

# PENGONTROLAN TEGANGAN MEDAN GENERATOR SINKRON TERHADAP PERUBAHAN BEBAN MENGGUNAKAN *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC)*

**Tomi Sitompul<sup>1</sup>, Atmam<sup>2</sup>, David Setiawan<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning  
Jl. Yos Sudarso Km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324  
Email: [tomi07081996@gmail.com](mailto:tomi07081996@gmail.com), [atmam@unilak.ac.id](mailto:atmam@unilak.ac.id), [dsetia@unilak.ac.id](mailto:dsetia@unilak.ac.id)

## ABSTRAK

Generator sinkron merupakan mesin listrik yang mengubah energi mekanik berupa putaran menjadi energi listrik. Generator sinkron tanpa beban belum menunjukkan tegangan terminal generator sinkron sebesar 220 Volt. Dengan adanya penguatan eksitasi pada generator diperoleh tegangan *output* sebesar 220 Volt. Generator yang digunakan adalah generator sinkron satu fasa yang ada pada Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lancang Kuning. Dalam penyelesaian penelitian ini menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)* sebagai alat pengontrolan tegangan medan. Variabel yang diambil adalah arus medan, tegangan medan, arus beban, tegangan terminal dan kecepatan. Dari hasil penelitian generator sinkron tanpa beban diperoleh tegangan medan 22,07 Volt dan arus medan 0,96 Amper yang menghasilkan tegangan *output* terminal pada generator sebesar 220,4 Volt. Untuk tegangan medan 18,63 Volt dan arus medan 0,80 Amper diperoleh tegangan *output* terminal pada generator sinkron sebesar 200,2 Volt. Pengontrolan tegangan medan generator sinkron tanpa bertambahnya eksitasi berbeban resistif menggunakan PLC dengan arus medan sebesar 1,14 Amper diperoleh tegangan *output* terminal pada generator sebesar 212,0 Volt, pada arus medan 0,94 Amper menghasilkan tegangan *output* terminal pada generator sebesar 215,9 Volt. Setelah bertambahnya penguat eksitasi menggunakan PLC dengan arus medan 1,25 Amper diperoleh tegangan *output* pada generator sebesar 220,1 Volt, pada arus medan 0,99 Amper diperoleh tegangan *output* terminal pada generator 220 Volt.

**Kata kunci :** Generator Sinkron, Pengontrolan Tegangan Medan, Perubahan Beban, *Programmable Logic Controller (PLC)*.

## ABSTRACT

*A synchronous generator is an electrical machine that converts mechanical energy in the form of rotation into electrical energy. No load synchronous generator doesn't show 220 Volt on its terminal. Generator used is single phase synchronous generator in Electrical Engenerring Laboratory of Universitas Lancang Kuning. To complete this research, PLC was used as a field voltage controlling device. Its field current, field voltage, load current, terminal voltage dan speed were taken as variables. From this study of no load synchronous generator, field voltage of 22,07 Volt and field current of 0,96 Ampere were obtained that yields 220,4 Volt of output terminal voltage at the generator. For field voltage of 18,63 Volt and field current of 0,80 Ampere yields 200,2 Volt of output terminal voltage at the generator. Synchronous generator control of field voltage without increased excitation and with resistive load using PLC with 1,14 Ampere of field current yields output terminal voltage of 212 Volt at the generator. At field current of 0,94 Ampere yields output terminal voltage of 215 Volt at the generator. After increasing its excitation using PLC with field current of 1,25 Ampere yields output terminal voltage of 220,1 Volt and at 0,99 Ampere of field current yields 220 Volt of output terminal voltage at the generator.*

**Keywords :** *Synchronous Generator, Field Voltage Control, Change Load, PLC (Programmabel Logic Controller)*

## 1. PENDAHULUAN

Generator sinkron merupakan mesin listrik yang mengubah energi gerak (*mekanik*) berupa putaran menjadi energi listrik. Energi mekanik diputar oleh penggerak mula (*prime mover*) sedangkan energi listrik akan dihasilkan pada kumparan jangkar yang berada di stator.

Generator sinkron yang digerakkan melalui motor 1 fasa sebagai penggerak mula (*prime mover*), *output* generator tersebut berubah-ubah bergantung pada beban yang diberikan. Generator tanpa beban belum menunjukkan tegangan *output* terminal sebesar 220 Volt sebelum diberi tegangan medan atau arus eksitasi pada penguatan eksitasi di

generator sinkron. Setelah generator disambungkan ke beban yang dimana tegangan *output* awal nya 220 Volt pada generator akan berkurang terhadap beban yang disambungkan pada generator.

Oleh sebab itu generator sinkron membutuhkan sistem pengontrolan tegangan medan yang berfungsi untuk mengendalikan tegangan, arus dan daya *output* pada generator. Sistem kontrol yang dilakukan untuk pengontrolan tegangan medan ini menggunakan *Programmable Logic Controller*, yang dimana tegangan medan pada generator sinkron dikontrol oleh PLC.

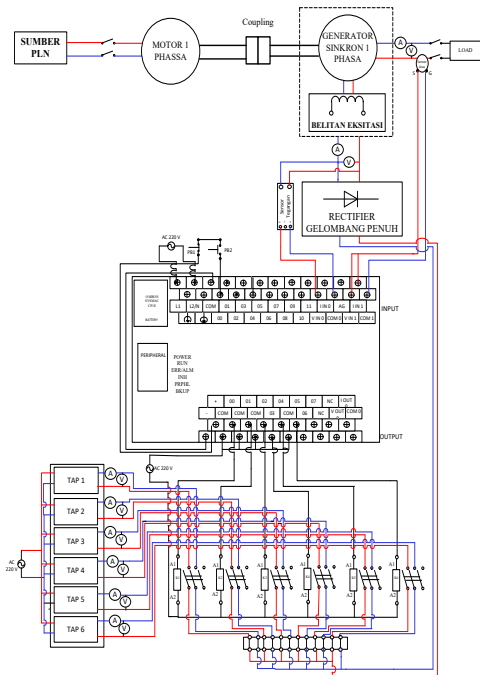
PLC (*Programmable Logic Controller*) bekerja dengan mengamati masukan yang berupa menghidupkan atau mematikan keluarannya (*logic 0*

atau 1) yang dimana *logic 0* menandakan keadaan mati atau *Normally Closed (NC)* dan *logic 1* menandakan keadaan hidup atau *Normally Open (NO)*. PLC dapat dioperasikan untuk memonitor berlangsungnya sebuah proses pengendalian yang sedang berjalan, sehingga dapat mempermudah proses pekerjaan .

