

LAPORAN AKHIR

KAJIAN PERHITUNGAN KEBUTUHAN BATERAI GARDU INDUK 150 KV

Dosen Penanggung Jawab/Dosen Peneliti:
Dr. Ir. Pawenary, MT., M.P.M., IPU., ASEAN Eng

Dosen Peserta:
Sugeng Purwanto, S.T., M.Sc.
Christine Widyastuti, S.T., M.T.

Tim Ahli:
Ir. Sampurno, SP. M.T
Ananda Rizky Utami, S.T

KERJASAMA



DENGAN



RINGKASAN EKSEKUTIF

Gardu Induk (GI) dalam operasinya memerlukan suplai tegangan Arus Searah (DC) yang disuplai dari baterai dan dari penyerah (*rectifier*). *Rectifier* digunakan untuk menyearahkan tegangan rendah arus bolak-balik (AC) dari keluaran Trafo Generator. Tegangan DC yang diperlukan pada GI yaitu tegangan DC 220 Volt, 110 Volt dan 48 Volt. Pada GI Pembangkit, *Rectifier* disuplai dari sumber tegangan rendah (TR) yaitu dari Panel Distribusi yang disuplai dari *Auxilliary Supply Transformer* (AST) pada Sistem Kelistrikan Pemakaian Sendiri sedang pada GI Beban *rectifier* disuplai dari Trafo Distribusi. Sumber tegangan DC diperlukan untuk menyuplai tegangan DC peralatan Proteksi, peralatan control dan peralatan komunikasi.

Untuk menjaga kesinambungan ketersediaan sumber tegangan DC tersebut maka harus ada cadangan sumber tegangan DC pada GI tanpa terputus apabila terjadi gangguan pada sumber utama yaitu baterai untuk menjaga keandalan dan kestabilan operasi peralatan pada GI. Baterai tersebut menyuplai daya tegangan DC untuk operasi rele proteksi dan sistem kontrol dengan tegangan 110 Volt dan 220 Volt, serta untuk sistem komunikasi dengan tegangan 48 Volt. Daya dengan tegangan DC tersebut didapat dari sumber tegangan AC yang disearahkan melalui *rectifier*. Sistem suplai tegangan DC dari baterai merupakan susunan seri parallel dari sejumlah sel baterai, tiap sel baterai mempunyai tegangan dan AH sesuai desain batterai tersebut. Nilai tegangan *output* dari sistem suplai baterai ditentukan banyaknya cel batteri yang diseri, sedang nilai kapasitas arusnya ditentukan banyaknya susunan seri yang diparalel. Sehingga kapasitas energy tersimpan total susunan seri parallel batteri tersebut adalah perkalian jumlah susunan seri dengan jumlah parallel dari beberapa susunan serinya dikali dengan umur pemakaiannya.

Karena umur pemakaian batterei pada arus maksimumnya terbatas, maka untuk menjaga ketersediaan energi serta tingkat tegangan *outputnya* sistem suplai tegangan DC baterai harus diisi arus DC melalui *rectifier*, nilai arus pengisian maksimum dari *rectifier* besarnya sama dengan jumlah susunan parallel dari susunan seri-nya dikalikan dengan kapasitas arus masing sel baterai. Tegangan DC dari *output* *rectifier* harus mempunyai nilai faktor ripple yang kecil, sehingga *rectifier* harus dilengkapi dengan filter arus dan tegangan untuk membuat faktor ripple tersebut sesuai batas yang diizinkan.

Jika terjadi gangguan yang menyebabkan terputusnya suplai tegangan AC pada GI pembangkit atau GI Beban maka agar sistem penerangan, sistem komunikasi dan sistem proteksi, tetap bisa beroperasi maka sumber tegangan DC, baterai, harus tetap bisa menyuplai sistem selama masa padam tersebut, unuk itu baterai harus mempunyai spesifikasi tertentu, yaitu yang menyangkut jenis, tegangan, kapasitas energi tersimpan, lama/umur pemakaian secara terus menerus.

Gardu Induk (GI) ditinjau dari fungsinya bisa dibedakan dalam 2 (dua) macam, yaitu GI Pembangkit dan GI Beban, GI Pembangkit fungsi utamanya adalah menyalurkan daya atau energi yang dibangkitkan Pembangkit ke saluran transmisi melalui proses penaikan tegangan pada Trafo Generator (GT) dari Tegangan Menengah (TM) ke Tegangan Tinggi (TT)/Tegangan Ekstra Tinggi (TET) di GI. Seding GI Beban adalah GI yang berfungsi untuk meyalurkan daya atau energi yang diterima dari GI lainnya (baik GI Pembangkit atau GI Beban) ke GI lainnya lagi dan juga menyalurkan daya TT ke saluran Distribusi TM. Jika ditinjau dari Tegangan operasinya

GI yang dimiliki oleh PT PLN (Persero) ada 4 (empat) macam yaitu GI 66 kV yang ada di daerah Jawa Barat, GI 150 kV, GI 275 kV yang ada di Sistem Kelistrikan Sumatra dan GI 500 kV yang ada di Sistem Kelistrikan Jawa-Bali.

Dalam penelitian mengenai **Kajian perhitungan Kebutuhan Kapasitas Baterai di GI**, telah dikaji Perhitungan Kapasitas Baterai di GI 150 kV. Penelitian dilakukan dengan studi literatur dan melakukan survei di beberapa GI, baik di GI Pembangkit maupun GI Beban.

Ruang Lingkup dari penelitian ini mencakup :

1. Pembahasan dan Analisis hasil survei di beberapa GI 150kV.
2. Metode Perhitungan Kapasitas Baterai yang diperlukan pada GI.
3. Hasil Perhitungan kapasitas baterai yang diperlukan pada GI dikaitkan dengan kapasitas GI yang bersangkutan.

DAFTAR ISI

RINGKASAN EKSEKUTIF	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB I PENDAHULUAN.....	7
1.1 Latar Belakang	7
1.2 Tujuan Penelitian.....	7
1.3 Metode dan Pelaksanaan Program Penelitian	7
BAB 2 SISTEM KELISTRIKAN ARUS SEARAH PADA GARDU INDUK.....	9
2.1 Beban Arus Searah Pada Gardu Induk	9
2.2 Kebutuhan Baterai Pada Gardu Induk.....	10
BAB 3 PELAKSANAAN DAN HASIL SURVEY	11
3.1 Gardu Induk Duri Kosambi.....	11
3.2 Gardu Induk Grogol II.....	13
3.3 Gardu Induk Tomang	16
3.4 Gardu Induk Pelabuhan Ratu	18
BAB 4 PERHITUNGAN KAPASITAS BATERAI DAN ANALISIS	21
4.1 Perhitungan Kapasitas Baterai	21
4.2 Perbandingan Kualitas Bahan Baterai.....	53
BAB 5 KESIMPULAN.....	66
REFERENSI.....	67
LAMPIRAN	70

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Hasil Survey Gardu Induk Duri Kosambi.....	12
Tabel 3. 2 Hasil Survey Gardu Induk Grogol II.....	14
Tabel 3. 3 Hasil Survey Gardu Induk Tomang	16
Tabel 3. 4 Hasil Survey Gardu Pelabuhan Ratu	19
Tabel 4. 1 Tabel spesifikasi beban 48 VDC pada GI Duri Kosambi	49
Tabel 4. 2 Tabel spesifikasi beban 48 VDC pada GI Grogol II	50
Tabel 4. 3 spesifikasi beban 48 VDC pada GI Tomang.....	51
Tabel 4. 4 Resume Perbandingan Kapasitas Batterai	52
Tabel 4. 5 Perbandingan Kualitas Baterai.....	53
Tabel 4. 6 Tabel Gangguan dan perlakuan baterai VRLA.....	55
Tabel 4. 7 Tabel Karakteristik baterai isi ulang yang paling umum digunakan.	59
Tabel 4. 8 Kesimpulan Keuntungan Baterai Tiap Jenis.	61
Tabel 4. 9 Kesimpulan Kerugian Baterai Tiap Jenis.	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Diagram Alir Penelitian	8
Gambar 4. 1 Instant Load Tabel First Trip	23
Gambar 4. 2. Instant Load Tabel First Closing.....	23
Gambar 4. 3. Contoh Gambar Luasan area discharge Batterai	23
Gambar 4. 4. Single Line Diagram GIS PRATU	24
Gambar 4. 5 Discharge Load Profile PRATU.....	29
Gambar 4. 6 Single Line Diagram Gardu Induk Duri Kosambi	30
Gambar 4. 7 Discharge Load Profile Duri Kosambi	35
Gambar 4. 8 Single Line Diagram GIS Grogol II.....	36
Gambar 4. 9 Discharge Load Profile GIS Grogol II.....	41
Gambar 4. 10 Single Line Diagram GIS Tomang	42
Gambar 4. 11 Discharge Load Profile Tomang.....	47
Gambar 4. 12 48 Vdc Discharge Load Profile Duri Kosambi.....	49
Gambar 4. 13 48 Vdc Discharge Load Profile Grogol II.....	50
Gambar 4. 14 48 Vdc Discharge Load Profile Tomang	51
Gambar 4. 15 Energi spesifik baterai berbasis timbal, nikel, dan litium.	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gardu Induk (GI) merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik yang berfungsi untuk mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ketegangan yang lainnya atau tegangan menengah. Selain itu GI juga berfungsi dalam hal pengukuran besaran listrik, pengawasan operasi serta pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik dan pengaturan daya ke gardu-gardu lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu distribusi melalui feeder tegangan menengah.

Berdasarkan besaran tegangannya, GI dapat dibedakan menjadi:

- Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 275 kV, 500 kV.
- Gardu Induk Tegangan Tinggi (GI) 150 kV dan 70 kV.

Dalam menjalankan fungsi operasinya, GI memerlukan suplai tegangan Arus Searah (DC) yang untuk menyuplai peralatan proteksi, peralatan kontrol dan peralatan komunikasi. Tegangan DC biasanya diberikan melalui dari penyerah (*rectifier*) yang menyearahkan tegangan rendah arus bolak-balik (AC) dari jaringan atau keluaran transformator, baik itu trafo generator (di pembangkit) maupun transformator distribusi.

Untuk menjaga stabilitas kinerja dari suatu GI saat terjadi gangguan pada suatu jaringan, maka diperlukan sumber arus DC lain berupa baterai. Penggunaan baterai pada Gardu Induk memerlukan studi yang komprehensif untuk menentukan kapasitas, level tegangan keluaran, nilai arus maksimum, jumlah dan spesifikasi baterai yang akan digunakan. Oleh karena itu pada penelitian kerjasama ini dikaji perhitungan kebutuhan baterai untuk Gardu Induk 150 kV.

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang diatas, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

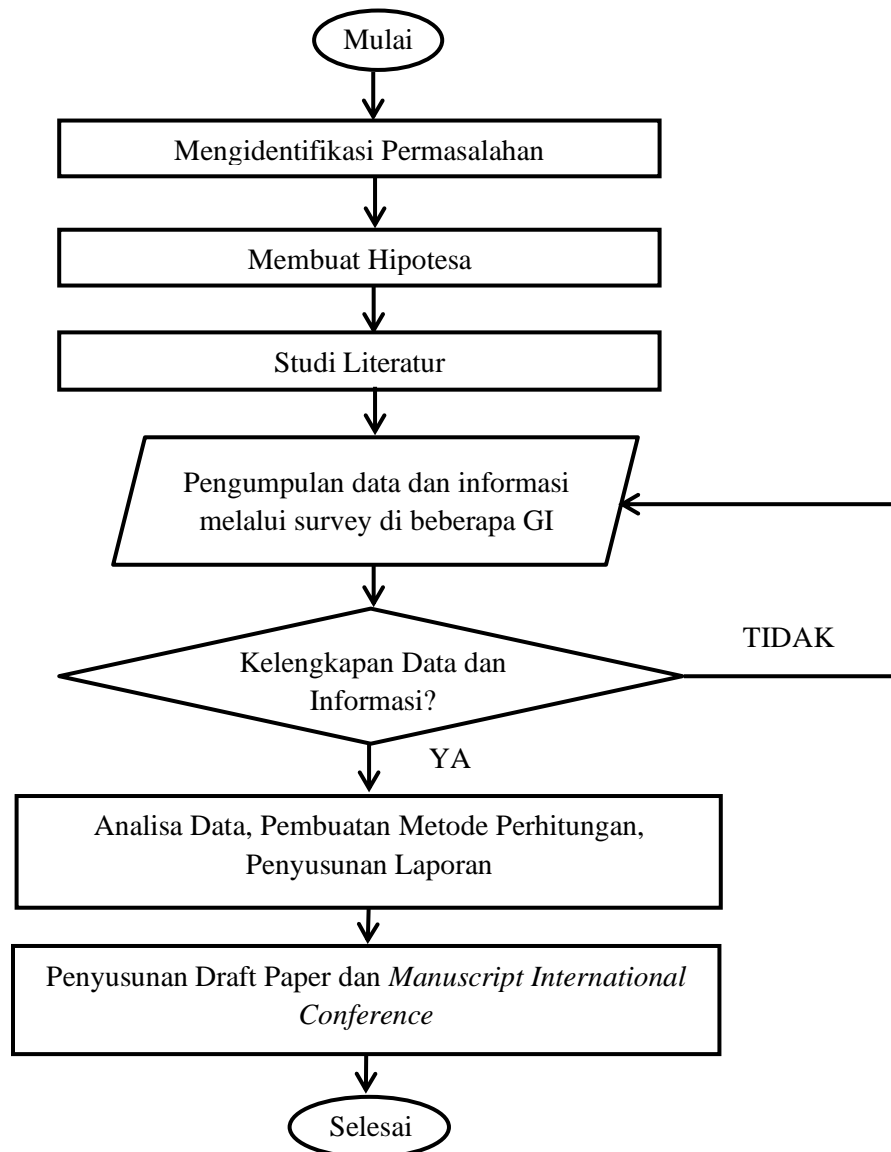
1. Membuat metode perhitungan kapasitas penyimpanan energi sistem suplai DC Baterai di GI Pembangkit dan GI Beban.
2. Menyusun draft jurnal terindeks Scopus mengenai kebutuhan suplai DC dari baterai untuk GI 150 kV.
3. Menyusun draft Paper untuk dipublikasikan dalam *Internasional Conference* tentang kebutuhan suplai DC dari baterai di Gardu Induk (GI).

1.3 Metode dan Pelaksanaan Program Penelitian

Program penelitian dilaksanakan oleh tim ITPLN dengan 1 (satu) orang Penanggung Jawab, 4 (empat) orang Dosen Peserta dan 4 orang (empat) sebagai tim ahli. Pelaksanaan penelitian dilakukan melalui studi literatur dari *paper* dan jurnal serta perhitungan menggunakan

rumus-rumus menggunakan data-data yang didapat dari survei di beberapa GI terkait. Perhitungan dilakukan dengan mengaitkan besarnya kapasitas penyimpanan energi suplai DC baterai dengan kapasitas GI, baik pada GI pembangkit maupun pada GI Beban.

Adapun GI yang akan disurvei yaitu GI-150 kV Duri Kosambi, GIS-150 kV Grogol II, GIS-150 kV Tomang dan GIS-150 kV Pelabuhan Ratu. Kegiatan survei dilakukan untuk mendapatkan informasi dan data yang berkaitan dengan judul penelitian. Diagram alir dari pelaksanaan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.1



Gambar 1. 1 Diagram Alir Penelitian

BAB 2

SISTEM KELISTRIKAN ARUS SEARAH PADA GARDU INDUK

2.1 Beban Arus Searah Pada Gardu Induk

Dalam menjalankan fungsi operasinya, GI memerlukan suplai tegangan Arus Searah (DC). Pembangkit listrik modern memerlukan sejumlah catu daya DC yang berbeda. Sistem DC pada GI berfungsi untuk memenuhi beberapa kebutuhan peralatan dimana harus dapat diklasifikasi menjadi 3 jenis beban yaitu peralatan esensial, *standby equipment*, dan *engine drive*.

Berikut adalah peralatan essential yang membutuhkan DC suplai selama kondisi normal berdasarkan level tegangannya:

- Peralatan telekomunikasi dengan catu daya 48 V.
- Sistem proteksi, peralatan kontrol dan instrumentasi dengan catu daya 48 V dan 110 V.
- Switchgear Closing dengan catu daya 220 V dan Switchgear Tripping dengan catu daya 110 V.
- Interlocks dan alarm.

Selain peralatan esensial, terdapat juga peralatan yang harus *standby* yang membutuhkan DC suplai ketika suplai sumber AC hilang, antara lain penerangan darurat (*emergency lighting / DC luminaires*) dan *emergency motor drives* dengan catu daya 250 V.

