

# SISTEM PENGENDALIAN GENERATOR DC EKSITASI TERPISAH MENGGUNAKAN PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER

David Setiawan<sup>1</sup>, Atmam<sup>2</sup>, Widi Setiawan<sup>3</sup>

1,2,3 Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning Pekanbaru.

Jl. Yos Sudarso Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

Email : dsetia@unilak.com, atmam@unilak.ac.id, widisetiawan1996@gmail.com,

## ABSTRAK

Generator DC merupakan suatu sistem listrik dinamis yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator DC tipe eksitasi bebas dan terpisah adalah generator yang lilitan medannya dapat dihubungkan kesumber DC sehingga sumber listrik tidak bergantung dari mesin. Tegangan DC yang dipasangkan pada kumparan medan berupa tahanan  $R_f$  akan menghasilkan arus  $I_f$  dan menimbulkan *fluks* pada kedua kutub. Tegangan induksi akan dibangkitkan pada generator. Pada saat generator DC diberi beban maka *output* generator akan mengalami *drop* tegangan. Prinsip ini menjadi dasar untuk mengontrol tegangan eksitasi sehingga dapat mengatur tegangan luaran. Sistem kontrol yang dilakukan untuk mengatur besarnya tegangan eksitasi ini menggunakan metode *Programmable Logic Controller (PLC)*, dengan menggunakan sensor arus dan sensor tegangan dc. Hasil yang diperoleh saat tegangan medan 14,01 Volt dan 15,41 Volt tegangan induksi yang dihasilkan sebesar 33,626 Volt dan 50,506 Volt. Pada saat generator menggunakan PLC dengan tegangan medan yang sama hasil tegangan induksi nya lebih besar, ketika tegangan 14,01 Volt dan 15,41 Volt tegangan induksi yang dihasilkan sebesar 34,311 Volt dan 51,587. Untuk nilai efisiensi generator tanpa menggunakan PLC dengan tegangan medan yang sama diperoleh 66,526 % dan 46,213 %, ketika generator menggunakan PLC nilai efisiensi nya pun berubah, dengan tegangan medan yang sama diperoleh nilai sebesar 62,395 % dan 48,322%.

**Kata kunci** : Generator DC, Tegangan Medan, Tegangan Induksi, Efisiensi, PLC.

## ABSTRACT

*DC generator is a dynamic electrical system that converts mechanical energy into electrical energy. A separate and free excitation type DC generator is a generator whose field winding can be connected to a DC source so that the power source does not depend on the engine. The DC voltage that is attached to the field coil in the form of resistance  $R_f$  will produce a current  $I_f$  and cause flux at both poles. The induced voltage will be generated at the generator. When the DC generator is loaded, the output generator will experience drop voltage. This principle is the basis for controlling the excitation voltage so that it can adjust the output voltage. The control system that is used to adjust the magnitude of the excitation voltage uses the method Programmable Logic Controller (PLC), using a current sensor and a dc voltage sensor. The results obtained when the field voltage is 14,01 volts and 15,41 volts, the resulting induced voltages are 33,626 volts and 50,506 volts. When the generator uses a PLC with the same field voltage the induced voltage is greater, when the voltage is 14,01 volts and 15,41 volts, the resulting induced voltages are 34,311 volts and 51,587 volts. For the efficiency value of a generator without using a PLC with the same field voltage, it was obtained 66,526% and 46,213%, when the generator using PLC the efficiency value changed, with the same field voltage obtained values of 62,395% and 48,322%.*

**Keywords**: DC Generator, Field Voltage, Induction Voltage, Efficiency, PLC

## 1. PENDAHULUAN

Generator DC merupakan suatu sistem listrik dinamis yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Berdasarkan cara memberikan *fluks* pada kumparan medannya, generator DC dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu generator penguat terpisah dan generator penguat sendiri. Generator DC tipe eksitasi bebas dan terpisah mempunyai sumber arus ataupun tegangan DC pemagnetan yang tidak

terpengaruh oleh keluaran generator itu sendiri. Tegangan DC yang dipasangkan pada kumparan medan berupa tahanan  $R_f$  akan menghasilkan arus  $I_f$  dan menimbulkan *fluks* pada kedua kutub. Tegangan induksi akan dibangkitkan pada generator. Sedangkan generator berpenguatan sendiri memperoleh arus pemagnetan dari dalam generator itu sendiri. Oleh karena itu, arus kemagnetannya terpengaruh oleh nilai-nilai tegangan dan arus yang terdapat pada generator. Karakteristik generator DC

saat diberi beban maka *output* pada generator akan mengalami *drop* tegangan. Prinsip ini menjadi dasar untuk mengendalikan tegangan medan sehingga dapat mengatur tegangan luaran. Sistem kendali yang dilakukan untuk mengatur besarnya tegangan eksitasi ini dengan menggunakan metode *Programmable Logic Controller (PLC)*. [1].