**2. METODE PENELITIAN**

**Pembuatan Wiring Diagram**

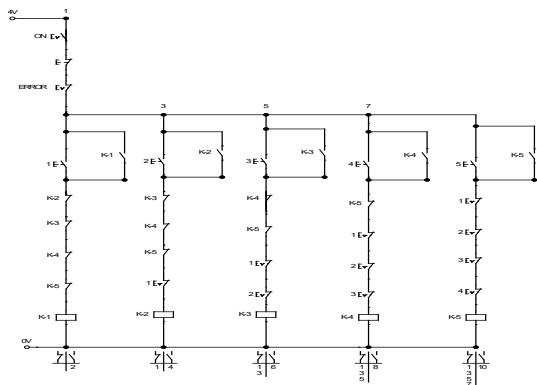
Wiring Diagram pengontrolan tegangan medan generator sinkron terhadap perubahan beban dikontrol menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)* tipe *CPIE* terlihat pada Gambar 1 :



Gambar 1. Wiring diagram generator sinkron satu phasa

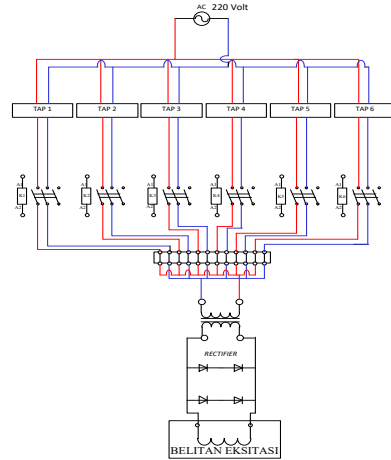
**Perancangan Rangkaian Pengawatan**

Rangkaian kontrol pada pengontrolan tegangan medan generator sinkron seperti pada Gambar 2 :



Gambar 2. Rangkaian pengontrolan tegangan medan generator sinkron tanpa beban

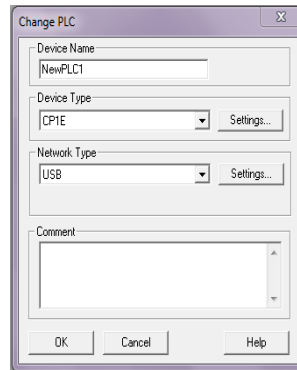
Pengawatan rangkaian daya pengontrolan tegangan medan generator sinkron seperti pada Gambar 3 :



Gambar 3. Pengawatan rangkaian daya

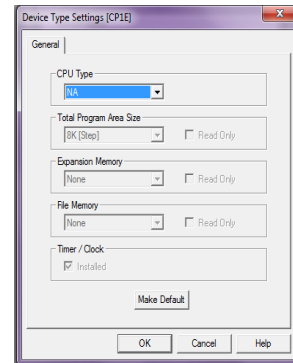
**Membuat Program PLC**

Bahasa pemrograman yang digunakan adalah *Ladder Diagram (LD)*. Sebelum membuka lembar kerja *CX-Programmer* terlebih dahulu melakukan konfigurasi perangkat keras (*hardware*). Konfigurasi tipe *Programmable Logic Controller (PLC)* yang ada didalam software *CX-Programmer* ditunjukkan pada Gambar 4 :



Gambar 4. Konfigurasi PLC Omron type CPIE

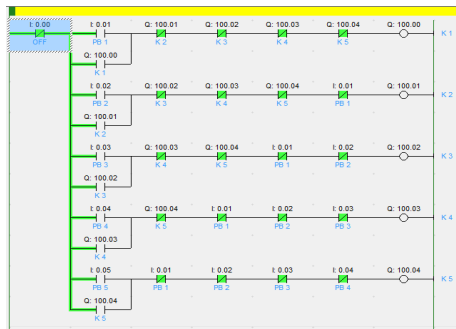
Kedua melakukan *setting type CPU* yang merupakan bagian utama dari PLC sebagai central *processor unit* terhadap sinyal data *input* terlihat pada gambar 5 :



Gambar 5. Setting CPU type

### Pengontrolan Tegangan Medan Generator Sinkron Tanpa Beban

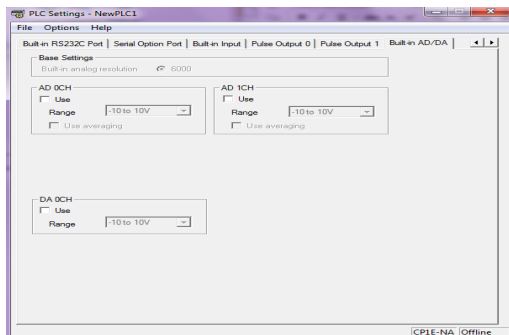
Rancangan *Ladder Diagram* (LD) metode pengontrolan tegangan medan seperti pada Gambar 6 :



Gambar 6. Rancangan *ladder diagram* (ld) pengontrolan tegangan medan generator sinkron

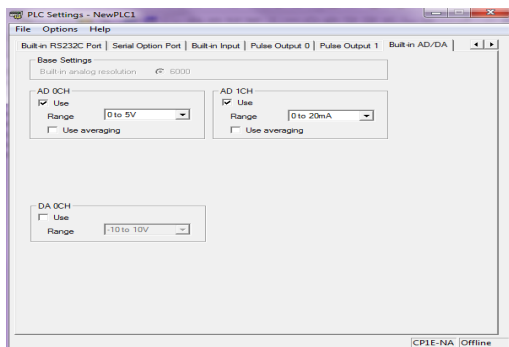
### Setting Built In Input Ladder Diagram (LD)

*Ladder Diagram* (LD) metode pengontrolan tegangan medan generator sinkron secara otomatis terhadap perubahan beban harus mengatur terlebih dahulu *Built In Input Analog* pada menu *settings* yang akan digunakan untuk pembacaan *Output Analog sensor* terlihat pada Gambar 7 :



