

**Analisis dan Efisiensi Kebutuhan Kapasitas Baterai 110 Volt DC *Gas Insulated Switchgear* (GIS) 150 KV Wonokromo Surabaya**

**Andrian Nuril Ihsan**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: andrian.18046@mhs.unesa.ac.id

**Joko, Bambang Suprianto, Tri Wrahatnolo**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: joko@unesa.ac.id, bambangsuprianto@unesa.ac.id, triwrahatnolo@unesa.ac.id

**Abstrak**

Penyaluran energi listrik pada *Gas Insulated Switchgear* (GIS) memiliki dua sumber tenaga, yaitu sumber (AC) bolak balik dan (DC) searah. Salah satu sumber DC yang memiliki peran yang sangat penting adalah baterai 110 VDC. Baterai merupakan suatu sel listrik yang terdapat dua proses elektrokimia, yaitu proses *discharging* dan proses *charging*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara pengujian kapasitas dan efisiensi baterai. Standar efisiensi baterai sudah ditetapkan pada SKDIR 0520-2.K/DIR/2014 yaitu baterai yang memiliki efisiensi baterai >80% dapat dikatakan sebagai baterai yang baik dan baterai yang memiliki efisiensi baterai <60% dapat dikatakan sudah tidak baik (rusak). Metode penelitian yang digunakan menggunakan metode penelitian survey dengan pendekatan kuantitatif. Survey dilaksanakan di GIS 150 KV Wonokromo Surabaya untuk melakukan dan mengambil data pengujian kapasitas dan pemeliharaan baterai. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dengan cara membandingkan hasil dengan standart yang tertera didapatkan bahwa baterai 110 VDC pada GIS 150 KV Wonokromo memiliki kapasitas baterai sebesar 83 Ah dan memiliki efisiensi baterai sebesar 26%, sehingga dapat disimpulkan bahwa baterai 110 VDC pada GIS 150 KV Wonokromo Surabaya sudah tidak layak digunakan karena hasil analisis efisiensi baterai 26% dibawah standar PLN yaitu 60%. Penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi PT. PLN (Persero) untuk mengetahui kelayakan baterai.

**Kata Kunci:** Baterai 110 VDC, GIS, Pengujian Kapasitas Baterai

**Abstrack**

The distribution of electrical energy in Gas Insulated Switchgear (GIS) has two power sources, namely alternating (AC) and direct (DC) sources. One DC source that has a very important role is a 110 VDC battery. The battery is an electric cell that has two electrochemical processes, namely the discharging process and the charging process. This study aims to determine how to test the capacity and efficiency of the battery. Battery efficiency standards have been set in SKDIR 0520-2.K/DIR/2014, namely batteries with battery efficiency >80% can be said to be good batteries and batteries with battery efficiency <60% can be said to be bad (damaged) . The research method used is a survey research method with a quantitative approach. The survey was carried out at GIS 150 KV Wonokromo Surabaya to conduct and retrieve data on capacity testing and battery maintenance. Based on the results of the analysis carried out by comparing the results with the standard shown that the 110 VDC battery in the GIS 150 KV Wonokromo has a battery capacity of 83 Ah and has a battery efficiency of 26%, so it can be said that the 110 VDC battery in the GIS 150 KV Wonokromo Surabaya has not feasible to use because the results of the battery efficiency analysis are 26% below the PLN standard, which is 60%. This research can be used as a reference for PT. PLN (Persero) to find out the location of the battery.

**Keyword:** Battery 110 VDC, GIS, Battery Capacity Test

**PENDAHULUAN**

Dalam memenuhi permintaan kebutuhan listrik yang semakin berkembang pesat di Indonesia khususnya di daerah Jawa Timur, maka perlu untuk meningkatkan sistem keamanan listrik (Mcneil, dkk, 2019). GIS adalah salah satu kategori dari gardu induk yang menggunakan isolasi berupa gas. Berdasarkan tata letaknya, GIS dapat

dibedakan menjadi dua, yaitu (*indoor*) didalam ruangan dan (*outdoor*) di luar ruangan. Pada GIS terdapat berbagai macam peralatan seperti trafo arus, trafo tegangan, pemutus tenaga, pemisah, dan busbar yang ditempatkan pada unit yang terpisah-pisah dan diisi oleh gas SF<sub>6</sub> (Franks, 2022).

Pada GIS terdapat dua sumber utama untuk pengoperasian tenaga listrik, yaitu sumber (AC) arus bolak balik dan sumber (DC) arus searah. DC Power merupakan suatu alat bantu yang sangat diperlukan sebagai sumber dari arus DC yang digunakan pada peralatan proteksi, peralatan kontrol, dan peralatan lain yang memakai arus DC sebagai sumbernya, untuk unit pembangkit dalam kondisi normal maupun darurat. Sumber utama pada suplai DC di sistem *gas insulated switchgear* adalah *rectifier*, namun ketika terjadi gangguan pada *rectifier* maka baterai akan secara langsung bekerja sebagai *back-up* catu daya DC untuk peralatan bantu beban arus searah pada GIS agar bisa terus bekerja secara maksimal. Baterai merupakan salah satu komponen pendukung yang sangat vital pada sistem *gas insulated switchgear*, karena baterai harus mampu menyuplai daya ke peralatan meski dalam kondisi tanpa *charger* maupun dalam kondisi *blackout*.