Beberapa jenis beban DC berdasarkan beberapa level jenis tegangan diantaranya:

1. 250 Vdc
 - *Emergency auxiliary drives*, contohnya *lubricating oil pumps* untuk turbin utama.
 - *Emergency valve operation*.
 - *Fire sirens*.
2. 220 Vdc
 - *Switchgear* yang digerakan oleh prinsip mekanis dengan menggunakan solenoid atau pegas yang digerakan oleh motor
3. 110 Vdc
 - *Switchgear* dan *control tripping*
 - *Switchgear closing* (jika menggunakan *spring* mekanisme)
 - *Interlocks* dan sistem proteksi
 - Beberapa kebutuhan instrument kontrol
4. 48 Vdc
 - Telekomunikasi
 - PAX (*Private Automatic Exchange*)
 - PABX (*Private Automatic Branch Exchange*)
 - DWTS (*Direct Wire Telephone System*)
 - *Radio System Controller*
 - *Control Desk Telephone Equipment*
 - *Automatic sequence control equipment*

- Alarm di ruang kontrol utama
- Manual kontrol di kontrol utama

Operasi Sistem tenaga listrik harus mempertimbangkan 2 mode operasi yaitu operasi darurat dan operasi normal. Operasi normal adalah kondisi dimana penyedia daya listrik dari contoh diambil dari pembangkit PLTGU PRIOK dimana memasok beban 3 fasa pada tegangan 6.3 kV dengan frekuensi 50 Hz yang stabil dan juga akan memasok beban pada switchgear. Penyediaan daya listrik disebut gagal apabila aliran listrik putus, sehingga fluktuasi tegangan >20%, aliran listrik putus sesaat (kedip), dan fluktuasi frekuensi > 5%. Pada kondisi ini EDG bekerja secara otomatis memasok beban –beban yang berhubungan dengan bearing turbin yang selalu membutuhkan *oil lube*. Dan sebelum EDG siap untuk memasok semua beban darurat, maka beban tersebut dipasok oleh baterai.

2.2 Kebutuhan Baterai Pada Gardu Induk

GI dengan kapasitas besar, memiliki jumlah bay yang banyak, sehingga sistem proteksi seperti relai, CB, juga sistem penerangan dan sistem komunikasi untuk operasi akan lebih banyak, untuk itu diperlukan sistem suplai DC dari baterai yang lebih besar. Selain itu kapasitas baterai juga ditentukan oleh lama waktu padam yang dapat diakomodir oleh sistem baterai.

Dalam pengisian baterai sebelum didischarge Baterai memiliki 3 (tiga) mode pengisian baterai yang masing masing memiliki kegunaan dan saatnya harus digunakan ketiga pengisian itu adalah :

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 beban. 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. 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 $0,2 \times C$.

Catatan : C = Kapasitas baterai.

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 $0,1-0,2 \times C$

Saat ini belum ada acuan untuk menentukan besarnya kapasitas baterai untuk menyuplai suatu GI. Maka diperlukan suatu kajian menggunakan metode perhitungan penentuan kapasitas

BAB 3

PELAKSANAAN DAN HASIL SURVEY

3.1 Gardu Induk Duri Kosambi

Pelaksanaan survey pada Gardu Induk Duri Kosambi merupakan kegiatan survey pertama yang dilaksanakan pada tanggal 7 Juni 2023. Gardu Induk Duri Kosambi terletak di Jalan Raya Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat. Kegiatan survey dilakukan oleh 6 orang pelaksana. Diantaranya ada 5 anggota Tim ITPLN dan 1 peneliti Puslitbang. Adapun pelaksana survey tersebut adalah sebagai berikut:

1. Oksa Prasetya Wijayadi
2. Sugeng Purwanto, S.T., M.Sc.
3. Christine Widyastuti, S.T., M.T.
4. Ginas Alvianingsih, S.T., M.T.
5. Rahmat Febrianto Wijanarko, S.T., M.T.
6. Ananda Rizky Utami, S.T.

Gardu Induk Duri Kosambi merupakan gardu induk dengan tipe AIS (Air Insulated Switchyard/Substaion) dengan level tegangan 150 kV. Pada GI Duri Kosambi terdapat 5 (lima) buah transformator dengan kapasitas 60 MVA dan satu trafo PS (Pemakaian Sendiri) dengan satu buah DEG (Diesel Engine Generator). Pada trafo PS terdapat 2 (dua) level tegangan DC yang dialirkan, yaitu tegangan 110 V dan 48 V. Tegangan 48 Vdc digunakan untuk mengoperasikan sistem komunikasi, sedangkan tegangan 110 Vdc digunakan untuk mensuplai beban motor-motor yang digunakan pada sistem 150 KV, dan motorized CB pada sistem 20 KV. Hasil survey secara rinci dapat dilihat pada Tabel 3. 1.

Tabel 3. 1 Hasil Survey Gardu Induk Duri Kosambi

No	Identitas	Isi	
1	Nama & Alamat GI	GI Duri Kosambi	
2	Level Tegangan	150 KV	
3	Jenis GI	AIS, Load Type, Line Charging Type, Double BusBar Single Breaker	
4	Kapasitas GI (MVA)	Trafo 150 KV/20 KV (5x60 MVA)	
5	Summary GI (Spesifik)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Level Tegangan DC yang digunakan ada 2 jenis yaitu 110 Vdc dan 48 Vdc. 2. Tidak ada UST,SST,UAT karena jenis GI beban 3. Terdapat DEG dengan kapasitas 200 KVA dimana startingnya masih dinyalakan secara manual 4. Terdapat 2 level tegangan DC yang dialirkan melalui trafo PS 5. Trafo PS ini (20/380 V jalur masuk dari ssistem DC) 6. Dari 380 V akan disearahkan melalui rectifier melalui 2 level tegangan yaitu 48 Vdc dan 110 Vdc 7. Untuk 48 Vdc digunakan untuk system komunikasi, sedangkan untuk 110 Vdc digunakan untuk mensuplai beban motor2 yang digunakan pada system 150 KV Tap changing trafo lalu digunakan juga untuk yang 20 KV juga seperti motorized CB di 20 KV 8. Karena Jenis GI ini adalah line charging maka normalisasi pada saat terjadi kondisi blackstart adalah menunggu suplai tegangan dari muara karang 9. Jenis batterai adalah sudah lama sehingga data sheet yang ada di gardu induk juga tidak ada 	
6	Jumlah Bay	Incoming	7 incoming
7		Outgoing	10 Outgoing
8		Trafo	5x60
9	Data beban GI (AC) dari Trafo PS		
10	Data beban GI (DC) dari Trafo PS		
11	Jumlah CB per bay	25 HVCB (@150 KV) , 3150, 4000 A 40 KA	

12	Sistem Proteksi Bay	Relay Differential, Relay Distance, Overcurrent & GFR	
Jenis beban yang beroperasi			
13	Continuous		
14	Emergency	LS Sedangkan untuk kondisi emergency maka penerangan gedung, sistem komunikasi, serta card card proteksi disuplai dari sumber baterai jika sumber AC padam mampu bertahan 10-15 jam	
15	Black Start	Sama dengan kondisi Emergency	
16	Nameplate Baterai Terpasang	di 48 Vdc nameplate Kapasitas Baterai (100 Ah), 110 Vdc dengan kapasitas (2x300 Ah)	
17	Susunan Baterai	Serial	
18	Sumber Charge Baterai	AC Source	
beban yang dihubungkan baterai saat kondisi			
19	Kondisi Operasi Baterai	Normal	Floating
20		Emergency	Discharge, Suplai beban DC

3.2 Gardu Induk Grogol II

Pelaksanaan survey pada Gardu Induk Grogol II merupakan kegiatan survey kedua yang dilakukan parallel dengan kegiatan survey di Gardu Induk Tomang yang dilaksanakan pada tanggal 15 Juni 2023. Gardu Induk Grogol II terletak di Jalan Raya Kedoya Utara, Kebon Jeruk, Jakarta Barat. Kegiatan survey dilakukan oleh 4 orang pelaksana. Diantaranya ada 3 anggota Tim ITPLN dan 1 peneliti Puslitbang. Adapun pelaksana survey tersebut adalah sebagai berikut:

1. Nova Putri Argatari
2. Ginas Alvianingsih, S.T., M.T.
3. Rahmat Febrianto Wijanarko, S.T., M.T.
4. Ananda Rizky Utami, S.T.

Gardu Induk Grogol II merupakan gardu induk dengan tipe SAS (Substation Automation System) dengan level tegangan 150 kV. Pada GI Grogol II terdapat 2 (dua) buah transformator dengan kapasitas 60 MVA dan satu trafo PS (Pemakaian Sendiri). Terdapat 2 (dua) level tegangan DC yang dialirkan, yaitu tegangan 110 V dan 48 V. Tegangan 48 Vdc digunakan untuk mengoperasikan sistem komunikasi, sedangkan tegangan 110 Vdc digunakan untuk mensuplai peralatan yang tidak boleh berhenti beroperasi misalnya motorized CB 150kV dan sistem proteksi ataupun closing dan tripping sistem 20kV. Hasil survey pada GI Grogol II secara rinci dapat dilihat pada Tabel 3. 2.

Tabel 3. 2 Hasil Survey Gardu Induk Grogol II

No	Identitas	Is	
1	Nama & Alamat GI	GIS GROGOL II	
2	Level Tegangan	150 KV	
3	Jenis GI	Semi Digital (Semi SAS), Load Type, NonLine Charging Type, Double BusBar Single Breaker	
4	Kapasitas GI (MVA)	Trafo 150 KV/20 KV (2x60 MVA)	
5	Summary GI (Spesifik)	<ol style="list-style-type: none"> 1. GIS GROGOL II Memiliki kapasitas Trafo 150/20 KV (2x60 MVA) dengan belitan Y solid Grounded/Yngr (960 A,12 ohm) dengan Buried Delta Winding. Spesifikasi device capability 4000 A, 40 KA 1s 2. Terdapat 2 incoming (Duri Kosambi 1 dan Duri Kosambi 2), 2 Outgoing (Grogol 1 dan Grogol 2), Future (Kebon Jeruk 1 dan Kebon Jeruk 2 serta Trafo Daya nomer 3) 3. Terdapat Trafo Pemakaian Sendiri (PS) dari 20 KV menuju 400 /380 Vac untuk mensuplai sistem pemakaian sendiri untuk beban AC maupun DC, tidak terdapat Genset 4. Level Tegangan DC yang digunakan ada 2 jenis yaitu 110 Vdc dan 48 Vdc. 5. Tidak ada UST, SST, UAT karena jenis GI beban 6. Pada kondisi blackstart menunggu normalisasi dari GI duri Kosambi 7. Untuk Supplai peralatan yang tidak boleh mati contoh (motorised CB 150 KV, Proteksi) Disupplai dari sistem DC 110 Vdc, Begitu Pula untuk yang sistem 20 KV (Closing & Tripping) diambil dari 110 Vdc 8. Sedangkan Untuk Komunikasi diambil dari Tegangan Level 48 Vdc 9. Jenis Inverter monopolar 	
6	Jumlah Bay	Incoming	2 Bay Line
7		Outgoing	2 Bay Line + 1 Bus bay Coupler
8		Trafo	2 Bay Trafo (@ 60 MVA)

9	Data beban GI (AC) dari Trafo PS	Control Building, Outdoor, 150 KV Heating/Lighting,DC Rectifier,Transformer Cooling Fan, Overhead Travelling Crane, Fire Prevention System, Online Monitoring, CCTV System, Inver Power Supply, Radio Transreceiver, Tap Changer Trafo, Local Control Cubicle	
10	Data beban GI (DC) dari Trafo PS	GIS Control Circuit, Relay Control Panel, CB DS ES Motorised, Partial Discharge Monitoring, Transformer Cooling Control	
11	Jumlah CB per bay	8 HVCB (GIS CB @150 KV)	
12	Sistem Proteksi Bay	Relay Differential,Relay Distance, Overcurrent & GFR,CCP, Relaya Management Transformator	
Jenis beban yang beroperasi			
13	Continuous	Pada Saat Kontinyu seluruh beban beroperasi normal dan untuk beban DC disuplai dari sumber AC yang disearahkan. Sedangkan untuk Batterai kondisinya adalah floating	
14	Emergency	Pada Saat Kondisi Emergency tunggu status dari operator P2B untuk melakukan koordinasi, apakah harus ada load shedding mekenisme atau tidak Sedangkan untuk kondisi emergency maka penerangan gedung, sistem komunikasi, motorised CB DS ES, serta card card proteksi disuplai dari sumber batterai jika sumber AC padam mampu bertahan 8 jam	
15	Black Start	Sama dengan kondisi Emergency	
16	Nameplate Baterai Terpasang	di 48 Vdc nameplate Kapasitas Batterai (200 Ah Selama 8 jam), 110 Vdc untuk 150 KV (2X300 Ah Selama 8 jam), 110 Vdc untuk sistem 20 KV (300 Ah Selama 8 jam)	
17	Susunan Baterai	Serial	
18	Sumber Charge Baterai	AC Source	
beban yang dihubungkan batterai saat kondisi			
19	Kondisi Operasi Batterai	Normal	Floating
20		Emergency	Discharge, Supplai beban DC

3.3 Gardu Induk Tomang

Pelaksanaan survey pada Gardu Induk Tomang merupakan kegiatan survey ketiga yang dilakukan parallel dengan kegiatan survey di Gardu Induk Grogol II yang dilaksanakan pada tanggal 15 Juni 2023. Kegiatan survey dilakukan oleh 3 orang pelaksana. Diantaranya ada 2 anggota Tim ITPLN dan 1 peneliti Puslitbang. Adapun pelaksana survey tersebut adalah sebagai berikut:

1. Oksa Prasetya Wijayadi
2. Sugeng Purwanto, S.T., M.Sc.
3. Christine Widyastuti, S.T., M.T.

Gardu Induk Tomang merupakan gardu induk dengan tipe SAS (Substation Automation System) dengan level tegangan 150 kV. Pada GI Tomang terdapat 2 (dua) buah transformator dengan kapasitas 60 MVA dan satu trafo PS (Pemakaian Sendiri). Terdapat 2 (dua) level tegangan DC yang dialirkan, yaitu tegangan 110 V dan 48 V. Tegangan 48 Vdc digunakan untuk mengoperasikan sistem komunikasi (SCADA), sedangkan tegangan 110 Vdc digunakan untuk mensuplai peralatan yang tidak boleh berhenti beroperasi misalnya motorized CB 150kV dan sistem proteksi ataupun closing dan tripping sistem 20kV. Hasil survey pada GI Tomang secara rinci dapat dilihat pada Tabel 3. 3Tabel 3. 3

Tabel 3. 3 Hasil Survey Gardu Induk Tomang

No	Identitas	Isi
1	Nama & Alamat GI	GIS Tomang
2	Level Tegangan	150 kV
3	Jenis GI	Patrol (belum beroperasi), no load
4	Kapasitas GI (MVA)	2 x 60 MVA
5	Summary GI (Spesifik)	<ol style="list-style-type: none"> 1. GIS Tomang : Memiliki kapasitas Trafo 150/20 KV (2x60 MVA) dengan belitan Y solid Grounded/Yngr Terdapat 2 incoming , 5 Outgoing (belum beroperasi/no load), Future : - 2. Terdapat Trafo Pemakaian Sendiri (PS), untuk mensuplai sistem pemakaian sendiri untuk beban AC dan DC, dan pada saat kondisi emergency menggunakan suplai daya dari Genset. 3. Level Tegangan DC yang digunakan ada 2 jenis yaitu 110 Vdc dan 2x48 Vdc. 4. Saat terjadi blackout : untuk sistem proteksi dan komunikasi secara manual switch suplai baterai. 5. Untuk Suplai peralatan yang tidak boleh mati disuplai dari sistem DC 110 Vdc (proteksi, kontrol peralatan) dan 2x48 VDC (SCADA / komunikasi), begitu Pula untuk yang sistem 20 KV (Closing & Tripping) diambil dari 110 Vdc.

6	Jumlah Bay	Incoming	2 Bay line
7		Outgoing	5 bay line (belum beroperasi)
8		Trafo	2 x 60 MVA
9	Data beban GI (AC) dari Trafo PS	Penerangan, pendingin ruangan, control building	
10	Data beban GI (DC) dari Trafo PS	GIS CB, DS & ES Power SUPply 1 d RCP Grogol 1, GIS CB, DS & ES Power Supply 2 LCC Trafo 1, 150 KV Control & Protection power supply 1 RCP Grogol 1, Mux and teleprotect 1 dan 2, PABX, Modem, Trafo cooling fan control 1 dan 2, DC Supply inverter 1, DC supply ethernet 1	
11	Jumlah CB per bay		
12	Sistem Proteksi Bay	Relai diferensial, relai distance, Overcurrent dan GFR, CCP	
Jenis beban yang beroperasi			
13	Continuous	Pada Saat Kontinyu seluruh beban beroperasi normal, sedangkan untuk beban DC disuplai dari sumber AC yang disalurkan melalui konverter. Sedangkan untuk Batterai kondisinya adalah floating	
14	Emergency	Pada Saat Kondisi Emergency maka akan dilakukan koordinasi, apakah harus ada load shedding mekenisme atau tidak. Sedangkan untuk kondisi emergency maka penerangan gedung, pendingin ruangan dan controll building akan dusuplai oleh genset sedangkan sistem komunikasi, SCADA, motorised CB DS ES, serta card proteksi disuplai dari sumber baterai yang mampu bertahan selama 8 jam. Jika baterai sudah tidak mampu lagi untuk mensuplai beban DC maka beban DC akan disuplai oleh Genset melewati rectifier. Pada baterai dengan jenis 110 Vdc (ada 2 panel) terdapat alat bantu couple yang berfungsi untuk menggabungkan kedua panel tersebut secara manual jika salah satu panel 110 Vdc tidak mampu mensuplai daya ke beban sehingga panel 110 Vdc yang lain akan membantu untuk mensuplai daya ke beban. Jika keduanya sudah tidak mampu mensuplai daya ke beban maka beban akan disuplai oleh Genset.	
15	Black Start	Sama dengan ketika kondisi emergency	
16	Nameplate Baterai Terpasang	Untuk baterai 48 Vdc, nameplate Kapasitas Batterai (2x100 Ah Selama 8 jam), sedangkan untuk baterai 110 Vdc (00 Ah Selama 8 jam)	
17	Susunan Baterai	Susunan baterai baik yang 48 Vdc dan 110 Vdc dihubungkan secara seri	

18	Sumber Charge Baterai	AC sources	
beban yang dihubungkan baterai saat kondisi			
19	Kondisi Operasi Baterai	Normal	Floating
20		Emergency	Suplai beban DC

3.4 Gardu Induk Pelabuhan Ratu

Pelaksanaan survey pada Gardu Induk Pelabuhan Ratu merupakan kegiatan survey keempat yang dilakukan selama 2 (dua) hari pada tanggal 4-5 Juli 2023. Gardu Induk Pelabuhan Ratu terletak di Jalan Bhayangkara No.15, Citepus, Pelabuhan Ratu, Sukabumi, Jawa Barat. Kegiatan survey dilakukan oleh 4 orang pelaksana. Diantaranya ada 3 anggota Tim ITPLN dan 1 peneliti Puslitbang. Adapun pelaksana survey tersebut adalah sebagai berikut:

1. Oksa Prasetya Wijayadi
2. Ir. Sampurno, SP, M.T.
3. Christine Widyastuti, S.T., M.T.
4. Ginas Alvianingsih, S.T., M.T.

