



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Sistem DC^[1]

Dalam pengoperasian tenaga listrik terdapat dua macam sumber tenaga untuk kontrol di dalam Gardu Induk, ialah sumber arus searah (DC) dan sumber arus bolak-balik (AC). Sumber tenaga untuk kontrol selalu harus mempunyai keandalan dan stabilitas yang tinggi, karena persyaratan inilah dipakai baterai sebagai sumber arus searah.

Terdapat 3 (tiga) jenis instalasi atau suplai DC yang digunakan pada gardu induk, yaitu:

2.1.1 Instalasi Sistem DC 250 Volt

Instalasi sistem DC 250 volt digunakan untuk menyalurkan suplai DC 250 volt yang digunakan atau dipasok dari *rectifier* atau baterai tiga fasa serta dihubungkan dengan baterai untuk mengoperasikan peralatan pada instalasi gardu induk seperti:

- Motor-motor (PMT dan PMS)
- Relai proteksi
- Instrumen-instrumen
- *Tripping* dan *closing coil*

2.1.2 Instalasi Sistem DC 110 Volt

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

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

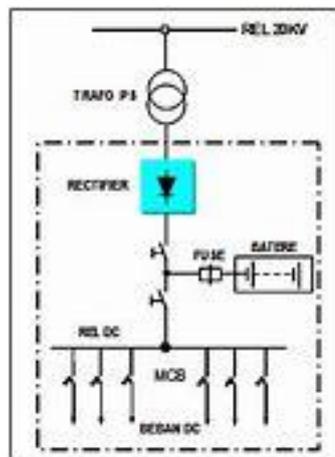
^[1] Tatang Rusdjaja, dkk., *Buku Sistem Suplai AC DC Final*, (Jakarta : PT. PLN (Persero), 2014), Hlm. 36.

2.1.3 Instalasi Sistem DC 48 Volt

Instalasi sistem DC 48 volt digunakan untuk menyalurkan suplai DC 48 volt yang digunakan atau dipasang dari *rectifier* atau baterai serta dihubungkan dengan baterai untuk mengoperasikan peralatan pada instalasi gardu induk seperti:

- Scada/ RTU
- Teleproteksi unit
- Komunikasi (PLC) unit
- Alarm, sinyal dan indikasi

Pada dasarnya fungsi baterai pada Gardu Induk Boom Baru sangat penting dan dianggap sebagai jantung Gardu Induk itu sendiri dikarenakan baterai sebagai sumber tegangan apabila terjadi *black out* pada Gardu Induk Boom Baru. Tegangan DC yang disuplai ke sistem kontrol agar sistem tersebut dapat terus bekerja. Diagram instalasi Sistem DC dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Diagram Instalasi Sistem Suplai DC
(Sumber : Buku Sistem Suplai AC DC Final, 2014)

2.2 Pola Instalasi Sistem DC

Instalasi sistem DC terdiri dari 2 (dua) pola, antara lain :

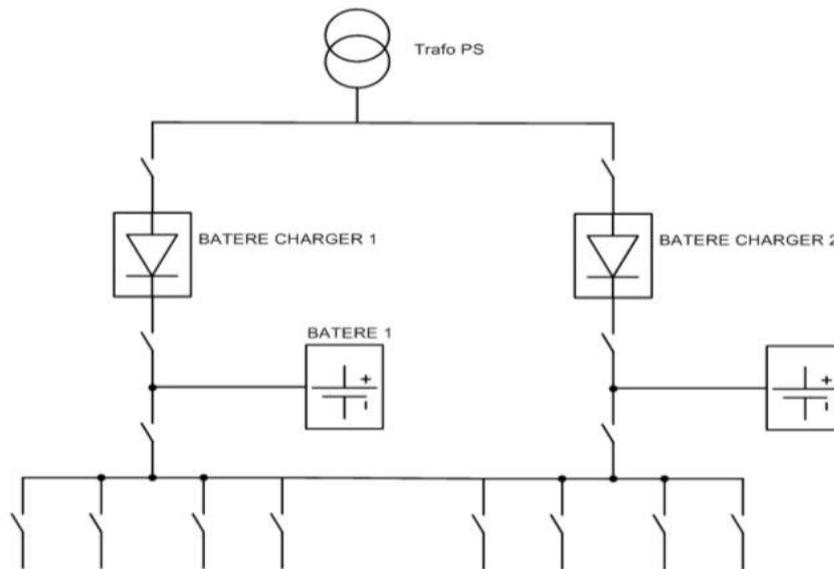
2.2.1 Pola 1 (satu)

Pola 1 (satu) terdiri dari transformator PS, 2 *charger*, dan 1 bus DC.