Dalam penyaluran tenaga listrik dibutuhkan sistem proteksi yang baik pula sehingga keandalan sumber DC harus selalu diperhatikan, maka perlu untuk melakukan pemeliharaan baterai secara berkala. Penggunaan baterai secara terus menerus untuk beban DC pada GIS tanpa dilakukan pemeliharaan yang benar dapat mengakibatkan penurunan kinerja pada baterai. Ketika sistem suplai DC pada GIS tidak bekerja, maka akan berdampak pada terjadinya kegagalan sistem proteksi di GIS dan dapat mengakibatkan permasalahan yang besar. Salah satu dampak dari penurunan kapasitas dan efisiensi baterai pada *gas insulated switchgear* adalah gagalnya trip pada PMT/PMS saat terjadi gangguan, jika hal ini berlangsung cukup lama akan dapat mengakibatkan arus gangguan semakin besar dan dapat merusak peralatan lain pada GIS (Allwyn, dkk, 2022).

Tujuan dari proses pengukuran baterai adalah untuk memahami keadaan tegangan suatu baterai untuk setiap sel dan tegangan total baterai. Dari proses pengukuran tegangan baterai tersebut diharuskan tegangan suatu baterai tetap dalam keadaan baik. Proses pengukuran berat jenis harus dikerjakan untuk memahami keadaan elektrolit suatu baterai. Elektrolit suatu baterai berfungsi untuk menjadi tempat pemindahan elektron. Proses pengukuran suhu elektrolit diperlukan untuk memahami keadaan dari elektrolit baterai pada saat kondisi *Charging* ataupun dalam keadaan tidak bagus. Tujuan dari pengujian kapasitas suatu baterai adalah untuk memahami karakteristik pada baterai tersebut, sehingga diketahui sampai manakah baterai mampu memasok arus DC saat sedang gangguan berlangsung. Namun semua sistem baterai yang masih baru sebaiknya dilakukan proses pengujian dahulu dengan cara melakukan pengujian kapasitas untuk mengetahui bahwa baterai tersebut bisa bekerja dengan maksimal (Stock, dkk, 2022).

Oleh karena itu, peneliti menemukan beberapa permasalahan yang ada, sehingga dapat ditemukan

rumuskan masalah yaitu, (1) Bagaimana pengujian kapasitas pada baterai 110 Volt DC pada GIS 150 KV Wonokromo? (2) Setelah pengujian kapasitas selesai dilakukan bagaimana hasil analisis yang dihasilkan?. Dari rumusan masalah diatas dapat diperoleh tujuan penelitian yaitu (1) Mengetahui cara pengujian kapasitas baterai 110 Volt DC pada GIS 150 KV Wonokromo (2) Menganalisis perhitungan berdasarkan hasil pengujian kapasitas yang telah dilakukan untuk mengetahui efisiensi baterai.

## KAJIAN PUSTAKA

*Gas Insulated Switchgear* (GIS) dapat diartikan sebagai sebuah rangkaian dari beberapa peralatan yang terpasang didalam *metal enclosure* dan diisolasi oleh gas bertekanan. Gas yang dipakai pada umumnya adalah Sulfur Hexafluoride (SF<sub>6</sub>). GIS merupakan sebuah sistem untuk menghubungkan dan memutuskan jaringan listrik yang dikemas menggunakan gas sulfur hexaflorida bertekanan sebagai material isolasi elektrik dan pemadaman busur api (Purnomoadi, dkk, 2020).

GIS sangat membutuhkan sumber arus (DC) searah, terutama untuk menjalankan motor pengisi pegas PMT, *men-trip* PMT ketika terjadi gangguan, memasok instalasi penerangan darurat, memasok alat-alat telekomunikasi (Zohrevand, dkk, 2022). Instalasi pada sistem DC suatu gardu induk berfungsi untuk mengirimkan suplai DC yang dipasok oleh *rectifier* tiga fasa maupun satu fasa yang dihubungkan pada suatu baterai. Jenis instalasi atau suplai DC yang dipakai pada GIS Wonokromo yaitu instalasi sistem DC 110 Volt.

## Peralatan-peralatan Sistem DC

Terdapat beberapa bagian utama pada peralatan-peralatan sistem DC, yaitu:

### 1. Rectifier

*Rectifier* merupakan suatu rangkaian alat listrik yang berfungsi untuk mengubah arus (AC) bolak balik menjadi arus (DC) searah. *Rectifier* yang biasanya terpasang pada gardu induk berfungsi untuk mengisis muatan suatu baterai, kemudian memasok daya ke beban secara kontinu dan menjaga suatu baterai supaya tetap dalam keadaan penuh.

