisi baterai yang digunakan bila terjadi gangguan. Meskipun penggunaannya hanya sebagai cadangan saat keadaan normal.

Dari hasil pengujian, pengukuran, dan analisa data yang telah dilakukan. GIS Waru merupakan bagian integral dari sistem distribusi tenaga listrik modern. Dalam pengoperasiaanya sistem DC menjadi bagian utama dari gardu induk 150 KV, maka diperlukan pemeliharaan secara rutin. Saat gardu induk 150 KV tidak mendapat suplai DC, mengakibatkan peralatan seperti pengaman seperti relay proteksi, kontrol, dan scadatel tidak akan bekerja.

Dari hasil analisa dari data yang telah dikumpulkan baterai unit 1 110 VDC di GIS Waru mempunyai kapasitas pengosongan sebesar 286 Ah dengan durasi pengosongan dalam waktu 7 jam dan efisiensi yang didapatkan bagus sebesar 137,5%. Kemudian dapat disimpulkan bahwa baterai Unit 1 GIS Waru tersebut masih layak karena masih memenuhi standar operasional efisiensi yang telah ditentukan oleh PLN sebesar (>80%).

REFERENSI

- [1] Y. Ma, "Analysis of common faults in Gas Insulated Substation," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1865, no. 2, p.

- 022055, Apr. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1865/2/022055.
- [2] A. H. Kurniawati, A. M. Ghalya, and D. Januar, "Parameter Gas SF6 untuk Condition Assessment pada GIS," vol. 7, 2022.
- [3] D.R. Tomas, H. Wiwik, Dkk "ANALISIS PENURUNAN KAPASITAS BATERAI 110 VOLT UNIT I DI GI 150 KV KENTUNGAN".
- [4] A. P. Purnomoadi, A. Rodrigo Mor, and J. J. Smit, "Spacer flashover in Gas Insulated Switchgear (GIS) with humid SF6 under different electrical stresses," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 116, p. 105559, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.ijepes.2019.105559.
- [5] PT.PLN (Persero), 2014. "Buku Pedoman Pemeliharaan Primer Gardu Induk," Kepdir No.0520-2.K DIR.
- [6] A. F. Silvana, "JURUSAN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SRIWIJAYA".
- [7] D. Oleh and M. Fajan, "LAPORAN KERJA PRAKTEK PEMELIHARAAN BATERAI PADA GARDU ThTDUK GIS LISTRIK MEDAN".
- [8] F. A. Perdana, "Baterai Lithium," *INKUIRI J. Pendidik. IPA*, vol. 9, no. 2, p. 113, Apr. 2021, doi: 10.20961/inkui.v9i2.50082.
- [9] K.P.Deny, "Pengaruh Variasi Larutan Elektrolite Pada Accumulator Terhadap Arus Dan Tegangan".
- [10] R. Borah, F. R. Hughson, J. Johnston, and T. Nann, "On battery materials and methods," *Mater. Today Adv.*, vol. 6, p. 100046, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.mtadv.2019.100046.
- [11] M. F. Istiqlal and E. Priatna, "ANALISA KAPASITAS BATERAI SEBAGAI SUMBER DC PADA GARDU INDUK TEGANGAN EKSTRA TINGGI 500 KV PT.PLN (PERSERO) TASIKMALAYA," vol. 04, no. 02, 2023.
- [12] S. Meliala, M. Rijal, and T. Taufiq, "STUDI KAPASITAS BATERAI 110 VOLT DC UNIT I PADA GARDU INDUK 150 KV BIREUEN," *J. Energi Elektr.*, vol. 10, no. 2, p. 1, Oct. 2021, doi: 10.29103/jee.v10i2.6202.
- [13] L. Lonteng, E. K. Allo, and L. S. Patras, "Analisa Kemampuan Sumber DC (Baterai dan Charge) dalam Memenuhi Kebutuhan Gardu Induk Teling".
- [14] Joko, Bambang Suprianto, Dkk., 2022. "Analisis dan Efisiensi Kebutuhan Kapasitas Baterai 110 Volt DC Gas Insulated Switchgear (GIS) 150 KV Wonokromo Surabaya". *Jurnal Teknik Elektro.*, Volume 11 No. 03, hal. 481-488.
- [15] M. A. McNeil, N. Karali, and V. Letschert, "Forecasting Indonesia's electricity load through 2030 and peak demand reductions from appliance and lighting efficiency," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 49, pp. 65–77, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.esd.2019.01.001.
- [16] "ANALISA EFISIENSI BATERAI 110 VOLT DI PT. PLN(PERSERO) GARDU INDUK 150 KV PATI," *Pros. Semin. Nas. NCIET*, vol. 1, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.32497/nciet.v1i1.127.
- [17] E. Nurtiasih and I. P. E. Pambudi, "ANALISA KAPASITAS BATERAI KOMUNIKASI PADA GARDU INDUK 150 KV BANTUL," vol. 4, no. 2, 2017.