Pengaman utama dan pengaman cadangan menggunakan MCB yang berbeda.

Sistem operasi sebagai berikut :

- Baterai 1 dan *charger* 1 (sistem 1) operasi memikul beban sedangkan baterai 2 dan *charger* 2 (sistem 2) operasi tanpa beban.
- Sistem 1 dan sistem 2 operasi secara bergantian, pola ini digunakan pada gardu induk 150 kV dan gardu induk 70 kV.



Gambar 2.2 Pola 1 Sistem DC

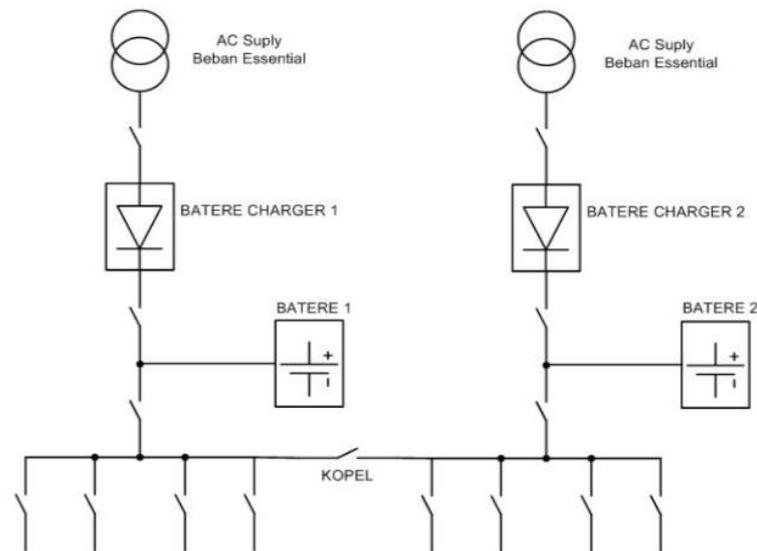
(Sumber : Buku Sistem Suplai AC DC Final, 2014)

2.2.2 Pola 2 (dua)

Pola 2 (dua) terdiri dari transformator PS, 2 *charger*, 2 baterai dan, 2 bus DC. Pengaman utama dan pengaman cadangan menggunakan MCB yang berbeda. Pola 2 didesain untuk gardu induk 500 kV dimana dengan filosofi redundant proteksi sehingga operasi sistem adalah sebagai berikut :

- Baterai 1 dan *charger* 1 operasi memikul beban sistem 1 (proteksi utama 1 dan sistem tripping 1) dan baterai 2 dan *charger* 2 operasi memikul beban sistem 2 (proteksi utama dan sistem tripping 2).
- Posisi normal sistem 1 dan sistem 2 operasi secara terpisah, MCB kopel posisi keluar.

Pada saat pemeliharaan sistem 1, MCB sistem 1 dilepas maka MCB kopel akan masuk. Demikian sebaliknya jika yang dipelihara sistem 2.



Gambar 2.3 Pola 2 Sistem DC

(Sumber : Buku Sistem Suplai AC DC Final, 2014)

2.3 Bagian-bagian Utama Peralatan Sistem DC

2.3.1 Rectifier^[2]

Rectifier merupakan suatu rangkaian alat listrik untuk mengubah arus listrik bolak-balik (AC) menjadi arus listrik searah (DC) yang berfungsi untuk memberikan tegangan DC. Di dalam *rectifier* terdapat sebuah baterai, yang berfungsi untuk menyimpan tegangan DC. Untuk itu *rectifier* harus disesuaikan kapasitasnya dengan kapasitas baterai yang terpasang. Prinsip kerja *rectifier* adalah sumber AC baik 1 fasa maupun 3 fasa masuk melalui terminal input *rectifier* ke trafo *step-down* dan tegangan 220/380 volt AC menjadi tegangan 110 volt DC dengan sedikit *ripple*, sehingga untuk memperbaiki *ripple*/gelombang DC yang terjadi diperlukan suatu rangkaian filter (penyaring) yang dipasang sebelum ke terminal output.

Terdapat 2 jenis *rectifier*, yaitu :

^[2] Ricky Agned, Nurhalim, Skripsi : “*Studi Kapasitas Baterai 110 Volt DC pada Gardu Induk 150 kV Bangkinang*”, (Pekanbaru: Universitas Riau, 2016), Hlm. 3.