### 2. Baterai

Baterai merupakan sebuah perangkat yang mempunyai sel listrik didalamnya yang bisa menyimpan energi dan dapat diubah menjadi daya. Baterai menghasilkan energi listrik melalui dua proses elektrokimia yang bersifat reversible (dapat berbalik) (Breeze, 2018). Proses yang pertama adalah proses pengosongan (*discgarging*) dimana proses itu merupakan proses perubahan dari kimia menjadi listrik, begitu juga sebaliknya proses pengisian (*charging*) yaitu proses perubahan dari listrik menjadi kimia dengan cara melakukan

pergantian dari elektroda-elektroda yang telah dipakai tanpa memperhatikan arus listrik dalam arah (polaritas) yang saling berlawanan (Turksoy, dkk, 2020). Baterai 110 Volt DC pada GIS Wonokromo Surabaya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Baterai 110 VDC Pada *Gas Insulated Switchgear* 150 KV Wonokromo Surabaya

### Macam-macam Baterai

Terdapat beberapa macam jenis baterai yang sering dipakai pada umumnya, antara lain :

#### 1. Baterai Asam (*Lead Acid Storage Battery*)

Elektrolit baterai penyimpan asam adalah larutan asam sulfat. Pada baterai asam, elektroda terdiri dari pelat timah oksida sebagai anoda (elektroda positif) dan timbal murni Pb (spon timah) sebagai katoda (elektroda negatif). ciri-ciri utama dari baterai ini adalah ukuran baterai per sel lebih besar dari baterai alkali (Wilberforce, dkk, 2022).

#### 2. Baterai Alkali (*Alkaline Storage Battery*)

Elektrolit dalam baterai alkaline adalah larutan alkali (kalium hidroksida). Baterai alkaline cadmium (Ni-Cd) paling umum digunakan di pembangkit listrik. Baterai ini memiliki tegangan nominal 1,2 Volt per sel (Amli, dkk, 2021).

#### 3. Baterai Kering/ *Lithium*

Baterai kering adalah suatu baterai yang bekerja dengan menggunakan ion *lithium*. Dalam baterai ini terdapat katoda dan anoda yang terbentuk dari *lithium* oksida dan juga karbon. Elektrolit baterai kering terdiri dari garam *lithium* yang terlarut oleh pelarut organik.

Bahan yang digunakan untuk membuat suatu anoda adalah grafit, sedangkan bahan yang digunakan membuat untuk suatu katoda terdiri dari bahan-bahan berikut: *lithium* besi fosfat, *lithium* kobalt oksida, atau *lithium* mangan oksida. Elektrolit-elektrolit yang sering digunakan ialah garam *lithium* seperti *lithium tetrafluoroborate* ( $\text{LiBF}_6$ ), *lithium hexafluorophosphate* ( $\text{LiPF}_6$ ), dan *lithium perklorat* ( $\text{LiClO}_4$ ) (Chen, dkk, 2021).

### Bagian-bagian Utama Baterai

#### 1. Elektroda

Pada setiap sel baterai terdapat dua (2) macam elektroda yang direndam pada suatu larutan senyawa kimia, elektroda tersebut adalah elektroda positif dan negatif. Elektroda positif dan elektroda negatif terbuat dari beberapa grid dan material aktif, grid tersebut merupakan suatu rangka besi untuk menjadi tempat bagi material aktif, sedangkan material aktif merupakan suatu material yang bereaksi secara kimia agar bisa memperoleh energi listrik saat proses pengosongan (*discharging*).

#### 2. Elektrolit

Elektrolit merupakan suatu larutan zat cair atau senyawa yang bisa mengirimkan arus listrik, dikarenakan senyawa tersebut bisa menghasilkan muatan positif juga muatan negatif. Bagian yang bermuatan positif yaitu ion positif, sedangkan bagian yang bermuatan negatif yaitu ion negatif. Jika ion yang bisa dihasilkan oleh elektrolit semakin banyak, konduktivitas listriknya akan semakin tinggi.

#### 3. Sel Baterai

Sel baterai adalah salah satu komponen yang didalamnya terdapat elektroda positif dan juga elektroda negatif dalam cairan senyawa elektrolit yang telah dipisahkan oleh penyekat.

#### 4. Separator

Separator/penyekat baterai mempunyai susunan berpori yang terdapat diantara elektroda positif dan juga elektroda negatif pada tiap sel baterai agar larutan elektrolit yang terletak pada sel baterai bisa melaluinya (Kalnaus, dkk, 2017).

#### 5. Kotak Baterai

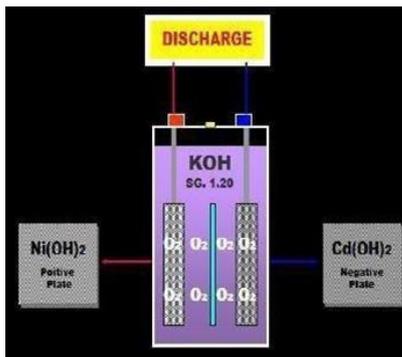
Sel baterai terdapat dua macam wadah (*container*), yaitu: wadah baja (*steel container*) dan juga wadah plastik (*plastic container*). Sel baterai biasanya ditempatkan di rak berbahan kayu pada wadah baja dan juga rak yang terbentuk dari suatu besi berisolasi pada wadah plastik. Tujuan dari rak sel baterai adalah untuk mencegah terjadinya hubung singkat maupun hubung tanah antara sel baterai jika elektrolit baterai mengalami kebocoran (Zhao, dkk, 2022).