Gardu Induk Pelabuhan Ratu merupakan gardu induk dengan level tegangan 150 kV. Pada GI Pelabuhan Ratu terdapat 2 (dua) buah transformator dengan kapasitas 28 MVA dan dua trafo PS (Pemakaian Sendiri). Terdapat 2 (dua) level tegangan DC yang dialirkan, yaitu tegangan 110 V dan 48 V. Tegangan 48 Vdc digunakan untuk mengoperasikan sistem komunikasi (SCADA/teleproteksi) yang kepemilikannya dimiliki oleh UP2B, sedangkan tegangan 110 Vdc digunakan untuk mensuplai peralatan yang tidak boleh berhenti beroperasi misalnya sistem proteksi. Hasil survey pada GI Pelabuhan Ratu secara rinci dapat dilihat pada Tabel 3. 4

Tabel 3. 4 Hasil Survey Gardu Pelabuhan Ratu

No	Identitas	Isi
1	Nama & Alamat GI	GI Pelabuhan Ratu
2	Level Tegangan	150 KV
3	Jenis GI	GI Konvensional, 1.5 CB, untuk start “tidak bisa “, diambil dari PLTP Salak
4	Kapasitas GI (MVA)	Trafo 150 KV/20 KV (2 x 28 MVA) SST
5	Summary GI (Spesifik)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Level Tegangan DC yang digunakan ada 2 jenis yaitu 110 Vdc dan 48 Vdc. 2. SST; 2 x 100 kVA (PS) 1 unit untuk pemakaian internal, untuk 1 Trafo yang lainnya belum beroperasi) 4. Tidak terdapat EDG 5. Terdapat catu daya mobile (genset, baterai rectifier), saat baterai unit 1 kondisi “Off “ maka catu daya digunakan, namun ketika baterai Unit 3 “On“ catu daya di off kan kembali. 6. Tegangan yang terkirim dari pembangkit adalah 380 V s/d 420 V 7. Terdapat 3 unit baterai (unit 1 sudah off sejak tahun 2013, 2 unit lainnya masih beroperasi). 8. Baterai unit 1 jenis Asam dengan tipe modular 6 x 60 A, total rectifier 360 A. Karena jenis Asam, maka diperlukan adanya penggantian aqua gen yang dilakukan 1 kali dalam setahun. Terdapat 65 cell/unit 9. Baterai unit 2 dan 3 (48 VDC) jenis Alkali 10. Sumber supply AC dari pembangkit, rectifier 3 Fasa 2x 28 MVA SST 11. Dari 380 V akan disearahkan melalui rectifier melalui 2 level tegangan yaitu 48 Vdc dan 110 Vdc 12. Untuk 48 Vdc digunakan untuk system telkom (SCADA dan teleproteksi), namun kepemilikannya adalah UP2B asset. 13. Sedangkan untuk 110 Vdc kapasitasnya 1200 Ah, dengan masing-masing cell 1.2 Volt sebanyak 56 cell. 14. Karena Jenis GI ini adalah line charging maka normalisasi pada saat terjadi kondisi blackstart adalah menunggu suplai tegangan dari PLTP Salak. 15. Beban AC : Fire protection, elektronik, CB, penerangan, motorizing 16. Beban DC ; Rele proteksi

6	Jumlah Bay	Incoming	2 Bay line
7		Outgoing	5 bay line (belum beroperasi)
8		Trafo	2 x 60 MVA
9	Data beban GI (AC) dari Trafo PS	2 bay line Incoming	
10	Data beban GI (DC) dari Trafo PS	8 bay line Outgoing	
11	Jumlah CB per bay	2 x 28 MVA (SST) ; 100 kVA (PS)	
12	Sistem Proteksi Bay	3	
Jenis beban yang beroperasi			
13	Continuous	(Menunggu konfirmasi list beban dari Pratu ; Redi)	
14	Emergency	LS	
15	Black Start	(Menunggu konfirmasi list beban dari Pratu ; Redi)	
16	Nameplate Baterai Terpasang	(Menunggu konfirmasi list beban dari Pratu ; Redi)	
17	Susunan Baterai	48 Vdc nameplate Kapasitas Batterai (100 Ah Selama 10-15 jam), 110 Vdc dengan kapasitas 1200 Ah	
18	Sumber Charge Baterai	Serial	
beban yang dihubungkan batterai saat kondisi			
19	Kondisi Operasi Batterai	Normal	Floating
20		Emergency	Discharge, Suplai beban DC

BAB 4

PERHITUNGAN KAPASITAS BATERAI DAN ANALISIS

4.1 Perhitungan Kapasitas Baterai

Beberapa asumsi dan pertimbangan yang dipakai dalam melakukan perhitungan kapasitas Baterai:

Dua sistem distribusi DC akan diterapkan di Gardu Induk yaitu tegangan 110 VDC dan 48 VDC. Semua sistem memasok bebannya sendiri. Sistem 110 VDC menyuplai beban independennya melalui 110 panel distribusi DC. Peralatan utama didalam sistem 110 VDC terdiri atas sistem baterai 110 VDC, dan panel distribusi 110 VDC dan Sistem Charger 110 VDC begitu pula sebaliknya untuk sistem 48 VDC. Sistem 110 VDC akan digunakan untuk mengisi daya semua peralatan yang bergerak di bidang proteksi, kontrol, dan sistem pemantauan. Sedangkan untuk 48 VDC digunakan untuk peralatan telekomunikasi. Pada sub bab ini akan menjelaskan metode perhitungan ukuran pengisi daya baterai, baterai, dan sistem inverter yang disebutkan di atas. Profil pelepasan muatan diperlukan untuk menghitung ukuran baterai guna memastikannya cukup untuk memasok beban pada waktu otonominya jika pengisi daya (pasokan utama) kehilangan layanan.

a. Referensi Dokumen

- TPG Baterai 110 Vdc
- TPG Baterai 48 Vdc

b. Design Conditions

1. Suhu Operasi

Sistem baterai akan dirancang untuk beroperasi pada suhu sekitar 40 °C menurut spesifikasi teknis.

2. Baterai 110 Vdc

- | | |
|------------------|-----------|
| Type | : VRLA |
| Tegangan Nominal | : 110 Vdc |
| Tegangan per sel | : VRLA |
| • Maksimum | : 2.4 V |
| • Floating | : 2.23 V |
| • Minimum | : 1.8 V |
| Tegangan per sel | : NiCD |
| • Maksimum | : 1.65 V |
| • Floating | : 1.4 V |
| • Minimum | : 1.14 V |

3. Designed Operating Duty

➤ Normal/standing loads

Beban normal/esensial dari kedua sistem 110 VDC harus dipasok oleh baterai selama 8 jam full. Beban normal/esensial meliputi catu umum untuk relai proteksi, kontrol bay, lampu indikasi jika ada, dan beban inverter.

➤ Transient and Instantaneous load

Beban yang beroperasi dalam range transient dan instant diasumsikan juga didalam range waktu 8 jam saat beroperasi , kapasitas baterai harus memiliki kapasitas :

- Proses Closing pada seluruh circuit breaker secara berurutan
- 2 operasi trip secara berurutan (diasumsikan fast tree pole tripping) untuk setiap circuit breaker.

c. Baterai dan Ukuran Charger

Kapasitas Baterai dan Ukuran Charger biasanya bergantung pada TPG yang direquest oleh Owner dan diklrafikasi oleh vendor. Beban beban utama yang dimasukan sebagai Control Relay Panel adalah :

1. Baterai dan Charger 110 Vdc

- Beban discharge 110 Vdc

Beban discharge dihitung berdasarkan kondisi sistem yang paling buruk. Kondisi ini akan membutuhkan daya baterai yang maksimal, yang harus dipertimbangkan pada tahap desain. Beban discharge diklasifikasikan menjadi dua jenis beban: beban continuous dan transient.

- The Continuous Load contohnya :
 - Transistorised relay protection skema yang merupakan beban utama
 - Beban lain termasuk the Digital I/O dimana merupakan management relay yang normalnya untuk alat pengawasan dan kontrol
 - DC indication lamp (Jika Ada)
- Transient load di sistem DC dapat diklasifikasikan sebagai berikut:
 - Trip and close coils aktifasi ketika kondisi 'closing and tripping' dari circuit breaker
 - Sistem DC yang ditujukan untuk pengujian
- Kondisi Worst Case dengan mempertimbangkan beban terberat dan sifatnya sementara:
 - Closing operation dari seluruh circuit breaker
 - Simultaneous tripping dari circuit breakers dan proteksi dari bus bar yang terjadi ketika ada gangguan di sisi bus bar
 - Kalkulasi perhitungan dilihat dari tabulasi Excel yang telah dilampirkan

d. Rumus Perhitungan

- Constant Load = (Quantity + Future) x Total Load (W)
- Total Power Constant Load = Sum Constant Load
- Total Ampere Constant Load = Total Power Constant Load/Nominal Voltage
- First Trip = Jumlah Bays Peralatan x Tabel Instant Load (Tabel Instant Load First Trip mengacu pada Gambar 4. 1) * sesuaikan dengan peralatan contoh OHL maka diambil data yang OHL, Jika Trafo Bay ambil data yang trafo bay
- Closing Trip = Jumlah Bays Peralatan x Tabel Instant Load (Tabel Instant Load First Closing mengacu pada Gambar 4. 2) * sesuaikan dengan peralatan contoh OHL maka diambil data yang OHL, Jika Trafo Bay ambil data yang trafo bay
- Final Trip = First Trip
- Area 1 = constant load x (120 minutes/ 60)

- Area 2 = {(First Trip + Constant Load) x (1 minutes /60)}
- Area 3 = constant load x (359 minutes/60)
- Battery size = penambahan jumlah luasan area 1,2,3 (dalam satuan aH)
- Battery size contoh pada Gambar 4. 3
- Final Battery size = battery size x safety factor (1.1)

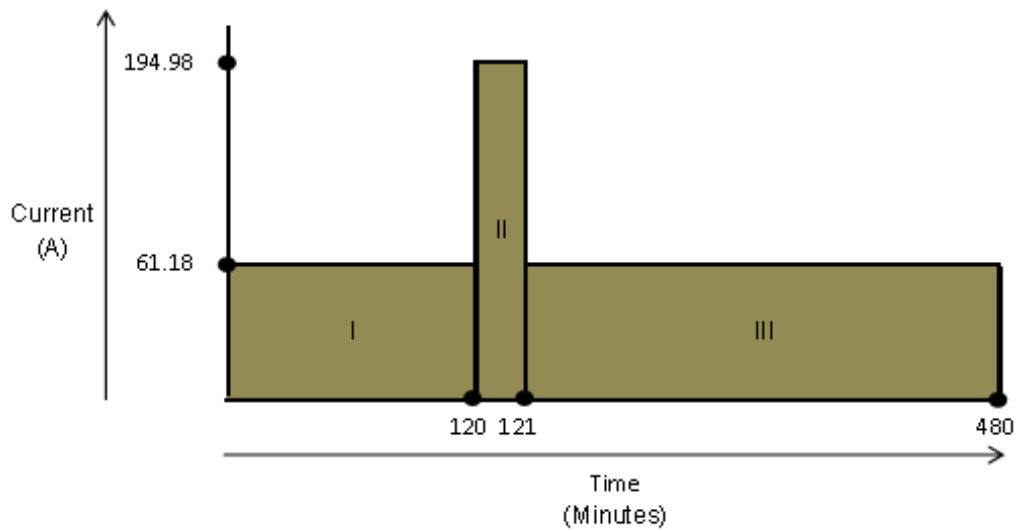
No.	Auxiliary Relay (W)	Alarm (W)	Master Trip Operation (W)
1	OHL 18.75	OHL 1	OHL 6
2	Trafo 18.75	Trafo 1	Trafo 6
3	BC 18.75	BC 1	BC 6
4	Inc. IBT 18.75	Inc. IBT 1	Inc. IBT 6
Total Power	75.00	4	24

No.	Trip Coil 1 (W)	Trip Coil 2 (W)	Master Trip Reset (W)
1	OHL 340	OHL 340	OHL 120
2	Trafo 680	Trafo 340	Trafo 120
3	BC 680	BC 340	BC 120
4	Inc. IBT 340	Inc. IBT 340	Inc. IBT 120
Total Power	2040	1360	480

Gambar 4. 1 Instant Load Tabel First Trip

No.	Auxiliary Relay (W)	Counter	Closing CB
1	OHL 12	OHL 2	OHL 340
2	Trafo 12	Trafo 2	Trafo 340
3	BC 12	BC 2	BC 340
4	Inc. IBT 12	Inc. IBT 2	Inc. IBT 340
Total Power	48	8	1360

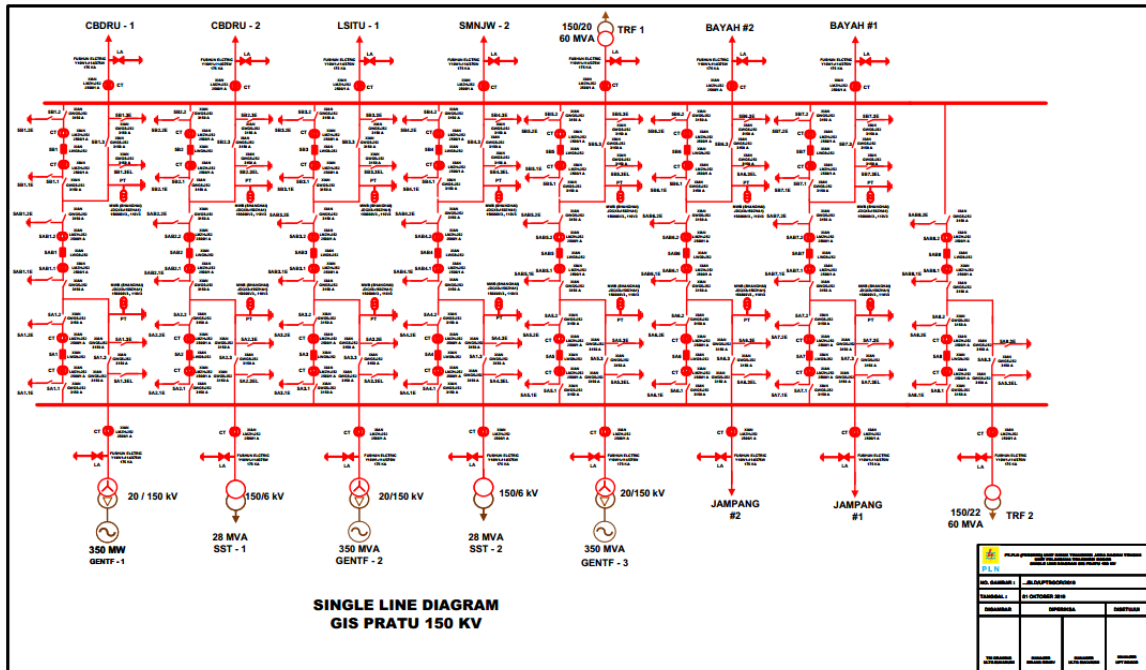
Gambar 4. 2. Instant Load Tabel First Closing



Gambar 4. 3. Contoh Gambar Luasan area discharge Batterai

Perkiraan beban baterai 110V DC untuk kondisi desain yang ditentukan tercantum di bawah ini :

4.1.1 Gardu Induk Pelabuhan Ratu



Gambar 4. 4. Single Line Diagram GIS PRATU

- **110 VDC Konstan Load**
 - a) Switchyard/GIS 150kV
 - Overhead Line Bay

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Main Protection (Distance)	1	35.00	35.00
Back Up Protection (OCR)	1	50.00	50.00
Digital KWH Meter	1	10.00	10.00
Master Trip	2	6.00	12.00
Trip Circuit Supervision	6	6.00	36.00
Auxiliary Relay	15	1.25	18.75
Bay Control Unit	1	50.00	50.00
Ethernet Switch	1	14.00	14.00
Local Mimic	1	5.00	5.00
Total Load (W)			230.75

Qty : **12 Bay**
 Future : **0 Bay**
 Total : **2769 W**

➤ Transformer Bay

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Main Protection (Distance)	1	11.00	11.00
Back Up Protection (OCR)	2	15.00	30.00
Master Trip	2	3.00	6.00
Trip Circuit Supervision	2	2.00	4.00
Auxiliary Relay	15	1.25	18.75
AVR	1	20.00	20.00
Bay Control Unit	1	25.00	25.00
Ethernet Switch	2	20.00	40.00
Digital Meter CL. 0.5	0	5.00	0.00
Local Mimic	1	5.00	5.00
Total Load (W)			159.75

