
KEGAGALAN PROTEKSI PADA GARDU INDUK 150 kV AKIBAT SUPLAJ TEGANGAN DC

SUGIANTO, NASRUN LUBIS

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta
Jalan Moh. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640
Email : sugianto_emi@yahoo.com

ABSTRAK

Sistem proteksi merupakan hal yang sangat penting dalam sebuah gardu induk. Sistem proteksi di gardu induk disuplai dari sumber tegangan DC. Suplai tegangan DC tersebut didapat dari baterai 110 VDC. Relai proteksi dan mekanik tidak mendapatkan suplai tegangan DC maka akan berdampak pada PMT tidak bisa trip saat terjadi gangguan untuk mengamankan trafo. Tidak adanya suplai tegangan DC akibat dari baterai 110 VDC mengalami kelainan atau kerusakan. Untuk itu diperlukan pengujian kapasitas baterai pada baterai 110 VDC dengan alat uji *Battery Capacity Test* (BCT). Hasil pengujian kapasitas baterai yang didapat mengalami penurunan dari 400 Ah menjadi 125.6 Ah. Penurunan tersebut terjadi karena kualitas cairan elektrolit yang mulai memburuk dan kutub baterai mengalami korosi. Untuk mengatasi hal tersebut, maka diperlukan pemeliharaan secara visual dan rekondisi baterai agar baterai normal kembali.

Kata kunci : Tegangan DC, Baterai 110 VDC, Pemutus Tenaga, Sistem Proteksi, Gardu Induk

ABSTRACT

The protection system is the most important thing in a substation. Protection system in a substation is supplied with DC voltage source. The DC voltage is coming from battery 110 VDC. If protection relay and mechanic don't get supply from 110 VDC battery, then circuit breaker can't open when the fault system happen. Circuit breaker is used for save transformer. The damage 110 VDC battery can cause the DC voltage loss. In this condition, battery is needed battery capacity test using BCT tools. The test results of battery is decreased from 400 Ah become 125.6 Ah. The decreasing capacity is caused by a worse liquid electrolyte and the poles of battery are getting corrosion. From this condition, it is needed visual maintenance and recondition of all damage battery.

Keywords : DC Voltage, 110 VDC Battery, Circuit Breaker, Protection System, Substation

A. Latar Belakang

Kebutuhan listrik disetiap tahunnya semakin meningkat. Untuk itu perusahaan listrik perlu menjaga keandalan listriknya agar tetap bisa menyuplai listrik ke konsumen. Untuk memenuhi hal tersebut, diperlukan sumber tenaga dalam mengoperasikan tenaga listrik..

Peranan baterai 110 V DC pada gardu induk sangatlah penting. Baterai perlu dipelihara setiap tahunnya agar tetap menjaga keandalan sumber DC. Karena jika baterai tidak dipelihara dengan baik maka akan mengakibatkan sumber tenaga DC tidak optimal sebagaimana mestinya. Memang sumber utama yang digunakan untuk menyuplai DC yaitu rectifier, namun bila trafo Pemakaian Sendiri (PS) padam maka baterai secara langsung memberikan sumber DC, sehingga peralatan bantu dapat terus bekerja. Jika baterai yang digunakan untuk menyuplai sumber tegangan DC pada sistem proteksi maupun mekanik tidak bekerja dengan baik, maka akan mengakibatkan gangguan yang besar pada gardu induk tersebut. Untuk itu perlu dilakukan pemeliharaan berupa pengujian baterai setiap tahunnya, agar baterai 110 V dapat menyuplai DC ke peralatan bantu ketika kondisi darurat.

B. Pokok Permasalahan

Pokok permasalahannya yaitu mengapa baterai 110 VDC dapat menyebabkan kegagalan proteksi mekanik dan kontrol pada gardu induk 150 kV.