#### 6. Terminal dan Penghubung Baterai

Terminal dan klem sel baterai menggunakan bahan baja atau tembaga berlapis nikel untuk membantu menghubungkan antar kutub sel suatu baterai, tetapi konektor antar unit atau kelompok baterai terbuat dari bahan berlapis nikel atau berupa kabel terisolasi (*Insulated Flexible Cable*).

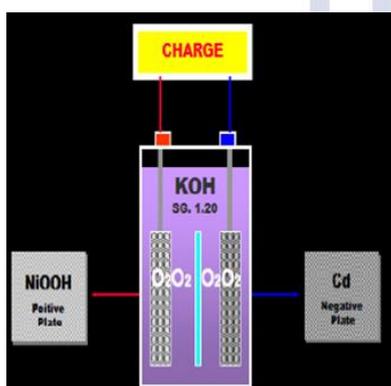
### Cara Kerja Baterai

Cara kerja suatu baterai terdiri dari 2 (dua) proses, yaitu: proses pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*). Pada saat terjadi proses pengosongan (*discharging*), maka sel baterai yang terkoneksi ke beban akan memperoleh suplai, dan kemudian elektron mengalir dari anoda melalui beban menuju katoda. Dari hasil reaksi tersebut, maka ion positif akan mengalir menuju katoda, sedangkan ion negatif akan mengalir menuju anoda (Tomaszewska, dkk, 2019). Proses *discharging* baterai dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses Pengosongan (*Discharging*)  
(Sumber : Silvana, 2019)

Ketika sel baterai terhubung ke suplai pada saat proses pengisian (*charging*), maka polaritas elektroda suatu baterai akan berbeda dengan ketika pengosongan (*discharging*). Elektroda negatif akan berubah menjadi katoda, sedangkan elektroda positif akan berubah menjadi anoda, sehingga elektron kemudian mengalir dari anoda menuju ke katoda melewati suplai (Tomaszewska, dkk, 2019). Proses *charging* baterai dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses pengisian (*Charging*)  
(Sumber : Silvana, 2019)

### Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai merupakan salah satu ukuran kemampuan suatu baterai untuk melewati besar arus selama periode waktu yang telah ditentukan, kapasitas baterai biasanya ditentukan dengan AH (*Ampere Hour*) (Ruan, dkk, 2022), misalkan baterai yang memiliki

tegangan sebesar 110 VDC, baterai yang dipakai adalah baterai dengan kapasitas 200 Ah, dan jika arus beban diatur menjadi 5 A, maka baterai akan dapat menahan beban dalam kurun waktu 40 jam.

Pada umumnya terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi ketahanan suatu baterai, contohnya adalah proses *charging* yang tidak berjalan dengan baik, adanya kerusakan elektroda yang merupakan tempat zat aktif bereaksi pada baterai, terdapat zat karbon dalam jumlah yang banyak pada baterai selain dari faktor umum baterai itu sendiri.

Untuk dapat mengetahui apakah baterai sudah terisi penuh atau belum, maka pengukuran kondisi baterai perlu dilakukan dengan cara melakukan uji simulasi beban yang dapat disesuaikan sehingga arus dapat diatur secara konstan, Sehingga tegangan baterai akan turun dari nilai nominalnya. Untuk dapat mengetahui kapasitas dari suatu baterai, diperoleh dengan persamaan 1.

$$C = I \times t \quad (1)$$

Keterangan :

$C$  = Kapasitas baterai (Ah)

$I$  = Arus (Ampere)

$t$  = Waktu (jam/sekon)

### Efisiensi Baterai

Menurut standar SKDIR 0520-2.K/DIR/2014 dari PT. PLN (Persero) suatu baterai dapat dikatakan baik yaitu baterai yang mempunyai efisiensi baterai sebesar >80% dan dapat dikatakan buruk jika efisisensi dari baterai tersebut <60%. Efisisensi baterai dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2.

$$\eta_{\text{baterai}} = \frac{C_d}{C_c} \times 100 \% \quad (2)$$

Keterangan :

$\eta$  = Efisiensi Baterai (%)

$C_d$  = Kapasitas Pengosongan (Ampere Hour)

$C_c$  = Kapasitas Pengisian (Ampere Hour)

Menurut standar dari IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), suatu baterai memiliki :

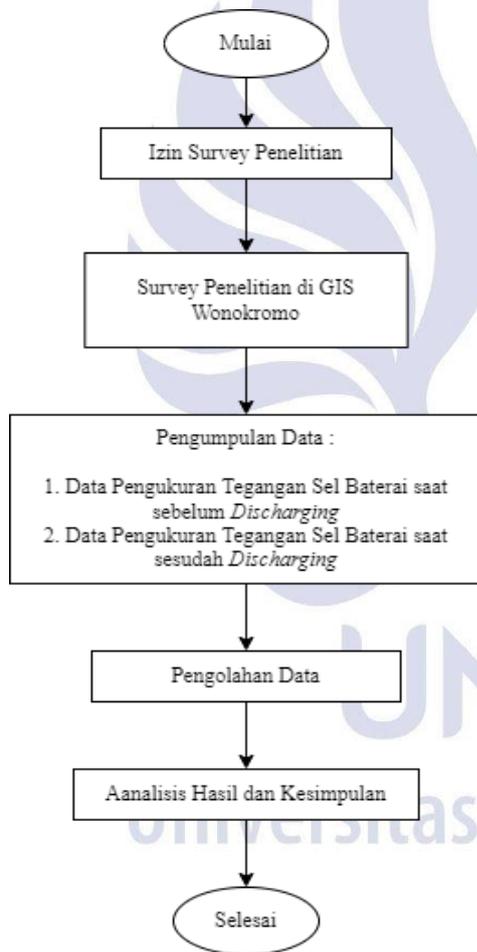
1. Tegangan Minimum ( $V_{\text{min}}$ ) adalah sebesar 95 % dari tegangan nominal baterai yang digunakan, Jadi jika tegangan nominal sebesar 110 VDC maka baterai akan memiliki tegangan minimum sebesar 104,5 VDC.
2. Tegangan Minimum ( $V_{\text{min}}$ ) pengosongan adalah sebesar 80% dari tegangan penuh baterai yang digunakan.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan menggunakan metode penelitian survey, yaitu untuk melakukan penelitian dan pengambilan data dengan menggunakan pendekatan