Qty : **2 Bay**
 Future : **0 Bay**
 Total : **320 W**

➤ Bus Coupler & Busbar Protection

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Busbar Protection	1	150.00	150.00
Over Current Relay	1	15.00	15.00
Master Trip	6	3.00	18.00
Trip Circuit Supervision	2	2.00	4.00
Auxiliary Relay	15	1.25	18.75
Bay Control Unit	1	25.00	25.00
Ethernet Switch	2	20.00	40.00
Local Mimic	1	5.00	5.00
Total Load (W)			275.75

Qty : **0 Bay**
 Future : **0 Bay**
 Total : **0 W**

➤ Incoming IBT Bay

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Over Voltage Relay	0	0.00	0.00
Over Current Relay	1	15.00	15.00
Auxiliary Relay	15	1.25	18.75
Trip Circuit Supervision	2	2.00	4.00
Bay Control Unit	1	25.00	25.00

Ethernet Switch	2	20.00	40.00
Digital Meter CL. 0.5	1	5.00	5.00
Local Mimic	1	5.00	5.00
Total Load (W)			112.75

Qty : **0 Bay**
Future : **0 Bay**
Total : **0 W**

- Common, Substation Automatic System (SAS), Fault Recorder and Metering Panel

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Bay Control Unit	1	25.00	25.00
Ethernet Switch	2	20.00	40.00
Digital Meter CL. 0.2s	2	5.00	10.00
Modem	2	3.00	6.00
GPS	1	40.00	40.00
Local Mimic	0	5.00	0.00
Total Load (W)			121.00

Qty : **3 Bay**
Future : **0 Bay**
Total : **363 W**

b) Switchgear 20kV

- Incoming & Outgoing

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Over Current Relay	1	15.00	15.00
Energy Meter	1	15.00	15.00
Digital Meter CL. 0.2s	1	5.00	5.00
Total Load (W)			35.00

Qty: **84 Set**
Future: **0 Set**
Total: **2940 W**

➤ Bus coupler/section

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Over Current Relay	1	15.00	15.00
Energy Meter	1	15.00	15.00
Total Load (W)			30.00

Qty : **0 Set**

Future : **0 Set**

Total : **0 W**

➤ Bus VT+LA & RTU

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Energy Meter	1	15.00	15.00
Ethernet Switch	2	14.00	28.00
Total Load (W)			43.00

Qty : **0 Cell**

Future : **0 Cell**

Total : **129 W**

➤ Inverter (Pemakaian Sendiri)

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Inverter	1	5.00	5.00
Total Load (W)			5.00

Qty : **0 Set**

Future : **0 Set**

Total : **0 W**

Sehingga didapatkan total daya yang dibutuhkan Gardu Induk Grogol II adalah sebesar **6730 W** dengan arus sebesar **61.18 A**.

c) Battery **Instantaneous Load**

110V DC Battery Instantaneous Load

No.	Auxiliary Relay (W)		Alarm (W)		Master Trip Operation (W)	
1	OHL	18.75	OHL	1	OHL	6
2	Trafo	18.75	Trafo	1	Trafo	6
3	BC	18.75	BC	1	BC	6
4	Inc. IBT	18.75	Inc. IBT	1	Inc. IBT	6
Total Power		75.00		4		24

OHL = 12 Bays
 Trafo = 2 Bays
 BC = 0 Bays
 Inc IBT = 3 Bays

No.	Trip Coil 1 (W)		Trip Coil 2 (W)		Master Trip Reset (W)	
1	OHL	340	OHL	340	OHL	120
2	Trafo	680	Trafo	340	Trafo	120
3	BC	680	BC	340	BC	120
4	Inc. IBT	340	Inc. IBT	340	Inc. IBT	120
Total Power		2040		1360		480

No.	Auxiliary Relay (W)		Counter		Closing CB	
1	OHL	12	OHL	2	OHL	340
2	Trafo	12	Trafo	2	Trafo	340
3	BC	12	BC	2	BC	340
4	Inc. IBT	12	Inc. IBT	2	Inc. IBT	340
Total Power		48		8		1360

➤ First Trip

- OHL = 9909 W
- Trafo = 2331.5 W
- BC = 0 W
- Inc. IBT = 2477.25 W

Total Power = 14717.75 W

= 133.80 A (at 2 hours + 2 mili second)

➤ First Closing

- OHL = 5688 W
- Trafo = 948 W
- BC = 0 W
- Inc. IBT = 1422 W

Total Power = 8058 W
= 73.25 A (next 59.6 second)

➤ Final Trip

- OHL = 9909 W
- Trafo = 2331.5 W
- BC = 0 W
- Inc. IBT = 2477.25 W

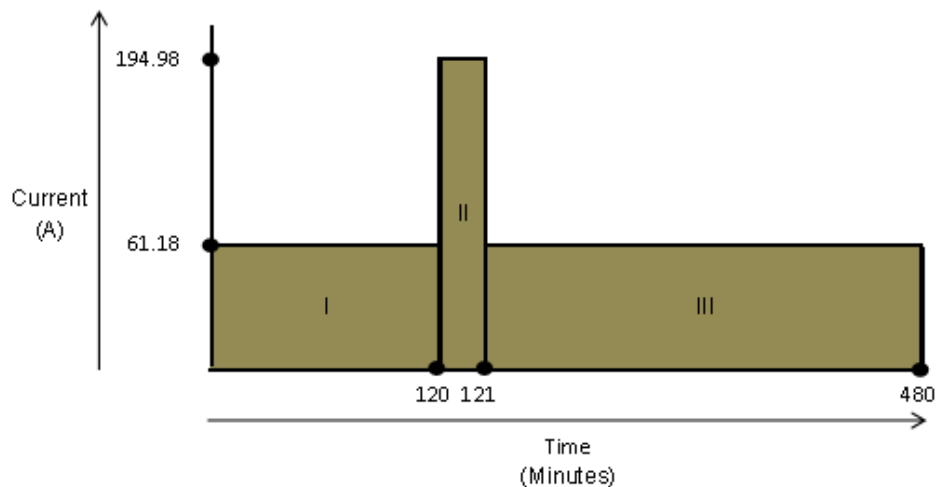
Total Power = 14717.75 W
= 133.80 A (next 2 mili second)

➤ Profil Beban Discharge 110 Vdc

Mengingat beban konstan baterai yang dihitung adalah 61.18 A, profil beban discharge berikut dihitung berdasarkan beban konstan dan sesaat:

- Continuous load untuk 8 jam : 61.18 A
- Instantaneous load (dimulai saat 2hours, hanya beroperasi di 1 minute)
at 2 hours + 2 mili second : 133.80 A
next 59.6 second : 73.25 A
next 2 mili second : 133.80 A

Pada Instantaneous load, baterai memuat kondisi ekstrim dalam 60 detik. profil beban discharge ditunjukkan pada bagan di bawah ini



Gambar 4. 5 Discharge Load Profile PRATU

e. Ukuran Baterai 110 Vdc

➤ Kapasitas Baterai

Berdasarkan 110 VDC beban discharge, jumlah kapasitas baterai yang dibutuhkan adalah penambahan untuk area section I, II, and III dibagi waktu (jam)

$$\text{Ukuran Baterai} = 491.67 \text{ Ah}$$

Untuk ambient temperatur 400C, temperature derating factor adalah 1.1, Total kebutuhan baterai yang dibutuhkan adalah

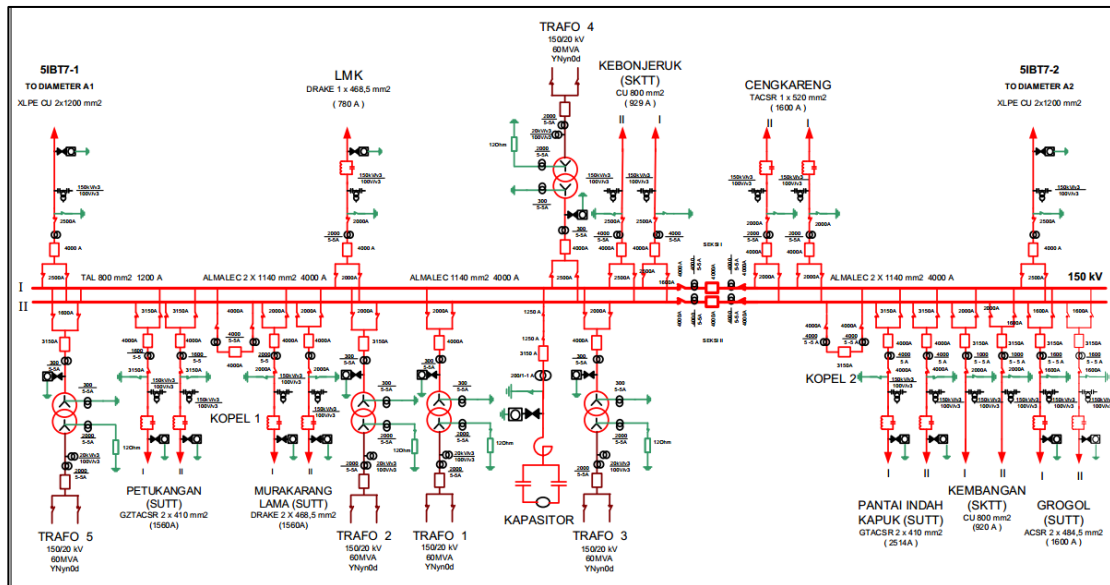
$$\begin{aligned} \text{Ukuran Baterai} \times 1.1 &= 491.67 \text{ Ah} \times 1.1 \\ &= 540.83 \text{ Ah} \end{aligned}$$

➤ **Kapasitas Baterai Minimal untuk Duri Kosambi = 540.84 Ah**

4.1.2 Gardu Induk Beban

4.1.1.1 110 VDC

• **Gardu Induk Duri Kosambi**



Gambar 4. 6 Single Line Diagram Gardu Induk Duri Kosambi

Battery Constant Load.

a) Switchyard/GIS 150kV

➤ Overhead Line Bay

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Main Protection (Distance)	1	35.00	35.00
Back Up Protection (OCR)	1	50.00	50.00
Digital KWH Meter	1	10.00	10.00
Master Trip	2	6.00	12.00
Trip Circuit Supervision	6	6.00	36.00
Auxiliary Relay	15	1.25	18.75
Bay Control Unit	1	50.00	50.00

Ethernet Switch	1	14.00	14.00
Local Mimic	1	5.00	5.00
Total Load (W)			230.75

Qty : **18 Bay**
Future : **0 Bay**
Total : **4154 W**

➤ Transformer Bay

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Main Protection (Distance)	1	11.00	11.00
Back Up Protection (OCR)	2	15.00	30.00
Master Trip	2	3.00	6.00
Trip Circuit Supervision	2	2.00	4.00
Auxiliary Relay	15	1.25	18.75
AVR	1	20.00	20.00
Bay Control Unit	1	25.00	25.00
Ethernet Switch	2	20.00	40.00
Digital Meter CL. 0.5	0	5.00	0.00
Local Mimic	1	5.00	5.00
Total Load (W)			159.75

Qty : **5 Bay**
Future : **0 Bay**
Total : **799 W**

➤ Bus Coupler & Busbar Protection

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Busbar Protection	1	150.00	150.00
Over Current Relay	1	15.00	15.00
Master Trip	6	3.00	18.00
Trip Circuit Supervision	2	2.00	4.00
Auxiliary Relay	15	1.25	18.75
Bay Control Unit	1	25.00	25.00
Ethernet Switch	2	20.00	40.00
Local Mimic	1	5.00	5.00
Total Load (W)			275.75

Qty : **0 Bay**
Future : **0 Bay**
Total : **276 W**

➤ Incoming IBT Bay

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Over Voltage Relay	0	0.00	0.00
Over Current Relay	1	15.00	15.00
Auxiliary Relay	15	1.25	18.75
Trip Circuit Supervision	2	2.00	4.00
Bay Control Unit	1	25.00	25.00
Ethernet Switch	2	20.00	40.00
Digital Meter CL. 0.5	1	5.00	5.00
Local Mimic	1	5.00	5.00
Total Load (W)			112.75

Qty : **0 Bay**
 Future : **0 Bay**
 Total : **0 W**

➤ Common, Substation Automatic System (SAS), Fault Recorder and Metering Panel

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Bay Control Unit	1	25.00	25.00
Ethernet Switch	2	20.00	40.00
Digital Meter CL. 0.2s	2	5.00	10.00
Modem	2	3.00	6.00
GPS	1	40.00	40.00
Local Mimic	0	5.00	0.00
Total Load (W)			121.00

Qty: **0 Bay**
 Future: **0 Bay**
 Total : **0 W**

b) Switchgear 20kV

➤ Incoming & Outgoing

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Over Current Relay	1	15.00	15.00
Energy Meter	1	15.00	15.00
Digital Meter CL. 0.2s	1	5.00	5.00
Total Load (W)			35.00

Qty : **0 Set**
Future : **0 Set**
Total : **0 W**

➤ Bus coupler/section

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Over Current Relay	1	15.00	15.00
Energy Meter	1	15.00	15.00
Total Load (W)			30.00

Qty : **0 Set**
Future : **0 Set**
Total : **0 W**

➤ Bus VT+LA & RTU

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Energy Meter	1	15.00	15.00
Ethernet Switch	2	14.00	28.00
Total Load (W)			43.00

Qty : **0 Set**
Future : **0 Set**
Total : **0 W**

➤ Inverter (Pemakaian Sendiri)

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Inverter	1	5.00	5.00
Total Load (W)			5.00

Qty : **3 Set**
Future : **0 Set**
Total : **15 W**

Sehingga didapatkan total daya (penambahan seluruh konstan load) untuk konstan load yang dibutuhkan Gardu Induk Duri Kosambi adalah sebesar **5795 W** dengan arus sebesar **52.68 A**.

c) Battery Instantaneous Load

110V DC Battery Instantaneous Load

No.	Auxiliary Relay (W)		Alarm (W)		Master Trip Operation (W)	
1	OHL	18.75	OHL	1	OHL	6
2	Trafo	18.75	Trafo	1	Trafo	6
3	BC	18.75	BC	1	BC	6
4	Inc. IBT	18.75	Inc. IBT	1	Inc. IBT	6
Total Power		75.00		4		24

OHL = 17 Bays

Trafo = 5 Bays

BC = 3 Bays

Inc IBT = 0 Bays

No.	Trip Coil 1 (W)		Trip Coil 2 (W)		Master Trip Reset (W)	
1	OHL	340	OHL	340	OHL	120
2	Trafo	680	Trafo	340	Trafo	120
3	BC	680	BC	340	BC	120
4	Inc. IBT	340	Inc. IBT	340	Inc. IBT	120
Total Power		2040		1360		480

No.	Auxiliary Relay (W)		Counter		Closing CB	
1	OHL	12	OHL	2	OHL	340
2	Trafo	12	Trafo	2	Trafo	340
3	BC	12	BC	2	BC	340
4	Inc. IBT	12	Inc. IBT	2	Inc. IBT	340
Total Power		48		8		1360

➤ First Trip

- OHL = 14037.75 W

- Trafo = 5828,75 W

- BC = 3497.25 W

- Inc. IBT = 0 W

Total Power = 23363.75 W

= 212.40 A (at 2 hours + 2 mili second)

➤ First Closing

- OHL = 8058 W
- Trafo = 2370 W
- BC = 1422W
- Inc. IBT = 0 W

Total Power = 11850 W
= 107.73 A (next 59.6 second)

➤ Final Trip

- OHL = 14037.75 W
- Trafo = 5828.75 W
- BC = 3497.25 W
- Inc. IBT = 0 W

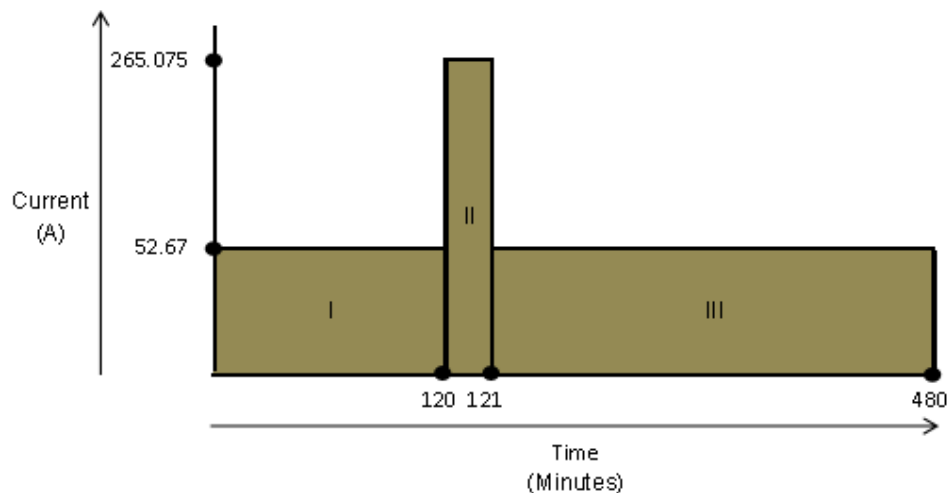
Total Power = 23363.75 W
= 212.40 A (next 2 mili second)

f. Profil Beban Discharge 110 Vdc

Mengingat beban konstan baterai yang dihitung adalah 52.68 A, profil beban discharge berikut dihitung berdasarkan beban konstan dan sesaat:

- Continuous load untuk 8 jam : 52.68 A
- Instantaneous load (dimulai saat 2hours, hanya beroperasi di 1 minute)
at 2 hours + 2 mili second : 212.40 A
next 59.6 second : 107.73 A
next 2 mili second : 212.40 A