C. Sistem DC Power

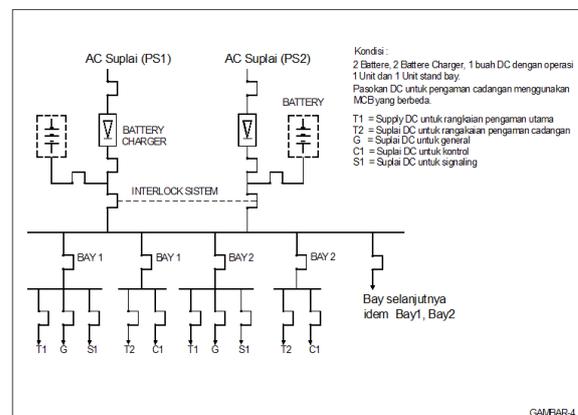
DC Power adalah alat bantu utama yang sangat diperlukan sebagai suplai

arus searah (*Direct Current*) yang digunakan untuk peralatan-peralatan kontrol, peralatan proteksi dan peralatan lainnya yang menggunakan sumber arus DC, baik untuk unit pembangkit dalam keadaan normal maupun dalam keadaan darurat. Pada beberapa unit pembangkit kecil, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) maupun Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan kapasitas daya terpasang kecil, sumber DC digunakan sebagai *start-up* unit. Dalam instalasi sumber tegangan/arus searah (DC) meliputi panel-panel kontrol, instalasi/pengawatan listrik, meter-meter, indikator dan perlengkapan lainnya seperti : *charger*, baterai dan inverter.[5]

D. Instalasi Sistem DC 110 V

Instalasi sistem DC 110 V digunakan untuk menyalurkan suplai DC 110 V yang dipasok dari *rectifier* atau *charger* serta dihubungkan dengan baterai untuk mengoperasikan peralatan pada instalasi gardu induk seperti :

- Motor-motor (PMT dan PMS)
- Relay proteksi dan meter-meter digital
- Sinyal, alarm dan indikasi *Tripping* dan *Closing coil*



Gambar 1. Diagram Satu Garbus Pasokan DC

E. Baterai DC

Baterai adalah suatu alat yang dapat menghasilkan energi listrik dengan proses kimia. Proses perubahan energi listrik berlangsung dengan cara elektro kimia yang bersifat *reversible* (dapat berbalik). Proses kimia *reversible* didalam baterai tersebut bisa berlangsung proses perubahan kimia menjadi energi listrik (proses pengosongan) maupun perubahan energi listrik menjadi energi kimia (proses pengisian). Proses elektro kimia *reversible* ini berlangsung dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda dengan melewati arus listrik dalam (arah polaritas) yang berlawanan didalam sel.

Pada susunan baterai, satu unit baterai dapat terdiri dari satu sel saja atau beberapa sel. Tiap sel terdiri dari tiga bagian utama yaitu : elektroda positif, elektroda negatif dan elektroda baterai. Adapun jenis elektroda dan elektrolitnya yang digunakan tergantung dari pabrik yang mengeluarkannya.

Menurut kapasitasnya suatu baterai menyatakan berapa lama kemampuannya untuk memberikan aliran listrik pada tegangan tertentu yang dinyatakan dalam Amper-Jam (Ah). [1]

F. Fungsi Baterai di Gardu Induk

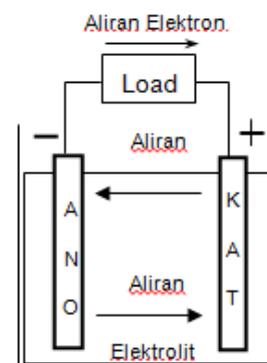
Baterai merupakan salah satu sumber tegangan arus searah (DC) pada gardu induk maupun pusat pembangkit tenaga listrik, fungsi baterai yaitu :

- Sumber tenaga untuk alat kontrol, pengawasan, sinyal dan indikator,
- Sumber tenaga untuk PMT, PMS, tap charging, dan trafo tenaga,
- Sumber tenaga untuk penerangan darurat,
- Sumber tenaga untuk relay proteksi,

- Sumber tenaga untuk peralatan telekomunikasi.