kuantitatif. Penelitian ini dilakukan di GIS 150 KV Wonokromo Surabaya.

Data baterai yang dipakai dalam penelitian ini merupakan data dari pemeliharaan baterai, dan data pengukuran tegangan baterai. Setelah semua data terkumpul, maka dilakukan perhitungan tegangan baterai. Selanjutnya dilakukan perhitungan beban input ke baterai 110 VDC dan output dari baterai tersebut ke beban yang ada di GIS 150 KV Wonokromo. Setelah itu dilakukan analisa dari hasil pemeliharaan, pengukuran, serta pengujian pada baterai 110 VDC di GIS 150 KV Wonokromo. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Pengukuran Tegangan Tiap Sel Sebelum Pengosongan

Berikut adalah data dari hasil pengukuran tegangan tiap sel sebelum proses pengosongan di GIS 150 KV Wonokromo pada pengujian tiap 2 tahunan, dengan spesifikasi dari baterai tersebut yaitu merk NICA *type* NAM 310, terdapat 84 sel baterai dengan kapasitas sebesar 310 Ah.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Tegangan Tiap Sel Sebelum *Discharging*

Sel	BJ	TEG	No	BJ	TEG
1	1,2	1,41	43	1,2	1,40
2	1,2	1,42	44	1,2	1,42
3	1,2	1,40	45	1,2	1,41
4	1,2	1,41	46	1,2	1,41
5	1,2	1,41	47	1,2	1,41
6	1,2	1,38	48	1,2	1,41
7	1,2	1,42	49	1,2	1,41
8	1,2	1,43	50	1,2	1,41
9	1,2	1,41	51	1,2	1,42
10	1,2	1,42	52	1,2	1,41
11	1,2	1,41	53	1,2	1,40
12	1,2	1,42	54	1,2	1,42
13	1,2	1,41	55	1,2	1,41
14	1,2	1,42	56	1,2	1,40
15	1,2	1,42	57	1,2	1,41
16	1,2	1,42	58	1,2	1,41
17	1,2	1,41	59	1,2	1,40
18	1,2	1,42	60	1,2	1,41
19	1,2	1,42	61	1,2	1,41
20	1,2	1,42	62	1,2	1,39
21	1,2	1,41	63	1,2	1,40
22	1,2	1,42	64	1,2	1,42
23	1,2	1,40	65	1,2	1,42
24	1,2	1,40	66	1,2	1,41
25	1,2	1,40	67	1,2	1,41
26	1,2	1,41	68	1,2	1,41
27	1,2	1,42	69	1,2	1,42
28	1,2	1,42	70	1,2	1,42
29	1,2	1,41	71	1,2	1,42
30	1,2	1,41	72	1,2	1,40
31	1,2	1,42	73	1,2	1,41
32	1,2	1,42	74	1,2	1,41
33	1,2	1,40	75	1,2	1,42
34	1,2	1,42	76	1,2	1,32
35	1,2	1,39	77	1,2	1,42
36	1,2	1,40	78	1,2	1,39
37	1,2	1,40	79	1,2	1,38
38	1,2	1,41	80	1,2	1,30
39	1,2	1,42	81	1,2	1,40
40	1,2	1,40	82	1,2	1,41
41	1,2	1,40	83	1,2	1,41
42	1,2	1,41	84	1,2	1,41
Tegangan Total				121	

Dari hasil pengukuran tegangan tiap sel sebelum proses *discharging* yang dapat dilihat pada Tabel 1, tegangan rata-rata pada GIS Wonokromo sebesar 1,41 Volt, dan tegangan totalnya adalah sebesar 121 Volt, dari Tabel 1 juga tidak adanya perbedaan tegangan yang besar pada tiap sel baterai. Menurut standar pengukuran tegangan suatu baterai dari PT. PLN (Persero), baterai bisa dikatakan dalam kondisi baik jika memiliki tegangan nominal baterai antara 1,2 – 2 Volt tiap sel. Baterai pada GIS Wonokromo ini masih bisa dikatakan normal, karena pada pengukuran tegangan tiap sel

sebelum proses *discharging* tegangan rata-rata dari baterai tersebut sebesar 1,41 Volt. Apabila terlihat perbedaan yang besar pada tegangan baterai di beberapa sel, maka dapat diketahui bahwa baterai tersebut mengalami kerusakan.

