

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Suplai DC dari Rectifier

Dalam pengoperasian tenaga listrik terdapat dua macam sumber tenaga untuk kontrol didalam 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. Catu daya sumber DC digunakan untuk kebutuhan operasi relay proteksi, kontrol dan scadatel.

Gardu Induk merupakan suatu sistem instalasi listrik yang terdiri dari susunan dan rangkaian sejumlah perlengkapan yang dipasang menempati suatu lokasi tertentu untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik, menaikkan dan menurunkan tegangan sesuai dengan tingkat tegangan kerjanya, tempat melakukan kerja switching rangkaian suatu sistem tenaga listrik dan untuk menunjang keandalan sistem tenaga listrik terkait. Power Supply Utama Gardu Induk meliputi:

a. Tegangan AC

Arus yang mengalir dengan polaritas yang selalu berubah-ubah dimana masing-masing terminal polaritasnya selalu bergantian.

b. Tegangan DC

Arus yang mengalir dalam arah yang tetap (konstan) dimana masing-masing terminal selalu tetap polaritasnya.

c. Genset

Sebuah alat yang digunakan untuk memproduksi energi listrik dengan merubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik.

d. Rectifier

Alat yang digunakan untuk mengubah sumber arus bolak-balik (AC) menjadi sinyal sumber arus searah (DC).

e. Baterai

Alat listrik kimiawi yang menyimpan energi dan mengeluarkan tenaga dalam bentuk tegangan listrik searah.

f. Load Break Switch (LBS)

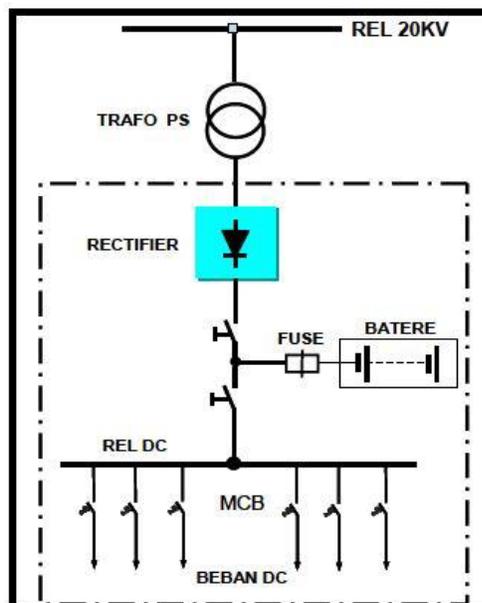
Alat yang digunakan untuk memutus dan menyambung tegangan listrik dalam keadaan berbeban.

g. Mini Circuit Breaker (MCB)

Alat yang berfungsi untuk memutus hubungan listrik yang bekerja secara otomatis apabila ada arus / beban lebih yang melebihi kapasitas dari MCB.

Sistem AC di Gardu Induk merupakan suplai utama untuk pengoperasian peralatan utama seperti: Rectifier, Penerangan, Pendingin ruangan komputer dan lain sebagainya. Untuk kebutuhan operasi relay dan kontrol di PLN terdapat dua sistem catu daya pasokan arus searah yaitu DC 110V dan DC 220V, sedangkan untuk kebutuhan scadatel menggunakan sistem catu daya DC 48V. Catu daya DC bersumber dari rectifier dan baterai. Terpasang pada instalasi secara paralel dengan beban, sehingga dalam operasionalnya disebut Sistem DC (Tim Maintenance, 2014).

Sistem DC.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 2. 1 Instalasi Sistem DC

Gambar 2.1 merupakan rangkaian sistem baterai yang ada di gardu induk dimana rectifier dan baterai terpasang pada instalasi secara paralel dengan beban, sehingga dalam operasionalnya disebut sistem DC (Sugianto & Lubis, 2017). 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 220V/380 V

menjadi tegangan DC 110V/48V dengan sedikit ripple (gelombang). Sehingga untuk memperbaiki ripple DC yang terjadi diperlukan suatu rangkaian penyang (filter) yang dipasang sebelum ke terminal output (Agned & Nurhalim, 2016). Menurut (Siregar, 2021) peran dari Instalasi Sistem DC 110V yaitu sebagai penyalur *supply* DC 110V yang didapatkan dari *Rectifier* menuju *battery* untuk keperluan pengoperasian *Equipment* dalam pengoperasian gardu induk seperti :

- 1) Meter digital dan relai proteksi untuk *Equipment*.
- 2) Motor penggerak (CB dan DS).
- 3) Indikasi, *alarm*, dan signal dan pada alat.
- 4) Closing coil dan juga Tripping.

1. Bagian Utama Rectifier

Bagian utama rectifier terdiri dari Trafo Utama, penyearah, AVR, Filter, Rangkaian Voltage Dropper, dan sistem alarm (Tim Maintenance, 2014).

1. Transformator Utama

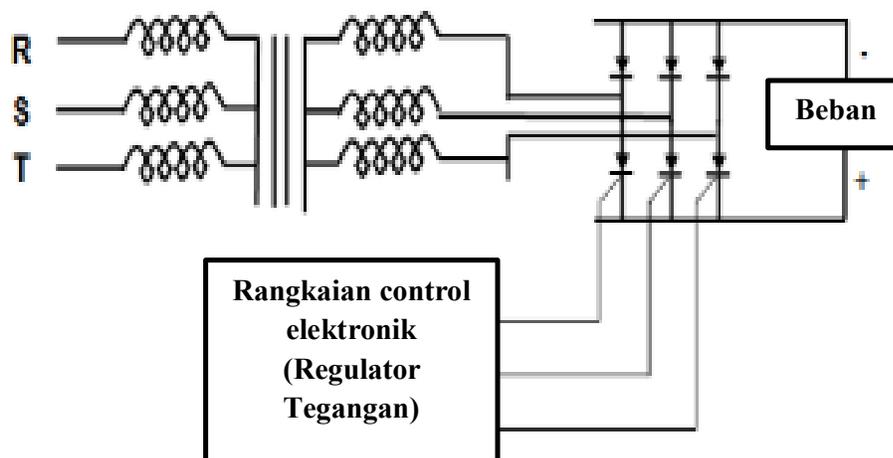
Transformator Utama yang terpasang pada rectifier biasanya merupakan transformator step-down berfungsi sebagai penurun tegangan dari tegangan AC 220/380 volt menjadi 110 /48 volt contoh transformator utama sebagaimana yang diperlihatkan pada gambar 3. Besar kapasitas arus transformator utama harus disesuaikan dengan kapasitas baterai terpasang (C5) dan beban sumber DC di Gardu Induk tersebut. Pada gambar 2.2 merupakan contoh dari transformator tenaga.