Gambar 7. *Setting built in input analog* CP1E

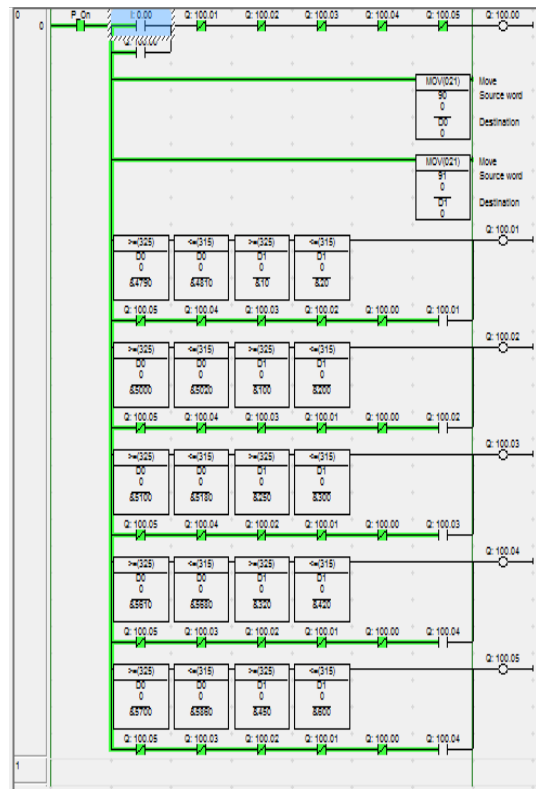
Tampilan *PLC Settings - NewPLC1* kemudian pilih *Built In Input AD/DA*, pilih *channel AD 0CH* dengan *Range 0 to 5 V* dan *AD 1CH* dengan *Range 0 to 20mA* terlihat pada Gambar 8 :



Gambar 8. *Setting built in input analog* CP1E sesuai dengan nilai sensor

### Pengontrolan Tegangan Medan Generator Sinkron secara otomatis terhadap perubahan Beban

Pada program perancangan *Ladder Diagram* (LD) metoda pengontrolan tegangan medan generator sinkron secara otomatis terhadap perubahan beban menggunakan Intruksi MOV pada *CX-Programmer* yang berfungsi sebagai pembacaan nilai *output* terhadap sensor pada saat instruksi dalam keadaan *Work Online Simulator* seperti pada Gambar 9 :



Gambar 9. Instruksi MOV saat keadaan *work online simulator*

### Generator Sinkron

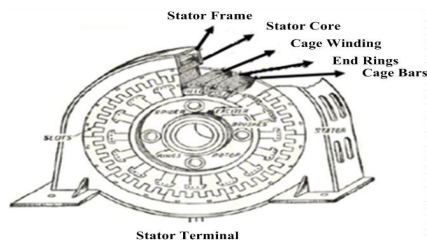
Generator adalah suatu peralatan yang mempunyai fungsi mengubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik menggunakan sistim induksi medan magnet. Perubahan energi ini dapat terjadi dikarenakan adanya perubahan pada medan magnet terhadap kumparan (belitan) jangkar distator atau tempat terjadinya tegangan induksi pada generator, karena banyaknya putaran rotor sama dengan banyaknya putaran medan magnet pada stator, maka disebut generator sinkron. Kecepatan sinkron dihasilkan oleh kecepatan putaran rotor dan kecepatan putaran kutub magnet sama dengan putaran medan magnet pada stator. Kumparan eksitasi pada generator sinkron terletak pada rotor dan kumparan jangkar terletak pada stator [1].

### Konstruksi Generator Sinkron

Dalam generator sinkron, yang mana medan magnet rotor diperoleh baik dengan membuat rotor

sebagai magnet permanen atau sebaliknya menerapkan arus searah ke rotor berlaku buat elektromagnetik. Rotor generator selanjutnya dihidupkan dengan penggerak mula (*prime mover*), menghasilkan medan magnet dapat bergerak di dalam generator. Medan magnet yang bergerak ini menginduksi setegangan di dalam gulungan stator pada generator [2].

Secara umum konstruksi generator sinkron terdiri dari dua bagian, dimana rotor bagian yang bergerak dan stator bagian yang diam. Rotor dan stator merupakan rangkaian magnetik yang bentuknya simetris dan silindris. Diantara stator dan rotor ke stator terdapat celah udara ruang yang berfungsi untuk memisahkan antara dua bagian tersebut. Konstruksi bagian rotor dan stator pada generator sinkron terdapat di Gambar 10 [3]:



Gambar 10. Konstruksi generator sinkron

### Prinsip kerja Generator Sinkron

Prinsip kerja Generator Sinkron berdasarkan induksi elektromagnetis. Setelah rotor digerakkan oleh penggerak utama (*prime mover*), kutub magnet pada rotor akan berputar. Jika kumparan kutub disuplai dengan arus searah (DC), maka akan ada medan magnet yang berputar (garis fluks) pada permukaan kutub magnet dengan kecepatan yang sama dengan putaran kutub magnet. Garis fluks magnet yang berputar akan memotong kumparan jangkar yang terletak di pembagi tegangan dan menyebabkan kumparan jangkar menghasilkan GGL atau tegangan induksi [3].

Kumparan medan yang berada di rotor dihubungkan dengan sumber penguat eksitasi yang dimana tegangan nya disuplai terlebih dahulu dari sumber PLN dan disearahkan menggunakan *rectifier*, arus searah dari *output rectifier* sehingga menyebabkan terjadinya fluks yang besarnya sama terhadap waktu. Selanjutnya, penggerak utama (*prime mover*) yang terhubung ke rotor segera dieksekusi untuk membuat rotor berputar pada kecepatan nominalnya [4], [5].