G. Penggunaan Baterai di Gardu Induk

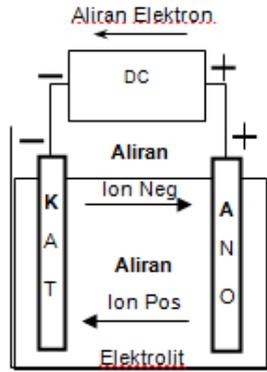
Proses *discharge* pada sel berlangsung menurut skema Gambar 2. Bila sel dihubungkan dengan beban maka, elektron mengalir dari anoda melalui beban kekatoda, kemudian ion-ion negatif mengalir ke anoda dan ion-ion positif mengalir ke katoda.



Gambar 2. Reaksi Elektrokimia Pada Sel Baterai (*Discharger*)

- a. Pada proses pengisian menurut skema Gambar 2.5 bila sel dihubungkan dengan power supply maka, elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda dan proses kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:

- 1) Aliran elektron menjadi terbalik, mengalir dari anoda melalui power supply ke katoda.
- 2) Ion-ion negatif mengalir dari katoda ke anoda
- 3) Ion-ion positif mengalir dari anoda ke katoda



Gambar 3 Reaksi Elektrokimia Pada Sel Baterai (*Charge*)

H. Bagian Utama Baterai

a. Elektroda

Tiap sel baterai terdiri dari 2 (dua) elektroda, yaitu elektroda positif dan negatif, direndam dalam suatu larutan kimia yang berfungsi sebagai media perpindahan elektron pada saat berlangsung *charge discharge*.

Elektroda positif dan negatif tersusun dari beberapa *Grid* yang berupa rangka besi berfungsi sebagai tempat material aktif. Material aktif berfungsi sebagai material yang bereaksi secara kimia untuk menghasilkan energi listrik.

b. Elektrolit

Elektrolit adalah cairan atau larutan senyawa kimia yang berfungsi menghantarkan arus listrik, larutan tersebut dapat menghasilkan muatan listrik positif dan negatif. Bagian yang bermuatan positif disebut ion positif dan bagian yang bermuatan negatif disebut ion negatif. Makin banyak ion –ion yang dihasilkan suatu elektrolit maka makin besar daya hantar listriknya.

Jenis cairan elektrolit baterai terdiri dari 2 (dua) macam yaitu:

- Larutan Asam Sulfat (H_2SO_4) digunakan pada baterai asam.
- Larutan Kalium Hidroksida (KOH)

digunakan pada baterai alkali.

c. Sel Baterai

Sel baterai berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan elektrolit dan elektroda. Bahan bejana (*container*) yang digunakan terdiri dari 2 (dua) macam:

- *Steel Container*

Sel baterai dengan bejana (*container*) terbuat dari *steel* ditempatkan dalam rak kayu, hal ini untuk menghindari terjadi hubung singkat antar sel baterai dan hubung tanah.

- *Plastic Container*

Sel baterai dengan bejana (*container*) terbuat dari plastik ditempatkan dalam rak besi yang diisolasi, hal ini untuk menghindari terjadi hubung singkat antar sel baterai atau hubung tanah apabila terjadi kerusakan/kebocoran elektrolit baterai.

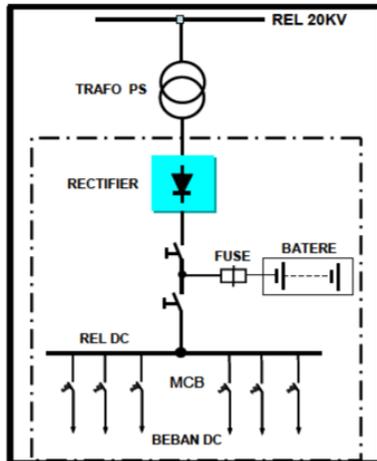
d. Terminal dan Penghubung Baterai

Terminal dan klem pada sel baterai berfungsi untuk menghubungkan kutub-kutub sel baterai, menggunakan bahan *nickel plated steel* atau *cooper* sedangkan penghubung antar unit atau grup baterai menggunakan bahan *nickel plated* atau berupa kabel yang terisolasi (*Insulated Flexible Cable*).