**Data Pengukuran Tegangan Tiap Sel Sesudah Pengosongan**

Tabel 2. Hasil Pengukuran Tegangan Tiap Sel Sesudah *Discharging*

Sel	BJ	TEG	Sel	BJ	TEG
1	1,2	1,25	43	1,2	1,25
2	1,2	1,25	44	1,2	1,23
3	1,2	1,25	45	1,2	1,25
4	1,2	1,25	46	1,2	1,25
5	1,2	1,25	47	1,2	1,25
6	1,2	1,25	48	1,2	1,25
7	1,2	1,25	49	1,2	1,25
8	1,2	1,25	50	1,2	1,25
9	1,2	1,25	51	1,2	1,25
10	1,2	1,25	52	1,2	1,25
11	1,2	1,25	53	1,2	1,25
12	1,2	1,25	54	1,2	1,25
13	1,2	1,25	55	1,2	1,25
14	1,2	1,25	56	1,2	1,25
15	1,2	1,25	57	1,2	1,25
16	1,2	1,25	58	1,2	1,25
17	1,2	1,25	59	1,2	1,25
18	1,2	1,25	60	1,2	1,25
19	1,2	1,25	61	1,2	1,25
20	1,2	1,25	62	1,2	1,25
21	1,2	1,25	63	1,2	1,25
22	1,2	1,25	64	1,2	1,25
23	1,2	1,25	65	1,2	1,25
24	1,2	1,25	66	1,2	1,25
25	1,2	1,25	67	1,2	1,25
26	1,2	1,25	68	1,2	1,25
27	1,2	1,25	69	1,2	1,25
28	1,2	1,25	70	1,2	1,25
29	1,2	1,25	71	1,2	1,25
30	1,2	1,26	72	1,2	1,25
31	1,2	1,25	73	1,2	1,25
32	1,2	1,25	74	1,2	1,25
33	1,2	1,25	75	1,2	1,25
34	1,2	1,25	76	1,2	1,25
35	1,2	1,25	77	1,2	1,23
36	1,2	1,25	78	1,2	1,25
37	1,2	1,25	79	1,2	1,25
38	1,2	1,25	80	1,2	1,25
39	1,2	1,25	81	1,2	1,23
40	1,2	1,25	82	1,2	1,25
41	1,2	1,23	83	1,2	1,25
42	1,2	1,25	84	1,2	1,25
Tegangan		Total			104,8

Dari hasil pengukuran tegangan tiap sel sesudah proses *discharging* pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa baterai di GIS Wonokromo memiliki tegangan rata-rata baterai sebesar 1,25 Volt. Baterai tersebut memiliki tegangan total sebesar 104,8 Volt dan juga tidak adanya perbedaan yang besar pada tegangan baterai tiap sel.

**Data Pengukuran Pada Saat Pengosongan**

Berikut adalah hasil dari proses pengosongan (*discharging*) baterai 110 Volt DC yang dilakukan di GIS 150 KV Wonokromo:

Tabel 3. Hasil Pengukuran Pada Saat Pengosongan (*discharging*)

Jam Ke	Pukul	Arus	TEG. BAT.	TEG/Sel	Ah
0	10.03	62	110	1,40	0
	10.33	62	95,2	1,16	31
1	11.03	62	102	1,16	62
	11.33	62	106	1,16	74
2	12.03	62	105	1,16	83
	12.33	62	-	-	-

Berdasarkan pengujian yang dilakukan didapatkan data dari pengukuran tegangan baterai di GIS Wonokromo saat proses *discgaring* dengan menggunakan sampel pada setiap 30 menit. Dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa terjadinya penurunan tegangan baterai yang cukup signifikan pada periode 30 menit awal, ini terjadi karena baterai diberikan beban secara mendadak, sehingga terjadi penurunan tegangan.

**Perhitungan Kapasitas Baterai**

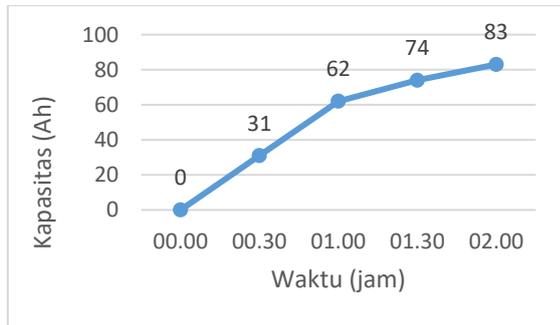
Setelah dilakukan uji pengosongan baterai, selanjutnya adalah menghitung kapasitas baterai 110 VDC GIS Wonokromo. Untuk dapat mengetahui kapasitas baterai dengan menggunakan rumus pada persamaan (1).