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (1)$$

Keterangan:

$n$  = Kecepatan Putar Rotor (rpm)

$p$  = Jumlah Kutub Rotor

$f$  = Frekuensi (Hz)

### Generator Tanpa Beban

Dengan diputarnya alternator pada putaran konstan dan rotornya dikasih arus medan ( $I_f$ ), tegangan ( $E_0$ ) akan terinduksi pada bagian belitan jangkar stator. Di dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, karenanya tidak menyebabkan terjadi pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya diperoleh oleh arus medan ( $I_f$ ) seperti pada Gambar 11 [4]:

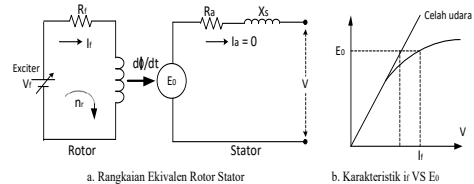
$$\text{Maka : } E_a = c \times n \phi \quad (2)$$

Keterangan :

$c$  = Konstanta mesin

$n$  = Putaran sinkron

$\phi$  = Fluks yang dihasilkan  $I_f$



Gambar 11. Rangkaian ekuivalen generator tanpa beban

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, karenanya tidak ada pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya diperoleh oleh arus medan. Apabila arus medan di rubah-ubah harganya, akan diperoleh tegangan seperti pada gambar 11 yang memunculkan kurva pemagnetan. Pada celah udara dikurva pemagnetan merupakan garis lurus [4]. Persamaan arus medan pada kumparan rotor adalah [2]:

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} \quad (3)$$

Keterangan :

$I_f$  = arus eksitasi (Amper)

$V_f$  = tegangan eksitasi (Volt)

$R_f$  = tahanan kumparan rotor (Ohm)

Tegangan induksi yang dihasilkan pada kumparan stator seperti berikut [2]:

$$E = K_f \times I_f \quad (4)$$

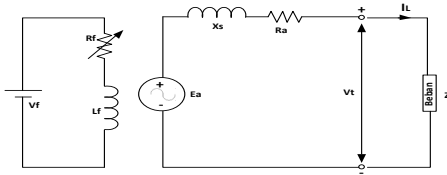
Keterangan :

$K_f$  = Konstanta kumparan rotor

$I_f$  = Arus eksitasi (Amper)

### Generator Sinkron Berbeban

Pada generator sinkron berbeban menampilkan rangkaian ekuivalen seperti pada Gambar 12 :



Gambar 12. Rangkaian ekivalen generator sinkron berbeban

Disaat berbeban nilai  $E_a$  tidak sama seperti tegangan terminal karena terjadi reaksi jangkar. Reaksi jangkar disebabkan oleh adanya arus beban yang berada pada lilitan (kumparan) jangkar. Maka untuk generator sinkron berbeban adalah [6]:

$$E = V_T + I_L \times Z \quad (5)$$

Keterangan:

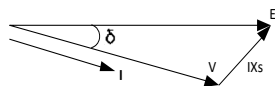
$V_T$  = Tegangan Terminal (Volt)

$I_L$  = Arus Beban (Amper)

$Z$  = Impedansi (Ohm)

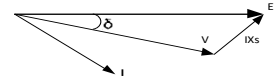
Untuk diagram vektor dari generator sinkron terhadap berbagai macam jenis beban memperlihatkan bahwa terjadinya perbedaan antara tegangan terminal  $V$  dalam keadaan berbeban dengan tegangan  $E_0$  pada saat tidak berbeban dipengaruhi selain oleh faktor kerja, juga melewati arus jangkar ( $I$ ) yang mengalir [4], [7]:

1. Diagram vektor untuk beban resistif



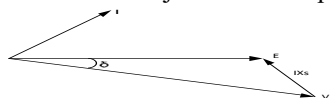
Gambar 13. Faktor kerja sama satu (1)

2. Diagram vektor untuk jenis beban induktif



Gambar 14. Faktor kerja terbelakang

3. Diagram vektor untuk jenis beban kapasitif



Gambar 15. Faktor kerja mendahului

### Pengaturan Tegangan

*Voltage regulator* ini dapat mengendalikan kuatnya eksitasi medan DC yang dicatukan pada eksitasi generator. saat tegangan *output* terminal generator turun dikarenakan perubahan beban, pengaturan tegangan akan menaikkan tegangan medan sehingga tegangan pada *output* generator kembali stabil atau normal. Sama halnya bila tegangan *output* terminal generator naik dikarena perubahan beban, pengatur mengembalikan nilai

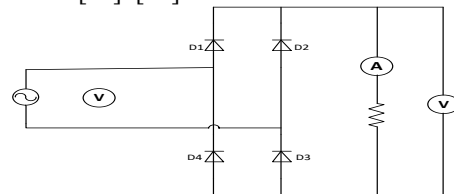
tegangan normalnya dengan mengurangi eksitasi medan [8].

*Voltage regulator* pertama kali dirancang untuk menjaga tegangan pada nilai yang diinginkan dengan berbagai variasi beban [9].

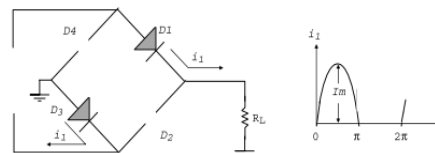
### Rectifier Satu phasa

Ada dua jenis *rectifier* satu phasa yang mengkonversikan suplai AC satu phasa menjadi tegangan DC yaitu penyearah setengah gelombang satu phasa dan penyearah gelombang penuh satu phasa. Dioda yang dianggap ideal adalah memiliki nol tegangan maju dan mundur waktu pemulihan [10]

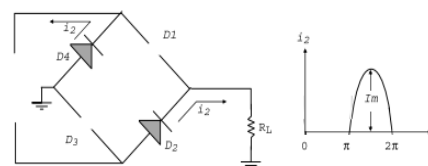
Penyearah gelombang penuh dengan sistem jembatan ini dapat menggunakan transformator arus (CT) maupun yang biasa, atau dapat juga tanpa sama sekali menggunakan transformator seperti pada Gambar 16 [11]–[13]:

Gambar 16. Rangkaian *full wave rectifier*

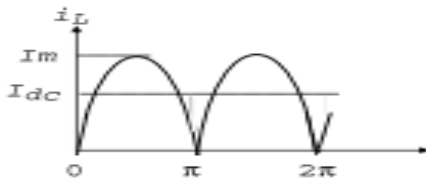
Adapun prinsip kerja penyearah gelombang penuh (*full wave rectifier*) sistem jembatan bisa dijelaskan dari Gambar 16. Pada saat *rectifier* sistem jembatan berada keadaan positif dari siklus sinyal AC yang disuplai, maka  $D_1$  dan  $D_3$  keadaan hidup (*ON*) dikarenakan mendapat bias maju, sedangkan  $D_2$  dan  $D_4$  keadaan mati (*OFF*) dikarenakan mendapat bias mundur sehingga arus  $i_1$  mengalir melalui  $D_1$ ,  $R_L$  dan  $D_3$  seperti pada Gambar 17 [11]–[13]:

Gambar 17. Rangkaian *rectifier* saat siklus positif

Sedangkan pada saat sistem jembatan memperoleh keadaan siklus negatif, maka  $D_2$  dan  $D_4$  keadaan hidup (*ON*) dikarenakan mendapat bias maju sedangkan  $D_1$  dan  $D_3$  keadaan mati (*OFF*) dikarenakan mendapat bias mundur sehingga arus  $i_2$  mengalir melalui  $D_2$ ,  $R_L$  dan  $D_4$  seperti pada Gambar 18 [11]–[13]:

Gambar 18. Rangkaian *rectifier* saat siklus negatif

Pada arah arus  $i_1$  dan  $i_2$  yang dilewati  $R_L$  seperti terlihat pada Gambar 17 dan Gambar 18 adalah sama, yaitu melewati dari ujung atas  $R_L$  terlebih dahulu baru menuju ke *ground*. Sama arus yang melewati ke beban ( $i_L$ ) merupakan gabungan dari antara arus  $i_1$  dan  $i_2$  dengan posisi menempati bagian waktu masing-masing seperti pada Gambar 19 [11], [14] :



Gambar 19. Rangkaian *rectifier* pada saat berbeban

Persamaan untuk mendapatkan nilai tegangan rata-rata ( $V_{DC-AVG}$ ) gelombang penuh adalah [10]:

$$V_{DC \text{ rata-rata}} = \frac{2 \times V_m}{\pi} \quad (6)$$

Besar nilai tegangan ( $V_{dc-rms}$ ) pada *rectifier* gelombang penuh adalah [11] :

$$V_{dc-rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (7)$$

Nilai tegangan maximum ( $V_m$ ) adalah [10]:

$$V_m = V_s \times \sqrt{2} \quad (8)$$

#### Sensor ZMCT103C

Merancang dan memproduksi sensor arus menggunakan sensor ZMCT103C dari Nanjing Zeming Electronics Co., Ltd., China. Sensornya adalah transformator inti toroidal dengan perbandingan 1000 : 1 dan keluaran arus maksimum adalah 5 mA. Sensor ZMCT103C dapat mengukur tegangan dan arus AC fasa tunggal [15], [16]. Keunggulannya antara lain ukurannya yang kecil, akurasi tinggi, kemampuan mengukur arus hingga 5A dan keluaran proporsional berupa arus bolak-balik (*Alternating Current*), seperti pada Gambar 20 [17], [18]:



Gambar 20. Sensor ZMCT103C

#### Sensor Tegangan DC

Sensor tegangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor tegangan DC yang dapat membaca hingga 25 Volt. Sensor ini memiliki dua buah Pin *Input* (+) dan (-) Yang dihubungkan pada

tegangan yang akan diukur. Pemasangannya adalah secara parallel terhadap tegangan yang akan diukur dari tegangan motor DC. Pin keluaran dari sensor ini adalah (S), (+) dan (-) yang masing-masing dihubungkan pada tegangan +5V untuk (+), *Ground* untuk (-) dan (S) adalah *output* sensor berupa tegangan *analog*, seperti pada Gambar 21 [19], [20] :



Gambar 21. Sensor tegangan DC

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Spesifikasi Data Generator

Spesifikasi generator sinkron 1 fasa yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1 :

Tabel 1. Spesifikasi generator sinkron

Uraian	Data
<i>Manufacture</i>	Shantou Electric Machinery
Negara Pembuat	China
Type	ST-2TH
Serial Number	4053025
Kapasitas	2 kW
Kecepatan	1500 rpm
Frekuensi	50/ 60 Hz
Fasa	1
Tegangan	230 V
Arus	17,4 A
Faktor Daya	1
<i>Class of Stator</i>	E
<i>Insulation Rotor</i>	B

#### Pengukuran Generator Sinkron Tidak Berbeba Berbasis PLC

Berdasarkan hasil pengukuran pengontrolan tegangan medan generator sinkron yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2 :

Tabel 2. Pengukuran generator sinkron tanpa beban

Tegangan Regulator (V)	Arus Regulator (A)	Tegangan Medan (V)	Arus Medan (A)	Tegangan Terminal (V)	Putaran (rpm)
24,52	1,06	20,31	1,01	220,4	1496
23,20	1,01	19,12	0,94	215,5	1496
22,84	1,00	18,76	0,91	210,2	1498
21,61	0,93	17,72	0,86	205,5	1498
20,70	0,90	16,93	0,83	200,2	1498

#### Pengukuran Generator Sinkron Menggunakan Beban Resistif Berbasis PLC

Berdasarkan hasil pengukuran pengontrolan tegangan medan generator sinkron tanpa bertambahnya penguat eksitasi yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3 :



Tabel 3. Pengukuran generator sinkron berbeban tanpa penguat dinaikkan

Tegangan Regulator (V)	Arus Regulator (A)	Tegangan Medan (V)	Arus Medan (A)	Tegangan Terminal (V)	Arus Beban (A)
27,79	1,29	24,25	1,22	212,0	2,12
27,03	1,20	23,40	1,17	214,7	1,69
26,06	1,13	21,42	1,14	215,9	1,26
24,95	1,07	20,79	1,08	216,0	0,84
24,00	1,02	19,92	1,00	215,9	0,41

Berdasarkan hasil pengukuran pengontrolan tegangan medan generator sinkron bertambahnya penguat eksitasi yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4 :

