

# ANALISIS SISTEM SINKRONISASI GENERATOR 2×2 MW PADA BANDAR UDARA HALUOLEO KENDARI

Barcelius Londong<sup>1</sup>, Tachrir<sup>2</sup>, Abdul Djohar<sup>3</sup> Bunyamin<sup>4</sup>, Wa Ode Zulkaidah<sup>5</sup>,

Wa Ode Siti Nur Alam<sup>6</sup> dan \*Muh. Nadzirin Anshari Nur<sup>7</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo

Copresponder Author : [nadzirin@uho.ac.id](mailto:nadzirin@uho.ac.id)

**Abstract** — Aviation is a unified system consisting of utilization of airspace. One very important facility is the provision of electric power supply. To provide electrical power supply from PLN greatly influences the supply of electrical energy at Haluoleo Kendari Airport. Electrical energy from PLN, does not always continue in its distribution, one day there will definitely be a blackout from PLN. Having a backup power supply such as a generator set with synchronized generator conditions is included to increase reliability. Conducting research on 2×2 MW Generator Synchronization System Analysis. The aim is to find out whether the generator synchronization system as a backup supply can back up the existing load. From the results of synchronizing the power flow, generator unit 1 and generator unit 2 are loaded when the PLN is cut off. So that the power used in generator unit 1 for each phase is R: 123.72 kW, S: 123.40 kW, and T: 126.14 kW, and the power used in generator unit 2 for each phase is R: 126.12 kW, S: 124.70 kW, and T: 124.15 kW. This shows that the total load used at Haluoleo Kendari Airport when the PLN cut off reached 80% with a power of 748.23 kW. Based on the results of the ETAP 12.6.0 software, the synchronization load flow analysis simulation shows the flow of current, voltage, and power in the generator. The current is 878.5 A, the voltage is 0.38 kV, and the apparent power is 578 kVA, the voltage is increased on the step up transformer 1000 kVA, the secondary output on the step up transformer is 19.114 kV, the current is 33.7 A, and the apparent power is 1117 kVA. Furthermore, the voltage is lowered on the 1250 kVA step down transformer, the secondary output is on the 0.35 kV step down transformer, the current is 1776.1 A, the real power is 915 kW, and the apparent power is 1076 kVA. With a load on Haluoleo Kendari Airport of 1110 kVA.

**Keyword** — Airport, Generator, Synchronization, Load Flow, ETAP.

**Abstrak** — Penerbangan adalah satu kesatuan sistem yang terdiri atas pemanfaatan wilayah udara. Salah satu fasilitas yang sangat penting adalah penyediaan catu daya listrik. Untuk memberikan catu daya listrik dari PLN sangat berpengaruh terhadap penyediaan energi listrik pada Bandar

Udara Haluoleo Kendari. Energi listrik dari PLN, tidak selalu continue dalam penyalurannya suatu saat pasti terjadi pemadaman dari PLN. Memiliki catu daya cadangan seperti generator set dengan kondisi generator disinkronisasi termasuk untuk menambah kehandalan. Melakukan penelitian Analisis Sistem Sinkronisasi Generator 2×2 MW. Bertujuan mengetahui apakah sistem sinkronisasi generator sebagai suplai cadangan bisa memback-up beban yang ada. Dari hasil sinkronisasi aliran daya generator unit 1 dan generator unit 2 berbeban pada saat PLN cut off. Sehingga daya terpakai pada generator unit 1 setiap fasa sebesar R: 123,72 kW, S: 123,40 kW, dan T: 126,14 kW, dan daya terpakai pada generator unit 2 setiap fasa sebesar R: 126,12 kW, S: 124,70 kW, dan T: 124,15 kW. Hal ini menunjukkan total beban terpakai Bandar Udara Haluoleo Kendari saat PLN cut off mencapai 80 % dengan daya sebesar 748,23 kW. Berdasarkan hasil *software* ETAP 12.6.0 simulasi load flow analysis sinkronisasi menunjukkan aliran arus, tegangan, dan daya pada generator. Arus sebesar 878,5 A, tegangan 0,38 kV, dan daya semu 578 kVA, tegangan di naikan pada transformator step up 1000 kVA keluaran sekunder pada transformator step up 19,114 kV, arus 33,7 A, dan daya semu 1117 kVA. Selanjutnya tegangan di turunkan pada transformator step down 1250 kVA keluaran sekunder pada trafo step down 0,35 kV, arus 1776,1 A, daya nyata 915 kW, dan daya semu 1076 kVA. Dengan beban pada Bandar Udara Haluoleo Kendari sebesar 1110 kVA.

**Kata kunci** — Bandar Udara, Generator, Sinkronisasi, Aliran daya, ETAP.

## I. PENDAHULUAN

Penerbangan adalah satu kesatuan sistem yang terdiri atas pemanfaatan wilayah udara, angkutan udara, navigasi penerbangan, keselamatan dan keamanan, lingkungan hidup, serta fasilitas penunjang dan fasilitas umum lainnya. Namun, meskipun penerbangan telah menjadi pilihan utama oleh masyarakat Indonesia, segala sesuatu yang berkaitan dengan itu perlu diadakan peningkatan dalam hal pelayanan baik di wilayah bandar udara (Terminal) maupun di pesawat udara (Air Craft). [1]

Suplai tenaga listrik merupakan sumber tenaga listrik yang di butuhkan untuk peralatan-peralatan listrik yang terdapat di rumah maupun ditempat lainnya atau untuk menggerakkan sesuatu peralatan kebutuhan lainnya. Pada bandara, banyak sekali perlengkapan listrik yang di perlukan supaya bandara mampu beroperasi dengan benar. Sistem kelistrikan bandara, ataupun jaringan listrik bandara merupakan segala suatu yang menyangkut distribusi listrik dari sumber tenaga listrik sampai ke bandara. [2]

Salah satu fasilitas yang sangat penting adalah penyediaan catu daya listrik. Hal ini menuntut adanya sumber daya listrik yang handal. Sumber tenaga listrik ini digunakan sebagai catu daya untuk penerangan seperti perkantoran bandara, terminal bandara, jalur landasan pesawat, parkir kendaraan, catu daya untuk motor-motor listrik dan penyejuk ruangan, catu daya untuk peralatan elektronika yang dipakai di perkantoran, catu daya untuk peralatan elektronika yang dipakai untuk navigasi penerbangan dan fasilitas visual aid. [3]

Suplai daya listrik dari PLN sangat berpengaruh terhadap penyediaan energi listrik pada Bandar Udara Haluoleo Kendari. Energi listrik dari PLN, tidak selalu continue dalam penyalurannya suatu saat pasti terjadi pemadaman dari PLN. Oleh karena itu untuk pensuplaian cadangan listrik sebagai back-up suplai cadangan utama yaitu genset harus sangat diperhatikan.