Gambar 2. 2 Transformator Tenaga

2. Penyearah Thyristor

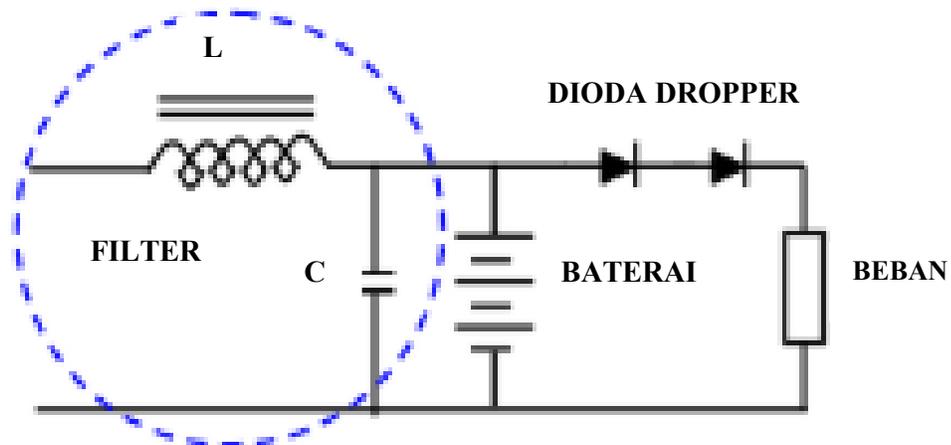
Gambar 2.3 merupakan diagram penyearah thyristor system 3 fasa yang berfungsi sebagai penyearah dan pengatur tegangan keluaran dari transformator utama, penyearah ini dari bahan semi konduktor yang dilengkapi dengan satu terminal kontrol untuk mengatur sudut penyalaan Thyristor.



Gambar 2. 3 Diagram Penyearah Thyristor System 3 Fasa

3. Filter (Penyaring)

Gambar 2.4 merupakan rangkaian filter yang berfungsi sebagai penyaring tegangan yang keluar dari rangkaian penyearah agar menghasilkan tegangan DC yang kandungan harmonisa atau tegangan ripple tidak melebihi batas tertentu ($<2\%$). Rangkaian filter terdiri dari rangkaian induktif, kapasitif atau kombinasi dari keduanya.



Gambar 2. 4 Rangkaian Filter (Penyaring)

4. AVR (Automatic Voltage Regulator)

Gambar 2.5 merupakan Modul Elektronik Automatic Voltage Regulator (AVR) yang terpasang pada rectifier yang berfungsi untuk memberi trigger positif pada gate Thyristor sehingga pengaturan arus maupun tegangan output rectifier yang mengalir ke baterai maupun ke beban dapat diatur sesuai kebutuhan.

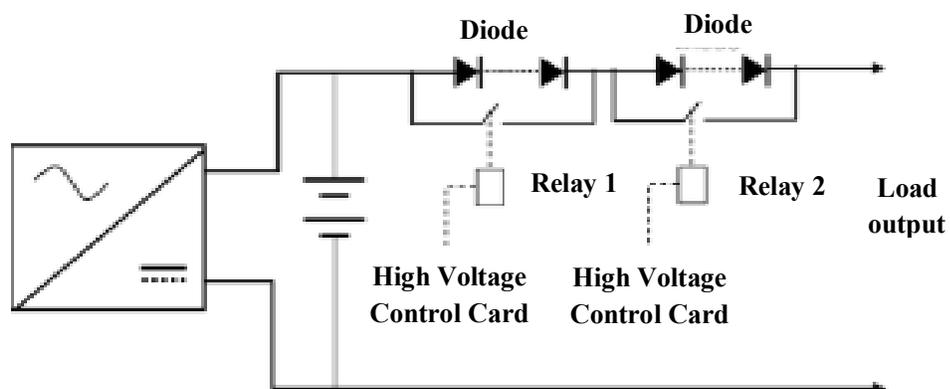


Gambar 2. 5 Modul Elektronik AVR

5. Alarm Unit

Gambar 2.6 merupakan perangkat elektronik yang berfungsi memberikan informasi ketika terjadi kondisi abnormal pada sistem kerja rectifier antara lain:

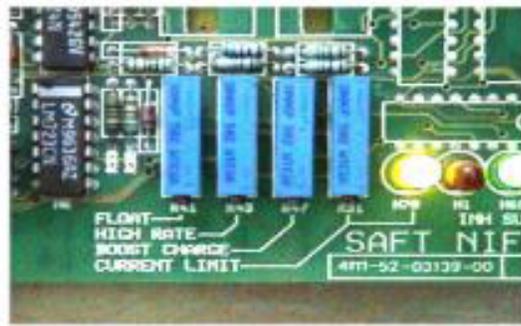
- AC Failure (Sumber AC input terganggu)
- DC Failure (Output DC terganggu)
- High DC Voltage (Tegangan DC tinggi)
- Earth Fault Positif (Gangguan hubung tanah DC positif)
- Earth Fault Negatif (Gangguan hubung tanah DC negatif)



Gambar 2. 6 Diagram Voltage Dropper

6. Modul Pengaturan Arus dan Tegangan Pengaturan

Gambar 2.7 merupakan modul pengaturan arus dan tegangan output rectifier dilakukan dengan mengatur tahanan geser pada modul kontrol (AVR) agar memenuhi standar/syarat pengisian baterai dan suplai ke beban.

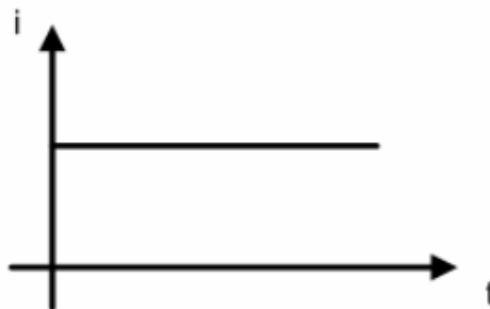


Gambar 2. 7 Contoh Modul pengaturan arus dan tegangan

2. Macam-macam arus

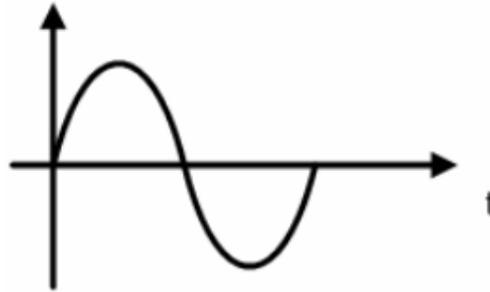
Menurut (Ramdani, 2015) arus terbagi menjadi dua macam yaitu:

- a. Gambar 2.8 menunjukkan arus searah (Direct Current/DC) Arus DC adalah arus yang mempunyai nilai tetap atau konstan terhadap satuan waktu, artinya diaman pun kita meninjau arus tersebut pada waktu berbeda akan mendapatkan.