Tabel 4. Pengukuran generator sinkron berbeban bertambahnya penguat dinaikkan

Tegangan Regulator (V)	Arus Regulator (A)	Tegangan Medan (V)	Arus Medan (A)	Tegangan Terminal (V)	Arus Beban (A)
29,20	1,31	24,64	1,25	220,1	2,13
28,57	1,24	23,79	1,20	220,3	1,70
27,60	1,18	23,00	1,15	220,8	1,28
26,63	1,15	22,21	1,11	220,8	0,86
25,40	1,10	21,01	1,04	220	0,41

### Pengukuran Generator Sinkron Berbeban Resistif Tanpa PLC

Berdasarkan hasil pengukuran generator sinkron berbeban secara konvensional yang telah dilakukan tanpa bertambahnya penguat eksitasi pada generator sinkron dapat dilihat pada Tabel 5 :

Tabel 5. Pengukuran generator berbeban secara konvensional tanpa naik tegangan medan

Tegangan Regulator (V)	Arus Regulator (A)	Tegangan Medan (V)	Arus Medan (A)	Tegangan Terminal (V)	Arus Beban (A)
28,77	1,21	23,68	1,12	214,0	2,08
27,66	1,17	22,75	1,14	215,5	1,70
26,79	1,15	22,01	1,10	216,6	1,28
25,64	1,10	21,11	1,01	216,9	0,85
25,07	1,07	20,62	1,06	217,6	0,43

Berdasarkan hasil pengukuran generator sinkron berbeban tanpa menggunakan PLC yang telah dilakukan bertambahnya penguat eksitasi pada generator sinkron dapat dilihat pada Tabel 6 :

Tabel 6. Pengukuran generator berbeban secara konvensional bertambahnya naik tegangan medan

Tegangan Regulator (V)	Arus Regulator (A)	Tegangan Medan (V)	Arus Medan (A)	Tegangan Terminal (V)	Arus Beban (A)
30,53	1,31	25,27	1,25	220,1	2,16
28,65	1,21	23,66	1,15	220	1,70
27,82	1,18	22,93	1,11	220,1	1,31
26,66	1,13	22,03	1,04	220,7	0,86
25,54	1,11	21,02	1,02	220,1	0,42

### Kecepatan Putaran Generator Sinkron

Untuk dapat menghitung kecepatan generator sinkron satu fasa dengan menggunakan persamaan (1) sebagai berikut :

$$n = \frac{120 f}{p}$$

Maka diperoleh,

$$n = \frac{120 \times 50}{4} = \frac{6000}{4} = 1500 \text{ rpm}$$

### Perhitungan Parameter Generator Sinkron Tanpa Beban Menggunakan PLC

Untuk menghitung tegangan DC rata-rata ( $V_{DC}$  RATA-RATA) dan tegangan DC *root mean squared* ( $V_{DC-RMS}$ ) dari pengukuran pengontrolan tegangan medan pada generator sinkron tanpa beban menggunakan PLC dengan menggunakan persamaan (6), (7) dan (8) sebagai berikut:

Perhitungan Tegangan maximum ( $V_m$ ) dengan menggunakan persamaan (8) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_s &= 24,52 \text{ Volt} \\ V_m &= V_s \times \sqrt{2} \\ &= 24,52 \times \sqrt{2} \\ &= 34,67 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Perhitungan tegangan DC rata-rata dengan menggunakan persamaan (6) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{DC-AVG} &= \frac{2 \times V_m}{\pi} \\ &= \frac{2 \times 34,67}{\pi} \\ &= 22,07 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Perhitungan Tegangan DC rms dengan menggunakan persamaan (7) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{DC-RMS} &= \frac{V_{DC-AVG}}{\sqrt{2}} \\ &= \frac{22,07}{\sqrt{2}} \\ &= 15,60 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Maka untuk nilai arus medan ( $I_f$ ) dari pengontrolan tegangan medan generator sinkron tanpa beban dengan menggunakan persamaan (3) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_f &= \frac{V_f}{R_f} \\ &= \frac{20,31}{21,12} \\ &= 0,96 \text{ Amper} \end{aligned}$$

Untuk nilai konstanta dari pengontrolan tegangan medan generator sinkron tanpa beban dengan menggunakan persamaan (2) maka :

$$\begin{aligned} c &= \frac{E_a}{N \times \phi} \\ &= \frac{220,4}{1500 \times 1,02} \\ &= 0,144 \end{aligned}$$

### Generator Sinkron Berbeban Resistif Tanpa Penaik Penguatan Eksitasi Menggunakan PLC

Untuk menghitung tegangan DC rata-rata ( $V_{DC-RATA-RATA}$ ) dan tegangan DC *root mean squared* ( $V_{DC-RMS}$ ) dari pengukuran pengontrolan tegangan medan pada generator sinkron tanpa penaik penguatan eksitasinya menggunakan PLC pada berbeban resistif dengan menggunakan persamaan (6), (7) dan (8) sebagai berikut:

Perhitungan Tegangan maximum ( $V_m$ ) dengan menggunakan persamaan (8) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_s &= 27,79 \text{ Volt} \\ V_m &= V_s \times \sqrt{2} \\ &= 27,79 \times \sqrt{2} \\ &= 39,30 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Perhitungan tegangan DC rata-rata dengan menggunakan persamaan (6) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{DC-AVG} &= \frac{2 \times V_m}{\pi} \\ &= \frac{2 \times 39,30}{\pi} \\ &= 25,02 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Perhitungan Tegangan DC rms dengan menggunakan persamaan (7) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_{DC-RMS} &= \frac{V_{DC-AVG}}{\sqrt{2}} \\ &= \frac{25,02}{\sqrt{2}} \\ &= 17,69 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Maka untuk nilai arus medan ( $I_f$ ) pengontrolan tegangan medan pada generator sinkron tanpa penaik penguatan eksitasinya menggunakan PLC pada berbeban resistif dengan menggunakan persamaan (3) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_f &= \frac{V_f}{R_f} \\ &= \frac{24,25}{21,12} \\ &= 1,14 \text{ Amper} \end{aligned}$$