Pada Instantaneous load, baterai memuat kondisi ekstrim dalam 60 detik. profil beban discharge ditunjukkan pada bagan di bawah ini:



Gambar 4. 7 Discharge Load Profile Duri Kosambi

g. Ukuran Baterai 110 Vdc

➤ Kapasitas Baterai

Berdasarkan 110 VDC beban discharge, jumlah kapasitas baterai yang dibutuhkan adalah penambahan untuk area section I, II, and III dibagi waktu (jam)

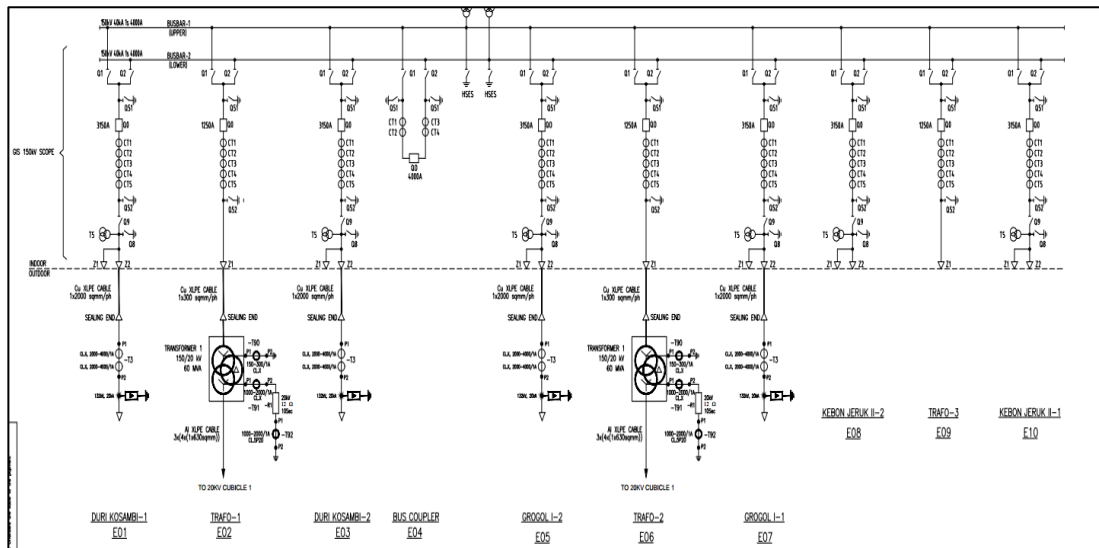
$$\text{Ukuran Baterai} = 424.96 \text{ Ah}$$

Untuk ambient temperatur 400C, temperature derating factor adalah 1.1, Total kebutuhan baterai yang dibutuhkan adalah

$$\begin{aligned} \text{Ukuran Baterai} \times 1.1 &= 424.96 \text{ Ah} \times 1.1 \\ &= 467.45 \text{ Ah} \end{aligned}$$

➤ Kapasitas Baterai Minimal untuk Duri Kosambi = 467.45 Ah

• Gardu Induk Grogol II



Gambar 4. 8 Single Line Diagram GIS Grogol II

Battery Constant Load.

a) Switchyard/GIS 150kV

➤ Overhead Line Bay

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Main Protection (Distance)	1	35.00	35.00
Back Up Protection (OCR)	1	50.00	50.00
Digital KWH Meter	1	10.00	10.00
Master Trip	2	6.00	12.00
Trip Circuit Supervision	6	6.00	36.00
Auxiliary Relay	15	1.25	18.75
Bay Control Unit	1	50.00	50.00
Ethernet Switch	1	14.00	14.00
Local Mimic	1	5.00	5.00
Total Load (W)			230.75

Qty : **4 Bay**
 Future : **0 Bay**
 Total : **923 W**

➤ Transformer Bay

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Main Protection (Distance)	1	11.00	11.00
Back Up Protection (OCR)	2	15.00	30.00
Master Trip	2	3.00	6.00
Trip Circuit Supervision	2	2.00	4.00
Auxiliary Relay	15	1.25	18.75
AVR	1	20.00	20.00
Bay Control Unit	1	25.00	25.00
Ethernet Switch	2	20.00	40.00
Digital Meter CL. 0.5	0	5.00	0.00
Local Mimic	1	5.00	5.00
Total Load (W)			159.75

Qty : **2 Bay**
 Future : **1 Bay**
 Total : **479 W**

➤ Bus Coupler & Busbar Protection

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Busbar Protection	1	150.00	150.00
Over Current Relay	1	15.00	15.00
Master Trip	6	3.00	18.00
Trip Circuit Supervision	2	2.00	4.00
Auxiliary Relay	15	1.25	18.75
Bay Control Unit	1	25.00	25.00
Ethernet Switch	2	20.00	40.00
Local Mimic	1	5.00	5.00
Total Load (W)			275.75

Qty : **1 Bay**
 Future : **0 Bay**
 Total : **276 W**

➤ Incoming IBT Bay

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Over Voltage Relay	0	0.00	0.00
Over Current Relay	1	15.00	15.00
Auxiliary Relay	15	1.25	18.75
Trip Circuit Supervision	2	2.00	4.00
Bay Control Unit	1	25.00	25.00
Ethernet Switch	2	20.00	40.00
Digital Meter CL. 0.5	1	5.00	5.00
Local Mimic	1	5.00	5.00
Total Load (W)			112.75

Qty : **0 Bay**
 Future : **0 Bay**
 Total : **0 W**

➤ Common, Substation Automatic System (SAS), Fault Recorder and Metering Panel

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Bay Control Unit	1	25.00	25.00
Ethernet Switch	2	20.00	40.00
Digital Meter CL. 0.2s	2	5.00	10.00
Modem	2	3.00	6.00
GPS	1	40.00	40.00
Local Mimic	0	5.00	0.00
Total Load (W)			121.00

Qty : **1 Bay**
 Future : **0 Bay**
 Total : **121 W**

b) Switchgear 20kV

➤ Incoming & Outgoing

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Over Current Relay	1	15.00	15.00
Energy Meter	1	15.00	15.00
Digital Meter CL. 0.2s	1	5.00	5.00
Total Load (W)			35.00

Qty : **25 Set**
 Future : **0 Set**
 Total : **875 W**

➤ Bus coupler/section

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Over Current Relay	1	15.00	15.00
Energy Meter	1	15.00	15.00
Total Load (W)			30.00

Qty : **3 Set**
 Future : **0 Set**
 Total : **90 W**

➤ Bus VT+LA & RTU

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Energy Meter	1	15.00	15.00
Ethernet Switch	2	14.00	28.00
Total Load (W)			43.00

Qty : **3 Set**
 Future : **0 Set**
 Total : **129 W**

➤ Inverter (Pemakaian Sendiri)

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Inverter	1	5.00	5.00
Total Load (W)			5.00

Qty : **2 Set**
 Future : **0 Set**
 Total : **10 W**

Sehingga didapatkan total daya untuk total konstan load yang dibutuhkan Gardu Induk Grogol II adalah sebesar **2903 W** dengan arus sebesar **26.39 A**.

c) Battery Instantaneous Load

110V DC Battery Instantaneous Load

No.	Auxiliary Relay (W)		Alarm (W)		Master Trip Operation (W)	
1	OHL	18.75	OHL	1	OHL	6
2	Trafo	18.75	Trafo	1	Trafo	6
3	BC	18.75	BC	1	BC	6
4	Inc. IBT	18.75	Inc. IBT	1	Inc. IBT	6
Total Power		75.00		4		24

OHL = 4 Bays

Trafo = 3 Bays

BC = 1 Bays

Inc IBT = 0 Bays

No.	Trip Coil 1 (W)		Trip Coil 2 (W)		Master Trip Reset (W)	
1	OHL	340	OHL	340	OHL	120
2	Trafo	680	Trafo	340	Trafo	120
3	BC	680	BC	340	BC	120
4	Inc. IBT	340	Inc. IBT	340	Inc. IBT	120
Total Power		2040		1360		480

No.	Auxiliary Relay (W)		Counter		Closing CB	
1	OHL	12	OHL	2	OHL	340
2	Trafo	12	Trafo	2	Trafo	340
3	BC	12	BC	2	BC	340
4	Inc. IBT	12	Inc. IBT	2	Inc. IBT	340
Total Power		48		8		1360

➤ First Trip

- OHL = 3303 W
- Trafo = 3497.25 W
- BC = 1165.75 W
- Inc. IBT = 0 W

Total Power = 7966 W

= 72.42 A (at 2 hours + 2 mili second)

➤ First Closing

- OHL = 1896 W
- Trafo = 1422 W
- BC = 474 W
- Inc. IBT = 0 W

Total Power = 3792 W

= 34.47 A (next 59.6 second)

➤ Final Trip

- OHL = 3303 W
- Trafo = 3497.25 W
- BC = 1165.75 W
- Inc. IBT = 0 W

Total Power = 7966 W

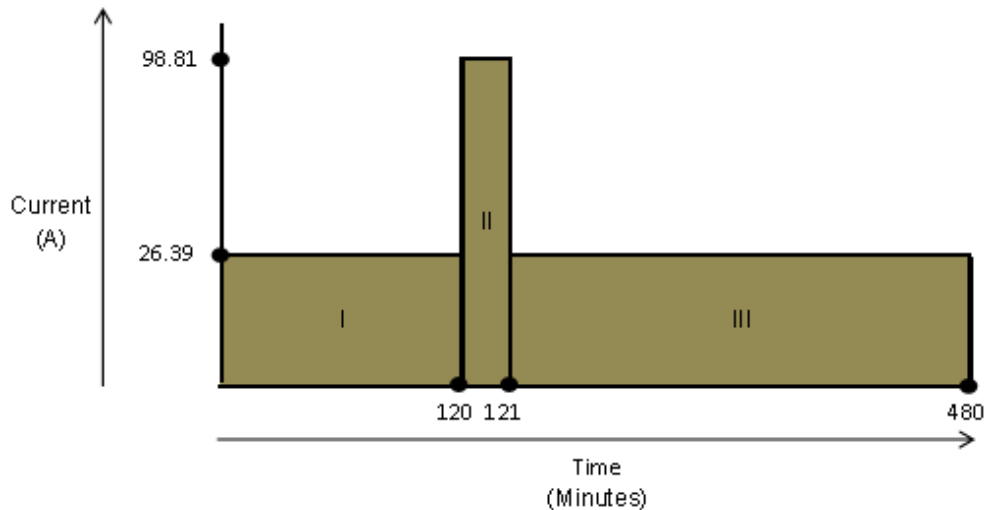
= 72.42 A (next 2 mili second)

d) Profil Beban Discharge 110 Vdc

Mengingat beban konstan baterai yang dihitung adalah 26.39 A, profil beban discharge berikut dihitung berdasarkan beban konstan dan sesaat:

- Continuous load for 8 hours : 26.39 A
- Instantaneous load (start at 2hours, only in 1 minute)
at 2 hours + 2 mili second : 72.42 A
next 59.6 second : 34.47 A
next 2 mili second : 72.42 A

Pada kondisi Instantaneous load, battery load extreme kondisi 60 second. the discharge load profile dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 4. 9 Discharge Load Profile GIS Grogol II

e) Ukuran Baterai 110 Vdc

➤ Kapasitas Baterai

Berdasarkan 110 VDC beban discharge, jumlah kapasitas baterai yang dibutuhkan adalah penambahan untuk area section I, II, and III dibagi waktu (jam)

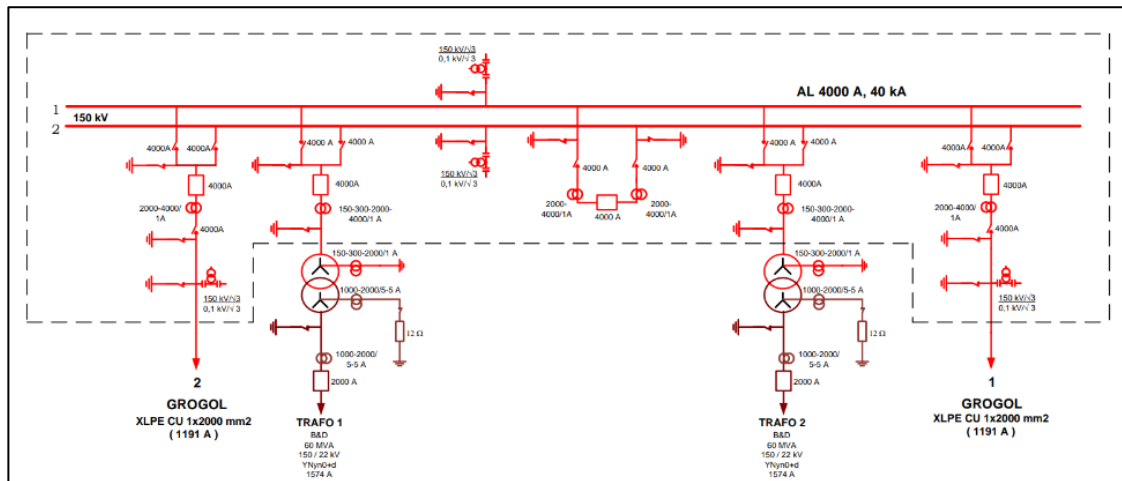
$$\text{Ukuran Baterai} = 212.33 \text{ Ah}$$

Untuk ambient temperatur 40°C, temperature derating factor adalah 1.1, Total kebutuhan baterai yang dibutuhkan adalah

$$\text{Ukuran Baterai} \times 1.1 = 212.33 \text{ Ah} \times 1.1 = 233.75 \text{ Ah}$$

➤ Kapasitas Baterai Minimal untuk GIS Grogol II = 233.57 Ah

• Gardu Induk Tomang



Gambar 4. 10 Single Line Diagram GIS Tomang

Battery Constant Load.

a) Switchyard/GIS 150kV

➤ Overhead Line Bay

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Main Protection (Distance)	1	35.00	35.00
Back Up Protection (OCR)	1	50.00	50.00
Digital KWH Meter	1	10.00	10.00
Master Trip	2	6.00	12.00
Trip Circuit Supervision	6	6.00	36.00
Auxiliary Relay	15	1.25	18.75
Bay Control Unit	1	50.00	50.00
Ethernet Switch	1	14.00	14.00

Local Mimic	1	5.00	5.00
Total Load (W)			230.75

Qty : **2 Bay**
Future : **5 Bay**
Total : **1615 W**

➤ Transformer Bay

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Main Protection (Distance)	1	11.00	11.00
Back Up Protection (OCR)	2	15.00	30.00
Master Trip	2	3.00	6.00
Trip Circuit Supervision	2	2.00	4.00
Auxiliary Relay	15	1.25	18.75
AVR	1	20.00	20.00
Bay Control Unit	1	25.00	25.00
Ethernet Switch	2	20.00	40.00
Digital Meter CL. 0.5	0	5.00	0.00
Local Mimic	1	5.00	5.00
Total Load (W)			159.75

Qty : **2 Bay**
Future : **2 Bay**
Total : **639 W**

➤ Bus Coupler & Busbar Protection

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Busbar Protection	1	150.00	150.00
Over Current Relay	1	15.00	15.00
Master Trip	6	3.00	18.00
Trip Circuit Supervision	2	2.00	4.00
Auxiliary Relay	15	1.25	18.75
Bay Control Unit	1	25.00	25.00
Ethernet Switch	2	20.00	40.00
Local Mimic	1	5.00	5.00
Total Load (W)			275.75

Qty : **1 Bay**
Future : **0 Bay**
Total : **276 W**

➤ Incoming IBT Bay

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Over Voltage Relay	0	0.00	0.00
Over Current Relay	1	15.00	15.00
Auxiliary Relay	15	1.25	18.75
Trip Circuit Supervision	2	2.00	4.00
Bay Control Unit	1	25.00	25.00
Ethernet Switch	2	20.00	40.00
Digital Meter CL. 0.5	1	5.00	5.00
Local Mimic	1	5.00	5.00
Total Load (W)			112.75

Qty : **0 Bay**
 Future : **0 Bay**
 Total : **0 W**

➤ Common, Substation Automatic System (SAS), Fault Recorder and Metering Panel

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Bay Control Unit	1	25.00	25.00
Ethernet Switch	2	20.00	40.00
Digital Meter CL. 0.2s	2	5.00	10.00
Modem	2	3.00	6.00
GPS	1	40.00	40.00
Local Mimic	0	5.00	0.00
Total Load (W)			121.00

Qty : **1 Bay**
 Future : **0 Bay**
 Total : **121 W**

b) Switchgear 20kV

➤ Incoming & Outgoing

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Over Current Relay	1	15.00	15.00
Energy Meter	1	15.00	15.00
Digital Meter CL. 0.2s	1	5.00	5.00
Total Load (W)			35.00

Qty : **20 Set**
 Future : **0 Set**
 Total : **700 W**

➤ Bus coupler/section

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Over Current Relay	1	15.00	15.00
Energy Meter	1	15.00	15.00
Total Load (W)			30.00

Qty : **3 Set**
 Future : **0 Set**
 Total : **90 W**

➤ Bus VT+LA & RTU

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Energy Meter	1	15.00	15.00
Ethernet Switch	2	14.00	28.00
Total Load (W)			43.00

Qty : **4 Set**
 Future : **0 Set**
 Total : **172 W**

➤ Inverter (Pemakaian Sendiri)

Description	Qty	Load (W)	Total Load (W)
Inverter	1	5.00	5.00
Total Load (W)			5.00

Qty : **5 Set**
 Future : **0 Set**
 Total : **25 W**

Sehingga didapatkan total daya untuk konstan load yang dibutuhkan Gardu Induk Tomang adalah sebesar **3638 W** dengan arus sebesar **33.07 A**.