1. *Rectifier* 1 (satu) fasa yang rangkaian inputnya menggunakan AC suplai 1 fasa. *Rectifier* jenis inilah yang digunakan pada gardu induk yang ada di peralatan gardu yang ada diperalatan proteksi.
2. *Rectifier* 3 (tiga) fasa adalah *rectifier* yang rangkaian inputnya menggunakan AC suplai 3 fasa (380 volt AC). Agar dapat menghasilkan tegangan sebesar 380 volt AC, maka proses penyambungannya yaitu dengan konfigurasi fasa ke fasa sehingga *rectifier* 3 fasa ini dapat bekerja. Hanya saja *rectifier* 3 fasa tidak dipergunakan pada jaringan proteksi pada Gardu Induk.

2.2.2 Baterai^[3]

Baterai adalah suatu alat yang dapat menghasilkan energi listrik dengan proses kimia. Proses perubahan energi listrik berlangsung dengan cara elektrokimia yang bersifat *reversible* (reaksi bolak-balik). Proses elektrokimia *reversible* didalam baterai tersebut bisa berlangsung perubahan kimia menjadi energi listrik (proses pengosongan) maupun perubahan energi listrik mejadi energi kimia (proses pengisian). Proses elektrokimia *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 elektrolit baterai. Adapun jenis elektroda dan elektrolitnya yang digunakan tergantung dari pabrik yang mengeluarkan.

- Menurut pemakaian baterai dapat digolongkan ke dalam 2 jenis:
 - a. Stationary (tetap)
 - b. Portable (dapat dipindah-pindah)

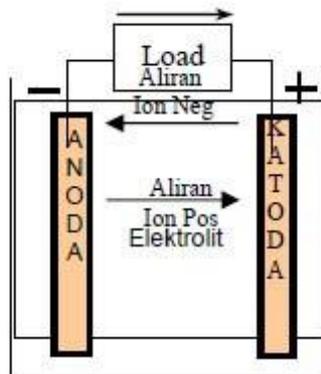
^[3] Ibnu Salam, Tugas Akhir : “*Analisis Efisiensi Batere Komunikasi Pada Gardu Induk PT.PLN (Persero) Region Jateng dan DIY UPT Kudus*”, (Semarang : Universitas Negeri Semarang, 2007), Hlm. 17.

- Menurut bahan elektrolitnya baterai dibedakan berdasarkan elektrolit yang digunakan didalamnya ada dua jenis elektrolit pada baterai, yaitu :
- Asam sulfat
 - alkali

2.4 Baterai

2.3.1 Prinsip Kerja Baterai^[4]

- Elektroda pada baterai terdiri dari elektroda positif dan elektroda negatif. Ketika proses pengosongan (*discharging*) seperti yang terlihat pada skema gambar 2.4. Saat sel baterai dihubungkan dengan beban maka, elektron akan mengalir dari elektroda negatif (anoda) melewati beban menuju elektroda positif (katoda) baterai, kemudian ion-ion negatif mengalir ke elektroda negatif (anoda) dan ion-ion positif mengalir ke elektroda positif (katoda).



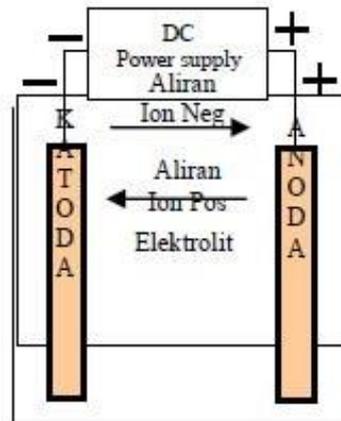
Gambar 2.4 Proses *Discharge*

(Sumber : Buku Sistem Suplai AC DC Final, 2014)

- Pada proses pengisian/ *charge* menurut skema gambar 2.5. Bila sel dihubungkan dengan suplai maka, elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda dan proses kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:

^[4] Pusdiklat, *Materi In House Training Operator Gardu Induk*, (Jakarta: PT. PLN (Persero), 2014), Hlm. 110

- Aliran elektron menjadi terbalik, mengalir dari anoda melalui power suplai ke katoda.
- Ion-ion negatif mengalir dari katoda ke anoda.
- Ion-ion positif mengalir dari anoda ke katoda

Gambar 2.5 Proses *Charge*

(Sumber : Buku Sistem Suplai AC DC Final, 2014)

2.3.2 Jenis-jenis Baterai

a. Baterai Asam

Baterai asam bahan elektrolitnya adalah larutan asam belerang (sulfuric acid = H_2SO_4). Didalam baterai asam elektroda-elektrodanya terdiri dari plat-plat timah peroksida PbO_2 (lead peroxide) sebagai anoda (kutub positif) dan timah murni Pb (lead sponge) sebagai katoda (kutub negatif).