Analisis perhitungan baterai yang dilakukan menggunakan persamaan (1) dengan arus sebesar 62 A. Perhitungan pengosongan baterai pada saat jam ke 0 didapatkan hasil sebesar 0 Ah. Perhitungan pengosongan baterai pada waktu 30 menit didapatkan hasil sebesar 31 Ah, hasil ini sama dengan hasil pengukuran yaitu 31 Ah. Perhitungan pengosongan baerai pada jam ke 1 didapatkan hasil sebesar 62 Ah, hasil ini juga sama dengan hasil pengukuran yaitu 62 Ah. Perhitungan pengosongan baterai pada jam ke 1 lebih 30 menit didapatkan hasil sebesar 93 Ah, hasil ini berbeda dari hasil pengukuran. Hasil pengukuran baterai sebesar 74 Ah. Perhitungan pengosongan baterai pada jam ke 2 didapatkan hasil sebesar 124 Ah, hasil ini juga berbeda dari hasil pengukuran. Hasil pengukuran baterai di GIS Wonokromo sebesar 83 Ah. Hasil keseluruhan kapasitas baterai dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Kapasitas Baterai Hasil Uji Pengosongan GIS Wonokromo

Waktu Terhitung	00.00	00.30	01.00	01.30	02.00
Kapasitas	0	31	62	74	83

Berdasarkan hasil dari Tabel 4 maka didapatkan grafik kapasitas terhadap waktu *discharging* baterai 110 VDC GIS Wonokromo pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Kapasitas Terhadap Waktu *Discharging* Baterai

Dari grafik kapasitas baterai dapat dilihat bahwa setelah proses pengosongan baterai dilakukan yang berlangsung selama 2 jam maka dapat diketahui kapasitas baterai 110 VDC GIS Wonokromo adalah sebesar 83 Ah.

#### Perhitungan Efisiensi Baterai

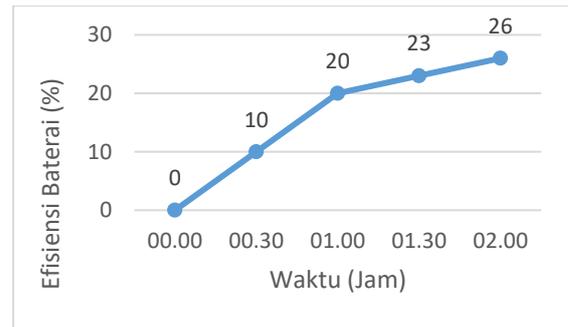
Setelah melakukan perhitungan kapasitas baterai, proses selanjutnya adalah melakukan perhitungan efisiensi dari baterai. Untuk mengetahui efisiensi suatu baterai yaitu dengan menggunakan rumus pada persamaan (2). Perhitungan efisiensi baterai 110 VDC di GIS Wonokromo menggunakan sampel waktu tiap 30 menit sekali.

Analisa perhitungan efisiensi baterai menggunakan persamaan (2) dengan kapasitas *charging* sebesar 310 Ah. Perhitungan efisiensi baterai pada saat jam ke 0 didapatkan hasil sebesar 0%. Perhitungan efisiensi baterai pada waktu 30 menit didapatkan hasil sebesar 10%. Perhitungan efisiensi baterai pada saat jam ke 1 didapatkan hasil sebesar 20%. Perhitungan efisiensi baterai pada saat jam ke 1 lebih 30 menit didapatkan hasil sebesar 23%. Perhitungan efisiensi baterai pada saat jam ke 2 didapatkan hasil sebesar 26%. Hasil keseluruhan perhitungan efisiensi baterai dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Efisiensi Baterai GIS Wonokromo

Waktu Terhitung	00.00	00.30	01.00	01.30	02.00
Efisiensi	0 %	10 %	20 %	23 %	26 %

Berdasarkan hasil dari Tabel 5 maka diperoleh grafik efisiensi terhadap waktu *discharging* baterai 110 VDC GIS Wonokromo pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Efisiensi Terhadap Waktu *Discharging* Baterai

Dari grafik efisiensi *discharging* baterai dapat dilihat bahwa setelah dilakukan proses pengosongan baterai, dengan waktu pengosongan baterai selama sekitar 2 jam, maka didapatkan kapasitas baterai sebesar 83 Ah sehingga efisiensi baterai adalah 26 %.

#### Kebutuhan Kapasitas Baterai

GIS 150 KV Wonokromo pada saat ini membutuhkan sumber daya DC dari baterai 110 Volt dengan tegangan dari gardu induk sebesar 6 Ampere, kapasitas dari baterai 110 VDC setelah diuji ini sebesar 83 Ah. Maka bisa diketahui beban baterai dari GIS wonokromo adalah sebesar 660 Watt.

Baterai pada gardu induk wonokromo ini setidaknya bisa bertahan selama 2 jam ketika terjadi gangguan pada sumber daya utama, maka dapat disimpulkan bahwa baterai 110 VDC pada gardu induk wonokromo tidak mampu untuk memenuhi standar kebutuhan sumber daya DC pada saat terjadinya *blackout* dikarenakan setelah dilakukan 2 jam pengujian, baterai diketahui hanya mempunyai kapasitas baterai sebesar 83 Ah atau 26%.

#### PENUTUP

##### Simpulan

Dari hasil penelitian yang sudah dilaksanakan dan pembahasan analisis serta rumusan masalah yang ada bahwa. Sistem DC merupakan bagian penting dari gardu induk 150 KV, maka perlu dilakukan peeliharaan dan pengukuran secara berkala. Ketika pada gardu induk 150 KV tidak mendapatkan suplai DC, maka peralatan seperti proteksi tidak dapat bekerja secara maksimal.