I. Suplai DC dari *Rectifier*

Charger sering juga disebut *rectifier* adalah suatu rangkaian peralatan listrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik bolak balik (*Alternating Current*, disingkat AC) menjadi arus listrik searah (*Direct Current*, disingkat DC), yang berfungsi untuk pasokan DC power baik ke peralatan-peralatan yang menggunakan sumber DC maupun untuk mengisi baterai agar kapasitasnya tetap terjaga

penuh sehingga keandalan di gardu induk tetap terjamin. Dalam hal ini baterai harus selalu terhubung ke *rectifier* agar baterai selalu terisi penuh. Pada *rectifier* terdapat sebuah baterai yang berfungsi untuk menyimpan tegangan DC.



Gambar 4. Instalasi Sistem DC

Prinsip kerja dari *rectifier* yaitu sumber AC baik 1 fasa maupun 3 fasa masuk melalui terminal input *rectifier* itu ke trafo *step-down* dan tegangan 220 V / 380 V menjadi tegangan DC 110 V / 48 V dengan sedikit *ripple* (gelombang). Sehingga untuk memperbaiki *ripple* DC yang terjadi diperlukan suatu rangkaian penyangkutan (*filter*) yang dipasang sebelum ke terminal output. *Rectifier* dan baterai terpasang pada instalasi secara paralel dengan beban, sehingga dalam operasionalnya disebut sistem DC. [3]

J. Pengisian Ulang Baterai yang Beroperasi

- Cycle Charging

Pengisian dengan cara *cycle charging* adalah mengisi kembali baterai setelah pengosongan sebagian atau pengosongan secara normal. Untuk pengisian cara ini biasanya dibutuhkan waktu antara 5 sampai 10 jam. Jika pengisian sudah penuh kemudian

pengisian dihentikan, umumnya secara otomatis.

- Boost and Quick Charging

Pengisian dengan cara *boost and quick charging* adalah untuk pengisian baterai yang dipakai di pabrik-pabrik, juga untuk baterai diesel dimana diperlukan tambahan pengisian dalam periode yang singkat misalnya pada jam-jam istirahat. Pengisian cara ini cukup untuk pelayanan satu hari.

- Floating Charging

Pengisian dengan cara ini dimana baterai secara terus-menerus tersambung pada rangkaian luar (sumber AC), alat pengisi baterai dan beban. Alat pengisi baterai ini direncanakan untuk menjaga suatu tegangan konstan dari baterai yang tersambung ke beban.

- Equalizing Charging

Equalizing Charge dilaksanakan dengan cara menaikkan tegangan baterai sesuai dengan yang ditentukan dalam buku petunjuk masing-masing pabrikan. Pengisian ini berlangsung sampai semua sel berhenti mengeluarkan gas dan pembacaan tegangan serta berat jenis elektrolitnya menunjukkan bahwa baterai telah diisi penuh sesuai dengan nilai yang ditentukan.

K. Pengujian Kapasitas Baterai

Salah satu pemeliharaan rutin yang harus dilakukan yaitu pengujian kapasitas baterai. Menurut kapasitasnya suatu baterai menyatakan berapa lama kemampuannya untuk memberikan aliran listrik pada tegangan tertentu yang dinyatakan dalam Amper-Jam (Ah). [6]

$$C = I \times t \quad (3-1)$$

Keterangan : C = Kapasitas Baterai

$$t = \text{Waktu (jam)}$$

I = Kuat Arus (Ampere)
Efisiensi suatu baterai didefinisikan sebagai presentase rasio atau perbandingan dari kapasitas pengosongan terhadap kapasitas pengisian. Dirumuskan :

$$\text{---} \quad (3-2)$$

Keterangan :