c) Battery Instantaneous Load

110V DC Battery Instantaneous Load

No.	Auxiliary Relay (W)		Alarm (W)		Master Trip Operation (W)	
1	OHL	18.75	OHL	1	OHL	6
2	Trafo	18.75	Trafo	1	Trafo	6
3	BC	18.75	BC	1	BC	6
4	Inc. IBT	18.75	Inc. IBT	1	Inc. IBT	6
Total Power		75.00		4		24

OHL = 7 Bays

Trafo = 4 Bays

BC = 1 Bays

Inc IBT = 0 Bays

No.	Trip Coil 1 (W)		Trip Coil 2 (W)		Master Trip Reset (W)	
1	OHL	340	OHL	340	OHL	120
2	Trafo	680	Trafo	340	Trafo	120
3	BC	680	BC	340	BC	120
4	Inc. IBT	340	Inc. IBT	340	Inc. IBT	120
Total Power		2040		1360		480

No.	Auxiliary Relay (W)		Counter		Closing CB	
1	OHL	12	OHL	2	OHL	340
2	Trafo	12	Trafo	2	Trafo	340
3	BC	12	BC	2	BC	340
4	Inc. IBT	12	Inc. IBT	2	Inc. IBT	340
Total Power		48		8		1360

➤ First Trip

- OHL = 5780.25 W

- Trafo = 4663 W

- BC = 1165.75 W

- Inc. IBT = 0 W

Total Power = 11609 W

= 105.54 A (at 2 hours + 2 mili second)

- First Closing
 - OHL = 3318 W
 - Trafo = 1896 W
 - BC = 474 W
 - Inc. IBT = 0 W

Total Power = 5688 W
= 51.71 A (next 59.6 second)
- Final Trip
 - OHL = 5780.25 W
 - Trafo = 4663 W
 - BC = 1165.75 W
 - Inc. IBT = 0 W

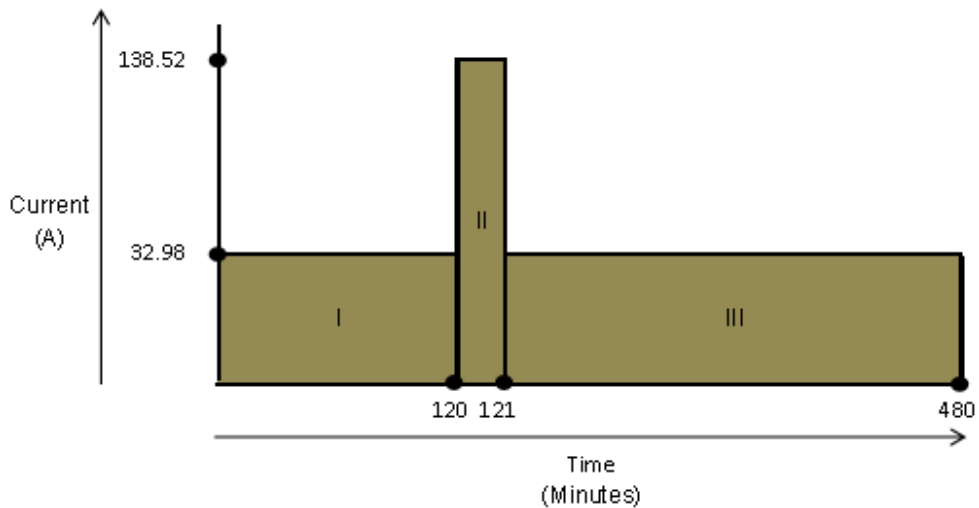
Total Power = 11609 W
= 105.54 A (next 2 mili second)

d) Profil Beban Discharge 110 Vdc

Mengingat beban konstan baterai yang dihitung adalah 33.07 A, profil beban discharge berikut dihitung berdasarkan beban konstan dan sesaat:

- Continuous load for 8 hours : 33.07 A
- Instantaneous load (start at 2hours, only in 1 minute)
 - at 2 hours + 2 mili second : 105.54 A
 - next 59.6 second : 51.71 A
 - next 2 mili second : 105.54 A

Pada kondisi Instantaneous load, battery load extreme kondisi selama 60 second. the discharge load profile dapat dilihat pada grafik berikut ini:



Gambar 4. 11 Discharge Load Profile Tomang

e) Ukuran Baterai 110 Vdc

➤ Kapasitas Baterai

Berdasarkan 110 VDC beban discharge, jumlah kapasitas baterai yang dibutuhkan adalah penambahan untuk area section I, II, and III dibagi waktu (jam)

$$\text{Ukuran Baterai} = 266.34 \text{ Ah}$$

Untuk ambient temperatur 40°C, temperature derating factor adalah 1.1, Total kebutuhan baterai yang dibutuhkan adalah

$$\text{Ukuran Baterai} \times 1.1 = 266.34 \text{ Ah} \times 1.1 = 292.97 \text{ Ah}$$

➤ **Kapasitas Baterai Minimal untuk GIS Grogol II = 348.17 Ah**

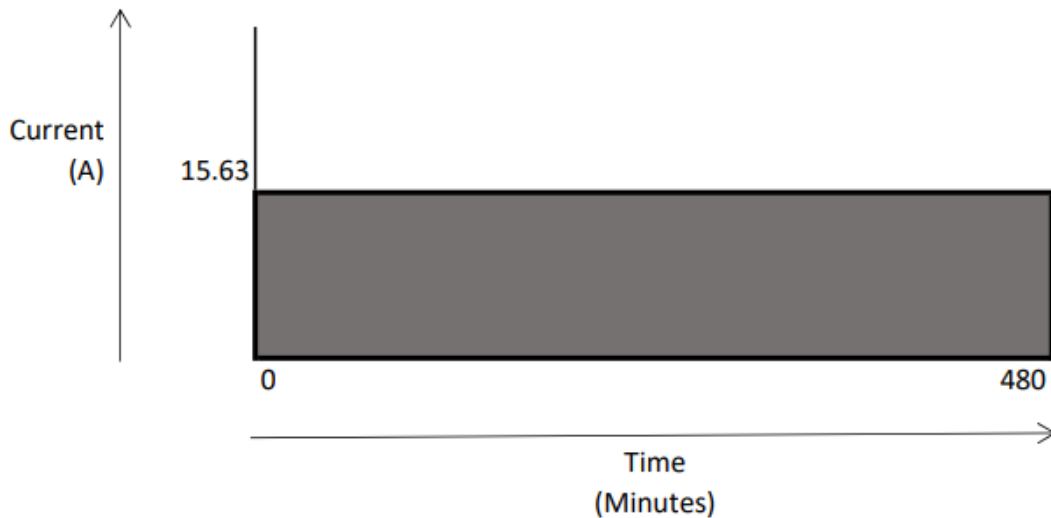
4.1.1.2 48 VDC

• **Gardu Induk Duri Kosambi**

Tabel 4. 1 Tabel spesifikasi beban 48 VDC pada GI Duri Kosambi

No	Equipment Description	Unit	Duty Factor	Load (Watt)	Total (Watt)	S.F	I(A)
1	MUX	1	1	200	200	0.8	5.21
2	Teleprotection	2	1	30	60	0.8	1.56
3	PLC	3	1	80	240	0.8	6.25
4	PABX	1	1	100	100	0.8	2.60
Total Load					600		15.63

a) 48 Vdc Discharge Load Profile



Gambar 4. 12 48 Vdc Discharge Load Profile Duri Kosambi

b) Kapasitas Baterai

Berdasarkan 48 VDC load discharge profile, minimal kapasitas baterai yang dibutuhkan

$$\text{Battery size} = 15.63 \times 8 \text{ (jam)} = 125 \text{ Ah}$$

Untuk ambient temperatur 40°C, temperature derating factor bernilai 1.1, final total battery size yang dibutuhkan :

$$120.83 \times 1.1 = 137.50 \text{ Ah}$$

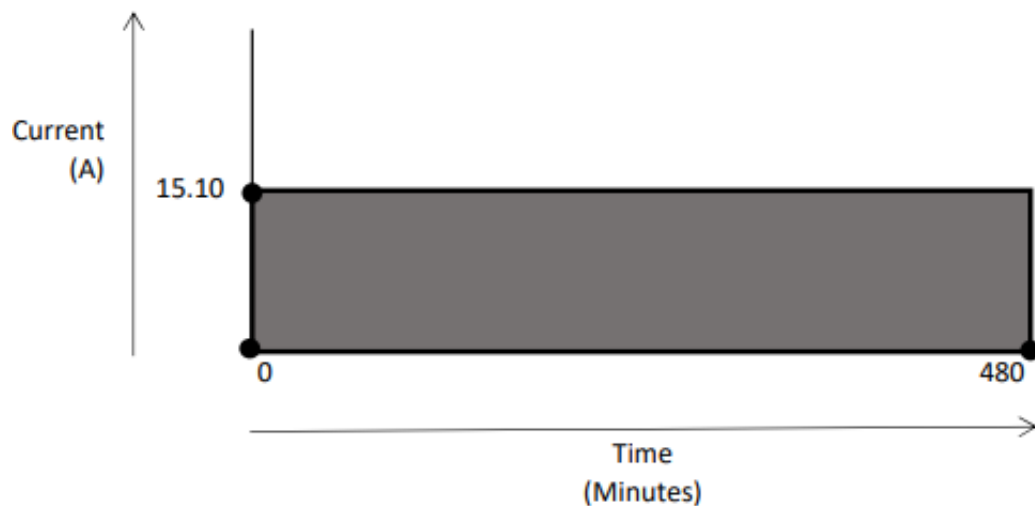
Sehingga total kebutuhan minimal baterai 48 Vdc untuk Duri Kosambi = 137.50 Ah

- **Gardu Induk Grogol II**

Tabel 4. 2 Tabel spesifikasi beban 48 VDC pada GI Grogol II

No	Equipment Description	Unit	Duty Factor	Load (Watt)	Total (Watt)	S.F	I(A)
1	MUX	1	1	200	200	0.8	5.21
2	Teleprotection	4	1	30	120	0.8	3.13
3	PLC	2	1	80	160	0.8	4.17
4	PABX	1	1	100	100	0.8	2.60
Total Load					580		15.10

c) 48 Vdc Discharge Load Profile



Gambar 4. 13 48 Vdc Discharge Load Profile Grogol II

d) Kapasitas Baterai

Berdasarkan 48 VDC load discharge profile, minimal kapasitas baterai yang dibutuhkan

$$\text{Battery size} = 15.10 \times 8 \text{ (jam)} = 120.8\text{Ah}$$

Untuk ambient temperatur 40°C, temperature derating factor bernilai 1.1, final total battery size yang dibutuhkan :

$$120.83 \times 1.1 = 132.913 \text{ Ah}$$

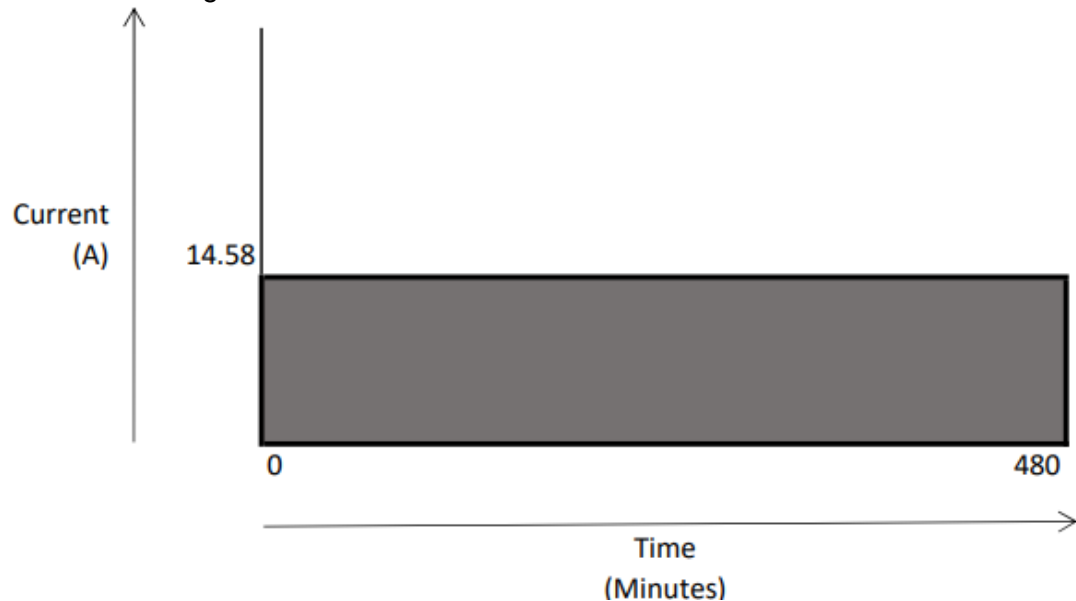
Sehingga total kebutuhan minimal baterai 48 Vdc untuk Grogol II = 132.913 Ah

- **Gardu Induk Tomang**

Tabel 4. 3 spesifikasi beban 48 VDC pada GI Tomang

No	Equipment Description	Unit	Duty Factor	Load (Watt)	Total (Watt)	S.F	I(A)
1	MUX	2	1	200	400	0.8	10.42
2	Teleprotection	2	1	30	60	0.8	1.56
3	PLC	0	1	80	0	0.8	0.00
4	PABX	1	1	100	100	0.8	2.60
Total Load					560		14.58

a) 48 Vdc Discharge Load Profile



Gambar 4. 14 48 Vdc Discharge Load Profile Tomang

b) Kapasitas Baterai

Berdasarkan 48 VDC load discharge profile, minimal kapasitas baterai yang dibutuhkan

$$\text{Battery size} = 14.58 \times 8 \text{ (jam)} = 116.64 \text{ Ah}$$

Untuk ambient temperatur 40°C, temperature derating factor bernilai 1.1, final total battery size yang dibutuhkan :

$$116.64 \times 1.1 = 128.304 \text{ Ah}$$

Sehingga total kebutuhan minimal baterai 48 Vdc untuk GIS TOMANG = 128.304 Ah

4.1.3 Resume Hasil Baterai dan Analisis

Tabel 4. 4 Resume Perbandingan Kapasitas Batterai

110 Vdc		
Nama GI	Battery Existing	Hasil Perhitungan
GI Duri Kosambi	2x300 Ah	467.45 Ah
GIS Grogol II	3x300 Ah	233.57 Ah
GIS Tomang	3x300 Ah	348.17 Ah
GIS Pelabuhan Ratu	1200 Ah	540.84 Ah
48 Vdc		
Nama GI	Battery Existing	Hasil Perhitungan
GI Duri Kosambi	2x112 Ah	137.50 Ah
GIS Grogol II	2x100 Ah	132.913 Ah
GIS Tomang	2x100 Ah	128.304 Ah

Jika kita analisis dari bab 4 pada metode perhitungan dilakukan pendekatan dengan melihat banyaknya jumlah bay untuk keperluan circuit breaker. Terutama pada aux dan coil tripping. Lalu dengan menghitung banyaknya jumlah bay yang ada di setiap gardu induk kita bisa menentukan untuk tipe konstan load maupun instant load. Pada analisis diatas sudah mempertimbangkan kondisi terburuk yaitu ketika terjadi gangguan pada saat emenit 121 (beban instant) yang menyebabkan jumlah ampere menjadi melonjak yang harus dicatu oleh baterai. Namun kondisi tersebut hanya berlangsung selama 1 menit. Lalu total keseluruhan kapasitas baterai harus kuat dalam menopang beban selama 8 jam dengan mengacu kondisi konstan load dan instant Load.

Parameter berikutnya adalah jumlah MCC yang menggunakan CB juga sangat berpengaruh di konstan load, contoh pada GIS Grogol ada banyak peralatan di level tegangan 20 KV yang juga termasuk beban yang harus di suplai oleh batterai selama 8 jam. Lalu untuk GIS Pelabuhan Ratu, karena merupakan GI pembangkit dimana di setiap pembangkit, trafo GT, trafo SST, Trafo UAT, dan juga trafo outgoing memiliki banyak MCC. Dari kebutuhan MCC tersebut maka GI Pembangkit membutuhkan lebih banyak kapasitas baterai. Sehingga setiap gardu induk memiliki ciri khas yang berbeda dari nominal kapasitas baterai yang diperlukan Namun jika kita lihat pada GI Duri Kosambi yang merupakan GI Beban dengan kebutuhan bay yang banyak dapat disimpulkan juga GI Beban dengan menanggung beban yang cukup besar ditambah ada peralatan seperti Coupling Capacitor, Bus VT, Coupler juga ikut menambah total beban yang harus ditanggung oleh baterai juga.