Dari hasil pengukuran baterai 110 VDC GIS Wonokromo mempunyai kapasitas sebesar 83 Ah dengan waktu proses pengosongan selama 2 jam dan memiliki efisiensi sebesar 26%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa baterai tersebut sudah tidak layak dan diharuskan segera diganti karena sudah melewati batas minimum suatu baterai yang telah ditetapkan oleh standar dari PLN yaitu (<60%).

## Saran

Di akhir penelitian penulis memberi beberapa saran kepada PT. PLN (Persero) GIS 150 KV Wonokromo agar selalu melakukan pemeliharaan baterai sesuai jadwal atau waktu yang sudah ditetapkan dan jika mendapati kapasitas suatu baterai yang sudah menurun dan efisiensi dari baterai sudah dibawah standar, maka lebih baik menggantinya secara keseluruhan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allwyn. Rona George, Al-Hinai. Amer, Al-Abri. Rashid, dan Malik. Arif. 2022. *Optimization and techno-economic analysis of PV/Battery system for street lighting using genetic algorithm* – A case study in Oman, *Cleaner Engineering and Technology*, Volume 8.
- Amlı. H, Booth. M, Dhanak. V, dan Ahmed. Waqar. 2021. *Chapter 19 - Recent developments in battery technologies*, In *Micro and Nano Technologies*, Emerging Nanotechnologies for Renewable Energy, Elsevier, Pages 517-543.
- Breeze. Paul. 2018. *Chapter 4 - Large-Scale Batteries*, Power System Energy Storage Technologies, Academic Press, Pages 33-45.
- Chen. Yuqiang, Kang. Y., Zhao. Y., Wang. L., Liu. J., Li. Y., dan Li. B. 2021. *A review of lithium-ion battery safety concerns: The issues, strategies, and testing standards*. *Journal of Energy Chemistry*.
- Franks. Jonathan. 2022. *Gas Insulated Switchgear (GIS) An informal introduction*. *Osecoelfab Journal*.
- Kalnaus. Sergiy, Wang. Yanli, dan Turner. John A. 2017. *Mechanical behavior and failure mechanisms of Li-ion battery separators*, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831-6164, USA.
- McNeil. Michael A., Karali. Nihan, dan Letschert. Virginie. 2019. *Forecasting Indonesia's electricity load through 2030 and peak demand reductions from appliance and lighting efficiency*, *Energy for Sustainable Development*, Volume 49, Pages 65-77.
- Tim Penyusun PLN. 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Sistem Suplai AC/DC*. Jakarta : PT PLN (Persero).
- Tim Penyusun PLN. 2014. *Buku Petunjuk Batasan Operasi Dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Compartment*. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- Purnomoadi. A. P., Mor. Rodrigo. A., dan Smit. J. J. 2020. *Spacer flashover in Gas Insulated Switchgear (GIS) with humid SF6 under different electrical stresses*. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*.
- Ruan. Guanqiang, Hua. Jing, Hu. Xing, dan Yu. Changqing. 2022. *Study on the influence of magnetic field on the performance of lithium-ion batteries*, *Energy Reports*, Volume 8, Pages 1294-1304.
- Silvana. A. F., dan Caroline. C. 2019. *Pengaruh Proses Pengosongan (Discharging) Terhadap Kapasitas Dan Efisiensi Baterai 110 Vdc Di Gardu Induk Sungai Kedukan Palembang*. Doctoral dissertation, Universitas Sriwijaya.
- Stock. Sandro, Pohlmann. Sebastian, Günter. Florian J., Hille. Lucas, Hagemeyer. Jan, dan Reinhart. Gunther. 2022. *Early Quality Classification and Prediction of Battery Cycle Life in Production Using Machine Learning*, *Journal of Energy Storage*, Volume 50.
- Tomaszewska. Anna, Chu. Zhengyu, Feng. Xuning, O'Kane. Simon, Liu. Xinhua, Chen. Jingyi, Ji. Chenzhen, Endler. Elizabeth, Li. Ruihe, Liu. Lishuo, Li. Yalun, Zheng. Siqi, Vetterlein. Sebastian, Gao. Ming, Du. Jiuyu, Parkes. Michael, Ouyang. Minggao, Marinescu. Monica, Offer. Gregory, dan Wu. Billy. 2019. *Lithium-ion battery fast charging: A review*, *eTransportation*, Volume 1.
- Turksoy. Arzu, Teke. Ahmet, dan Alkaya. Alkan. 2020. *A comprehensive overview of the dc-dc converter-based battery charge balancing methods in electric vehicles*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Wilberforce. Tabbi, Thompson. James, dan Olabi. Abdul-Ghani. 2022. *Classification of Energy Storage Materials*, *Encyclopedia of Smart Materials*, Elsevier, Pages 8-14.
- Zhao. Gang, Xiaolin. Wang, dan Michael Negnevitsky. 2022. *Connecting battery technologies for electric vehicles from battery materials to management*, *iScience*, Volume 25, Issue 2.
- Zohrevand. Javad, Karami. Hamidreza, Rubinstein. Marcos, dan Rachidi. Farhad. 2022. *Partial discharge localization using time reversal: Application to gas insulated switchgear*, *Electric Power Systems Research*, Volume 212.