Dari hasil data penelitian, maka dilakukan perhitungan tegangan *output* terminal generator sinkron pada saat berbeban resistif tanpa penaik penguatan eksitasi menggunakan PLC sebagai berikut :

$$\begin{aligned} X_s &= 2\pi \times f \times L \\ &= 2\pi \times 50 \times 42,80 \text{ mH} \\ &= 13,446 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + X^2} \\ &= \sqrt{5,5^2 + 13,446^2} \\ &= \sqrt{30,25 + 180,794} \\ &= \sqrt{211,044} \\ &= 14,527 \Omega \end{aligned}$$

Maka untuk nilai hasil tegangan induksi yang diperoleh kumparan stator dapat dengan menggunakan persamaan (5) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E &= V_T + I_L \times Z \\ &= 212,0 + 2,12 \times 14,527 \\ &= 242,797 \text{ Volt} \end{aligned}$$

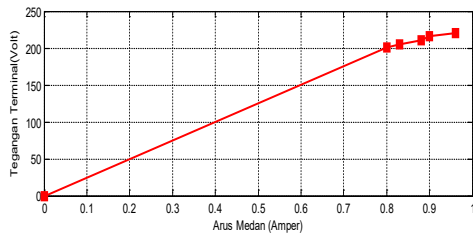
Untuk perhitungan parameter generator sinkron berbeban resistif bertambahnya penguatan eksitasi menggunakan PLC, parameter generator sinkron berbeban resistif tanpa penguatan eksitasi tidak menggunakan PLC dan parameter generator sinkron berbeban resistif bertambahnya penguatan eksitasi tanpa PLC dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan yang sama, yang telah dilakukan seperti perhitungan parameter generator sinkron berbeban resistif tanpa penaik penguatan eksitasi menggunakan PLC, maka diperoleh hasil data perhitungan parameter pengontrolan tegangan medan yang dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8 :

Tabel 7. Hasil perhitungan tegangan dan arus medan saat tanpa beban

Perhitungan	Tanpa Beban
Tegangan Medan Vdc=(volt)	22,07
	20,88
	20,56
	19,46
	18,63
Arus Medan If=(Amper)	0,96
	0,9
	0,88
	0,83
	0,8
Tegangan Output (Volt)	220,4
	215,5
	210,2
	205,5
	200,2



Hasil data perhitungan pengontrolan tegangan medan generator sinkron tanpa beban menggunakan PLC pada arus medan ( $I_f$ ) terhadap tegangan output generator ( $V_t$ ) seperti pada Gambar 22 :

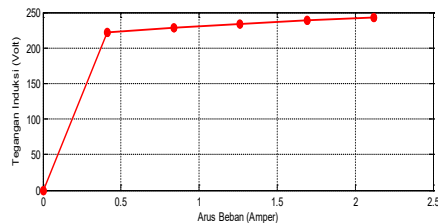


Gambar 22. Grafik perubahan arus medan ( $I_f$ ) terhadap tegangan output ( $V_t$ ) generator sinkron tanpa beban menggunakan PLC

Tabel 8. Hasil Perhitungan Tegangan Dan Arus Medan Saat Berbeban Resistif Tanpa Peningkatan Eksitasi Dan Bertambahnya Eksitasi pakai PLC

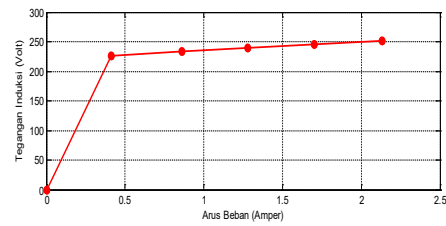
Perhitungan	Berbeban Resistif Tanpa Peningkatan Eksitasi pakai PLC	Berbeban Resistif Bertambahnya Eksitasi Pakai PLC
Tegangan Medan Vdc=(volt)	25,02	26,29
	24,34	25,72
	23,46	24,85
	22,46	23,98
	21,61	22,87
Arus Medan If=(Amper)	1,14	1,16
	1,1	1,12
	1,01	1,08
	0,98	1,05
	0,94	0,99
Tegangan Induksi (Volt)	242,797	251,042
	239,25	244,995
	234,204	239,394
	228,202	234,293
	221,856	225,956

Hasil data perhitungan pengontrolan tegangan medan generator sinkron berbeban resistif tanpa peningkatan penguatan eksitasi menggunakan PLC pada arus beban ( $I_L$ ) terhadap tegangan induksi (E) pada Gambar 23:



Gambar 23. Grafik perubahan arus beban ( $I_L$ ) terhadap tegangan induksi (E) generator sinkron berbeban resistif menggunakan PLC

Hasil perhitungan pengontrolan tegangan medan generator sinkron bertambahnya penguatan eksitasi berbeban resistif menggunakan PLC pada arus beban ( $I_L$ ) terhadap tegangan induksi (E) pada Gambar 24 :

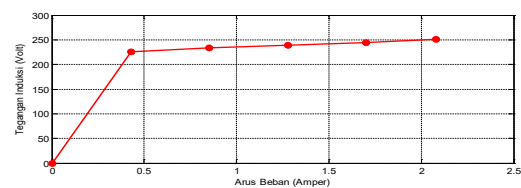


Gambar 24. Grafik perubahan arus beban terhadap tegangan induksi generator sinkron berbeban resistif menggunakan PLC

Tabel 9. Hasil perhitungan tegangan dan arus medan saat berbeban resistif tanpa peningkatan eksitasi dan bertambahnya eksitasi tanpa menggunakan PLC

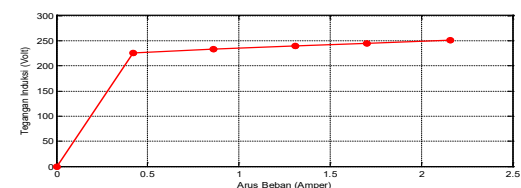
Perhitungan	Berbeban Resistif Tanpa Penguatan Eksitasi Tanpa PLC	Berbeban Resistif Bertambah Eksitasi Tanpa PLC
Tegangan Medan Vdc=(volt)	25,9	27,49
	24,9	25,8
	24,12	25,04
	23,08	24
	22,57	22,99
Arus Medan If=(Amper)	1,12	1,19
	1,07	1,12
	1,04	1,08
	0,99	1,04
	0,97	0,99
Tegangan Induksi (Volt)	244,216	251,478
	240,195	244,695
	235,194	239,13
	220,247	233,193
	223,846	226,201

