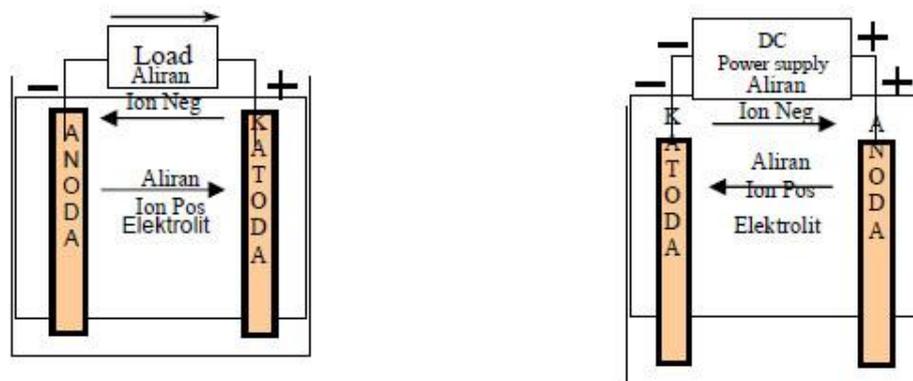


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Baterai

Menurut SK DIR PLN 0520/2014:49, Baterai atau *akumulator* adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berbalikan) dengan efesiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversible adalah didalam baterai dapat berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (Proses Pengisian), pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan didalam sel. Tiap sel baterai terdiri dari dua macam elektroda yang berlainan yaitu elektroda positif dan elektroda negative yang dicelupkan dalam suatu larutan kimia.¹



Gambar 2. 1. Proses Charging dan Discharging

2.2. Klasifikasi Baterai²

Baterai yang digunakan pada gardu induk terklasifikasi menjadi beberapa bagian sesuai dengan kondisi dan kebutuhan dari gardu induk. Diantaranya dibagi berdasarkan tegangan, karakteristik beban, dan jenis bahannya.

¹ SK-DIR-PLN 0520/2014.Pedoman Pemeliharaan Sistem Suplai AC DC :49

² SK-DIR-PLN 0520/2014.Pedoman Pemeliharaan Sistem Suplai AC DC :51-55



2.2.1. Menurut tegangannya terbagi 2 yaitu ;

a. Baterai DC 110 Volt

Baterai DC 110 Volt digunakan untuk menyalurkan suplai DC 110 Volt yang digunakan 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*

b. Baterai DC 48 Volt

Instalasi sistem DC 48 Volt digunakan untuk menyalurkan suplai DC 48 Volt yang digunakan untuk mengoperasikan peralatan pada instalasi gardu induk seperti:

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

2.2.2. Menurut Karakteristik Pembebanan

a. Tipe X : Very High Loading

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 H : High Loading

Yaitu untuk jenis pembebanan dengan arus yang tinggi dengan waktu yang singkat, dengan pembebanan 3,5-7 CnA, lama waktu pembebanan ± 4 menit, biasanya digunakan di pembangkit-pembangkit pada saat start mesin dengan tegangan akhir 0,8 volt per sel.

c. Tipe M : Medium Loading

Yaitu untuk jenis pembebanan dengan arus sedang dengan waktu yang singkat, dengan pembebanan 0,5-3,5 CnA, lama waktu



pembebanan \pm 40 menit. Biasanya digunakan digardu-gardu induk. Tegangan akhir 0,9 volt per sel.

d. Tipe L : Low Loading

Yaitu untuk jenis pembebanan dengan arus kecil, dengan pembebanan 0,5 CnA lama waktu pembebanan 5 jam, biasanya digunakan di gardu-gardu induk. Tegangan akhir 1 volt per sel.

Pada dasarnya fungsi baterai pada Gardu Induk Lahat sangat penting dan dianggap sebagai jantung Gardu Induk itu sendiri dikarenakan baterai sebagai sumber tegangan apabila terjadi black out pada Gardu Induk. Tegangan DC yang disuplai ke sistem kontrol agar sistem tersebut dapat terus bekerja.

2.2.3. Menurut Bahan

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).