2.6 Lead Acid Baterai

(Sumber : Buku Sistem Suplai AC DC Final, 2014)

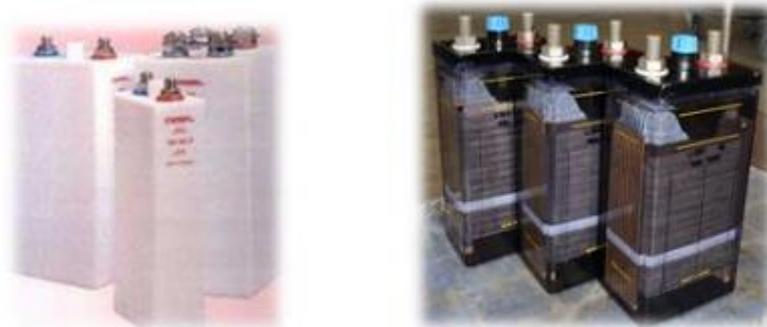
Ciri-ciri umum (tergantung pabrik pembuat) sebagai berikut:

- Tegangan nominal per sel 2 volt.
- Nilai berat jenis elektrolit sebanding dengan kapasitas baterai semakin tinggi suhu elektrolit semakin rendah berat jenisnya dan sebaliknya.
- Nilai standar berat jenis elektrolit tergantung pada pabrik pembuatnya.
- Umur baterai tergantung pada operasi dan pemeliharaan.
- Tegangan pengisian per sel
 - Pengisian secara terapung (*floating*) 2,10 – 2,20 volt.
 - Pengisian secara cepat (*equalizing*) 2,25 – 2,30 volt.
 - Pengisian dengan harga tinggi (*boosting*) 2,35 – 2,40 volt.
- Tegangan akhir pengosong per sel (*discharge*) 2,0 – 1,8 volt.

b. Baterai Alkali

Baterai alkali bahan elektrolitnya adalah larutan alkali (potassium hidroxide) terdiri dari:

- Nickel-Iron Alkaline Baterai (Ni-Fe baterai)
- Nickel Cadmium Alkaline Baterai (Ni-Cd baterai)



Gambar 2.7 Ni- Cd Baterai

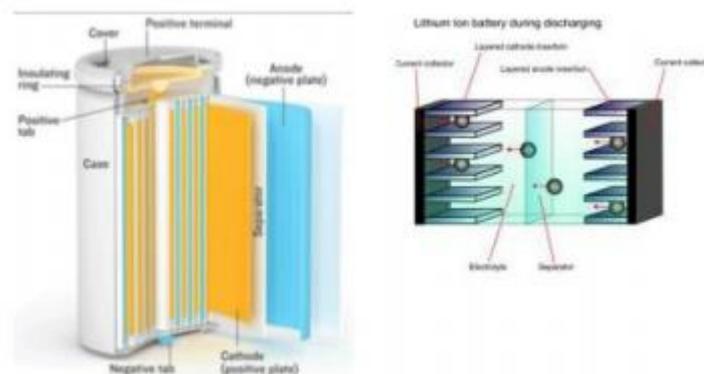
(Sumber : Buku Sistem Suplai AC DC Final, 2014)

Umum yang banyak diinstalasi PLN adalah baterai alkali nickel-cadmium (Ni-Cd). Ciri-ciri umum (tergantung pabrik pembuatnya) sebagai berikut:

- Tegangan nominal per sel 1,2 volt.
- Nilai berat jenis elektrolitnya tidak sebanding dengan kapasitas baterai.
- Umur baterai tergantung pada operasi dan pemeliharaan.
- Tegangan pengisian
 - Pengisian secara terapung (*floating*) 1,40 – 1,44 volt.
 - Pengisian secara cepat (*equalizing*) 1,50 – 1,60 volt.
 - Pengisian dengan harga tinggi (*boosting*) 1,65 – 1,70 volt.
- Tegangan pengosongan akhir (*end voltage*) per sel 1 volt.