= Efisiensi (%)

C_d = Kapasitas *discharger*/Uji

C_c = Kapasitas *charger* baterai

Tabel 1. Data Baterai di GIS Setiabudi

Lokasi	Baterai					
	Merk	Type	Kapasitas (Ah)	Fungsi	Jumlah Sel	Waktu Uji
GIS Setiabudi	SAFT	SBL 398-1	400 Ah	110 V-1	84	5 jam
	SAFT	SBL 398-1	400 Ah	110 V-2	84	5 jam

L. Permasalahan Pada Baterai DC

Salah satu penyebab dari baterai yang tidak terpelihara dengan baik atau jarang dilakukan pengujian kapasitas baterai yaitu dapat mengakibatkan PMT di GIS Mangga Besar gagal trip, sehingga menyebabkan GI lawan (GI Kemayoran) yang mentripkan PMT. Kronologi dari kegagalan sistem DC akibat dari baterai DC drop yaitu terjadi gangguan pada penyulang 20 kV yang disupply dari Trafo #1 dan Trafo #3. Gangguan tersebut tidak dapat diatasi oleh proteksi trafo, baik itu proteksi penyulang, incoming, maupun proteksi trafo sisi 150 kV. Akan tetapi gangguan tersebut diatasi oleh proteksi back-up (OCR) di GI Kemayoran.

M. Analisis Kegagalan PMT

Sistem proteksi yang terdiri dari proteksi mekanik dan kontrol harus bekerja secara efektif apabila terjadi gangguan. Relay seharusnya memberikan indikasi dan mengirimkan sinyal trip ke PMT. Hal tersebut bisa terjadi jika

tegangan DC masih tetap menyuplai ke relai dan mekanik PMT. Seperti permasalahan yang terjadi pada GIS Mangga Besar dimana PMT 20 kV tidak bisa trip yang diakibatkan oleh sumber tegangan DC mengalami kelainan atau kegagalan menyuplai sumber tegangan DC ke relay proteksi dan mekanik. Kegagalan suplai tegangan oleh baterai 110 VDC tersebut diakibatkan oleh terminal pada baterai 110 VDC mengalami pengkaraman yang jika dibiarkan terlalu lama akan menyebabkan terminal baterai menjadi korosi. Hal tersebut membuat tegangan tiap selnya menurun. Selain itu, terminal yang kendor dan lama tidak dikencangkan dapat memicu penurunan tegangan pada tiap selnya. Suhu elektrolit yang tinggi disebabkan karena adanya arus keluar atau arus yang masuk, dengan kata lain material aktif plat sel baterai dan cairan elektrolit bereaksi. Konektor dan kabel yang mengalami korosi atau kerusakan juga dapat membuat tegangan baterai menurun yang mengakibatkan baterai tidak mampu menyuplai tegangan DC ke relay proteksi dan mekanik untuk mentripkan PMT pada saat terjadi gangguan. Selain itu faktor umur dari baterai yang digunakan juga dapat berpengaruh terhadap kinerja baterai tersebut. Menurut Keputusan Direksi PT PLN (Persero) No. 149.K/DIR/2013 kriteria umur operasi penggantian peralatan utama gardu induk dihitung sejak peralatan beroperasi yaitu baterai kisaran 10 – 15 tahun dikategorikan Tua, sedangkan >15 tahun dikategorikan Sangat Tua.

N. Standar Pengujian Kapasitas Baterai

Standar yang digunakan dalam melaksanakan pengujian kapasitas baterai mengacu pada karakteristik baterai yang akan diuji antara lain sebagai berikut (IEC 60623) : [6]

- Parameter Test
- Besarnya arus pengosongan (*Discharge*) : 0,2 x kapasitas baterai untuk baterai alkali, dan 0,1 x kapasitas baterai untuk baterai asam.
- Setting waktu pengosongan : untuk baterai alkali 5 jam (C_5) dan untuk baterai asam selama 10 jam (C_{10})
- Tegangan akhir pengosongan per-sel : Baterai alkali sebesar 1 V dan untuk baterai asam sebesar 1.8 V.
- Kapasitas
- Baterai baik : > 80 %
- Baterai kurang baik : < 80 % (pabrikan), < 60 % (standar PLN)