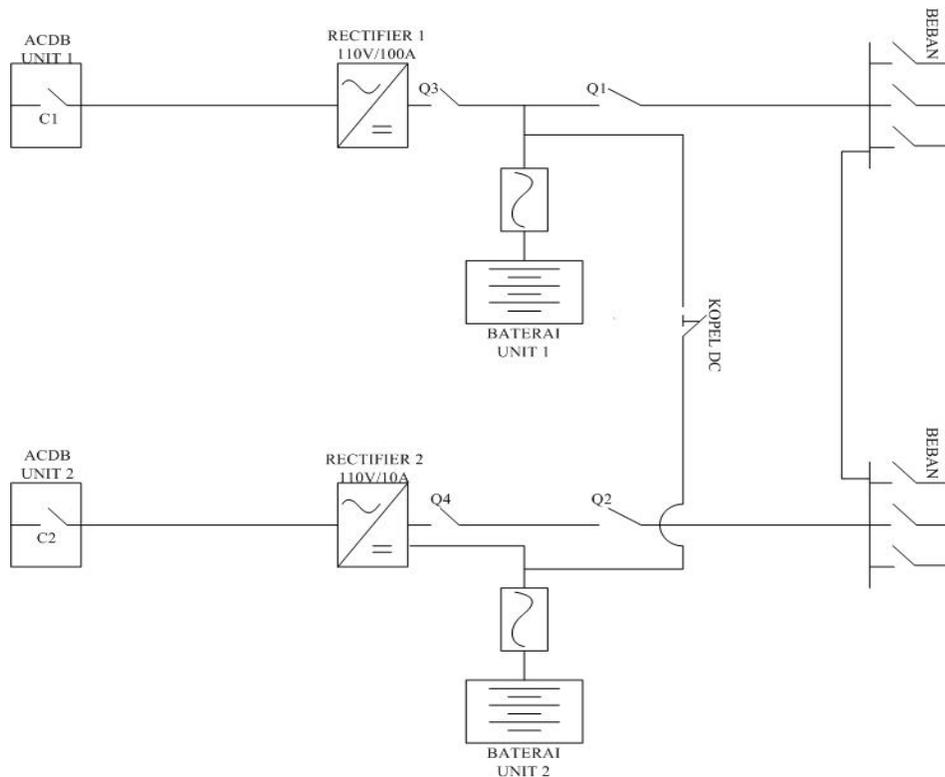


Gambar 2. 8 Arus DC

- b. Gambar 2.9 menunjukkan arus bolak-balik (Alternating Current/AC) Arus AC adalah arus yang mempunyai nilai yang berubah terhadap satuan waktu dengan karakteristik akan selalu berulang untuk perioda waktu tertentu (mempunyai perida waktu : T).



Gambar 2. 9 Arus AC



Gambar 2. 10 Single line diagram GI Tasikmalaya 150 kV
(GI TASIKMALAYA, 2019)

Gambar 2.10 menunjukkan skema alur prosedur pelaksanaan pemindahan beban. Berikut langkah-langkah pemindahan beban dari satu unit ke unit lain.

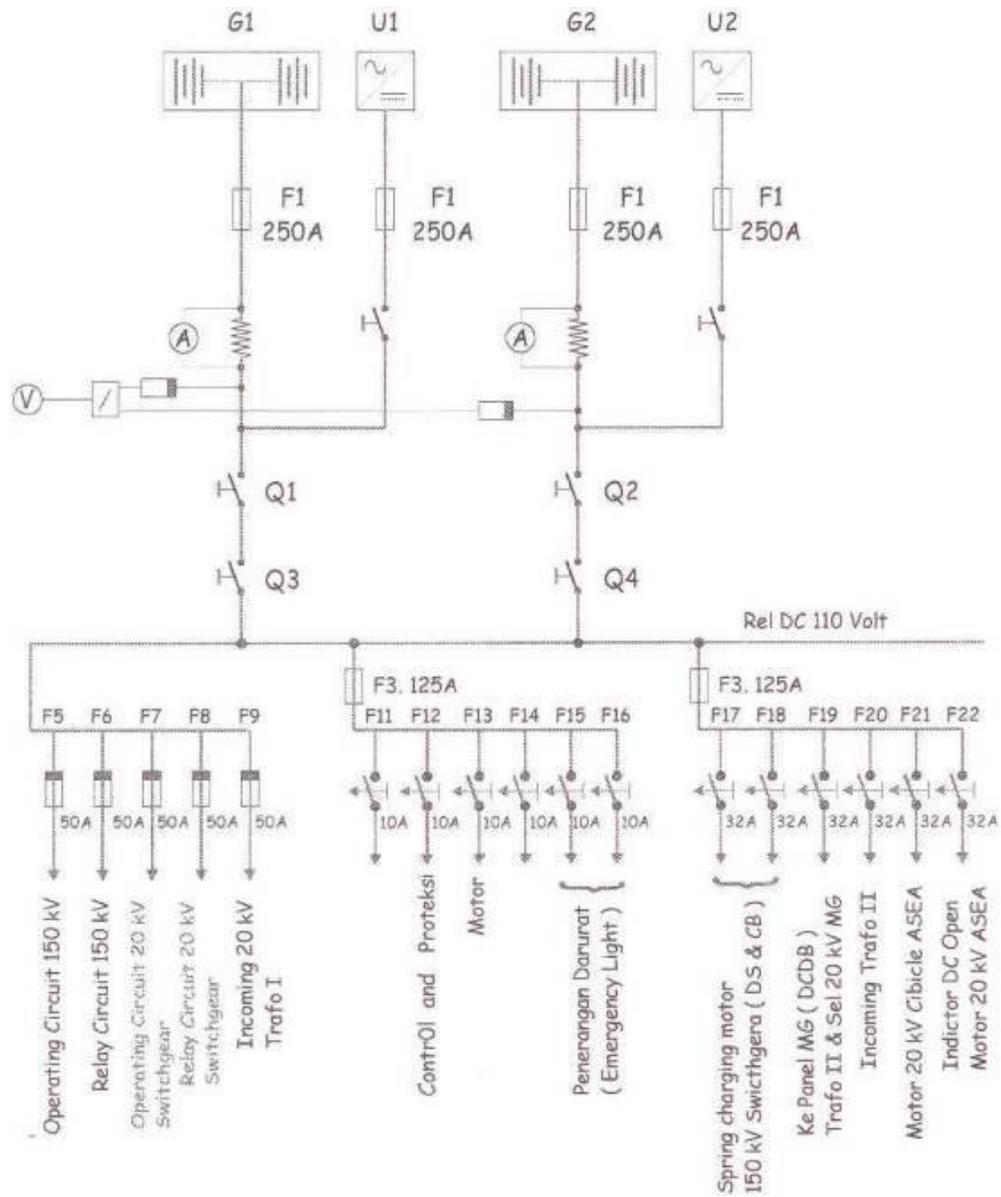
SOP pemindahan beban dari unit 1 ke unit 2

1. Q3 terbuka
2. Q2 dan Q1 tertutup
3. Rectifier pada unit 2 tertutup
4. Q1 terbuka
5. Untuk charger Baterai 1 Q3 tertutup Q1 terbuka

SOP pemindahan beban dari unit 2 ke unit 1

1. Q3 terbuka
2. Q2 dan Q1 tertutup
3. Rectifier pada unit 2 (C2) terbuka
4. Q1 terbuka
5. Q2 terbuka
6. Untuk charger Baterai 2 C2 tertutup Q2 terbuka

Pada gardu induk tentunya terdapat sistem distribusi AC maupun Dc. Gambar 2.11 dan gambar 2.12 merupakan gambaran dari wiring yang terdapat pada sistem distribusi AC dan sistem distribusi AD. Pada gambar dapat diketahui penyaluran arus.