Gambar 2. 2 .Baterai Asam

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 hidroksida) terdiri dari:

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



Gambar 2. 3 .Baterai Alkali

Umumnya yang banyak diinstalasi PLN adalah baterai alkali nickel-cadmium (Ni-Cd).

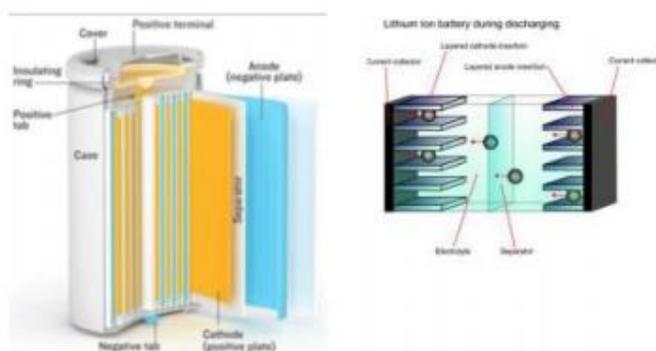
- Ciri-ciri umum (tergantung pabrik pembuatnya) sebagai berikut
- Tegangan nominal per sel 1,2 volt.



- 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. 4. Baterai Kering/ Lithium



2.3. Bagian Utama Baterai³

Berdasarkan SK DIR PLN 0520/2014:53-57, Setiap bagian dari baterai memiliki perannya masing-masing. Baik dari komponen untuk jenis baterai yang berbahan asam ataupun alkali, baik untuk tegangan 48 V ataupun 110 V ataupun pada beban tertentu. Semua komponen ini harus selalu dalam kondisi yang baik. Maka perlu dilakukan inspeksi rutin terhadap komponen baterai ini.

2.3.1. 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. 5. a) Plat Grid, b) Material Aktif, c) Grid Rangka Besi, d) Terakit Dalam Plastic Container

2.3.2. 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.

³ SK-DIR-PLN 0520/2014. *Pedoman Pemeliharaan Sistem Suplai AC DC* :53-54



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.

2.3.3. 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*

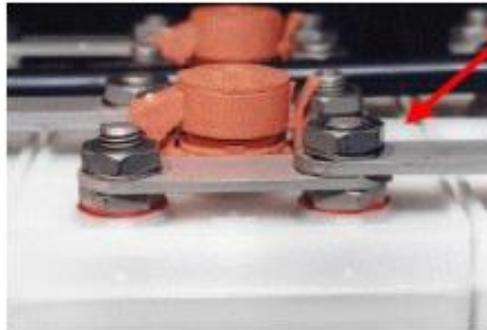
Sel baterai dengan bejana (*container*) terbuat dari plastic ditempatkan dalam rak besi yang diisolasi, hal ini untuk menghindari terjadi hubung singkat antar sel baterai atau hubung tanah apabila terjadi kerusakan/kebocoran elektrolit baterai.



Gambar 2. 6. Plastik Cointainer dan Steel Container

2.3.4. 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*).



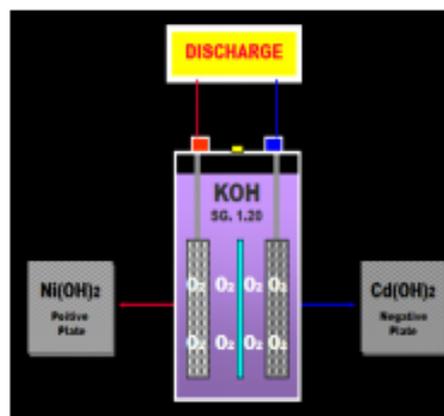
Gambar 2. 7. Terminal Penghubung Baterai

2.4. Prinsip Kerja Baterai⁴

Berdasarkan SK DIR PLN 0520/2014:50, Ada dua tipe prinsip kerja baterai yang menyangkut dengan arah pergerakan elektron yaitu charging dan discharging.