c. Baterai Kering/ Lithium

Baterai lithium adalah baterai yang digerakan oleh ion lithium. Anoda dan katoda baterai lithium-ion terbuat dari karbon dan oksida lithium. Sedangkan elektrolit terbuat dari garam lithium yang dilarutkan dalam pelarut organik. Bahan pembuat anoda sebagian besar merupakan garfit sedangkan katoda terbuat dari salah satu bahan berikut: lithium kobalt oksida (LiCoO_2), lithium besi fosfat (LiFePO_4), atau lithium oksida mangan (LiMn_2O_4). Elektrolit yang umum digunakan adalah garam lithium seperti lithium hexafluorophosphate (LiPF_6), lithium tetrafluoroborate (LiBF_4), dan lithium perklorat (LiClO_4) yang dilarutkan dalam pelarut organik seperti etilen karbonat, dimetil karbonat, dan dietil karbonat.



Gambar 2.8 Lithium Ion

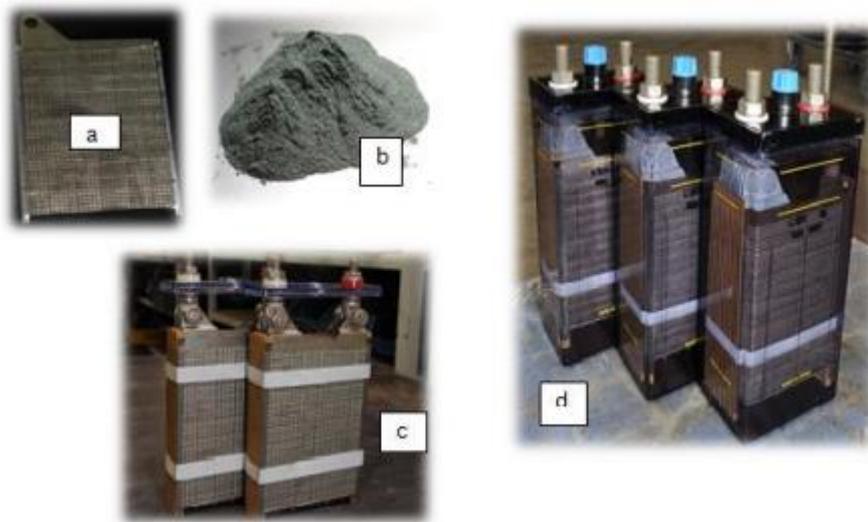
(Sumber : Buku Sistem Suplai AC DC Final, 2014)

2.3.3 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.



Gambar 2.9 a) Plat Grid, b) Material Aktif, c) Grid Rangka Besi, d) Terakit Dalam Plastic Container

(Sumber : Buku Sistem Suplai AC DC Final, 2014)

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 tersebut 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

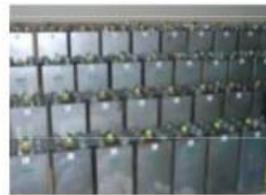
Sel baterai berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan elektrolit dan elektroda. Bahan bejana (*container*) yang digunakan terdiri dari 2 (dua) macam:

- *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.

- *Plastik Container*

Sel baterai dengan bejana (*container*) terbuat dari plastic 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.

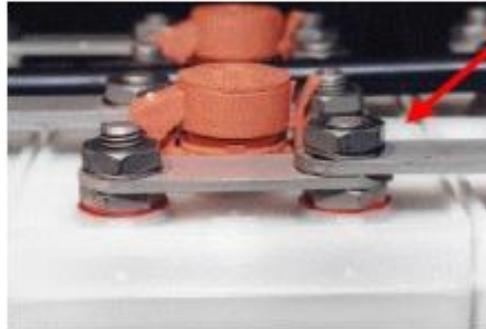


Gambar 2.10 Plastik *Cointainer* dan *Steel Container*

(Sumber : Buku Sistem Suplai AC DC Final, 2014)

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 unti atau grup baterai menggunakan bahan *nickel plated* atau berupa kabel yang terisolasi (*Insulated Flexible Cable*).



Gambar 2.11 Terminal Penghubung Baterai
(Sumber : Buku Sistem Suplai AC DC Final, 2014)

e. Ruang Baterai

- Sirkulasi Udara

Pada pemasangan baterai di ruang tertutup, maka diperlukan adanya sirkulasi udara yang cukup di ruang baterai tersebut. Selain dilengkapi dengan exhaust fan juga membutuhkan ventilasi udara yang masuk. Ventilasi udara masuk ini harus di desain khusus (dilengkapi penyaring udara) agar ruang baterai tidak mudah kotor dan oksigen (eksplosif) yang timbul akibat proses kimia baterai. Untuk ventilasi atau volume udara yang mengalir adalah sebagai berikut.