Dalam penelitian ini, penulis akan membahas tentang analisis sistem sinkronisasi generator dan juga menganalisis aliran daya (load flow analysis) menggunakan software ETAP.

## II. KAJIAN PUSTAKA

### A. Pengertian Sinkronisasi

Sinkronisasi adalah suatu cara untuk menghubungkan dua sumber atau lebih. Contohnya menghubungkan sebuah generator dengan generator lain setelah memenuhi syarat tertentu. Adapun tujuan dari sinkronisasi generator adalah untuk mendapatkan daya yang lebih besar, meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik.

### B. Generator Sinkron

Generator sinkron merupakan salah satu jenis generator listrik dimana terjadi proses pengkonversian energi dari energi mekanik ke energi listrik yang dihasilkan oleh putaran kumparan rotor yang memotong suatu medan elektromagnetik yang dihasilkan di stator sehingga kemudian menyebabkan timbulnya energi listrik.[4]

### C. Kerja Paralel Generator

Sinkronisasi generator adalah memparalelkan kerja dua buah generator atau lebih untuk mendapatkan daya sebesar jumlah generator tersebut dengan syarat– syarat yang telah

ditentukan. Adapun parameter–parameter yang harus dipenuhi untuk memparalelkan generator adalah sebagai berikut :

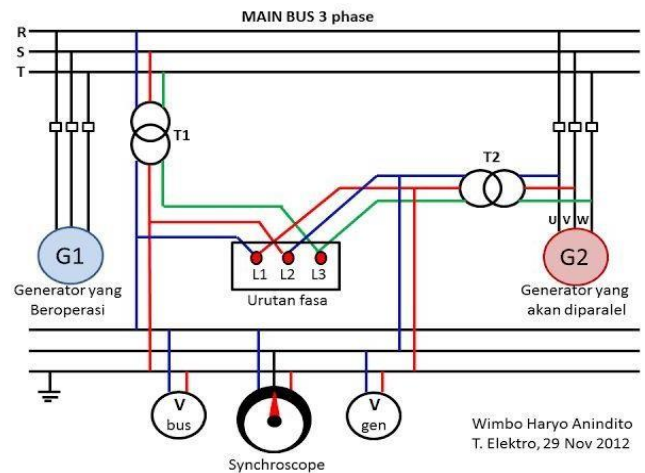
1. Urutan fasanya harus sama
2. Tegangan terminalnya harus sama
3. Mempunyai sudut fasa yang sama
4. Frekuensi kerja harus sama

### D. Metode Pemparalelan Generator

Metode sederhana yang digunakan untuk memparalelkan dua generator atau lebih adalah dengan menggunakan sinkronoskop lampu. Yang harus diperhatikan dalam metode–metode ini adalah lampu–lampu indikator harus mampu menahan dua kali tegangan antar fasa.

#### 1). Metode Hubungan Lampu Gelap

Salah satu metode sederhana untuk mesinkronkan dua generator sinkron atau mesinkronkan sebuah generator pada jaringan adalah dengan mempergunakan sistem sinkronoskop lampu gelap. Generator (G1) dihubung parallel antara (G2) dengan jaringan PLN U = R, V = S, W = T. Pada setiap fasa akan dipasang sebuah lampu L antara titik satu dan titik dua. Jika antara kedua titik itu masih ada perbedaan tegangan maka lampu L masih menyala. Bila sistem tegangan generator G1 dan G2 sistem tegangan jaringan R – S – T telah sinkron maka perbedaan tegangan antara titik satu dan titik dua adalah nol, dan ketiga lampu L tidak menyala. [12]



Gambar 1. Metode Hubungan Lampu Gelap

### E. Segitiga Daya

Daya listrik merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan baik atau tidaknya kualitas dari suatu sistem kelistrikan dalam menentukan kebutuhan konsumen. Dalam suatu sistem tenaga listrik, daya listrik dibedakan menjadi 3 jenis daya yaitu :

#### 1). Daya Nyata (Real Power)

Daya nyata atau daya listrik merupakan daya listrik yang digunakan secara langsung oleh beban/peralatan listrik untuk dikonversikan menjadi energy lain sesuai kebutuhan seperti energy panas dan energy cahaya.

Daya nyata memiliki satuan Watt (W), kilo Watt (kW) atau mega Watt (MW). Persamaan untuk menentukan daya nyata adalah :

$$\text{Sistem satu fasa : } P = V_{L-N} \cdot I \cdot \cos\phi$$

$$\text{Sistem tiga fasa : } P = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I \cdot \cos\phi$$

Dimana :

P = Daya nyata (W)

$V_{L-N}$  = Tegangan line-netral (V)

$V_{L-L}$  = Tegangan line-line (V)

I = Arus (A)

$\cos\phi$  = Sudut fasa

### 2). Daya Reaktif (Reaktif Power)

Daya reaktif merupakan daya listrik yang diperoleh beban untuk rangkaian magnetisasi (pemagnetan). Walaupun daya reaktif tidak dapat melakukan kerja akan tetapi tetap diperlukan untuk membangkitkan medan magnet pada peralatan listrik yang bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik.