Sehingga pendekatan yang kita lakukan dapat dijadikan acuan dalam menentukan kapasitas baterai tanpa melihat TPG dari owner, sifat redundant dari baterai maupun konfigurasi dalam pembagian beban VDC (load sharing). Jika kita resume bahwa untuk keperluan baterai adalah jumlah Bay (Peralatan), Konfigurasi bus sistem dan MCC yang ditanggung

4.2 Perbandingan Kualitas Bahan Baterai

4.2.1 Dasar Perkembangan Baterai

Tabel 4. 5 Perbandingan Kualitas Baterai

	Kepadatan energi	Efisiensi Pemakaian (%)	Umur Penggunaan (tahun)	Keramahan lingkungan	Keterangan
Lithium-ion	Urutan Pertama 150-250	Urutan Pertama 95	Urutan Pertama 10 - 15	Urutan Pertama (Ya)	
NaS (Sodium -sulfur)	Urutan Kedua 125-150	Urutan Kedua 75-85	Urutan Kedua 10 - 15	Urutan Kedua (Tidak)	Baterai NaS atau Sodium - Sulfur adalah sejenis baterai logam cair yang digunakan dalam aplikasi non - seluler seperti penyimpanan energi jaringan.
Baterai Flow	Urutan ketiga (60 - 80)	Urutan ketiga (70 -75)	Urutan keempat (5-10)	Urutan Keempat (Tidak)	
Ni-Cd (Nickel – Cadmium)	Urutan Keempat (40 – 60)	Urutan Keempat (60 – 80)	Urutan Ketiga (10 – 15)	Urutan Ketiga (Tidak)	
Lead – acid (Batera Timbal Asam)	Urutan Kelima (30 – 50)	Urutan Kelima (60 – 70)	Urutan Kelima (3 – 6)	Urutan Kelima (Tidak)	

SUMBER : Korea Battery Industry Association 2017 “ Energy Storage System Technology and Business Model)

Bisa kita lihat perubahan teknologi pada baterai mengalami kemajuan menuju kepadatan energi yang lebih tinggi (Tabel 4. 5). Teknologi baterai generasi berikutnya—lithium-ion, zinc-air, lithium-sulfur, lithium-air, dll. diharapkan untuk meningkatkan kerapatan energi baterai lithium sekunder (isi ulang), dan dengan harga di bawah ini \$50 per kilowatt (kW).

Aplikasi perangkat penyimpanan energi bervariasi tergantung pada waktu yang dibutuhkan untuk terhubung ke generator, pemancar, dan tempat penggunaan energi, dan tentang penggunaan energi. Black start, sebuah teknologi untuk memulai Kembali genset setelah padam tanpa mengandalkan jaringan listrik eksternal, dipasang di genset bus dan memasok energi dalam waktu 15–30 menit. Catu daya untuk mempertahankan frekuensi disediakan dalam waktu seperempat jam hingga satu jam pengoperasian sistem. Catu daya untuk mempertahankan level tegangan adalah disediakan dalam interval operasi yang lebih pendek

4.2.2 Baterai pada Gardu Induk.

Baterai aliran vs. baterai lithium ion

Ada beberapa perbedaan penting yang perlu diperhatikan saat membandingkan baterai flow dengan teknologi baterai terkemuka seperti baterai lithium-ion:

➤ Keamanan

Sistem baterai aliran cukup aman karena tidak mengandung elektrolit yang mudah terbakar.

Cairan vanadium yang paling sering digunakan dalam tangki, meski langka dan mahal, juga ramah lingkungan. Karena tangki dapat ditempatkan lebih jauh dari membran sel penghantar dan power stack, mereka bahkan lebih aman.

Pemenang: Baterai flow

➤ Life-time

Jika baterai Li-ion di daur ulang setiap hari, hanya akan bertahan sekitar 8 tahun, sedangkan baterai aliran vanadium dapat bertahan hingga 30 tahun. Hal ini karena tidak diperlukan reaksi kimia fase-ke-fase dalam baterai flow.

Elektron dapat ditambahkan dan dihilangkan dari elektrolit vanadium tanpa degradasi material. Ini mengarah pada masa pakai baterai yang secara hipotetis tidak terbatas.

Pemenang: Baterai aliran

➤ Tapak

Seperti disebutkan sebelumnya, sistem baterai aliran berat dan membutuhkan tangki penyimpanan elektrolit yang cukup besar. Kapasitas penyimpanan itu memakan banyak ruang.

Baterai lithium-ion lebih ringan dan lebih portabel.

Pemenang: Baterai lithium-ion

➤ Biaya

Karena aliran baterai memiliki tingkat pengisian dan pengosongan yang relatif rendah, elektroda dan pemisah membrannya harus memiliki luas permukaan yang cukup besar. Itu mengarah pada peningkatan biaya.

Selain itu, baterai aliran membutuhkan lebih banyak pompa, pipa ledeng, dan perawatan daripada ion lithium.

Akhirnya, baterai aliran belum mencapai pematangan industri lithium-ion. Akibatnya, tidak ada skala ekonomi produksi yang dicapai dengan teknologi ini, yang akan membawa manfaat dari harga yang lebih rendah.

Pemenang: Baterai lithium-ion

➤ Kepadatan daya

Sedangkan baterai lithium-ion dapat menghasilkan energi dalam jumlah besar dalam waktu singkat (1 hingga 2 jam), baterai aliran memiliki kepadatan daya yang jauh lebih sedikit. Itu berarti mereka lebih baik dalam memberikan jumlah energi yang lebih sedikit secara konsisten dalam jangka waktu yang lebih lama (hingga 10 jam).

Baterai aliran membutuhkan tangki elektrolit besar untuk menyimpan jumlah yang sama.

Dalam proses pemeriksaan harian, untuk memastikan operasi gardu induk yang aman secara normal, itu perlu untuk memeriksa tegangan sel tunggal, menghubungkan potongan longgar dan fenomena korosi, apakah lapisan pelindung kebocoran dan deformasi atau tidak, tiang dan katup pengaman, apakah kabut asam meluap atau tidak, apakah isolasi resistensi berkurang atau suhu baterai terlalu tinggi. Pada saat yang sama, operasi dan pemeliharaan yang aman baterai sangat penting terkait dengan suhu.

4.2.3 Perbandingan Baterai Asam Timbal

Tabel 4. 6 Tabel Gangguan dan perlakuan baterai VRLA

Multifungsi secara umum	Fenomena Abnormal	Metode saat terjadi kendala
Biaya lebih	1. Tegangan statis rendah 2. Waktu kerja yang singkat	1. Disesuaikan / Periksa pengisi dayanya 2. Isi ulang kembali baterai / sesuaikan system pengisian dayanya 3. Mengganti sel baterai
Pelepasan arus listrik mandiri	1. Statis self-discharge	Membersihkan kotoran dari permukaan penutup baterai

	2. Kapasitas baterai menurun	
Kelainan tegangan pada baterai	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hubung singkatkan internalnya / balikkan kutubnya 2. Pasivasi penyusutan pelat negative 3. Pengurangan biaya 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sesuaikan system pengisian daya, periksa besar muatannya 2. Monitor struktur internal baterainya apakah normal atau tidak

Sistem DC gardu induk yang ada sebagian besar beroperasi di mode inspeksi manual. Mengingat luasnya distribusi, inspeksi manual memakan waktu, efisiensi rendah. Bahkan melalui pemeriksaan manual dapat terlibat dalam sistem gardu DC dan melakukan pemantauan dan pengelolaan yang ekstensif tidak mungkin untuk memahami keadaan sebenarnya dari baterai dan mencapai evaluasi kinerja dan keamanan analisis. Jadi masa depan operasi dan pemeliharaan baterai sistem gardu DC harus dilakukan berdasarkan data pemantauan pengoperasian baterai yang memadai analisis, dan kontrol jaringan jarak jauh.

4.2.4 Perbandingan Baterai Nickel Cadmium

Gangguan dan perlakuan baterai NiCd

Keuntungan :

- Jumlah siklus yang kuat dan tinggi dengan perawatan yang tepat.
- Baterai yang dapat diisi sangat cepat dengan sedikit tekanan.
- Kinerja beban yang baik; dispensasi jika disalahgunakan.
- Umur simpan yang panjang; dapat disimpan dalam keadaan habis (kosong), perlu cat dasar sebelum digunakan.
- Penyimpanan dan transportasi sederhana; tidak mudah terganggu oleh kontrol regulasi.
- Performa suhu rendah yang bagus.
- Harga ekonomis; NiCd adalah yang terendah dalam hal biaya per siklus.
- Tersedia dalam berbagai ukuran dan opsi kinerja.

Keterbatasan :

- Energi spesifik yang relatif rendah dibandingkan dengan sistem yang lebih baru.
- Keterbatasan pada Efek memori ; membutuhkan debit penuh periodik dan dapat diremajakan.
- Kadmium adalah logam beracun. Tidak dapat dibuang di tempat pembuangan sampah.
- Self-discharge tinggi: perlu diisi ulang setelah disimpan.
- Tegangan sel rendah 1.20V membutuhkan banyak sel untuk mencapai tegangan tinggi.

Diciptakan oleh Waldemar Jungner pada tahun 1899, baterai nikel-kadmium ditawarkan beberapa keunggulan dibandingkan asam timbal, maka satu-satunya baterai isi ulang lainnya namun, bahan untuk NiCd mahal. Perkembangannya lambat, tapi pada tahun 1932, kemajuan dilakukan untuk menyimpan bahan aktif di dalam pori elektroda berlapis nikel. Perbaikan lebih lanjut terjadi pada tahun 1947 dengan menyerap gas yang dihasilkan selama pengisian daya, yang menghasilkan baterai NiCd bersegel modern. Selama bertahun-tahun, NiCd adalah pilihan baterai pilihan untuk radio dua arah, peralatan medis darurat, kamera video profesional, dan peralatan listrik. Di dalam akhir 1980-an, NiCd berkapasitas sangat tinggi mengguncang dunia dengan kapasitas itu hingga 60 persen lebih tinggi dari NiCd standar. Pengemasan lebih aktif materi ke dalam sel mencapai ini, tetapi perolehannya dibayangi oleh internal yang lebih tinggi resistensi dan mengurangi jumlah siklus.

NiCd standar tetap menjadi salah satu baterai yang paling tangguh dan pemaaf(dapat hilang memori efek - nya), dan industri penerbangan tetap setia pada sistem ini, tetapi perlu perawatan yang tepat untuk mencapainya umur panjang. NiCd, dan sebagian juga NiMH, memiliki efek memori yang menyebabkan hilangnya kapasitas jika tidak diberikan siklus debit penuh periodik. Baterai tampaknya ingat energi sebelumnya yang disampaikan dan setelah rutinitas ditetapkan

4.2.5 Perbandingan Baterai Lithium – Ion Gangguan dan perlakuan baterai Li-Ion

Keuntungan :

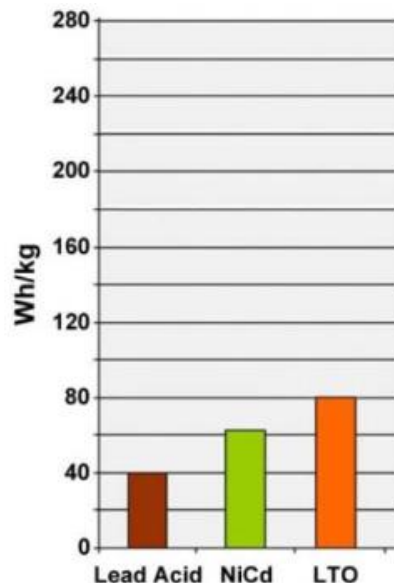
- Energi spesifik tinggi dan kemampuan beban tinggi dengan Daya Sel
- Siklus panjang dan umur simpan yang diperpanjang; bebas perawatan
- Kapasitas tinggi, resistansi internal rendah, coulombic, dan bagus efisiensinya
- Algoritme pengisian daya sederhana dan waktu pengisian daya yang cukup singkat
- Kandungan nikel membuat daur ulang menguntungkan
- Self-discharge rendah (kurang dari setengah NiCd dan NiMH)

Keterbatasan :

- Membutuhkan sirkuit perlindungan untuk mencegah pelarian termal jika stres
- Degrades pada suhu tinggi dan ketika disimpan pada tegangan tinggi
- Pengisian daya cepat tidak dimungkinkan pada suhu beku ($<0^{\circ}\text{C}$, $<32^{\circ}\text{F}$)
- Peraturan transportasi diperlukan saat pengiriman dalam jumlah besar

Pekerjaan perintis baterai litium dimulai pada tahun 1912 di bawah G.N. Lewis, tapi itu baru pada awal 1970-an baterai litium pertama yang tidak dapat diisi ulang menjadi tersedia secara komersial. Upaya untuk mengembangkan litium yang dapat diisi ulang baterai menyusul pada 1980-an tetapi gagal karena ketidakstabilan pada logam litium digunakan sebagai bahan anoda. (Baterai metal-lithium menggunakan litium sebagai anoda).

Li-ion menggunakan grafit sebagai anoda dan bahan aktif di katoda.)Lithium adalah yang paling ringan dari semua logam, memiliki elektrokimia terbesar potensial dan memberikan energi spesifik terbesar per berat. Isi ulang baterai dengan lithium-metal pada anoda bisa memberikan daya yang luar biasa tinggi kepadatan energi; namun, ditemukan pada pertengahan 1980-an bahwa bersepeda menghasilkan dendrit yang tidak diinginkan pada anoda. Partikel pertumbuhan ini menembus separator dan menyebabkan korsleting listrik. Suhu sel akan naik dengan cepat dan mendekati titik leleh lithium, menyebabkan pelarian termal, juga dikenal sebagai "ventilasi dengan nyala api". Sejumlah besar litium metalik yang dapat diisi ulang baterai yang dikirim ke Jepang ditarik kembali pada tahun 1991 setelah baterai di ponsel melepaskan gas yang menyala dan menimbulkan luka bakar di wajah seorang pria. Ketidakstabilan yang melekat pada logam litium, terutama selama pengisian daya, telah berubah penelitian untuk solusi non-logam menggunakan ion lithium. Pada tahun 1991, Sony mengkomersialkan Li-ion pertama, dan saat ini bahan kimia ini telah menjadi yang terbesar baterai yang menjanjikan dan tumbuh paling cepat di pasar. Meskipun lebih rendah secara spesifik energi dari lithium-logam, Li-ion aman, asalkan tegangan dan arus batas-batas dihormati.



Gambar 4. 15 Energi spesifik baterai berbasis timbal, nikel, dan litium.

NCA (Nikel – Kobalt – Alumunium) menikmati energi spesifik tertinggi; Namun, mangan dan fosfat lebih unggul dalam hal kekuatan spesifik dan stabilitas termal. Li-titanate memiliki masa hidup terbaik. Hasil dari Cadex.

4.2.6 Perbandingan Baterai dari Tiap Jenis

Pilihan Kimia Baterai antara lain :

- Nikel Kadmium (NiCd) - matang dan dipahami dengan baik tetapi densitas energi yang relatif rendah, NiCd digunakan di mana umur panjang, tingkat debit tinggi dan harga

ekonomis penting. Aplikasi utama adalah radio dua arah, professional kamera video profesional, instrumen biomedis, dan daya peralatan.

- Nickel-Metal Hydride (NiMH) - peningkatan bertahap dalam kapasitas melebihi NiCd dengan mengorbankan siklus yang dikurangi hidup dan arus beban yang lebih rendah. Aplikasi termasuk seluler ponsel dan komputer laptop.
- Sealed Lead Acid (SLA) - paling ekonomis untuk daya yang lebih besar aplikasi di mana berat menjadi perhatian yang lebih rendah. SLA-nya adalah pilihan utama dalam peralatan rumah sakit, kursi roda, Sistem UPS dan penerangan darurat di mana energinya rendah kepadatan kurang penting.
- Lithium Ion (Li-ion) - sistem baterai dengan pertumbuhan tercepat, Li-ion digunakan di mana kepadatan energi tinggi diperlukan dan biaya adalah sekunder. Aplikasi termasuk komputer notebook- telepon seluler dan perangkat komunikasi militer.
- Alkalin yang Dapat Digunakan Kembali - menggantikan baterai rumah tangga sekali pakai teries; cocok untuk aplikasi berdaya rendah dan berbiaya rendah. Dia siklus hidup terbatas dikompensasi oleh self-discharge rendah, membuat baterai ini ideal untuk perangkat hiburan portabel. keamanan dan senter.

Tabel 4. 7 Tabel Karakteristik baterai isi ulang yang paling umum digunakan.

	Nickel Cadmium	Nickel MH	Sealed Lead Acid (baterai Asam Timbal yang tertutup)	Lithium-ion	Alkalin yang dapat digunakan kembali
Kepadatan Energi (wh/kg)	40 - 60	60 – 80 %	30	100	80
Resistansi internal	100 – 300 mOhm *1 6V pack	200 – 800 mOhm *1 6V pack	<100mOhm*1 12V pack	300 – 500 mOhm *1 7.2V pack	200 – 2,000 mOhm*1 6V pack
siklus hidup (kapasitas menurun dari aslinya 100% - 80%)	1500 ²	500 ^{2,3}	200 – 300 ^{2,3}	500 – 1000 ³	10 ³ to 65%
Kecepatan charging (waktu)	1 – 1.5 h	2 – 4 h	8 – 16 h	3 – 4 h	2 – 3 h
Toleransi dalam kelebihan pengisian.	Menengah	rendah	Tinggi	Sangat rendah	menengah
pengosongan sendiri kapasitas	20% ⁴	30% ⁴	5%	10% ⁵	0.3%

baterai (%) pada suhu ruangan					
Tegangan nominal / cell	1.2V ⁶	1.2V ⁶	2V	3.6V	1.5V
Arus Beban	>2C	0.5 – 1 C	0.2 C ⁷	1 C or less	0.2 C
Suhu Kerja	-40 to +60 deg.C	-20 to +60 deg.C	-20 to +60 deg.C	-20 to +60 deg.C	0 to +65 deg.C
Persyaratan pemeliharaan (pelayanan maksimal)	30 – 60 hari	60 hari	3 – 6 bulan	Tidak disyaratkan	Tidak di syaratkan
Biaya baterai yang umum dipakai (US)	50.00 USS (7.5V)	70.00 USS (7.5V)	25.00 USS (6V)	100.00 USS (7.2V)	5.00 USS (9 V)
Biaya tipa siklus baterai	0.04 USS	0.14 USS	0.10 USS	0.10 – 0.20 USS	0.50 USS
Penggunaan muncul di komersial sejak (tahun)	1950	1990	1970	1991	1992

Keterangan Tabel

1. Resistansi internal paket baterai bervariasi menurut peringkat sel, usia, dan jumlah sel yang terhubung secara seri.
2. Siklus hidup didasarkan pada baterai yang menerima perawatan rutin. Gagal menerapkan siklus debit penuh periodik mungkin
3. mengurangi siklus hidup dengan faktor tiga pada NiCd.
4. Siklus hidup didasarkan pada kedalaman debit. Pelepasan dangkal memberikan lebih banyak siklus daripada pelepasan dalam.
5. Pelepasan sendiri paling tinggi setelah 24 jam pertama, kemudian berkurang. NiCd melepaskan 10% dalam 24 jam pertama
6. turun menjadi sekitar 10% setiap 30 hari sesudahnya. Self-discharge meningkat dengan suhu dan usia yang lebih tinggi.
7. Sirkuit perlindungan internal biasanya mengkonsumsi 3% per bulan.
8. Beberapa baterai NiCd dan NiMH didasarkan pada 1,25V per sel. Tidak ada perbedaan di antara sel-sel; itu sederhana dalam sebuah metode penilaian.
9. Mampu arus beban berdenyut hingga 1 siklus.