O. Hasil Pengujian Kapasitas Baterai

Data yang didapat yaitu saat sebelum dilakukan pengujian dan data setelah pengujian kapasitas baterai, ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Tegangan Sebelum Diuji

Sel	Tegangan (V)	Sel	Tegangan (V)	Sel	Tegangan (V)
1	1.38	29	1.38	57	1.38
2	1.38	30	1.38	58	1.38
3	1.38	31	1.38	59	1.36
4	1.38	32	1.37	60	1.38
5	1.38	33	1.38	61	1.39
6	1.37	34	1.38	62	1.37
7	1.37	35	1.38	63	1.38
8	1.37	36	1.37	64	1.38
9	1.38	37	1.38	65	1.38
10	1.38	38	1.37	66	1.38
11	1.37	39	1.37	67	1.37
12	1.38	40	1.38	68	1.37
13	1.35	41	1.37	69	1.39
14	1.37	42	1.38	70	1.38
15	1.39	43	1.38	71	1.37
16	1.37	44	1.37	72	1.37
17	1.38	45	1.39	73	1.38
18	1.39	46	1.36	74	1.37
19	1.37	47	1.39	75	1.37
20	1.37	48	1.39	76	1.38
21	1.38	49	1.37	77	1.38
22	1.38	50	1.38	78	1.37
23	1.38	51	1.37	79	1.37
24	1.38	52	1.37	80	1.37
25	1.38	53	1.38	81	1.38
26	1.37	54	1.38	82	1.37
27	1.38	55	1.38	83	1.37
28	1.38	56	1.38	84	1.39

Hasil saat sebelum pengujian ini menggunakan data yang tertera pada baterai, jadi bukan hasil yang sebenarnya dari pengukuran tegangan baterai. Hasil sebelum diuji ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Sebelum Diuji

Baterai	Sebelum
Teg. Baterai	115.93 V
Teg. Stop	84 V
Arus	80 A
Waktu	5 Jam
Kapasitas	400 Ah

Hasil tersebut masih ideal karena data yang diperoleh merupakan hasil pengukuran sesuai dengan data yang tertera pada baterai atau data dari pabrikan. Kapasitas baterainya pun masih sesuai seperti data pada baterai. Hasil pengujian ke-1 ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Ke-1 Tegangan Baterai dengan Alat Uji BCT

Sel	Tegangan (V)	Sel	Tegangan (V)	Sel	Tegangan (V)
1	1.15	29	1.17	57	1.14
2	1.14	30	1.13	58	1.15
3	1.14	31	1.14	59	1.13
4	1.15	32	1.13	60	1.14
5	1.14	33	1.14	61	0.9
6	1.15	34	1.16	62	1.12
7	1.14	35	1.16	63	1.13
8	1.15	36	1.13	64	1.13
9	1.15	37	1.14	65	1.13
10	1.14	38	1.13	66	1.13
11	1.13	39	1.13	67	1.13
12	1.15	40	1.13	68	1.12
13	1.00	41	1.14	69	1.07
14	1.14	42	1.13	70	1.14
15	1.12	43	1.14	71	1.12
16	1.13	44	1.13	72	1.12
17	1.14	45	1.14	73	1.12
18	1.11	46	1.14	74	1.05
19	1.13	47	0.9	75	1.11
20	1.12	48	1.12	76	1.02
21	1.14	49	1.15	77	1.12
22	1.13	50	1.12	78	1.13
23	1.14	51	1.13	79	1.13
24	1.14	52	1.14	80	1.13
25	0.9	53	1.15	81	1.13
26	1.16	54	1.14	82	1.13
27	1.11	55	1.12	83	1.12
28	1.13	56	1.21	84	1.10