Gambar 2. 12 Wiring sistem distribusi DC

2.2. Baterai



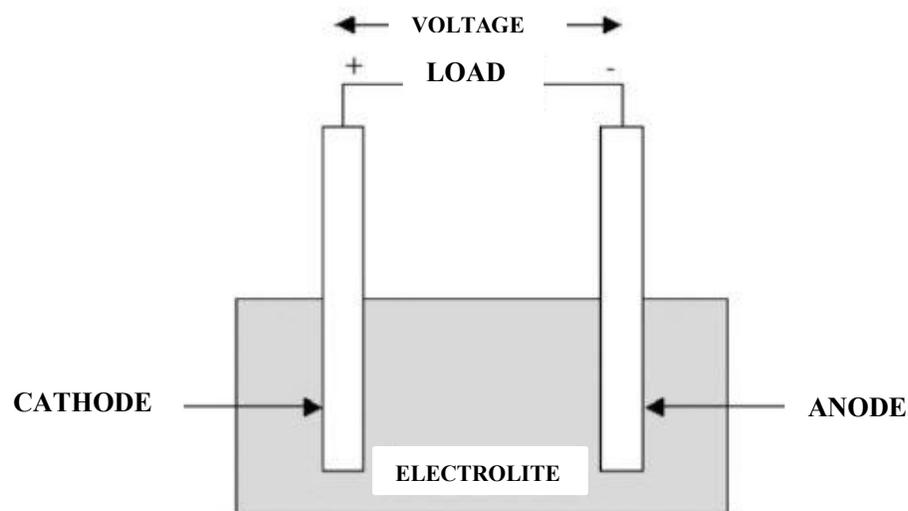
Gambar 2. 13 Baterai 110 VDC Bank 1 Pada Gardu Induk 150 KV Tasikmalaya.

Baterai adalah perangkat yang mengubah energi kimia yang terkandung dalam bahan aktifnya secara langsung menjadi energi listrik melalui reaksi reduksi oksidasi elektrokimia (redoks). Dalam kasus sistem yang dapat diisi ulang, baterai diisi ulang dengan proses pembalikan (Reddy, 2010). Baterai adalah suatu alat yang dapat menghasilkan energi listrik dengan proses kimia. Yang dimaksud proses kimia adalah di dalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya proses tenaga listrik menjadi tenaga kimia (pengisian kembali) dengan cara regenerasi elektroda-elektroda yang dipakai yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan di dalam sel (Dilla dkk., 2020).

Pada baterai terjadi proses elektrokimia dimana nilai efisiensi pada baterai tersebut sangatlah tinggi. Proses elektrokimia yang berlangsung reversibel yaitu proses perubahan reaksi kimia menjadi energi listrik. Pada proses pengosongan terjadi perubahan kimia menjadi energi listrik dan sebaliknya pada proses

pengosongan terjadi perubahan energi listrik ke kimia dengan cara proses regenerasi dari elektroda - elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel.

Pada gambar 2.13 dapat dilihat baterai yang digunakan baterai jenis sel dengan jumlah sel sebanyak 86 baterai dengan kapasitas 211 Ah. Baterai secara umum memiliki empat buah komponen utama yaitu katoda, anoda, separator dan elektrolit seperti pada gambar 2.14 (Samhan, 2018).



Gambar 2. 14 Komponen-komponen baterai (Samhan, 2018).

A. Katoda

Katoda adalah kutub positif dari baterai. Secara umum, katoda didefinisikan sebagai tempat pada sel elektrokimia di mana terjadi proses reduksi, yaitu proses penangkapan elektron.

B. Anoda

Anoda adalah kutub negatif dari baterai. Secara umum anoda didefinisikan sebagai tempat sel elektrokimia dimana terjadi proses oksidasi, yaitu proses pelepasan elektron.

C. Separator

Separator adalah pemisah antara katoda dan anoda. Baterai bertugas mengalirkan elektron hanya melalui rangkaian eksternal, jadi diperlukan komponen baterai untuk mencegah aliran elektron dari anoda ke katoda didalam baterai. Separator memiliki sifat isolator untuk elektron, tetapi konduktor untuk ion.

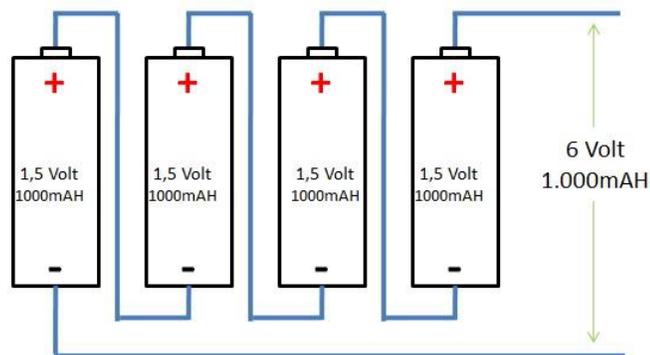
2.2.1. Rangkaian Baterai

Rangkaian baterai terdiri dari dua macam yaitu rangkaian jenis hubungan seri dan hubungan paralel (S dkk., 2021).

a. 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. Rangkaian seri adalah rangkaian piranti-piranti listrik yang dihubungkan seri yang menyebabkan hanya ada satu rangkaian listrik yang sama nilainya (Pranata, 2016).

Rangkaian Seri Baterai



Gambar 2. 15 Rangkaian Seri Baterai (Cho, 2020)

Jumlah penurunan tegangan ujung-ujung energi tahanan listrik yang di hubungkan seri sama dengan sumber tegangan listrik total (V_s) yang digunakan yaitu (Pranata, 2016):

$$V_s = V_1 + V_2 + V_3 \quad (2.1)$$

Gambar 2,15 menunjukkan, 4 buah Baterai yang masing-masing bertegangan 1,5 Volt dan 1.000 miliampere per jam (mAh) akan menghasilkan 6 Volt Tegangan tetapi kapasitas arus Listriknya (Current) akan tetap yaitu 1.000 miliampere per jam (mAh).

$$V_s = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_s = 1,5V + 1,5V + 1,5V + 1,5V$$

$$V_s = 6 V$$

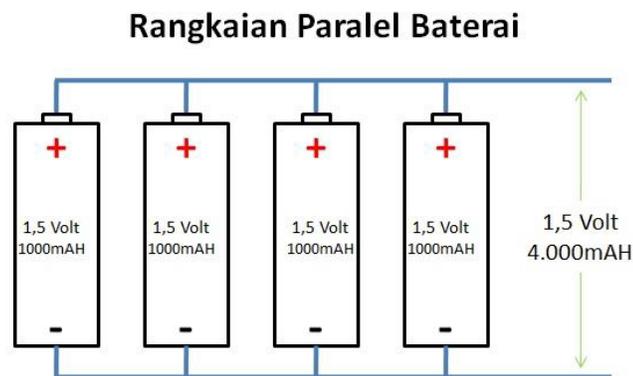
arus listrik total (I_s) sama dengan nilai arus listrik yang mengalir pada setiap tahanan arus listrik, yaitu

$$I_s = I_1 = I_2 = I_3 \quad (2.2)$$

b. Hubungan Paralel

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

Rangkaian paralel adalah rangkaian yang piranti-piranti dihubungkan langsung dengan tegangan sumber utama. Kondisi menyebabkan masing-masing piranti berkerja pada tegangan sumber yang sama (Pranata, 2016).