- Untuk instalasi di darat (*Land Instalation*)

$$Q = 55 \times n \times I \dots\dots\dots (2.1)$$

- Untuk instalasi di laut (*Marine Instalation*)

$$Q = 110 \times n \times I \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

Q = Volume udara (Liter/Jam)

n = Jumlah Sel Baterai

I = Arus pengisian pada akhir pengisian atau dalam kondisi pengisian Floating (Ampere)



Gambar 2.12 Ruang Baterai

(Sumber : Buku Sistem Suplai AC DC Final, 2014)

Pada saat baterai sedang dilakukan pemeriksaat atau pengujian maka semua pintu atau jendela ruangan harus terbuka.

- Kebersihan dan Perlengkapan

Kebersihan sangat diutamakan baik lantai ruangan maupun kondisi sambungan/ koneksi sel baterai untuk menghindari terjadinya korosif pada material dan pengosongan sendiri (*self discharge*). Selain itu ada beberapa perlengkapan pada ruang baterai yang harus terpenuhi sebagai berikut:

- Alat ukur temperature dan kelembaban ruangan
- Rambu-rambu peringatan penggunaan safety
- Toolkit standar pada saat inspeksi atau pemeliharaan



Gambar 2.13 Standar Ruang Baterai

(Sumber : Buku Sistem Suplai AC DC Final, 2014)

2.3.4 Tipe Baterai Menurut Karakteristik Pembebanan

a. Tipe Pembebanan Sangat Tinggi (*Very High Loading*)

Very High Loading merupakan tipe pembebanan diatas 7 CnA (kapasitas nominal arus), yaitu jenis pembebanan dengan arus yang sangat tinggi dalam waktu yang singkat, ± 2 menit dengan tegangan akhir 0,8 volt per sel.

b. Tipe Pembebanan Tinggi (*High Loading*)

High Loading merupakan tipe untuk jenis pembebanan dengan arus yang tinggi dengan waktu yang singkat, dengan pembebanan 3,5 – 7 CnA (kapasitas nominal arus), lama waktu pembebanan ± 4 menit, biasanya digunakan di pembangkit-pembangkit pada saat start mesin dengan tegangan akhir 0,8 volt per sel.

c. Tipe Pembebanan Menengah (*Medium Loading*)

Medium Loading merupakan tipe untuk jenis pembebanan dengan arus sedang dengan waktu yang singkat, dengan pembebanan 0,5 – 3,5 CnA (kapasitas nominal arus), lama waktu pembebanan ± 40 menit. Biasanya digunakan di gardu-gardu induk. Tegangan akhir 0,9 volt per sel.

d. Tipe Pembebanan Rendah (*Low Loading*)

Low Loading merupakan tipe untuk jenis pembebanan dengan arus kecil, dengan pembebanan 0,5 CnA (kapasitas nominal arus) lama waktu pembebanan 5 jam, biasanya digunakan di gardu-gardu induk. Tegangan akhir 1 volt per sel.

2.5 Rangkaian Baterai^[5]

Suatu sel baterai memiliki tegangan yang terbatas sehingga dibutuhkan suatu cara agar baterai mampu memenuhi kebutuhan tegangan kerja peralatan sebagaimana yang diharapkan, meningkatkan kapasitas serta keandalan

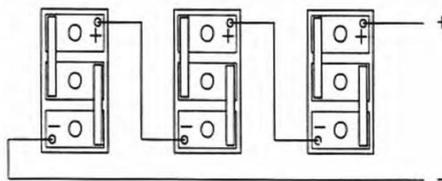
^[5] Andri, Helly, *Rancang Bangun System Battery Charging Automatic*, (Depok: Universitas Indonesia, 2010), Hlm. 29

penggunaan baterai dengan cara merangkai baterai dalam beberapa hubungan salah satunya yaitu :

2.4.1 Hubungan Seri

Baterai dihubungkan secara seri berfungsi untuk dapat meningkatkan jumlah tegangan baterai sesuai dengan kebutuhan tegangan kerja peralatan. Apabila suatu peralatan membutuhkan tegangan sebesar 110 volt dengan tegangan sel baterai sebesar 1,4 volt maka diperlukan sejumlah ± 84 sel baterai yang terhubung seri untuk dapat memenuhi kebutuhan peralatan tersebut.