Daya reaktif memiliki satuan Volt Ampere Reaktif (VAR), kilo Volt Ampere Reaktif (kVAR), mega Volt Ampere Reaktif (MVAR). Persamaan untuk menentukan daya reaktif adalah :

$$\text{Sistem satu fasa : } Q = V_{L-N} \cdot I \cdot \sin\phi$$

$$\text{Sistem tiga fasa : } Q = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I \cdot \sin\phi$$

Dimana :

Q = Daya reaktif (Var)

$V_{L-N}$  = Tegangan line-netral (V)

$V_{L-L}$  = Tegangan line-line (V)

I = Arus (A)

$\phi$  = Sudut fasa

### 3). Daya Semu (Apparent Power)

Daya semu merupakan daya total yang ditarik oleh beban atau jumlah secara vector dari aktif dan reaktif. Daya semu memiliki satuan Volt Ampere (VA), kilo Volt Ampere (kVA), mega Volt Ampere (MVA). Persamaan untuk menentukan daya semu adalah :

$$\text{Sistem satu fasa : } S = V_{L-N} \cdot I$$

$$\text{Sistem tiga fasa : } S = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I$$

Dimana :

S = Daya semu (VA)

$V_{L-N}$  = Tegangan line-netral (V)

$V_{L-L}$  = Tegangan line-line (V)

I = Arus (A)

$\phi$  = Sudut fasa

### F. Electrical Transient Analysis Program ETAP

ETAP (Electrical Transient Analysis Program) adalah sebuah software Program dibuat oleh perusahaan Operation Technology, Inc (OTI) dari tahun 1983. Yang digunakan untuk keperluan simulasi suatu jaringan tenaga listrik untuk membantu menuntaskan masalah seperti *Analysis Harmonic, Analysis Transient Stability, Analysis Load Flown (Aliran Daya), Short Circuit (ANSI dan IEC), Optimal Power Flow, Ground Grid Systems, Manuver Jaringan Sistem Transmisi dan Distribusi, Mengurangi*

*Losses untuk jaringan Transmisi dan Distribusi, Penambahan Kapasitor untuk sistem Transmisi dan Distribusi.* [14]

## III. METODE PENELITIAN

### A. Waktu Dan Tempat Penelitian

#### 1). Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan selama 5 bulan April – Agustus tahun 2022, dengan tujuan bisa menjawab dan melakukan observasi, wawancara secara langsung kepada petugas listrik Bandar Udara Haluoleo tentang rumusan masalah tentang penerapan sinkronisasi generator guna mendukung proses regasifikasi, sehingga pada penelitian ini bisa memperoleh kesimpulan atas semua masalah yang ada.

#### 2). Tempat Penelitian

Tempat dilakukannya penelitian adalah di Bandar Udara Haluoleo yang bertempat di Jalan Wolter Monginsidi, Desa Ambaupua kecamatan Ranomeeto Kabupaten Konawe Selatan.

### B. Metodologi Penelitian

Metode atau langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 1). Study Literatur

Survey lapangan, dalam hal ini survey dilakukan di lokasi penelitian, yaitu di Bandar Udara Haluoleo Kendari, Unit Listrik. Didalam survey ini dilakukan observasi non partisipan, wawancara dengan petugas dan dokumentasi. Data-Data yang akan diambil meliputi :

- a). Data tegangan, arus,  $\cos\phi$  keluaran generator.
- b). Data nameplate generator, transformator.

#### 2). Simulasi

Metode simulasi ini dilakukan dengan menggunakan software etap. Data yang diperoleh di dibandingkan perhitungan manual dan selanjutnya dilakukan analisis.

### C. Analisis Data

Analisis data yang dilakukan dengan cara hasil perhitungan manual dan melakukan menggunakan simulasi etap. Hasil dari kedua perbandingan ini selanjutnya akan diperoleh seberapa signifikannya hubungan atau perbedaan antara kedua cara perhitungan tersebut. Dan selanjutnya akan disimpulkan.



Gambar 2. Flowchart Aliran Penelitian

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bandar Udara Haluoleo Kendari salah satu bandar udara yang terbesar di Sulawesi Tenggara yang terdiri 2 lantai yang dibangun pada tahun 2010 ini menyuplai beban total 1.110 kVA yang disuplai dari PLN tegangan menengah 20 kV dan diturunkan oleh transformator step-down berkapasitas 1250 kVA. Apabila sistem utama PLN gagal, sumber listrik akan diambil alih oleh dua unit generator utama dengan kapasitas masing-masing 1000 kVA.

##### A. Transformator

Transformator yang digunakan yaitu merk UNINDO dengan kapasitas 1250 kVA. Transformator ini merupakan transformator 3 fasa yang digunakan untuk menurunkan tegangan PLN 20 kV dengan frekuensi 50 Hz menjadi 380 V dengan arus nominal sebesar 36,08 A. Gambar dan tabel spesifikasi lengkap transformator yang digunakan di Bandar Udara Haluoleo Kendari

Beberapa data yang diperoleh saat melakukan pengamatan secara langsung ke lokasi penelitian :

##### Spesifikasi Transformator Step-Down

- Merk : UNINDO
- Frekuensi : 50 Hz
- Tahun Pembuatan : 2016
- No. Seri : 163304196

- Daya Nominal
  - Primer : 1250 KVA
  - Sekunder : 1250 KVA
- Hubungan
  - Primer : D
  - Sekunder : Y
- Tegangan Nominal
  - Primer : 21000, 20500, 20000, 19500, 19000
  - Sekunder : 400
- Arus Nominal
  - Primer : 36, 08
  - Sekunder : 1804, 2
- Tegangan Hubung Singkat : 5,5 %
- Jenis Pendingin : Mineral – Oil
- Kenaikan Suhu
  - Minyak : 60
  - Kumparan : 65
- Tingkat Isolasi Dasar : 125 kV
- Jumlah Berat Total : 2810 kg
- Berat Minyak : 740 kg



Gambar 3. Bentuk Fisik Transformator Step – Down

##### Spesifikasi Transformator Step-Up

- Merk : SINTRA
- Frekuensi : 50 Hz
- Tahun Pembuatan : 2016
- No. Seri : 163307858
- Daya Nominal
  - Primer : 1000 kVA
  - Sekunder : 1000 kVA
- Hubungan
  - Primer : D
  - Sekunder : Y
- Tegangan Nominal
  - Primer : 21000, 20500, 20000, 19500, 19000
  - Sekunder : 400
- Arus Nominal
  - Primer : 28, 87
  - Sekunder : 1443, 38
- Tegangan Hubung Singkat : 5,0 %
- Jenis Pendingin : Mineral – Oil
- Kenaikan Suhu

- Minyak : 50
- Kumparan : 55
- Tingkat Isolasi Dasar : 125 kV
- Jumlah Berat Total : 2605 kg
- Berat Minyak : 665 kg



Gambar 4. Bentuk Fisik Transformator Step – Up

**B. Generator Set (Genset)**

Generator sebagai suplai back-up energi listrik yang digunakan pada Bandar Udara Haluoleo Kendari berjumlah 2 Unit dengan mesin diesel merk STAMFORD dan masing-masing generator berkapasitas 1000 kVA. Kedua generator ini dipasang dengan sistem paralel tabel spesifikasi generator.