Gambar 2. 16 Rangkaian Pararel baterai (Cho, 2020)

Gambar 2.16 merupakan rangkaian Paralel yang terdiri dari 4 buah Baterai. Tegangan yang dihasilkan dari Rangkaian Paralel adalah sama yaitu 1,5 Volt tetapi Current atau kapasitas arus listrik yang dihasilkan adalah 4.000 mAH (miliampere per Jam) yaitu total dari semua kapasitas arus listrik pada Baterai (Cho, 2020).

$$I_{tot} = I_1 = I_2 = I_3 \quad (2.3)$$

$$I_{tot} = 1.000\text{mAh} + 1.000\text{mAh} + 1.000\text{mAh} + 1.000\text{mAh}$$

$$I_{tot} = 4.000\text{mAh}$$

2.2.2. Fungsi Baterai

Fungsi baterai sangat penting untuk menjaga kestabilan sistem DC sebab relai-relai pada kontrol panel tidak boleh padam. Karena itu, baterai siap untuk menggantikan fungsi rectifier ketika terjadi blackout (Afandi dkk., 2021). Baterai merupakan salah satu sumber tegangan arus searah (DC). Pada gardu-gardu induk maupun pusat pembangkit tenaga listrik, baterai berfungsi sebagai (Nugroho & Sukmadi, MT, 2012) :

- a. sumber tegangan motor-motor untuk penggerak PMT, PMS, tap changer trafo tenaga dan sebagainya.
- b. Sumber tenaga untuk alat-alat kontrol, tanda-tanda isyarat (signal dan alarm).
- c. Tenaga untuk peralatan telekomunikasi PLC dan SCADA.
- d. Tenaga untuk penerangan darurat.
- e. Tenaga untuk relay proteksi.

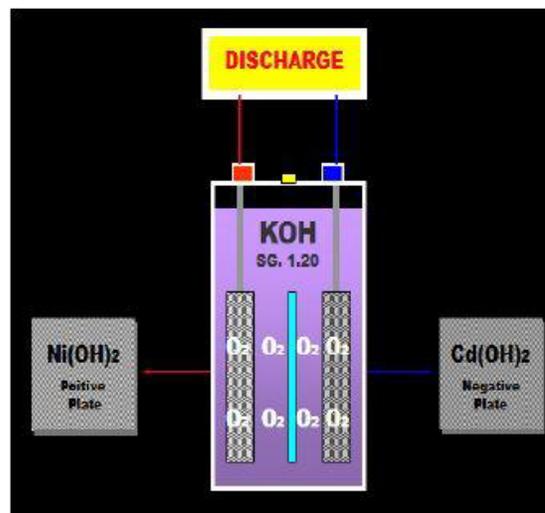
2.2.3. Jenis-jenis Baterai

Baterai adalah satu atau lebih sel elektrokimia yang terhubung secara elektrik yang memiliki terminal / kontak untuk memasok energi listrik. Baterai primer adalah sel, atau sekelompok sel, untuk pembangkitan energi listrik yang dimaksudkan untuk digunakan sampai habis dan kemudian dibuang. Baterai primer dirakit dalam keadaan terisi daya; pelepasan adalah proses utama selama

operasi. Baterai sekunder adalah sel atau sekelompok sel untuk pembangkitan energi listrik dimana sel, setelah habis, dapat dikembalikan ke kondisi bermuatan aslinya dengan arus listrik yang mengalir ke arah yang berlawanan dengan aliran arus ketika sel sudah habis. Istilah lain untuk baterai jenis ini adalah baterai isi ulang atau akumulator. Karena baterai sekunder biasanya dirakit dalam keadaan kosong, baterai tersebut harus diisi terlebih dahulu sebelum dapat dibuang dalam proses sekunder (Winter & brodd, 2004). Ada 2 jenis baterai yaitu:

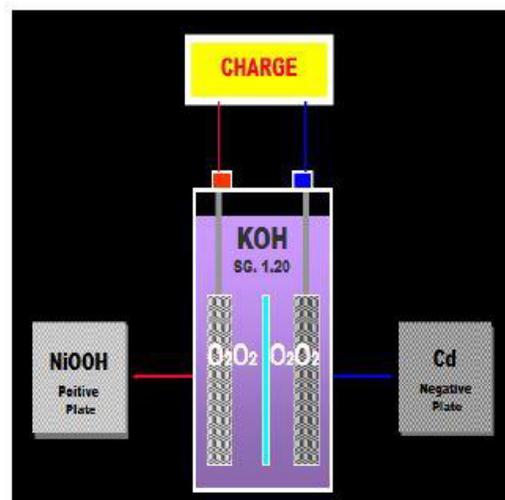
- 1) Baterai primer yaitu baterai yang hanya dapat digunakan sekali pakai saja dan tidak dapat diisi ulang,
- 2) Baterai sekunder yaitu baterai yang dapat digunakan dan diisi ulang berkali-kali. Baterai sekunder adalah suatu komponen yang didalamnya berlangsung reaksi elektrokimia dimana reaksinya dapat di bolak balik arah prosesnya (reversible) (Ariyanto dkk., 2022).

2.2.4. Prinsip Kerja Baterai



Gambar 2. 17 Proses Reaksi Elektrokimia Pengosongan (Discharging) Baterai (PLN, 2014)

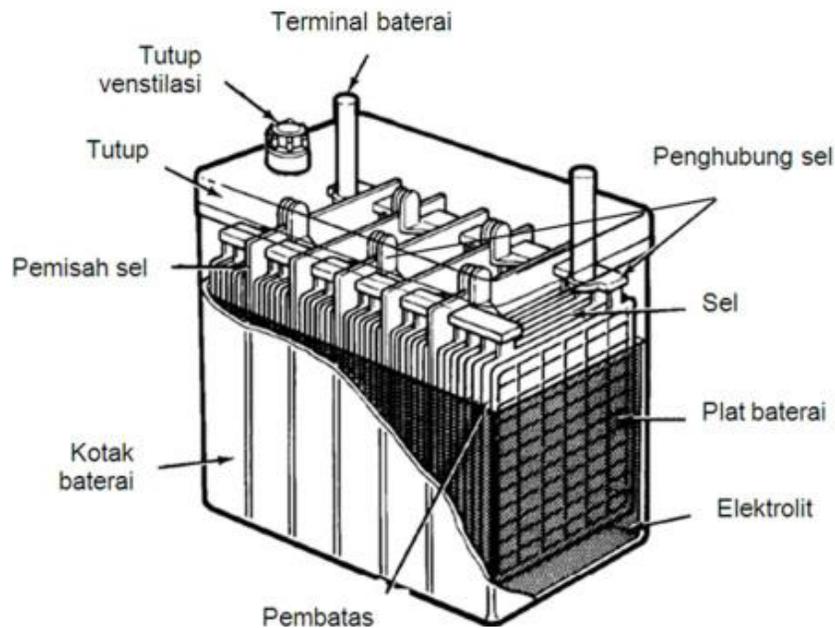
Prinsip kerja baterai terdiri dari proses pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*). Proses discharge pada sel berlangsung menurut skema Gambar 2.17 . Bila sel dihubungkan dengan beban maka, elektron mengalir dari anoda melalui beban ke katoda, kemudian ion-ion negative mengalir ke anoda dan ion-ion positif mengalir ke katoda.



Gambar 2. 18 Proses Reaksi Elektrokimia Pengisian (Charging) Baterai (PLN, 2014)

Sedangkan pada proses pengisian menurut skema Gambar 2.18 bila sel dihubungkan dengan power supply maka, elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negative menjadi katoda dan terjadi proses kimia aliran elektron menjadi terbalik, mengalir dari anoda melalui power supply ke katoda. Ion-ion negative mengalir dari katoda ke anoda Ion-ion positif mengalir dari anoda ke katoda (PLN, 2014).

2.2.5. Kontruksi Baterai



Gambar 2. 19 Kontruksi Baterai (panelsinarsurya.wordpress.com, 2019)

Menurut (PLN, 2014) bagian utama baterai pada gambar 2.19 terdiri dari:

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.