Namun, hubungan seri pada baterai memiliki kekurangan yaitu apabila salah satu sel baterai mengalami kelainan maka akan berdampak pada keseluruhan baterai sehingga dapat menyebabkan suplai DC ke beban terputus.

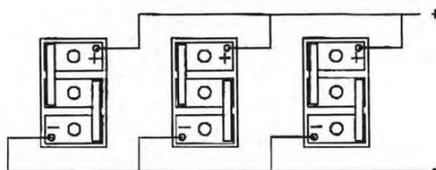


Gambar 2.14 Rangkaian Seri pada Baterai

(Sumber : Rancang Bangun System Battery Charging Automatic, 2010)

2.4.2 Hubungan Paralel

Baterai dihubungkan parallel berfungsi untuk meningkatkan arus baterai dan menjaga keandalan beban DC pada sistem. Dimana apabila salah satu sel baterai mengalami anomali maka tidak akan berdampak pada sel baterai yang lainnya sehingga baterai tetap mampu mensuplai tenaga ke peralatan, dalam arti lain tidak berdampak pada baterai secara keseluruhan. Namun, baterai hubungan parallel memiliki kekurangan yaitu dapat menurunkan kapasitas daya.

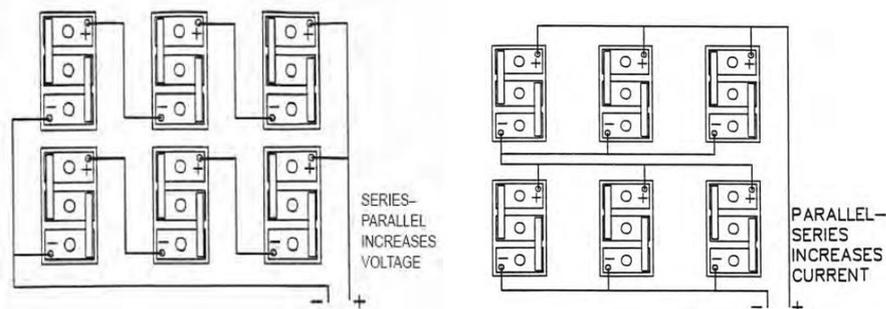


Gambar 2.15 Rangkaian Paralel pada Baterai

(Sumber : Rancang Bangun System Battery Charging Automatic, 2010)

2.4.3 Hubungan Kombinasi

Pada hubungan kombinasi ini terbagi menjadi dua macam yaitu seri paralel dan paralel seri. Hubungan ini untuk memenuhi kebutuhan ganda baik dari sisi kebutuhan akan tegangan dan arus yang sesuai maupun keandalan sistem yang lebih baik. Hal ini disebabkan karena hubungan seri akan meningkatkan tegangan sedangkan hubungan paralel akan meningkatkan arus dan keandalan sistemnya.



Gambar 2.16 Rangkaian Kombinasi pada Baterai

(Sumber : Rancang Bangun System Battery Charging Automatic, 2010)

2.5 Parameter Baterai^[6]

Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan pada baterai, yaitu :

1. Tegangan

Suatu baterai mampu mengalirkan arus listrik apabila adanya beda potensial yang berarti timbulnya tegangan diantara plat positif dan plat negatif baterai saat terjadi proses pengisian dan pengosongan berlangsung.

2. Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai merupakan suatu kemampuan baterai ketika arus listrik (ampere) dilewatkan dalam waktu (hour) dan tegangan tertentu dan dinyatakan dalam *ampere hour* (Ah). Kapasitas suatu baterai dapat ditentukan melalui persamaan berikut ini :

^[6] Silvana, Anastasya Fitri, *Pengaruh Proses Pengosongan Terhadap Kapasitas dan Efisiensi Baterai 110 VDC di Gardu Induk Sungai Kedukan Palembang*, (Palembang: Universitas Sriwijaya, 2019), Hlm. 20

$$C = I \text{ (Ampere)} \times t \text{ (Hours)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

C = Kapasitas Baterai (Ah)

I = Arus (A)

T = Waktu (jam/sekon)

3. Efisiensi Baterai

Efisiensi baterai merupakan persentase ratio dari perbandingan kapasitas pada saat pengosongan baterai terhadap kapasitas baterai saat sebenarnya.

$$\eta_{\text{baterai}} = \frac{C_d}{C_c} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

η = Efisiensi (%)

C_d = Kapasitas pengosongan (Ah)

C_c = Kapasitas pengisian (Ah)

4. Temperature

Temperature normal baterai pada umumnya sebesar 25°C. Pada suhu >25°C performa baterai akan semakin meningkat namun dapat menyebabkan umur baterai menurun.