*Programmable Logic Controller (PLC)* adalah sebuah alat yang digunakan untuk menggantikan sederetan rangkaian relay yang dijumpai pada sistem kontrol proses konvensional. PLC bekerja dengan mengamati masukan (melalui sensor-sensor terkait), kemudian melakukan proses dan melakukan tindakan sesuai yang dibutuhkan, yang berupa menghidupkan atau mematikan luarannya (*logic 0* atau *1*, hidup atau mati). Pengguna membuat program yang umumnya dinamakan diagram tangga atau *ladder diagram* yang kemudian dijalankan oleh PLC yang bersangkutan. PLC serupa dengan komputer, namun bedanya komputer dioptimalkan untuk penghitungan dan penyajian data, sedangkan PLC dioptimalkan untuk pengendalian dan pengoperasian di dalam lingkungan industri [1].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya arus, tegangan, *error* dan efisiensi pada generator DC eksitasi terpisah saat kondisi beban yang berubah-ubah, menganalisa penggunaan sensor tagangan dc dan sensor arus yang tepat pada PLC, membandingkan sebelum dan sesudah menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)*.

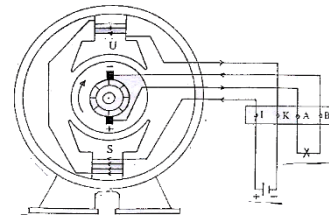
## 2. METODE PENELITIAN

### Generator DC Eksitasi Terpisah

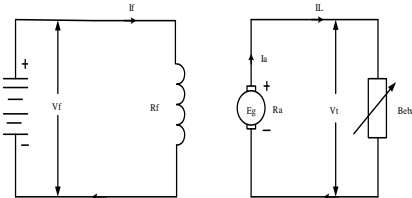
Generator DC menghasilkan listrik arus searah dalam penggunaannya, generator DC ini kadang-kadang ditempatkan secara tetap atau dalam keadaan bergerak bersama dengan bebanya. Generator DC yang ditempatkan secara tetap contohnya adalah generator yang dipergunakan untuk mengisi accu pada perusahaan pengisi accu dan generator yang ditempatkan secara bergerak dengan bebanya misalnya pada pusat-pusat tenaga listrik arus bolak-balik, dimana generator DC ini berfungsi sebagai sumber eksitasi magnet (*exciter*) pada generator utama pembangkit listrik arus bolak balik [2]. Generator DC eksitasi terpisah Mempunyai sumber arus ataupun tagangan DC pemagnetan yang tidak terpengaruh oleh keluaran generator itu sendiri. Bentuk rangkaian listrik generator dengan eksitasi terpisah seperti pada Gambar 1 [2]. Sementara rangkaian pendekatan dari Gambar 1 ini diperlihatkan pada Gambar 2.

Dari Gambar 2, maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$E_g = E_a = V_t + I_a.R_a + \Delta v \text{ si} \quad (1)$$



Gambar 1. Rangkaian Listrik Generator Eksitasi Terpisah



Gambar 2. Rangkaian Ekivalen Generator DC Eksitasi Terpisah

Dengan mengabaikan drop tegangan pada sikat [3] :

$$E_g = E_a = V_t + I_a.R_a \quad (2)$$

$$V_f = I_f .R_f \quad (3)$$

$$I_a = I_L = \frac{P_{\text{output}}}{V_t} \quad (4)$$

$$P_{\text{output}} = V_t \times I_L \quad (5)$$

### Efisiensi Generator DC

Efisiensi suatu generator merupakan perbandingan antara keluaran generator terhadap masukannya. Makin tinggi efisiensi dari sebuah generator, maka generator tersebut dikatakan makin bagus karena perbandingan daya masukan hampir sama dengan daya keluarannya. Daya keluaran dari suatu generator merupakan daya beban yang mampu dikopel generator pada terminalnya. Sedangkan daya masukan generator merupakan daya awal proses terjadinya energi pada generator. Daya awal pada generator ini adalah daya mekanik yang digunakan untuk memutar rotor generator [2] :