2. Elektrolit

Elektrolit adalah cairan atau larutan senyawa kimia yang berfungsi menghantarkan arus listrik, karena 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 adalah sebagai berikut:

- a. Larutan asam belerang (H_2SO_4) digunakan pada baterai asam.
- b. Larutan Kalium Hidroksida (KOH) digunakan pada baterai alkali.

3. Separator

Separator adalah pemisah antara katoda dan anoda. Baterai bertugas mengalirkan elektron hanya melalui rangkaian eksternal, jadi diperlukan komponen baterai untuk mencegah aliran elektron dari anoda ke katoda didalam baterai. Separator memiliki sifat isolator untuk elektron, tetapi konduktor untuk ion.

4. Sel Baterai

Sel baterai berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan elektrolit dan elektroda.

5. 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.

6. 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.

7. 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).

8. Lubang Ventilasi

Lubang ventilasi berfungsi untuk maintenance baterai yaitu tempat dilakukannya pengecekan cairan elektrolit ataupun air yang terkandung pada baterai.

2.3. Baterai Alkali

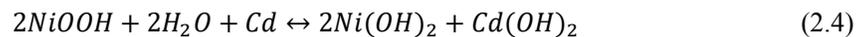
Baterai Alkali terdiri dari 2 elektroda yaitu elektroda positif dan elektroda negatif berbeda-beda berdasarkan jenis baterai alkali yang digunakan. Dimana baterai alkali terbagi menjadi 3 jenis yaitu :

- a. Baterai NiFe (Nickel Iron)
- b. Baterai NiCd (Nickel Cadmium)
- c. Baterai NiMH (Nickel Metal Hydrate)

Baterai NiFe memiliki elektroda positif terbuat dari okside hidroxide dan elektroda negatif terbuat dari besi (Fero) sedangkan pada baterai NiCd elektroda

positif terbuat dari nickel hydroxide, elektroda negatifnya dari cadmium dan pada baterai NiMH elektroda positif terbuat dari nickel hydroxide dengan elektroda negatif terbuat dari campuran logam yang menyerap hidrogen. Pada baterai alkali yang terkandung didalam elektrolit sebagai media penghantar listrik adalah larutan KOH (Potassium Hydroxide). Saat berlangsungnya pengosongan maupun pengisian pada baterai secara praktis tidak terjadinya perubahan berat jenis pada cairan elektrolit sel baterai. Berikut adalah proses kimia yang berlangsung pada baterai jenis alkali.

Proses reaksi kimia baterai nickel-cadmium secara keseluruhan dapat dinyatakan sebagai berikut (Reddy, 2010).



Proses reaksi kimia baterai nickel-iron secara keseluruhan dapat dinyatakan sebagai berikut (Reddy, 2010).



Ciri-ciri umum dari baterai alkali ini memiliki tegangan nominal per sel 1,2gr/m² Volt. Nilai berat jenis elektrolitnya tidak sebanding dengan kapasitas baterai. Umur baterai tergantung pada operasi dan pemeliharaan, biasanya dapat mencapai lebih dari 15-20 tahun dengan syarat suhu baterai tidak lebih dari 20°C. Tegangan pengisian (referensi buku O&M Baterai P3B tahun 1998): Tegangan pengisian (Floating): 1,4 - 1,42 Volt. Pengisian secara cepat (Equalizing): 1,45 Volt. Pengisian dengan harga tinggi (Boosting): 1,50 – 1,65 Volt. Pengisian awal (Initial Charge): 1,6 – 1,9 Volt. Tegangan pengosongan per sel (Discharge): 1 Volt (sesuai dengan ref. Baterai Hoppecke & Nife) (PUSDIKLAT, 2009).

Pada Gardu Induk Tasikmalaya Menggunakan Baterai Jenis Ni-CD



Gambar 2. 20 Baterai 110V

Type baterai yang digunakan pada gardu induk Tasikmalaya terdapat pada gambar 2.20. yaitu type cell SCM 211, baterai tersebut memiliki kapasitas sebesar 211 Ah, dengan jumlah sel sebanyak 86. Dimana pada tabel 2.1 dapat di ketahui spesifikasi type baterai tersebut dimana baterai memiliki arus pengisian sebesar 42 ampere dan setiap pengujian dilakukan dengan tegangan sebesar 1 Volt/cell

Tabel 2. 1 Tabel tipe cell perAh (saft, 2010)

Cell type	Charging current (A)	Electrolyte per cell		Cell oil ml/vent	Terminal per pole	Cell type	Charging current (A)	Electrolyte per cell		Cell oil ml/vent	Terminal per pole	Cell type	Charging current (A)	Electrolyte per cell		Cell oil ml/vent	Terminal per pole
		Liquid (l)	Solid* (kg)					Liquid (l)	Solid* (kg)					Liquid (l)	Solid* (kg)		
SCL 10 P	2.0	0.30	0.10	15	M 6	SCM 11	2.2	0.52	0.17	15	M 10	SCH 11	2.2	0.39	0.13	15	M 10
SCL 20 P	4.0	0.20	0.06	15	M 6	SCM 18	3.6	0.46	0.15	15	M 10	SCH 14	2.8	0.46	0.15	15	M 10
SCL 30 P	6.0	0.52	0.17	20	M 6	SCM 25	5.0	0.40	0.13	15	M 10	SCH 18	3.6	0.41	0.13	15	M 10
SCL 40 P	8.0	0.35	0.11	20	M 6	SCM 32	6.4	1.0	0.32	25	M 10	SCH 22	4.4	0.36	0.12	15	M 10
SCL 55 P	11.0	0.64	0.21	25	M 10	SCM 38	7.6	0.94	0.30	25	M 10	SCH 26	5.2	1.01	0.33	25	M 10
SCL 70 P	14.0	0.49	0.16	25	M 10	SCM 45	9.0	0.87	0.28	25	M 10	SCH 34	6.8	0.88	0.28	25	M 10
SCL 76	15.2	1.5	0.49	25	M 20	SCM 53	10.6	0.81	0.26	25	M 10	SCH 38	7.6	0.83	0.27	25	M 10
SCL 89	17.8	1.4	0.45	25	M 20	SCM 59	11.8	0.75	0.24	25	M 10	SCH 46	9.2	0.73	0.24	25	M 10
SCL 102	20.4	1.3	0.42	25	M 20	SCM 65	13.0	1.5	0.49	25	M 20	SCH 50	10.0	0.69	0.22	25	M 10
SCL 128	25.6	1.8	0.58	35	M 20	SCM 83	16.6	1.3	0.42	25	M 20	SCH 58	11.8	1.2	0.39	25	M 20
SCL 157	31.4	3.5	1.13	60	M 20	SCM 101	20.2	1.9	0.61	35	M 20	SCH 67	13.4	1.1	0.36	25	M 20
SCL 189	37.8	3.3	1.07	60	M 20	SCM 118	23.6	1.7	0.55	35	M 20	SCH 85	17.0	1.5	0.49	35	M 20
SCL 221	44.2	3.1	1.00	60	M 20	SCM 145	29.0	3.5	1.13	60	M 20	SCH 93	18.6	1.4	0.45	35	M 20
SCL 252	50.4	2.9	0.94	60	M 20	SCM 167	33.4	3.4	1.10	60	M 20	SCH 102	20.4	2.4	0.78	50	M 20
SCL 284	56.8	3.9	1.26	75	2 x M 20	SCM 189	37.8	3.2	1.04	60	M 20	SCH 111	22.2	2.3	0.74	50	M 20
SCL 316	63.2	3.7	1.20	75	2 x M 20	SCM 211	42.2	3.0	0.97	60	M 20	SCH 128	25.6	2.1	0.68	50	M 20
SCL 347	69.4	4.8	1.55	90	2 x M 20	SCM 232	46.4	4.1	1.33	75	2 x M 20	SCH 137	27.4	2.0	0.65	50	M 20
SCL 379	75.8	4.6	1.49	90	2 x M 20	SCM 254	50.8	3.9	1.26	75	2 x M 20	SCH 147	29.4	3.7	1.20	75	2 x M 20
SCL 411	82.2	4.4	1.42	90	2 x M 20	SCM 276	55.2	3.7	1.20	75	2 x M 20	SCH 168	33.6	3.4	1.10	75	2 x M 20
						SCM 298	59.6	4.9	1.59	90	2 x M 20	SCH 190	38.0	3.2	1.04	75	2 x M 20
						SCM 319	63.8	4.7	1.52	90	2 x M 20	SCH 211	42.2	3.0	0.97	75	2 x M 20
						SCM 341	68.2	4.5	1.46	90	2 x M 20	SCH 244	48.8	3.8	1.23	90	2 x M 20
												SCH 254	50.8	3.7	1.20	90	2 x M 20
												SCH 265	53.0	3.6	1.17	90	2 x M 20