5. Muatan Energi

Energi yang dihasilkan dari baterai dapat ditentukan dengan persamaan

$$E = \int_0^t V \cdot I(t) \cdot dt \text{ Wh} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

V = Tegangan (Volt)

I = Arus saat pelepasan muatan (A)

t = Waktu pelepasan muatan (jam)

6. Kerapatan Energi

Kerapatan energi adalah jumlah energi yang tersedia sana besar dengan massa atau volume baterai. Kerapatan energi suatu baterai dipengaruhi oleh komponen aktif pada baterai, dimana kemurnian komponen penyusun baterai merupakan factor penting ketika nilai potensial dan

arus maksimum baterai berbeda dengan nilai teoritisnya

7. Laju Pengosongan

Pada suatu baterai akan mengalami *self discharge* dalam persentase yang berbeda apabila tidak digunakan dalam jangka waktu tertentu, faktor yang mempengaruhi terjadinya laju pengosongan diantaranya kelembaban udara, suhu sekitar baterai ataupun kontak fisik dengan benda lain sebagai konduktor untuk baterai mengalami *self discharge*.

8. Siklus Hidup

Siklus hidup merupakan jumlah terjadinya charging dan discharging pada baterai hingga baterai tidak mampu lagi menyimpan muatan energi listrik.

9. Resistansi Internal

Resistansi internal berkaitan dengan kemampuan baterai dalam menangani beban tertentu serta menentukan besar daya keluaran dari baterai.

10. Berat Jenis Elektrolit Baterai

Berat jenis adalah suatu ukuran kualitas elektrolit pada baterai. Besar berat jenis elektrolit suatu baterai dipengaruhi oleh suhu yang terkandung pada baterai sehingga dapat dilakukan perhitungan untuk besar jenis elektrolit sebenarnya sebagai berikut :

a. Pada Baterai Asam

$$Bd_{(s)} = Bd_{(hs)} + (T_s - 5,15) \times 0,001 \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

$Bd_{(s)}$ = Berat jenis sebenarnya (gr/cm^3)

$Bd_{(hs)}$ = Pembacaan berat jenis pada hydrometer (gr/cm^3)

T_s = Temperature Larutan ($^{\circ}C$)

b. Pada Baterai Alkali

$$Bd_{(s)} = Bd_{(ha)} + \frac{T(s)-1,5}{1,5} \times 0,001 \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

$Bd_{(s)}$ = Berat jenis sebenarnya (gr/cm^3)

$Bd_{(ha)}$ = Pembacaan berat jenis pada hydrometer (gr/cm^3)

2.6 Standar Pengujian Kapasitas Baterai^[7]

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

1. Parameter yang dilihat pada saat pengujian pengosongan baterai adalah besar tegangan baterai selama dilakukan pengosongan, dimana :
 - a. Besar arus pengosongan berdasarkan jenis baterai, yaitu :
 - Baterai alkali (Nicad) = $0,2 \times$ kapasitas baterai
 - Baterai asam (Lead Acid) = $0,1 \times$ kapasitas baterai
 - b. Waktu Pengosongan berdasarkan jenis baterai, yaitu :
 - Baterai alkali (Nicad) (C5) yang artinya proses pengosongan dilakukan selama 5 jam.
 - Baterai asam (Lead Acid) (C10) yang berarti proses pengosongan dilakukan selama 10 jam.
 - c. Tegangan akhir pada saat pengosongan berdasarkan jenis baterai, yaitu :
 - Baterai alkali (Nicad) sebesar 1 volt.
 - Baterai asam (Lead Acid) sebesar 1,8 volt.

2.7 Efisiensi Baterai

Baterai yang baik adalah yang memiliki efisiensi baterai $> 80\%$ dan baterai yang kurang baik menurut standar PT. PLN (Persero) adalah baterai yang memiliki efisiensi baterai $< 60\%$. Untuk mengetahui besar efisiensi suatu baterai dapat diketahui melalui perhitungan dengan menggunakan persamaan (2.4)

^[7] Nasrudin Lubis Sugianto. Skripsi: “Kegagalan Proteksi Pada Gardu Induk 150 kV Akibat Suplai Tegangan DC”. (Jakarta: Institut Sains dan Teknologi Nasional, 2017), Hlm. 24