Dari hasil pengujian ke-1 dengan menggunakan alat uji BCT diperoleh hasil pengukuran tegangan yang turun dari rata-rata 1.38 V menjadi rata-rata 1.1 V. bahkan ada 3 (tiga) sel baterai yang nilai tegangannya turun hingga 0.9 V (sel baterai no 25, 47 dan 61). Ketiga baterai

tersebut sudah berada dibawah standar layak pakai untuk suatu baterai. Hasil pengujian ke-1 kapasitas baterai ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5 Hasil Pengujian Ke-1 Kapasitas Baterai

Baterai	Sebelum	Sesudah
Teg. Baterai	114 V	93 V
Teg. Stop	84 V	84 V
Arus	80 A	80 A
Waktu	5 Jam	1.28 Jam
Kapasitas	400 Ah	102.4 Ah

Dari data tersebut, maka dapat dihitung nilai efisiensi kapasitas suatu baterai dengan merujuk pada persamaan 3-2 :

Kapasitas baterai dapat dihitung sebagai berikut :

$$C = 80 \text{ A} \times 1.28 \text{ jam} = 102.4 \text{ Ah}$$

Effisiensi kapasitas baterai dapat dihitung sebagai berikut :

$$\eta = \left(\frac{102.4}{400} \right) = 25.6 \%$$

Efisiensi yang didapat dari hasil perhitungan tersebut sangat rendah, yaitu 25.6 %. Hasil pengujian ke-2 tegangan baterai dengan alat uji BCT ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Ke-2 Tegangan Baterai dengan Alat Uji BCT

Sel	Tegangan (V)	Sel	Tegangan (V)	Sel	Tegangan (V)
1	1.19	29	1.20	57	1.22
2	1.17	30	1.20	58	1.22
3	1.18	31	1.21	59	1.21
4	1.19	32	1.21	60	1.23
5	1.19	33	1.21	61	1.12
6	1.19	34	1.20	62	1.22
7	1.19	35	1.20	63	1.22
8	1.20	36	1.20	64	1.22
9	1.20	37	1.20	65	1.22
10	1.20	38	1.20	66	1.22
11	1.19	39	1.20	67	1.22
12	1.21	40	1.19	68	1.22
13	1.17	41	1.21	69	1.17
14	1.20	42	1.18	70	1.22
15	1.18	43	1.21	71	1.22
16	1.19	44	1.20	72	1.22
17	1.20	45	1.20	73	1.22
18	1.18	46	1.21	74	1.22
19	1.19	47	1.13	75	1.22
20	1.18	48	1.20	76	1.23
21	1.20	49	1.22	77	1.22
22	1.19	50	1.21	78	1.22
23	1.18	51	1.20	79	1.22
24	1.20	52	1.22	80	1.22
25	1.19	53	1.22	81	1.22
26	1.20	54	1.22	82	1.22
27	1.19	55	1.21	83	1.22
28	1.20	56	1.23	84	1.22

Setelah dilakukan pengujian ke-2 dengan menggunakan alat BCT diperoleh tegangan baterai yang lebih besar dibanding dengan pengujian ke-1. Hasil tegangan total yang didapat saat pengujian ke-1 tegangan baterai yaitu 93.02 V, sedangkan saat pengujian ke-2 diperoleh 101.5 V. Hasil pengujian ke-2 kapasitas baterai ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Ke-2 Kapasitas baterai

Baterai	Sebelum	Sesudah
Teg. Baterai	114 V	101 V
Teg. Stop	84 V	84 V
Arus	80 A	80 A
Waktu	5 Jam	1.57 Jam
Kapasitas	400 Ah	158.65 Ah

Dari hasil pengujian tersebut, maka dapat dihitung nilai efisiensi kapasitas suatu baterai dengan merujuk pada persamaan 3-2 :