* Value for initial filling (E22).

The cell type shows the rated capacity in ampere hours (Ah).

2.4. Proses Pengisian Baterai

Baterai charger digunakan untuk mengisi baik baterai yang baru maupun baterai eksisting yang menurun kekuatannya akibat pengosongan (discharge).

Macam-macam sistem pengisian baterai sebagai berikut (PLN, 2014):

a. Cycle Charging

Pengisian dengan cara Cycle Charging digunakan untuk mengisi kembali baterai setelah mengalami proses pengosongan sebagian atau proses pengosongan secara normal. Pengisian secara ini biasanya dibutuhkan waktu antara 5 sampai 10 jam. Arus yang dibutuhkan untuk pengisian. Cara ini

adalah antara 20 - 25 A setiap 100 Ah dari kapasitas, dengan metode pengisian arus tetap. Besar arus pengisian ini dikurangi secara perlahan-lahan sampai akhir pengisian yaitu kira-kira 80 - 85 %. Bila sudah penuh, pengisian dihentikan. Biasanya secara otomatis. Cara ini umum dipakai pada baterai diesel.

b. Boost dan Quick Charging

Pengisian dengan cara boost dan 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. Cara ini juga digunakan pada baterai mobil yang tersambung dengan dinamo pengisi baterai sehingga selalu pengisian penuh. Arus yang diberikan ke baterai tidak boleh melebihi harga ampere jamnya. Untuk menjaga pengisian yang berlebihan dan arus yang terlalu besar, biasanya alat pengisi ini dilengkapi dengan automatic out - off, yang dapat menghentikan pengisian pada waktu baterai mencapai suhu tinggi.

c. Floating Charging

Pengisian dengan cara floating charging, dimana baterai secara terus menerus tersambung dengan rangkaian luar (AC), alat pengisi baterai (battery charge) dan beban. Alat pengisi baterai ini direncanakan untuk menjaga tegangan dari baterai yang tersambung ke beban tetap konstan. Besarnya tegangan yang diberikan untuk mengatasi kerugian dalam baterai dan menjaga baterai selalu dalam keadaan pengisian penuh (full charge) adalah tetap untuk:

- 1) Baterai timah-hitam : 2,18 Volt/sel
- 2) Baterai alkali : 1,40 - 1,42 Volt/sel

Pada saat baterai diisi, secara otomatis arus yang besar mengalir ke baterai untuk mengembalikan keadaan pengisian penuh. Oleh karena itu tegangan dari alat pengisi baterai harus dijaga, harus mempunyai tegangan out-put minimum yang cukup untuk pengisian arus tinggi sebesar 1,52 Volt/sel untuk baterai alkali dan 2,37 Volt/sel untuk baterai timah hitam.

D. Equalizing Charging

Dalam sel-sel dari suatu baterai yang beroperasi dengan “floating charging” akan selalu terjadi sedikit perbedaan dalam kondisi kimia antara sel yang satu dengan sel lainnya. Hal ini akan mengakibatkan beberapa sel akan mencapai pengisian penuh dan berakibat menurunnya kapasitas baterai. Keadaan dimana terdapat perbedaan kondisi kimia ini disebut “out of balance”. Tujuan dari equalizing charging adalah untuk mengembalikan “out of balance” menjadi “balance” (seimbang) lagi dimana setiap sel mempunyai harga yang mendekati sama, sehingga dapat menghindarkan penggaraman belerang pada plat-plat aktifnya. Equalizing charge dilaksanakan dengan cara menaikkan tegangan baterai sesuai dengan yang ditentukan dalam buku petunjuk masing-masing pabrik. Pengisian berlangsung sampai semua sel berhenti mengeluarkan gas. Pembacaan tegangan dan berat jenis elektrolitnya menunjukkan baterai telah diisi penuh sesuai dengan harga yang ditentukan dalam petunjuk masing-masing pabrik.

d. Trickle Charging

Pengisian dengan cara trickle charging adalah pengisian baterai dengan arus konstan. Besarnya arus konstan dipilih untuk mendapatkan arus rata-rata yang dibutuhkan untuk mengisi baterai sampai penuh (full-charge) dan ditambah arus kompensasi untuk melayani beban. Pada umumnya trickle charging digunakan pada baterai yang tidak terlalu sering terjadi proses pengosongan seperti pada mesin stasioner yang besar dan starting turbin. Setelah terjadi pengosongan, maka diperlukan pengisian dengan arus tinggi (high-rate charge), untuk mengembalikan kapasitas baterai penuh. Dari macam-macam pengisian tersebut diatas umumnya yang digunakan di pusat-pusat pembangkit adalah:

- 1) Floating Charging
- 2) Equalizing Charging
- 3) Cycle Charging

2.5. Parameter Penting Baterai

2.5.1. Tegangan

Pengukuran tegangan bertujuan untuk mengetahui kondisi tegangan baterai tiap sel maupun tegangan total seluruh sel baterai. Pengukuran suhu elektrolit dilakukan untuk mengetahui kondisi elektrolit baterai saat diisi (charge) maupun dalam kondisi tidak normal. Pengujian kapasitas baterai bertujuan untuk mengetahui kondisi karakteristik baterai, sampai berapa lama baterai mampu

memberikan catu DC saat terjadi gangguan (Meliala & Rijal, 2021). Besarnya tegangan dari suatu sel baterai ditentukan oleh material pelat-pelat positif dan pelat - pelat negatif, cairan elektrolit, dan system elektrolit yang digunakan. Jadi besarnya tegangan sel baterai tidak ditentukan oleh ukuran dan banyaknya pelat-pelat dalam suatu sel baterai. Besar tegangan tiap sel juga dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Tegangan Per Sel Pada Masing-Masing Jenis Baterai

Jenis Baterai	Tegangan Per Sel
Timah Hitam	2,0 Volt
Lead antimony	2,0 Volt
Lead calcium Alkali	1,2gr/m ² Volt
Nicel kadnium	1,2gr/m ² Volt