Tabel 1. Spesifikasi Data Generator Unit 1

Spesifikasi Mesin	Spesifikasi Generator
- Merek : PERKINS	- Merek : STAMFORD
- Silinder : 8	- Tipe : LG 1100 P
- Rpm : 1500	- Daya : 1000 kVA\ 800 kW
- Operasi : 2013	- Phase : 3 Phase
- Lokasi : PH HLO	- Tegangan : 380/220 V
- Keterangan : Baik	- Frekuensi : 50 Hz
	- Cos $\phi$ : 0.8
	- Arus Eksitasi : 3,4 A
	- Tegangan Eksitasi : 58,0 V
	- Rated Arus : 1519 A

Tabel 2. Spesifikasi Data Generator Unit 2

Spesifikasi Mesin	Spesifikasi Generator
- Merek : PERKINS	- Merek : STAMFORD
- Silinder : 8	- Tipe : HC I634J1
- Rpm : 1500	- Daya : 1000 kVA\ 800 kW
- Operasi : 2021	- Tegangan : 3 Phase
- Lokasi : PH HLO	- Tegangan : 380/220 V
- Keterangan : Baik	- Frekuensi : 50 Hz
	- Cos $\phi$ : 0.8
	- Arus Eksitasi : 3,4 A
	- Tegangan Eksitasi : 58,0 V
	- Rated Arus : 1486 A

1). Data Total Beban Bandar Udara Haluoleo Kendari Data total beban yang terpasang di busbar PLN dan Genset tegangan rendah.

Tabel 3. Total Beban Tiap Panel Induk Low Voltage Main Distribution Panel (LVMDV)

No	Panel	Cos $\phi$	Daya (WATT)
1	PANEL LP-1A	0,8	37072
2	PANEL LP-1B	0,8	26800
3	PANEL LP-2A	0,8	21668
4	PANEL LP-2B	0,8	37884
5	VIP	0,8	12946
6	AHU 500	0,8	43505
7	PANEL AC-1A	0,8	23364
8	PANEL GEDUNG CARGO	0,8	18398
9	PANEL AC-2A	0,8	42120
10	PANEL AC-2B	0,8	54954
11	PANEL AC-2C	0,8	81282
12	BAGGAGE BUILDING CHECK IN COUNTER	0,8	11400
13	BAGGAGE BUILDING ARRIVAL	0,8	24000
14	ESCALATOR A.1 + A.2 + B	0,8	45000
15	ESCALATOR C	0,8	15000
16	X - RAY 1-A	0,8	1080
17	X - RAY 1- B	0,8	1080
18	X - RAY 2-A	0,8	1350
19	X - RAY 2-B	0,8	1350
20	ELBAN EQUIPMENT	0,8	7994
21	LAMPU PARKIR TERMINAL	0,8	18098
22	CUSTOMER SERVICE	0,8	10930
23	ELEVATOR DEPARTURE	0,8	22500
24	ELEVATOR ARRIVAL	0,8	13800
25	AHU 750	0,8	52259
26	KANTOR (PK)	0,8	72662
27	KANTOR BARU (UPBU)	0,8	67085
28	KANTOR LAMA (UPBU)	0,8	27011
29	AIRNAV	0,8	38962
30	A2B	0,8	1999
31	POWER HOUSE	0,8	16954
<b>TOTAL</b>			850,507 kW
			1063,313 kVA

2). Data Output Generator Saat Kondisi Tanpa Beban Dan Berbeban

Tabel 4. Data Output Generator Tanpa Beban

Item Pemeriksaan	Kode	Generator 1	Generator 2
Ampere	R	-	-
	S	-	-
	T	-	-
Voltage	F-N	223 Volt	226 Volt
	F-F	390 Volt	392 Volt
Frekuensi		50 Hz	50 Hz
PF		0,8	0,8

Tabel 5. Data Output Generator Berbeban

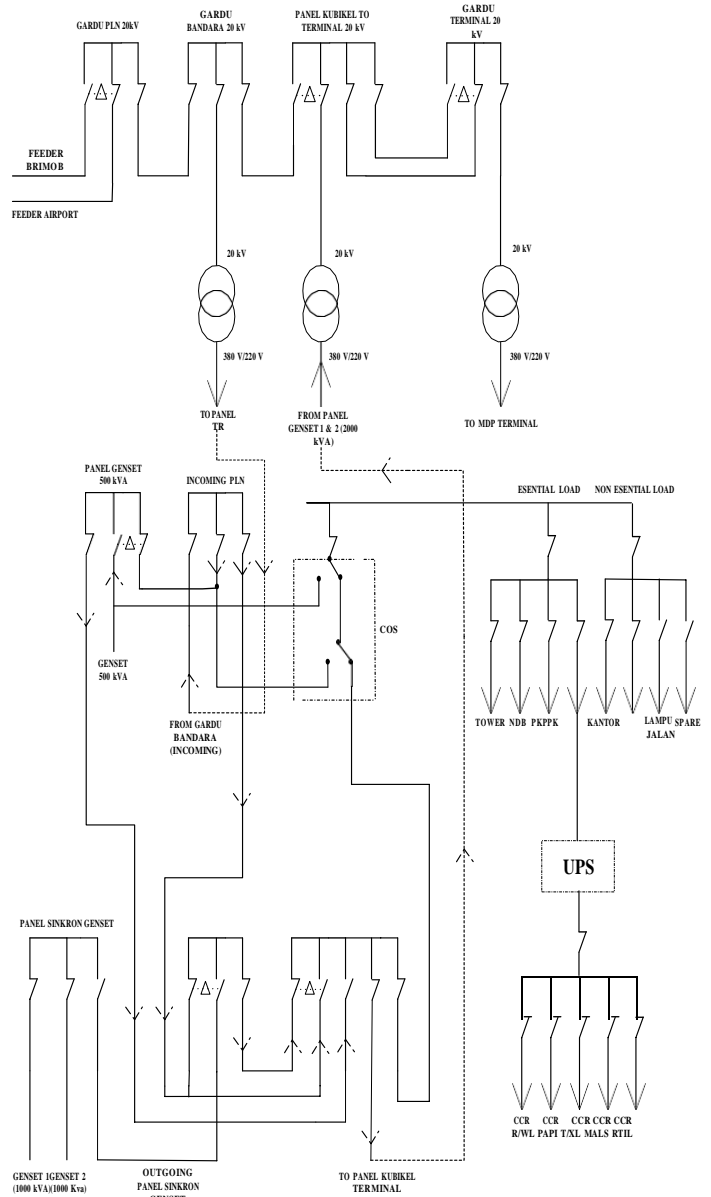
Item Pemeriksaan	Kode	Generator 1	Generator 2
Ampere	R	463,2 Ampere	-
	S	420,0 Ampere	-
	T	460,0 Ampere	-
Voltage	F-N	227 Volt	-
	F-F	396 Volt	-
Frekuensi		50 Hz	-
PF		0,8	-