Discharging

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



Gambar 2. 8. Discharging / Pengosongan

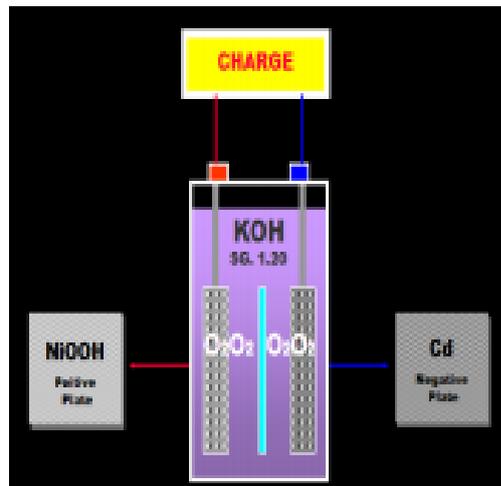
⁴ SK-DIR-PLN 0520/2014. *Pedoman Pemeliharaan Sistem Suplai AC DC :50*



Charging

Pada proses pengisian di bawah. Bila sel dihubungkan dengan suplai maka, elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda dan proses kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:

- Aliran electron 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. 9. Charging / Pengisian

2.5. Pengisian Baterai⁵

Pengisian baterai menurut SK DIR 0520/2014, pengisian baterai memiliki beberapa proses atau sistem, yaitu floating, equalizing dan boosting. Digunakan tergantung dengan kebutuhan gardu induk pada kondisi tertentu.

2.5.1. Floating

Floating adalah jenis pengisian ke baterai untuk menjaga keadaan baterai dalam keadaan full charger dan baterai tidak mengeluarkan maupun menerima arus listrik saat mencapai tegangan floating dan baterai tetap tersambung ke baterai dan beban.

⁵ Agned R & Nurhalim 2016. *Studi Kapasitas Baterai 110 VDC pada Gardu Induk 150kV Bangkinang.*



Pada Gardu Induk umumnya menggunakan sistem floating, bila sumber AC hilang atau pengisi baterai terganggu, maka beban langsung di suplai dari baterai.

Untuk baterai Alkali tegangan floating adalah 1,40-1,44 Vdc setiap sel baterai. Arus floating adalah $0,01 \times C$.

2.5.2. Equalizing

Equalizing adalah jenis pengisian baterai untuk menyamakan/meratakan tegangan karena terjadi perbedaan tegangan setiap sel. Untuk baterai Alkali tegangan equalizing adalah 1,5-1,6 Vdc setiap sel baterai. Arus equalizing adalah $0,2 \times C$.

2.5.3. Boosting

Boosting adalah jenis pengisian cara cepat yang digunakan untuk initial charge atau pengisian kembali pada baterai setelah baterai mengalami pengosongan yang besar atau setelah di tes kapasitas baterai (capacity test). Untuk baterai Alkali tegangan boosting adalah 1,65-1,7 Vdc setiap sel baterai. Arus boosting adalah $0,1-0,2 \times C$.

2.6. Kapasitas Baterai⁶

Kapasitas baterai adalah besarnya arus listrik baterai (ampere) yang dapat disuplai/dialirkan ke suatu rangkaian luar atau beban dalam waktu tertentu (jam) untuk memberikan tegangan tertentu.

2.6.1. Uji Kapasitas Baterai

Untuk mengetahui apakah baterai sudah terisi penuh dan dapat menyimpannya dengan baik maka perlu dilakukan pengukuran kondisi baterai dengan cara menguji secara simulasi beban yang dapat diatur sehingga arusnya pun dapat diatur pada arus yang tetap maka tegangan baterai akan turun dari nominalnya. Waktu penurunan tegangan dibandingkan dengan karakteristik baterai tersebut maka dapat diketahui kondisi baterai tersebut,

⁶ Agned R & Nurhalim 2016. *Studi Kapasitas Baterai 110 VDC pada Gardu Induk 150kV Bangkinang*.: 4



apakah mempunyai kapasitas yang baik atau buruk <60% sesuai SK DIR 0520 2014:77 Tentang Pedoman Pemeliharaan Suplai AC DC .