Kapasitas baterai dapat dihitung sebagai berikut :

$$C = 80 \text{ A} \times 1.57 \text{ jam} = 125.6 \text{ Ah}$$

Efisiensi kapasitas baterai dapat dihitung sebagai berikut :

$$\eta = \left(\frac{125.6}{400} \right) = 31.4 \%$$

Jika dilihat dari hasil pengukuran tegangan tiap sel setelah dilakukan pengujian rata-rata 1.2 V. Sedangkan tegangan normal dari sel baterai tergantung dari kapasitas baterai tersebut. Karena kapasitas baterai tersebut 400 Ah dan tegangan baterainya 114 V, maka tegangan tiap selnya rata-rata 1.36 V. Hal tersebut menunjukkan bahwa kualitas kapasitas baterai sudah menurun dengan melihat hasil dari presentase hanya mencapai 31.4 %.

Dari hasil efisiensi kapasitas baterai antara pengujian ke-1 dengan pengujian ke-2 mengalami kenaikan walaupun tidak

signifikan, dari 25.6% menjadi 39%. Tetap saja kenaikan tersebut tidak dapat membuat baterai bekerja optimal, dikarenakan hasil yang diperoleh berada dibawah standar PLN <60%.

Penurunan kapasitas baterai ini bisa terjadi karena kondisi cairan elektrolit yang mulai memburuk, kutub baterai mengalami korosi karena cairan elektrolit yang bersifat asam, temperatur atau suhu yang terlalu tinggi dan fluktuasi temperatur yang lebar, baterai yang sering mengalami pengosongan atau pengisian dan penggunaan unit baterai pada beban tidak berimbang [7]. Untuk membuat kapasitas baterai menjadi normal kembali maka diperlukan rekondisi baterai. Tujuan dari rekondisi baterai yaitu usaha untuk meningkatkan kembali kapasitas baterai atau memperbaiki dan mengembalikan proses kimia didalam sel baterai dengan cara melakukan penggantian elektrolit. Jika setelah baterai di rekondisi dan diuji kembali hasil yang didapat masih tetap sama, maka idealnya baterai tersebut harus diganti, karena tidak sesuai dengan standar yang berlaku di PLN.

P. Simpulan

Simpulan yang diperoleh dari pembahasan mengenai Kegagalan Proteksi Pada Gardu Induk 150 kV Akibat Suplai Tegangan DC, yaitu baterai 110 VDC dapat menyebabkan kegagalan proteksi yang diakibatkan oleh tidak adanya tegangan DC yang menyuplai ke relay proteksi dan mekanik. Menyebabkan relay tidak mampu memberikan perintah trip ke PMT. Baterai 110 VDC mengalami penurunan tegangan dari 110 VDC menjadi 93 VDC akibat dari terminal mengalami korosi dan kendor, cairan elektrolit sudah tidak

bagus, dan kurangnya pemeliharaan untuk menjaga agar baterai tersebut tetap mampu untuk menyuplai tegangan DC dalam keadaan normal maupun keadaan darurat.

Daftar Pustaka

- [1] Aslimer, dkk. 2008. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- [2] Eqbal Asif. 2012. *Different Types Of Battery Used For Auxilary Power Supply In Substations And Power Plants*, (<http://electrical-engineering-portal.com/>, diakses pada 21 Maret 2016).
- [3] Kho Dickson. 2015. *Prinsip Kerja DC Power Supply (Adaptor)*, (<http://teknikelektronika.com/prinsip-kerja-dc-power-supply-adaptor/>, diakses pada 20 Maret 2016).
- [4] Hewiston Les, dkk. 2004. *Practical Power System Protection*. Netherlands : Elsevier.
- [5] Ichsan. 2010. *Sistem Catu Daya Pada Gardu Induk*, (<http://bacaterus.com/sistem-catu-daya-pada-gardu-induk/>, diakses pada 20 Maret 2016).
- [6] Mauludin Cecep, dkk. 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Sistem Suplai AC/DC*. Jakarta : PT PLN (Persero).
- [7] PT Catudaya Data Prakasa. 2016. *Training Battery*. Bandung : ppt.