Tabel 6. Daya Terpasang dan Arus Maksimum

<b>Daya Terpasang Di Jaringan</b>	<b>1.686 A 1.110 kVA</b>
<b>Arus Maksimum Pada Generator Berbeban</b>	<b>1.343 A</b>

Data pada Tabel 4 Data output generator tanpa beban diambil pada saat generator di panaskan. Pada Tabel 5 Data output generator berbeban diambil ketika terjadi pemadaman aliran daya listrik dari PLN. Sehingga pada pemadaman aliran daya listrik dari PLN, generator ON sebagai suplai cadangan untuk menyalpki kebutuhan beban pada Bandar Udara Haluoleo.

C. Gambar Umum Sistem Singel Line Diagram Generator Unit 1 Dan Unit 2 Kesistem Jaringan



Gambar 5. Single Line Diagram Generator Unit 1 dan Unit 2 Kesistem Jaringan

Single line diagram sistem distribusi energi listrik pada sistem distribusi tegangan menengah 20 kV. Sumber suplai utama energi listrik berasal dari PLN dengan daya 1110 kVA dan di back-up oleh dua unit generator set dengan kapasitas masing-masing 1000 kVA untuk menyalpki kebutuhan listrik ketika terjadi pemadaman PLN.

D. Analisis Data

1). Generator Tanpa Beban

Dari tabel 4, bahwa pada jaringan generator unit 1 tegangan yang terukur F-N 223 V, F-F 390 V dan arus yang mengalir 0 A. Pada generator unit 2 tegangan terukur F-N

226 V, F-F 392 V dan arus yang mengalir 0 A. Dan frekunsinya 50 Hz. Maka dapat diketahui bahwa daya yang ada pada beban masih kosong (nol).

Rumus perhitungan daya adalah :

$$P = \sqrt{3} V_{L-L} \times I \times \cos\phi$$

Maka di peroleh generator 1

$$P = \sqrt{3} \times 390 \times 0 \times 0,8 = 0 \text{ Watt}$$

Maka di peroleh generator 2

$$P = \sqrt{3} \times 392 \times 0 \times 0,8 = 0 \text{ Watt}$$

## 2). Generator Berbeban Ketika PLN Cut Off

Dari tabel 5, bahwa pada saat PLN padam maka generator sebagai suplai cadangan akan ON untuk menyuplai beban yang ada, pada jaringan generator unit 1 tegangan yang terukur F-N 227 V, F-F 396 V dan arus yang mengalir fasa R 463,2 A, fasa S 420 A, fasa T 460 A. Dan frekunsinya 50 Hz.

Rumus perhitungan daya adalah tiap fasa :

$$P_{kw} = \frac{\sqrt{3} \times \cos\phi \times I_R \times V_{L-L}}{1000} = \frac{\sqrt{3} \times 0,8 \times 463,2 \times 396}{1000}$$

$$R = 254.1 \text{ kW } 317,625 \text{ kVA}$$

$$P_{kw} = \frac{\sqrt{3} \times \cos\phi \times I_S \times V_{L-L}}{1000} = \frac{\sqrt{3} \times 0,8 \times 420 \times 396}{1000}$$

$$S = 230.4 \text{ kW } 288 \text{ kVA}$$

$$P_{kw} = \frac{\sqrt{3} \times \cos\phi \times I_T \times V_{L-L}}{1000} = \frac{\sqrt{3} \times 0,8 \times 460 \times 396}{1000}$$

$$T = 252,4 \text{ kW } 315,5 \text{ kVA}$$

## 3). Menentukan Kapasitas Daya Generator

Dari tabel 6 beban maksimum dimana arus maksimum yang tercatat adalah sebesar 1343 A, maka besarnya daya dapat dihitung melalui persamaan daya yaitu:

$$P_{kw} = \frac{\sqrt{3} \times \cos\phi \times I_m \times V_{L-L}}{1000} = \frac{\sqrt{3} \times 0,8 \times 1343 \times 396}{1000} = 736.92 \text{ kW}$$

Total beban tertinggi ketika suplay utama padam PLN, kondisi generator ON maka yaitu sebesar 736,92 kW. Sedangkan total beban yang terpasang pada seluruh Bandar udara Haluoleo sebesar 1686 A, dimana dayanya dapat dihitung :

$$P_{kw} = \frac{\sqrt{3} \times 0,8 \times I \times V_{L-L}}{1000}$$

$$= \frac{\sqrt{3} \times 0,8 \times 1686 \times 396}{1000} = 925,13 \text{ kW}$$

Agar daya genset yang digunakan mencapai 100%, terlebih dahulu mencari demand factor (DF) yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Demand Factor (DF)} = \frac{\text{Beban Maksimum Terukur}}{\text{Total Beban Yang Terpasang}} = \frac{736,92}{925,13} = 0,79 = 79 \%$$

Besar demand factor yang didapatkan adalah sebesar 0,79 atau 79 %. Setelah menghitung dan mendapatkan nilai demand factor, langkah selanjutnya yaitu menentukan kapasitas daya yang harus digunakan genset, sesuai dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Daya} &= \text{Demand factor} \times \text{Total beban terpasang} \\ &\times \text{Faktor keamanan trafo} \\ &= 0,79 \times 925,13 \times 125\% \\ &= 913,56 \text{ kW} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan, maka kebutuhan daya genset yang digunakan sebesar 913,56 kW.