10. Berlaku hanya untuk debit; kisaran suhu pengisian daya lebih terbatas.
11. Pemeliharaan dalam bentuk topping charge disarankan.
12. Berasal dari harga baterai dibagi dengan siklus hidup. Belum termasuk biaya listrik dan charger.

Pemeliharaan Baterai Menurut Tabel 4. 7, NiCd memiliki waktu pengisian daya terpendek, memberikan arus beban tertinggi dan menawarkan biaya terendah per-siklus, tetapi paling menuntut persyaratan Latihan untuk mencegah "memori". Apakah memori masih menjadi masalah? Kata memori awalnya berasal dari memori siklik, artinya baterai NiCd dapat mengingat berapa banyak pelepasan yang diperlukan pada debit. Perbaikan dalam teknologi baterai memiliki hampir menghilangkan fenomena ini. Masalah dengan baterai NiCd modem tidak begitu banyak memori siklik tetapi efek dari pembentukan kristal. Namun, dalam kebanyakan kasus, ada kombinasi keduanya fenomena (mulai sekarang ketika memori disebutkan kami mengacu pada pembentukan kristal). Bahan aktif baterai NiCd hadir dengan halus kristal terbagi. Dalam sel yang baik, kristal ini tetap kecil, memperoleh luas permukaan maksimum. Ketika ingatan mem-nomenon terjadi, kristal tumbuh hingga 150 kali asalnya ukuran akhir, secara drastis mengurangi luas permukaan. Hasilnya adalah tegangan depresi yang menyebabkan hilangnya kapasitas. Dalam beberapa kasus, tepi tajam dari kristal menusuk pemisah, menyebabkan self-discharge tinggi atau korsleting listrik.

Beberapa kesimpulan perbandingan baterai anatarai lain.

Tabel 4. 8 Kesimpulan Keuntungan Baterai Tiap Jenis.

NO	Lithium-Ion	Lead Acid	Nickel Cadmium
1.	Baterai Lithium-Ion yang ringan dibandingkan dengan baterai isi ulang lain dari berat yang sama.	Baterai Lead Acid adalah salah satu yang terbaik dalam hal kehandalan dan kemampuan bekerja.	Baterai Nickel memiliki kapasitas yang cukup besar, kurang lebih 30% - 40% lebih tinggi.
2.	Memiliki kepadatan energi yang sangat tinggi, sehingga banyak energi dapat disimpan di dalamnya.	Mampu untuk menghadapi kondisi lambat, cepat dan pengisian daya berlebihan.	Baterai Nickel kurang rentan terhadap memori, dapat diremajakan.
3.	Biaya hilang oleh Baterai Lithium-Ion adalah serendah 5% per bulan.	Mampu untuk bertahan tidak aktif dalam jangka panjang tanpa larutan elektrolit.	Baterai Nickel ramah lingkungan, racun yang dikandung pun ringan saja.

Tabel 4. 9 Kesimpulan Kerugian Baterai Tiap Jenis.

NO	Lithium-Ion	Lead Acid	Nickel Cadmium
1.	Baterai Lithium-Ion memiliki <i>life time</i> yang pendek dari 2 sampai 3 tahun dari tanggal pembuatan.	Pada iklim panas dimana suhu rata-rata adalah 92 F, siklus hidup Baterai Lead Acid akan turun menjadi 50%.	Baterai Nickel memiliki <i>limited service life</i> , <i>deep discharge</i> mengurangi layanan hidup.
2.	Baterai Lithium-Ion mengalami degradasi lebih cepat jika mereka terkena panas dibandingkan dengan paparan suhu normal karena mereka sangat sensitive terhadap suhu tinggi.	Baterai Lead Acid meskipun relatif lebih aman dari baterai lain tetapi mereka menyebabkan banyak kerusakan lingkungan pada skala pendek.	Baterai Nickel membutuhkan algoritma biaya yang kompleks. Sensitif untuk menjual, karena mahal.
3.	Baterai Lithium-Ion hancur jika mereka benar-benar habis.	Baterai Lead Acid rentan terhadap korosi yang sering terjadi baik karena elektrolisis atau <i>overflowing</i> . Korosi dapat menurunkan waktu hidup baterai & harus dihindari melalui perawatan yang tepat.	Baterai Nickel tidak menyerap <i>overcharge</i> dengan baik, <i>trickle charge</i> harus tetap rendah.

4.2.7 Perhitungan Jenis Baterai

Untuk Perhitungan baterai bisa dimulai dengan melihat sistem. U(V) adalah tegangan operasi (biasanya 48 VDC atau 110 VDC) dan, terakhir, otonomi tergantung pada setiap pengembang proyek dan aplikasi. Untuk keperluan backup, aplikasi ini biasanya 2-3 hari. Kapasitas baterai harus cukup untuk memberi suplai setidaknya muatan prioritas (atau muatan total tergantung aplikasi). Baterai dapat langsung diisi oleh matahari, jaringan utama (ketika jaringan terhubung), atau genset (saat pemadaman).

➤ Perhitungan Cell Baterai untuk VRLA

Baterai 110 Vdc

Type : VRLA

Tegangan Nominal : 110 Vdc

- Maksimum : 2.4 V
- Floating : 2.23 V
- Minimum : 1.8 V

Penentuan jumlah sel harus mempertimbangkan tegangan minimum dan maksimum peralatan yang disuplai oleh baterai. Jika tegangan pada terminal peralatan terlalu tinggi dibandingkan dengan tegangan maksimum yang diperbolehkan, peralatan dapat rusak karena kelebihan tegangan. Dimana dalam menentukan jumlah cell baterai dapat dilihat dari persamaan dibawah ini

$$n = \frac{U_{MIN}}{U_{endvolt / CELL}}$$

Dimana:

U_{min} = minimum tegangan peralatan (85 % x 110 = 93.5 V)

$U_{end\ volt/Cell}$ = Tegangan baterai saat kondisi end discharge yaitu = 1.8 V

Sehingga

n = (93.5/1.8) = 52 Cells

$$n = \frac{U_{MAX}}{U_{FLOAT}}$$

Jika dilihat pada kondisi tegangan maximum baterai

Dimana

U_{max} = maximum tegangan peralatan (= 2.4 x n minimum (52) = 124.67)

U_{float} = Tegangan baterai saat kondisi end discharge yaitu = 2.23V

Sehingga

$n\ max$ = (124.67/2.23) = 56 Cells

➤ Perhitungan Cell Baterai untuk NiCD

$$n = \frac{U_{MIN}}{U_{endvolt\ CELL}}$$

Dengan :

Umin = minimum equipment voltage (85% Nominal = 99 V)

Uend volt/cell = battery end voltage after discharge (Ni Cd range 1,4–2 VDC)

Kemudian,

n = 71 sel

Number of cells required according to maximum battery voltage,

$$n = \frac{U_{MAX}}{U_{FLOAT}}$$

Dengan :

Umax = maximum voltage at any equipment required supplied battery (+10%)
= 124.67V

Ufloat = battery floating voltage

Kemudian,

n = 60 sel

From the calculation, the 90 Cells battery bank is applicable for GI Grogol II 150kV.

- Tegangan Nominal : 110 Vdc
- Tegangan Maksimum : 2 V/sel
- Tegangan Floating : 1,6 V/sel
- End Voltage : 1,4 V/sel
- Jumlah Sel : 90 Sel

➤ Perhitungan Cell Baterai untuk Li-Ion

$$n = \frac{U_{MIN}}{U_{endvolt\ CELL}}$$

Dengan :

Umin = minimum equipment voltage (95% Nominal = 104,5 V DC)

Uend volt/cell = battery end boltage after discharge (lithium range 3-4 V DC)

Kemudian,

n = 35 sel

Number of cells required according to maximum battery voltage,

$$n = \frac{U_{MAX}}{U_{FLOAT}}$$

Dengan :

Umax = maximum voltage at any equipment required supplied battery (+10%)

= 114,95 V

Ufloat = battery floating voltage

Kemudian,

n = 32 sel

From the calculation, the 32 Cells battery bank is applicable for GI Grogol II 150kV.

- Tegangan Nominal : 110 Vdc
- Tegangan Maksimum : 2 V/sel
- Tegangan Floating : 1,6 V/sel
- End Voltage : 1,4 V/sel
- Jumlah Sel : 32 Sel

BAB 5

KESIMPULAN

1. Dalam menentukan kapasitas baterai kita bisa melakukan pendekatan dengan topik yang disajikan didalam bab 4 dengan perhitungan kalkulasi jumlah peralatan dengan mempertimbangkan:
 - a) Jumlah Bay Peralatan (OHL, Trafo, Capacitor, Coupler)
 - b) Konfigurasi Bus Bar Peralatan
 - c) Jumlah MCC yang ditanggung baterai
 - d) Tipe beban konstan dan Instan Load
 - e) Safety Factor untuk segi keamanan baterai
2. Ketika terjadi penambahan peralatan pastikan jumlah beban yang ditanggung baterai dapat tercakup semua dengan melihat worst case terjadinya first trip dan first closing yang merupakan keadaan dimana terjadi lonjakan arus yang cukup tinggi untuk periode waktu tertentu
3. Perhitungan MCC bisa dilihat di gardu tersebut ada berapa MCC contoh pada pembangkit,GT,SST,UAT, dan juga untuk beban 20 KV
4. Dalam menentukan spesifikasi baterai bisa dipastikan kembali perhitungan dari topik 1 sesuai dengan perhitungan vendor.
5. Dalam kajian ini bisa digunakan untuk menghindari adanya oversuplai pada sisi batterai dengan melihat jumlah peralatan yang ditanggung
6. Bisa dilihat bahwa jenis baterai yang bisa dipakai adalah VRLA yang mempunyai jumlah yang banya, NiCd yang umum dipakai dan Li – Ion dengan teknologi terbaru.
7. Untuk Kemampuan daya berbanding ekonomis masih cukup baik dengan Li-Ion, sedangkan selanjutnya bari Ni Cd.
8. Untuk kerugian dari ciri khas baterai yaitu “memory effect” lebih baik memakai NiCD lalu VRLA.
9. Untuk VRLA selain ekonomis untuk awalnya saja karena bahan yang cukup banyak akan tetapi dari segi jumlah daya dan perawatan masih butuh biaya yang cukup banyak.
10. Untuk jumlah sel paling rendah adalah Li-Ion dan paling tinggi adalah Ni Cd.
11. Untuk kebutuhan pemakaian Gardu Induk disarankan baterai NiCd karena kombinasi dari keuntungan perawatan dan kemampuan, berbeda dengan Li-Ion harus butuh tambahan perawatan dan rangkaian penunjang yang detail dan tidak ekonomis untuk penggunaan skala besar seperti gardu induk ini.

REFERENSI

- [1] Ety Nutiasih. Ir. Prastyono Eko Pambudi, M.T. dan Sigit Priyambodo, S.T., M.T. 2017. Analisa Kapasitas Baterai Komunikasi Pada Gardu Induk 150 kV Bantul. *Jurnal Elektrikal* 4(2): 46-53.
- [2] Kuntoro Bangun Setyadji. 2021. Analisa Kapasitas Baterai Sebagai Sumber Cadangan DC Pada GI 150 kV Sronдол ULTG Semarang.
- [3] Ir. Tejo Sukandi. M.T, Nugroho. Baterai Sebagai Suplai Tegangan DC Pada GI 150 kV Kalisari I.
- [4] Andrian Nuril Ihsan. Joko, Bambang Suprianto. Tri Wrahatnolo. 2022. Analisa dan Efisiensi Kebutuhan Kapasitas Baterai 110 Volt DC *Gas Insulated Switchgear* (GIS) 150 kV Wonokromo Surabaya. *Jurnal Teknik Elektro*, 11 (3): 481-488.
- [5] L. Baptidanov, V. Tarasov, "Power Station and Sub Station", Peace Publisher, Moscow
- [6] Sunil S. Rao, "Switch Gear and Protection", Khana Publisher, New Delhi
- [7] R.T Lythall, "J&P Switchgear Book ", Butterworth and Co. Publisher, London
- [8] Modern Power Station Practice" vol. 4: Generator and Electrical Plant, Central Electricity Generating Board, Pergamon Press, 1971, ebook
- [9] Pembangkitan Energi Listrik", Djiteng Marsudi
- [10] Electrical systems analysis and design for industrial plants / Irwin Lazar
- [11] "IEEE Recommended Practice for Installation Design and Installation of Large Lead Storage Batteries for Generating Stations and Substations," in IEEE Std 484-1981 , vol., no., pp.1-10, 24 Nov. 1981, doi: 10.1109/IEEESTD.1981.7425101.
- [12] Y. Yoo, G. Jang and S. Jung, "A Study on Sizing of Substation for PV With Optimized Operation of BESS," in IEEE Access, vol. 8, pp. 214577-214585, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3040646.
- [13] Z. Taylor et al., "Customer-Side SCADA-Assisted Large Battery Operation Optimization for Distribution Feeder Peak Load Shaving," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 10, no. 1, pp. 992-1004, Jan. 2019, doi: 10.1109/TSG.2017.2757007.
- [14] X. Wu, A. J. Conejo and S. Mathew, "Optimal Siting of Batteries in Distribution Systems to Enhance Reliability," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 36, no. 5, pp. 3118-3127, Oct. 2021, doi: 10.1109/TPWRD.2020.3034095.
- [15] T. Zhang, S. Cialdea, J. A. Orr and A. E. Emanuel, "Outage Avoidance and Amelioration Using Battery Energy Storage Systems," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 52, no. 1, pp. 5-10, Jan.-Feb. 2016, doi: 10.1109/TIA.2015.2461192.
- [16] X. Dong, Z. Yuying and J. Tong, "Planning-Operation Co-Optimization Model of Active Distribution Network With Energy Storage Considering the Lifetime of

- Batteries," in IEEE Access, vol. 6, pp. 59822-59832, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2875173.
- [17] K. Lai, X. Wu and A. J. Conejo, "Co-Optimizing the Siting and Sizing of Batteries and the Siting of Isolation Devices in Distribution Systems," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 37, no. 4, pp. 2482-2491, Aug. 2022, doi: 10.1109/TPWRD.2021.3111643.
- [18] P. You, Z. Yang, Y. Zhang, S. H. Low and Y. Sun, "Optimal Charging Schedule for a Battery Switching Station Serving Electric Buses," in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 31, no. 5, pp. 3473-3483, Sept. 2016, doi: 10.1109/TPWRS.2015.2487273.
- [19] S. Karrari, N. Ludwig, G. De Carne and M. Noe, "Sizing of Hybrid Energy Storage Systems Using Recurring Daily Patterns," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 13, no. 4, pp. 3290-3300, July 2022, doi: 10.1109/TSG.2022.3156860.
- [20] SUPPO, 2014, NiMH Battery vs Li-On Battery, China: Union Suppo Battery. Oswal, Mehul, 2010,
- [21] A comparative Study of Lithium-Ion Batteries, USA: University of Southern California.
- [22] Schneider, Brian, 2012, A Guide to LiPo Batteries, USA: Roger's Hobby Center.
- [23] Albright, Greg, 2012, A comparative of Lead Acid to Lithium-Ion in Stationary Storage Applications, New York: AllCell Technologies LLC.
- [24] Buchman, Isidor, 2011, BU-203: Nickelbased Batteries, Germany: Battery University.
- [25] Buchmann, Isidor, Batteries in a Portable World, Cadex Electronics Inc., Vancouver, BC, 1997
- [26] Test results obtained from Cadex Engineering Lab.
- [27] DL/T 724-2000, "Technical specification for operation and maintenance of DC power supply for battery for power system".
- [28] Ci Song, "Energy informatization and internet-based management and its applications in distributed energy storage system", Proceedings of the CSEE, 35.14(2015):3643-3648. (in Chinese)
- [29] hen Zhuo, "The design and implementation of online monitoring system about VRLA battery", A master thesis, University of electronic science and technology of China, 2013. (in Chinese)

- [30] XU Shungang, WANG Jinping, XU Jianping, An equalizing charge control strategy to extend battery cycle life for electric vehicles, Proceedings of the CSEE, 2012, 32(3):43-48. (in Chinese)
- [31] Batteries in a Portable World: A Handbook on Rechargeable Batteries for Non-Engineers, Fourth Edition Volume: Isidor Buchmann Cadex Electronics Inc., Vancouver, BC, 2017

LAMPIRAN