Pada baterai alkali Ni-Cd umumnya kapasitas baterai dinyatakan dalam C5 yang menyatakan besarnya kapasitas baterai dalam Ah yang tersedia selama 5 jam untuk C5. Pengujian kapasitas baterai dilakukan pada :

- 1) Saat komisioning baterai (initial charge)
- 2) 5 tahun setelah operasi
- 3) Kemudian dilakukan setiap 2 (dua) tahun
- 4) Pada dasarnya untuk mengetahui kapasitas dan kemampuan baterai yang sesungguhnya.

Penyebab kapasitas baterai menurun adalah :

- 1) Pengisian yang tidak sempurna
- 2) Pengisian floating yang terlalu lama
- 3) Banyak terdapat karbon dalam sel baterai
- 4) Kadar potasium karbonat dalam baterai terlalu tinggi
- 5) Kerusakan elektroda/material aktif baterai

2.6.2. Prinsip Dasar Pengujian Kapasitas Baterai

Prinsip dasar pengujian kapasitas baterai dilakukan dengan memberikan beban baterai (arus pengosongan/I discharging) sebesar 0,2 C karena 0,2 C ini telah distandarkan oleh IEC (*International Electrotechnical Commission*), hal ini dimaksud agar baterai yang diuji tidak mengalami *over heating* pada sel (yang terdiri dari elektroda, plat dan elektrolit) yang sangat memungkinkan cepat rusaknya baterai tersebut.

Baterai dihubungkan dengan alat pengosongan, yang secara otomatis menampilkan arus pengosongan, tegangan total, lama pengosongan, dan Ah pengosongan, yang ditampilkan dalam bentuk grafik. Yang harus diperhatikan dalam pengujian kapasitas baterai adalah :

Setting pengosongan baterai :

- 1) Arus pengosongan (I discharging) = 0,2 x 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 diizinkan selama pengosongan = 40-45°C.

Berdasarkan standar IEEE, baterai bank dengan tegangan output nominal 110 VDC dipilih dan dirangkai sedemikian rupa untuk menghasilkan kapasitas arus yang memadai. Baterai bank mempunyai tegangan minimum (V_{min}) 104.5 VDC atau 95% tegangan nominal. Sedangkan baterai bank mempunyai tegangan minimum pengosongan 80% tegangan penuh.

2.7. Rectifier⁷

2.7.1. Pengertian

Berdasarkan SK DIR PLN 0520/2014, Rectifier merupakan suatu rangkaian alat listrik untuk mengubah arus listrik bolak-balik (AC) menjadi sumber arus 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.

2.7.2. Jenis Rectifier

A. Rectifier 1 (satu) fasa

Yang dimaksud dengan rectifier 1 fasa adalah rectifier yang rangkaian inputnya menggunakan AC suplai 1 fasa. Rectifier jenis inilah yang dipergunakan pada gardu yang ada di peralatan proteksi. Rectifier akan bekerja apabila diberikan tegangan 220 Vac.

B. Rectifier 3 (tiga) fasa

Yang dimaksud dengan rectifier 3 fasa adalah rectifier yang rangkaian inputnya menggunakan AC suplai 3 fasa (380 Vac). Agar dapat menghasilkan tegangan sebesar 380 Vac, maka proses penyambungannya yaitu dengan konfigurasi fasa ke fasa (r-s/s-t-t-r),

⁷ Agned R & Nurhalim 2016. *Studi Kapasitas Baterai 110 VDC pada Gardu Induk 150kV Bangkinang*.: 3



sehingga rectifier 3 fasa ini dapat bekerja. Hanya saja rectifier 3 fasa tidak dipergunakan pada jaringan proteksi pada Gardu Induk.

2.7.3. Prinsip Kerja Rectifier

Sumber AC baik 1 fasa maupun 3 fasa masuk melalui terminal input rectifier itu ke trafo step-down dan tegangan 220/380 Vac menjadi tegangan 110 Vdc dengan sedikit ripple, sehingga untuk memperbaiki ripple/gelombang DC yang terjadi diperlukan suatu rangkaian penyaring (filter) yang dipasang sebelum ke terminal output.