## 4). Menentukan Rating Kinerja Generator

Pemilihan generator di Bandar Udara Haluoleo Kendari adalah standby unit generator, dengan putaran mesin yaitu 1500 rpm. Untuk menghindari kerja genset yang berat, maka diambil asumsi daya total yang akan disuplai adalah 0,8 atau 80% dari daya total generator. Besar rating generator sinkron adalah sebagai berikut:

Tabel 7. Kapasitas Daya Generator

Unit Generator	Output	
	P = Daya Aktif (kW)	S = Daya Semu (kVA)
Generator 1	800 kW	1000 kVA
Generator 2	800 kW	1000 kVA
Parallel	1600 kW	2000 kVA

$$\begin{aligned} \text{Rating kinerja generator sinkron (S)} &= \text{Kapasitas Daya} \times 2 \\ &\text{Unit} \times 0,8 \\ &= 1000 \times 2 \text{ Unit} \times 0,8 \\ &= 1600 \text{ kVA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rating kinerja generator sinkron (P)} &= \text{Kapasitas Daya} \times 2 \\ &\text{Unit} \times 0,8 \\ &= 800 \times 2 \text{ Unit} \times 0,8 \\ &= 1280 \text{ kW} \end{aligned}$$

Besar rating kinerja daya generator sinkron setelah dilakukan perhitungan adalah sebesar 1600 kVA/1280 kW, maka rating kinerja daya generator per-unit adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rating kinerja daya generator per unit (S)} &= \frac{\text{Rating generator sinkron}}{\text{Jumlah generator yang disinkron}} \\ &= \frac{1600 \text{ kVA}}{2 \text{ Unit}} \\ &= 800 \text{ kVA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rating kinerja daya generator per unit (P)} &= \frac{\text{Rating generator sinkron}}{\text{Jumlah generator yang disinkron}} \\ &= \frac{1280 \text{ kVA}}{2 \text{ Unit}} \\ &= 640 \text{ kW} \end{aligned}$$

berdasarkan perhitungan beban gedung dan rating kinerja generator sinkron tersebut maka kapasitas generator yang digunakan di Bandar Udara Haluoleo Kendari sudah memenuhi kebutuhan beban yang ada. Namun berdasarkan tabel 6 daya yang terpasang pada Bandar Udara Haluoleo Kendari tidak 100% digunakan secara keseluruhan. Kita ambil studi kasus dari tabel 6 tercatat bahwa arus maksimum terjadi yaitu sebesar 1343 A.

$$\begin{aligned} P_{kw} &= \frac{\sqrt{3} \times \text{Cos}\phi \times I_m \times V_{L-L}}{1000} \\ &= \frac{\sqrt{3} \times 0.8 \times 1343 \times 396}{1000} \\ &= 736.92 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, didapat beban yang terpakai pada Bandar Udara Haluoleo Kendari pada saat PLN padam sehingga generator ON menyuplai beban sebesar 736,92 kW. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas generator yang ada sudah dapat mensuplai kebutuhan beban gedung sehari-hari apabila terjadi pemadaman listrik PLN.

#### 5). Kinerja Sistem Kontrol Sinkronisasi Generator di Bandar Udara Haluoleo Kendari

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, kinerja unjuk sistem kontrol sinkronisasi generator bekerja secara proporsional yaitu berdasarkan beban yang digunakan. Genset akan hidup untuk mensuplai daya listrik menyesuaikan daya beban yang dipakai, selama daya beban yang dipakai dibawah 80% dari beban kapasitas 1 (satu) unit genset, maka hanya 1 (satu) unit genset saja yang hidup dan bila daya beban mencapai 80% dari kapasitas genset, maka 2 (dua) unit genset yang hidup dan jika beban kembali turun dibawah 80% maka salah satu unit genset akan padam. Maka diasumsikan daya 80% berdasarkan daya output dari genset yaitu 1000 kVA.

Rumus perhitungan daya adalah :

$$P = \frac{\sqrt{3} \times \text{Cos}\phi \times I \times V_{L-L}}{1000}$$

Maka di peroleh generator unit 1

$$\begin{aligned} P_{kw} &= \frac{\sqrt{3} \times \text{Cos}\phi \times I_R \times V_{L-L}}{1000} \\ &= \frac{\sqrt{3} \times 0.8 \times 225,49 \times 396}{1000} \\ R &= 123,72 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{kw} &= \frac{\sqrt{3} \times \text{Cos}\phi \times I_S \times V_{L-L}}{1000} \\ &= \frac{\sqrt{3} \times 0.8 \times 224,89 \times 396}{1000} \\ S &= 123,40 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{kw} &= \frac{\sqrt{3} \times \text{Cos}\phi \times I_T \times V_{L-L}}{1000} \\ &= \frac{\sqrt{3} \times 0.8 \times 229,89 \times 396}{1000} \\ T &= 126,14 \text{ kW} \end{aligned}$$

Maka di peroleh generator unit 2

$$\begin{aligned} P_{kw} &= \frac{\sqrt{3} \times \text{Cos}\phi \times I_R \times V_{L-L}}{1000} \\ &= \frac{\sqrt{3} \times 0.8 \times 229,86 \times 396}{1000} \\ R &= 126,12 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{kw} &= \frac{\sqrt{3} \times \text{Cos}\phi \times I_S \times V_{L-L}}{1000} \\ &= \frac{\sqrt{3} \times 0.8 \times 227,26 \times 396}{1000} \\ S &= 124,70 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{kw} &= \frac{\sqrt{3} \times \text{Cos}\phi \times I_T \times V_{L-L}}{1000} \\ &= \frac{\sqrt{3} \times 0.8 \times 226,26 \times 396}{1000} \\ T &= 124,15 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{total} &= \text{Generator unit 1} + \text{Generator unit 2} \\ &= 373,26 \text{ kW} + 374,97 \text{ kW} \\ &= 748,23 \text{ kW} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan daya pada setiap generator, maka di peroleh hasil daya pada generator unit 1 yaitu fasa R:123,73 kW, fasa S:123,40 kW, fasa T:126,14 kW. Hasil daya generator unit 2 yaitu fasa R:126,12 kW, fasa S:124,70 kW, fasa T: 124,15 kW. Sehingga daya total generator yaitu sebesar 748,23 kW.