Hasil perhitungan generator sinkron berbeban resistif tanpa bertambahnya penguatan eksitasi tanpa menggunakan PLC pada arus beban ( $I_L$ ) terhadap tegangan induksi (E) pada Gambar 25



Gambar 25. Grafik perubahan arus beban ( $I_L$ ) terhadap tegangan induksi (E) generator sinkron berbeban resistif tanpa PLC

Hasil perhitungan generator sinkron berbeban resistif bertambahnya eksitasi tanpa menggunakan PLC pada arus beban ( $I_L$ ) terhadap tegangan induksi (E) pada Gambar 26 :



Gambar 26. Grafik perubahan arus beban ( $I_L$ ) terhadap tegangan induksi (E) generator sinkron berbeban resistif tanpa PLC

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan dari hasil data perhitungan pengontrolan tegangan medan generator sinkron menggunakan PLC, maka dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada saat tidak berbeban tegangan medan 22,07 V dan arus medan 0,96 Amper maka diperoleh tegangan terminal pada generator sebesar 220,4 V dan pada saat tegangan medan 18,63 V, arus medan 0,80 Amper maka di peroleh tegangan *output* terminal pada generator sebesar 200,2 Volt.
2. Dari data perhitungan yang dilakukan pada tanpa bertambahnya penguatan eksitasi berbeban resistif menggunakan PLC dengan hasil Tegangan Medan 25,01 Volt dan arus medan 1,14 Amper diperoleh tegangan terminal pada generator sebesar 212,0 Volt, tegangan medan 21,60 Volt dan arus medan 0,94 Amper diperoleh tegangan *output* terminal pada generator 215,9 Volt.
3. Dari perhitungan yang dilakukan pada bertambahnya penguatan eksitasi berbeban resistif menggunakan PLC dengan hasil tegangan medan 26,28 Volt dan arus medan 1,25 Amper diperoleh tegangan terminal pada generator sebesar 220,1 Volt, tegangan medan 22,86 Volt dan Arus medan 0,99 Amper diperoleh tegangan *output* terminal pada generator 220 Volt.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Yuniarti and E. Prianto, *Pengantar Pembangkit Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Staff Site Universitas Negeri Yogyakarta, 2010.
- [2] S. J. Chapman, *Electric Machine Fundamentals*, Fifth Edit. New York: Mc Graw-Hill, 2005.
- [3] I. H. Berahim, *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Andi Offset, 1996.
- [4] Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Bandung: ITB, 1991.
- [5] Erisman, H. Eteruddin, and A. Atmam, "Evaluasi Kinerja Motor Ship Moving 3 Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Pada PLTU Tenayan Raya Pekanbaru," in *Seminar Nasional Cendekiawan ke 4*, 2018, pp. 237–242.
- [6] M. Wijaya, *Dasar-Dasar Mesin Listrik*. Jakarta: Penerbit Djambatan, 2001.
- [7] H. Eteruddin and A. A. Mohd Zin, "Reduced Dielectric Losses for Underground Cable Distribution Systems," *International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE)*, vol. 1, no. 1, pp. 37–46, Apr. 2012.
- [8] A. Nurdin, A. Azis, and R. A. Rozal, "Peranan Automatic Voltage Regulator Sebagai Pengendali Tegangan Generator Sinkron," *Jurnal Ampere*, vol. 3, no. 1, p. 163, 2018.
- [9] J. Kanniah, O. P. Malik, and H. G. S, "Excitation Control of Synchronous Generators Using Adaptive Regulators Part I - Theory and Simulation Results," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. PAS-103, no. 5, pp. 897–903, 1984.
- [10] M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook*. Florida: Academic Press, 2001.
- [11] H. D. Surjono, *Elektronika: Teori dan Penerapan*, 2nd ed. Jember: Cerdas Ulet Kreatif, 2011.
- [12] I. Batarseh and A. Harb, *Power Electronics: Circuit Analysis and Design*. Florida: Springer International Publishing, 2017.
- [13] J. S. Chitode, *Power Electronics Devices Converters & Applications*. Pune: Unicorn Publishing Group, 2020.
- [14] D. Setiawan, H. Eteruddin, and A. Arlenny, "Desain dan Analisis Inverter Satu Fasa Berbasis Arduino Menggunakan Metode SPWM," *Jurnal Teknik*, vol. 13, no. 2, pp. 128–135, 2019.
- [15] N. Rohman, Y. Christyono, and S. Sukiswo, "Perancangan Sistem Monitoring Tegangan, Daya dan Faktor Daya Pada Stop Kontak Berbasis Internet of Things," *Transient*, vol. 9, no. 3, May 2020.
- [16] A. Danniswara, Y. Christyono, and S. Sukiswo, "Perancangan Sistem Pengukuran Arus dan Proteksi Arus Lebih Pada Sistem Kontrol dan Monitoring Stop Kontak," *Transient*, vol. 9, no. 3, May 2020.
- [17] A. Amir, A. Marwanto, and D. Nugroho, "Rancang Bangun Purwarupa Alat Monitoring Dan Kontrol Beban Satu Fasa Berbasis IoT (Internet of Things)," *Transmisi*, vol. 20, no. 1, p. 29, 2018.
- [18] R. Berlianti and F. Fibriyanti, "Perancangan Alat Pengontrolan Beban Listrik Satu Fasa Jarak Jauh Menggunakan Aplikasi Blynk Berbasis Arduino Mega," *SainETIn*, vol. 5, no. 1, pp. 17–26, Dec. 2020.
- [19] H. Susanto, "Desain dan Implementasi Pemantau Tegangan dan Arus Motor DC Menggunakan Konsep Internet of Things (IoT)," *Teknika STTKD Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, vol. 5, no. 1, pp. 5–12, 2018.
- [20] H. Eteruddin, D. Setiawan, and H. P. Sitepu, "Modifikasi Sistem ATS-AMF Diesel Emergency Generator Pada PLTU dengan Metode Warming Up," *Jurnal Teknik*, vol. 14, no. 2, pp. 129–136, 2020.