Pada sel baterai timah hitam, besarnya tegangan sel baterai bervariasi dengan berat jenisnya. Semakin tinggi berat jenis elektrolit dalam sel baterai maka semakin besar tegangannya. Besarnya tegangan sel baterai timah hitam dalam keadaan sel baterai “open circuit” pada temperatur 25°C dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$V_{pc} = BD + 0,84 \quad (2.6)$$

Dimana :

V_{pc} = Tegangan sel baterai (Volt)

BD = Berat jenis elektrolit (gr/cm²)

Untuk sel baterai timah hitam yang terisi penuh (Full Chargeed) dengan berat jenis 1,2gr/m² maka tegangannya dapat diketahui :

$$V_{pc} = 1.215 + 0,84 = 2,055 \text{ Volt}$$

2.5.2. Berat Jenis Baterai

Untuk mengetahui berat jenis dari cairan elektrolit, dengan ketentuan sebagai berikut(Ramadhan dkk., 2018):

$$BD = ED(ha) + \frac{(ta-15)}{1,5} = 0,001 \quad (2.7)$$

Keterangan:

BD= harga berat jenis larutan alkali yang sebenarnya.

ED (ha) = pembacaan berat jenis larutan alkali yang sebenarnya.

Ta = temperatur larutan alkali.

gr/cm³ = Hasil Pengukuran

2.5.3. Harga pengosongan (Discharge rate)

Semakin besar arus pengosongan akan mengakibatkan turunya tegangan sel baterai sehingga membatasi kapasitas sel baterai. Hubungan antara kapasitas pengosongan dengan lamanya pengosongan sel baterai timah hitam dengan tegangan akhir 1,75 Volt/sel pada keadaan pengosongan baterai terhubung ke sumber pengisian. Sedangkan pada baterai alkali hubungan antara arus pengosongan dengan kapasitas baterai dengan tegangan akhir tertentu pada temperatur 20°C.

Terjadinya pengosongan sendiri pada suatu sel baterai adalah merupakan suatu kerugian kapasitas baterai, oleh karena terjadi reaksi – reaksi pada pelat - pelat positif dan pelat - pelat negatif. Besarnya harga pengosongan sendiri tergantung pada temperatur elektrolit, semakin tinggi temperatur elektrolit maka semakin tinggi pula harga pengosongan sendiri.

Besarnya pengosongan sendiri baterai Alkali nikel kadmium \pm 50% dari kapasitas nominal baterai per tahun. Sedangkan pada baterai Alkali Nikel Iron jauh lebih besar daripada nikel kadmium.

Rumus pengosongan baterai dapat dihitung sebagai berikut (Ramadhan dkk., 2018)

$$I = 0,2 \times C \text{ (A)} \quad (2.8)$$

Keterangan:

I = Arus Pengisian

C = Kapasitas baterai

2.5.4. Pengisian Baterai

Pada pengisian baterai terjadi pertukaran ion-ion positif dan negatif, ion positif mengalir dari dari plat anoda ke plat katoda maka sebaliknya ion negatif mengalir dari plat katoda menuju palt anoda. Suatu baterai yang telah dikosongkan sebesar kapasitas dalam *Amperehour* harus diisi kembali, sebesar (Ramadhan dkk., 2018):

$$1,4 \times C = 1,4 \times I \times t \quad (2.9)$$

Jadi:

$$I = \frac{C}{t} \quad (2.10)$$

Dimana:

1,4 = Koefisien pengisian

I = Arus pengisian

t = Waktu pengisian

2.5.5. Temperatur

Proses reaksi kimia akan bertambah besar pada temperatur yang tinggi. Juga tahanan dalam sel baterai dan viskositas dari elektrolit akan berkurang sehingga rugi tegangan dalam baterai akan kecil dan kerugian daya juga berkurang. Cairan Elektrolit adalah senyawa kimia yang berupa cairan/larutan, dan berguna untuk menyalurkan aliran listrik (Diniati, 2020). Nilai suatu temperatur baterai yang mempengaruhi masa umur baterai tersebut maka dari itu jika temperatur suatu baterai naik, maka kapasitas baterai akan bertambah, tetapi umur baterai akan berkurang. Dan sebaliknya jika temperatur suatu baterai memiliki nilai yang rendah maka kapasitas baterainya akan berkurang dan masa umur baterai akan lama.

2.5.6. 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) (PLN, 2014).

Arus listrik atau Electric Current biasanya dilambangkan dengan huruf “I” yang artinya “intensity(intensitas)”. Sedangkan satuan Arus Listrik adalah Ampere yang biasa disingkat dengan huruf “A” atau “Amp”. 1 Ampere arus listrik dapat didefinisikan sebagai jumlah elektron atau muatan (Q atau Coulombs) yang melewati titik tertentu dalam 1 detik

$$Q = I \times t \quad (2.11)$$

Keterangan :

Q = Muatan (Joule)

I = Arus (A)

t = Waktu (Jam)

Kapasitas suatu baterai adalah menyatakan besar arus listrik (Amper) baterai yang dapat disuplai atau dialirkan ke suatu rangkaian luar atau beban dalam jangka waktu (Jam) tertentu, untuk memberikan tegangan tertentu (Sugianto & Lubis, 2017).

Kapasitas dinyatakan sebagai berikut :

$$C = I \times t \quad (2.12)$$

Keterangan :

C = Kapasitas (Ah)

I = Arus (A)

t = Waktu (Jam)

Kapasitas baterai ditentukan dengan memperhitungkan semua faktor yang menyangkut penurunannya selama pemakaian, perubahannya terhadap perubahan suhu dan jatuh tegangan, keperluan kapasitas yang diperlukan dengan memperkirakan beban terus-menerus dan beban terputus-putus (continuous and intermittent load) yang harus dilayani selama terputusnya pelayanan normal, serta lamanya pemutusan pelayanan (Nugroho & Sukmadi, MT, 2012).

Pada baterai alkali (Nickel Cadmium), kapasitas baterai dinyatakan dalam C5 atau C10. C5 atau C10 menyatakan besarnya kapasitas baterai dalam (Ah) yang tersedia selama 5 jam (untuk C5) atau 10 jam (untuk C10) pengosongan dengan arus mengalir sebesar 0,2 . C5 A dengan tegangan akhir tertentu (misalkan 1,10 Volt/sel), dari pengisian sel baterai selama 7 jam pada arus konstan sebesar 0,2 . C5 A dengan toleransi 5 %. Sedangkan pada baterai timah hitam kapasitas baterai yang tersedia adalah selama 8 atau 10 jam (Sugianto & Lubis, 2017).

2.5.7. Efisiensi Baterai

Efisiensi suatu baterai didefinisikan sebagai persentase rasio atau perbandingan dari kapasitas pengosongan terhadap kapasitas pengisian.

Dirumuskan (Ramadhan dkk., 2018):

$$\eta = \frac{C_d}{C_c} \times 100\% \quad (2.13)$$

Keterangan :

η = Efisiensi (%).

C_d = Kapasitas discharger /Uji.

C_c = Kapasitas charger Baterai.

Menurut (S dkk., 2021) hasil $> 60\%$, pemeliharaan selesai dan baterai tetap digunakan. Hasil $< 60\%$, Baterai direkondisi sesuai petunjuk standar PLN.