Agar daya genset yang digunakan mencapai 100%, terlebih dahulu mencari demand factor (DF) yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

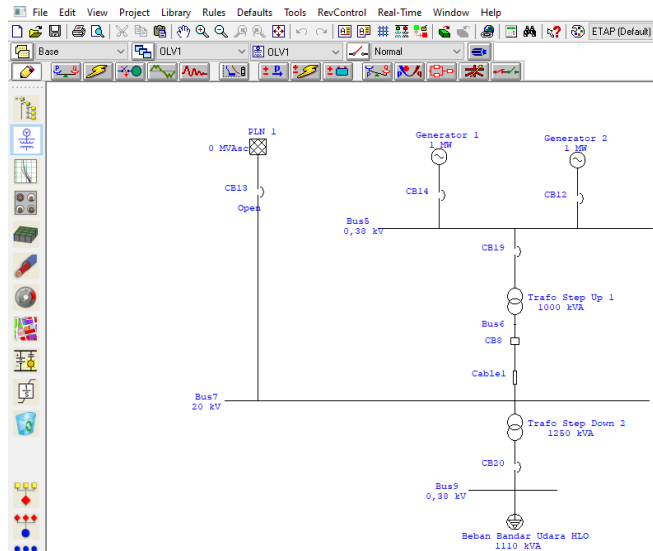
$$\begin{aligned} \text{Demand Factor (DF)} &= \frac{\text{Beban Maksimum Terukur}}{\text{Total Beban Yang Terpasang}} \\ &= \frac{748,23}{925,13} \\ &= 0,80 \\ &= 80 \% \end{aligned}$$

Besar demand factor yang didapatkan adalah sebesar 0,80 atau 80 % sehingga diasumsikan beban terpakai pada saat PLN cut off yaitu sebesar 748,23 kW.



E. Hasil Simulasi Software ETAP 12.6.0

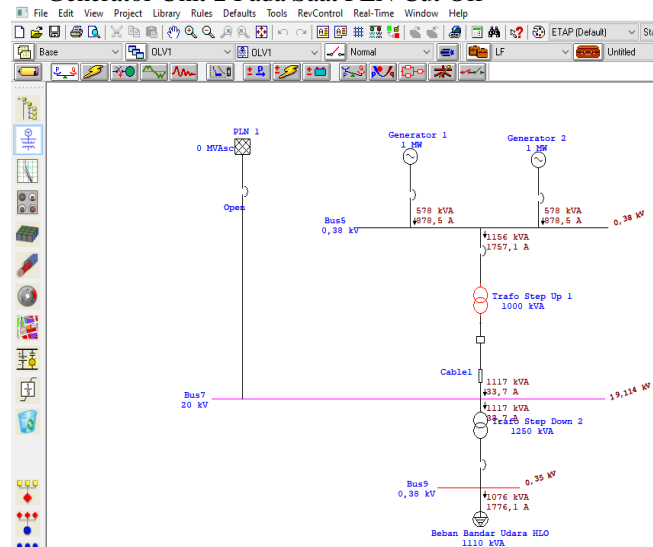
1). Single Line Diagram Sinkronisasi Generator Unit 1 Dan Generator Unit 2 Software ETAP 12.6.0



Gambar 6. Single Line Diagram ETAP 12.6.0

Simulasi yang dilakukan yaitu dengan mengamati load flow analysis kondisi arus, tegangan, dan daya output dari power grid dan generator terhadap beban. Membuat diagram single line sistem kelistrikan Bandar Udara Haluoleo Kendari menggunakan software ETAP. Pada simulasi ini beban yang digunakan simulasi beban total yang terpasang. Dimana besarnya total beban terpasang yaitu 1110 kVA dan 1156 kVA. Simulasi dilakukan dengan membuka circuit breaker atau memutus rangkaian listrik dari power grid, dan menutup circuit breaker atau menghubungkan rangkaian listrik dari sistem generator.

2). Hasil Simulasi Sinkronisasi Generator Unit 1 Dan Generator Unit 2 Pada Saat PLN Cut Off



Gambar 7. Hasil Simulasi Sinkronisasi Generator Pada Saat Berbeban Ketika PLN Cut Off

Dari simulasi load flow analysis di atas, dalam kondisi sinkronisasi generator unit 1 dan generator unit 2 menunjukkan bahwa aliran arus, tegangan, dan daya pada masing-masing generator dengan arus generator yang mengalir sebesar 878,5 A, tegangan 0,38 kV, dan daya 578 kVA, kemudian tegangan dinaikan pada transformator step up 1000 kVA sehingga keluaran sekunder pada transformator step up menjadi 19,114 kV, arus 33,7 A, dan daya 1117 kVA. Selanjutnya tegangan di turunkan pada transformator step down 1250 kVA keluaran sekunder pada trafo step down menjadi 0,35 kV, arus 1776,1 A, daya nyata 915 kW, dan daya semu 1076 kVA. Dengan beban pada Bandar Udara Haluoleo Kendari sebesar 1110 kVA.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan Permasalahan yang diangkat pada penelitian ini maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Gambar single line diagram pada sistem tenaga listrik pada Bandar Udara Haluoleo Kendari. Mencakup kebutuhan listrik Bandar Udara Haluoleo Kendari memiliki power suplai utama PLN diantaranya feeder brimob dan feeder airport dengan tegangan 20 kV. Sebagai membackup kebutuhan listrik pada Bandar Udara Haluoleo Kendari memiliki 2 unit power suplai cadangan seperti generator set dengan kapasitas daya output 1000 kVA dengan kondisi generator yang di sinkronisasi. Bandar Udara Haluoleo Kendari memiliki 3 trafo tegangan, diantaranya trafo menurunkan tegangan, misalkan tegangan 20 kV menjadi tegangan 380 volt atau 220 volt. Sedangkan trafo menaikkan tegangan, misalkan tegangan 380 volt atau 220 volt menjadi 20 kV.
2. Hasil generator unit 1 dan generator unit 2 tanpa beban pada saat PLN cut off untuk generator unit 1 tegangan terukur pada F-N sebesar 223 Volt, tegangan F-F 390 Volt, dan generator unit 2 tegangan yang mengalir sebesar 226 Volt, tegangan F-F 392 Volt, sehingga arus yang mengalir 0 Ampere daya yang ada pada beban masih kosong.
3. Hasil sinkronisasi aliran daya generator unit 1 dan generator unit 2 dengan berbeban pada saat PLN cut off tegangan terukur F-N sebesar 227 Volt, tegangan F-F 396 Volt, arus generator unit 1 yang mengalir pada setiap fasa sebesar yaitu fasa R: 225,49 Ampere, fasa S: 224,89 Ampere, dan fasa T: 229,89 Ampere. Sehingga daya yang terpakai pada generator unit 1 setiap fasa yaitu sebesar fasa R: 123,72 kW, fasa S: 123,40 kW, dan fasa T: 126,14 kW. Arus generator unit 2 yang mengalir pada setiap fasa sebesar yaitu fasa R: 229,86 Ampere, fasa S: 227,26 Ampere, dan fasa T: 226,26 Ampere. Sehingga daya yang terpakai pada generator unit 2 setiap fasa yaitu sebesar fasa R: 126,12 kW, fasa S: 124,70

kW, dan fasa T: 124,15 kW. Hal ini menunjukkan bahwa total beban terpakai pada Bandar Udara Haluoleo Kendari saat PLN cut off mencapai 80 % dengan daya sebesar 748,23 kW. Berdasarkan hasil ETAP 12.6.0 simulasi load flow analysis sinkronisasi menunjukkan aliran arus, tegangan, dan daya pada generator. Arus sebesar 878,5 A, tegangan 0,38 kV, dan daya semu 578 kVA, kemudian tegangan dinaikan pada transformator step up 1000 kVA sehingga keluaran sekunder pada transformator step up menjadi 19,114 kV, arus 33,7 A, dan daya semu 1117 kVA. Selanjutnya tegangan di turunkan pada transformator step down 1250 kVA sehingga keluaran sekunder pada trafo step down menjadi 0,35 kV, arus 1776,1 A, daya nyata 915 kW, dan daya semu 1076 kVA. Dengan beban pada Bandar Udara Haluoleo Kendari sebesar 1110 kVA.

#### B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa saran dapat di usulkan melalui penelitian ini yaitu:

1. Melakukan pemeliharaan secara berkala terhadap semua komponen, baik pengecekan air radiator, bahan bakar solar, dan air accu pada generator unit 1 dan generator unit 2 sehingga dapat mencegah atau menghindari terjadinya masalah-masalah kerusakan saat sumber utama PLN cut off.
2. Selalu melakukan evaluasi kebutuhan beban pada Bandar Udara Haluoleo Kendari secara berkala agar kapasitas generator yang digunakan selalu sesuai dengan beban Bandar Udara Haluoleo Kendari.

#### DAFTAR ACUAN

- [1] A. MANSYUR, "analisis instalasi listrik bandar udara haluoleo," vol. 1, p. 140, 2020.
- [2] M. Y. Hardianto and W. N. Adzillah, "Pemanfaatan Generator Set 500 kVA Sebagai Cadangan Generator Set 1500 kVA di Bandara Husein Sastranegara Bandung," vol. 4, no. 1, p. 5, 2021.
- [3] MHD. IRFAN DHARMAWAN, "ANALISIS PEMELIHARAAN BERKALA DENGAN KINERJA GENERATOR SET DI MAIN POWER STATION BANDAR UDARA INTERNASIONAL KUALANAMU," p. 67, 2020.
- [4] Y. S. Miftah Farhan, Rahmat Hidayat, "PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP ARUS EKSITASI GENERATOR UNIT 2 PLTMH CURUG," *J. Simetrik*, vol. 11, no. 1, pp. 388–397, 2021, [Online]. Available: <http://ejournal-polnam.ac.id/index.php/JurnalSimetrik/article/view/570/461>.
- [5] A. H. S. Sandy Wijaya, M. Tony Prasetyo, "Analisis Perangkat Sinkronisasi Otomatis Untuk Dual Generator Elektrik Berdasarkan Protokol CAN (Controller Area Network)," *J. Unimus*, vol. 1(8), pp. 1–13, 2018.
- [6] A. M. Ihsan, "PENERAPAN PARALEL GENERATOR SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK GUNA MEMENUHI KEBUTUHAN DI KAPAL SHIP 114," p. 44, 2020.
- [7] A. A. NUGROHO, "ANALISIS KINERJA AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR TERHADAP STABILITAS TEGANGAN GENERATOR SINKRON UNIT 2 PLTU SURALAYA," p. 60, 2020.
- [8] R. A. R. Alimin Nurdin, Abdul Azis, "PERANAN AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR SEBAGAI PENGENDALI TEGANGAN GENERATOR SINKRON," *J. Ampere*, vol. 3, no. 1, p. 163, 2018, doi: 10.31851/ampere.v3i1.2144.
- [9] N. N. S. MATONDANG, "ANALISIS SISTEM PEMBEBANAN PADA GENERATOR DI PT. PLN (PERSERO) PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA DIESEL TITI KUNING," *J. Ekon. Vol. 18, Nomor 1 Maret 201*, vol. 2, no. 1, pp. 41–49, 2020.
- [10] E. P. Setia Gunawan, "ANALISA SISTEM SINKRONISASI ( SUPPLY PLN DAN GENERATOR SINKRON TIGA FASE) DALAM BENTUK ALAT TRAINER LABORATORIUM," vol. 6, p. 25, 2021.
- [11] S. Catur Teguh Wibowo Aji, Muhammad Suyanto, "STUDI TENTANG SISTEM KERJA PARALEL GENERATOR SINKRON 471 MVA PADA PLTU UBP SURALAYA, SERANG, BANTEN," vol. 1, no. 2, pp. 33–43, 2014.
- [12] A. R. Banu Dwi Rahman, "RANCANG BANGUN ALAT SINKRON UNTUK MENGGABUNGKAN DUA GENERATOR TIGA FASA," vol. 3, no. 2, p. 15.
- [13] M. Z. F. Ali Mashar, Kholiq Hernawan, "PRANCANGAN SISTEM GROUNDING GENERATOR UNTUK SKEMA PROTEKSI BELITAN STATOR GENERATOR 100% MENGGUNAKAN NGT," vol. 9, no. November, pp. 87–92, 2019.
- [14] C. Kumolo, "Analisis aliran beban pada sistem tenaga listrik di kso pertamina ep – geo cepu indonesia distrik 1 kawengan menggunakan software etap 12.6," *J. Tek. Elektro*, vol. 16, no. 01, pp. 1–15.
- [15] A. K. Al Bahar and Gusti Febriyanto, "ANALISIS ALIRAN DAYA PADA GEDUNG BERTINGKAT DENGAN SUMBER TEGANGAN 20kV MENGGUNAKAN ETAP 12.6," *J. Ilm. Elektrokrisna*, vol. 7, no. 2, pp. 68–77, 2019.
- [16] P. Wahyudin, "PADA SALURAN TRANSMISI DI SULAWESI TENGGARA," pp. 1–103, 2022.