$$P_{\text{in}} = E_a . I_a \quad (6)$$

$$P_{\text{out}} = V_t . I_L \quad (7)$$

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \quad (8)$$

### Programmable Logic Controller (PLC)

*Program Logic Controller (PLC)* adalah sebuah alat yang digunakan untuk menggantikan rangkaian sederetan relai yang ditemukan pada sistem kontrol proses konvensional. PLC bekerja dengan cara mengamati masukan (melalui sensor-sensor terkait), kemudian melakukan tindakan sesuai yang dibutuhkan, yang berupa menghidupkan atau mematikan keluarannya (logik, 0 atau 1, hidup atau mati). Penggunaan membuat program (yang umumnya dinamakan diagram tangga atau ladder diagram). Dengan kata lain, PLC menentukan aksi apa yang harus dilakukan pada instrumen keluaran berkaitan dengan status suatu ukuran atau besaran yang diamati.

PLC banyak digunakan pada aplikasi – aplikasi industri, misalnya pada proses pengepakan, penanganan bahan, perakitan otomatis, pengaturan kecepatan motor dan lain sebagainya. Dengan kata lain, hampir semua aplikasi yang memerlukan kontrol listrik atau elektronik membutuhkan PLC [4]–[6]. Beberapa peneliti juga menggunakan Arduino, Raspberry maupun Variable Speed Drive (VSD) untuk berbagai fungsi pengendalian dan pengaturan [7]–[15].

### Sejarah PLC

PLC pertama kali diperkenalkan pada tahun 1960-an. Alasan utama perancang PLC adalah untuk menghilangkan beban ongkos perawatan dan penggantian sistem kontrol mesin berbasis relai. *Bedford Associates* mengajukan usulan yang diberi nama *MODICON (Modular Digital Controller)* untuk perusahaan-perusahaan mobil di Amerika, sedangkan perusahaan lain mengajukan sistem berbasis komputer (PDP-8). *MODICON 084* merupakan PLC pertama di dunia yang digunakan pada produk komersil.

Pada pertengahan tahun 1970-an, teknologi PLC yang dominan adalah sekuenser mesin-kondisi dan CPU berbasis *bit-slice* [16]. Prosesor AMD 2901 dan 2903 cukup populer digunakan dalam *MODICON* dan PLC A-B. Mikroprosesor konvensional kekurangan daya dalam menyelesaikan secara cepat logik PLC untuk semua PLC, kecuali PLC kecil. Setelah mikroprosesor konvensional mengalami perbaikan dan pengembangan, PLC yang besar – besar mulai banyak menggunakannya.

Pada tahun 1990an dilakukan reduksi protokol baru dan modernisasi lapisan fisik dan protokol – protokol populer yang bertahan pada tahun 1980-an. Standar terakhir (IEC 1131-3) berusaha untuk menggabungkan bahasa program PLC dibawah satu standar internasional [17]. Sekarang bisa dijumpai PLC – PLC yang dapat diprogram dalam diagram fungsi blok, daftar intruksi, C dan teks terstruktur pada saat bersamaan [4].

### Prinsip Kerja PLC

*Programable Logic Controller* merupakan peralatan elektronik yang dibangun dari mikroprosesor untuk memonitor keadaan dari peralatan *input* untuk kemudian di analisa sesuai dengan kebutuhan perencana (*programmer*) untuk mengontrol keadaan *output*. Sinyal *input* diberikan kedalam *input card*. Ada 2 jenis *input* sinyal, yaitu analog *input* sinyal dan digital *input* sinyal.

Setiap *input* mempunyai alamat tertentu sehingga untuk mendeteksinya mikroprosesor memanggil berdasarkan alamatnya. Banyaknya *input* yang dapat diproses tergantung jenis *PLC* nya. Sinyal *output* di keluarkan *PLC* sesuai dengan program yang dibuat oleh pemakai berdasarkan analisa keadaan

*input*. Ada 2 jenis *output* sinyal, yaitu analog *output* sinyal dan digital *output* sinyal.

Setiap *output card* mempunyai alamat tertentu dan diproses oleh mikroprosesor menurut alamatnya. Banyaknya *output* tergantung jenis *PLC* nya. Pada *PLC* juga dipersiapkan internal *input* dan *output* untuk proses dalam *PLC* sesuai dengan kebutuhan program. Dimana internal *input* dan *output* ini hanya sebagai *flag* dalam proses. Di dalam *PLC* juga dipersiapkan *timer* yang dapat dibuat dalam konfigurasi *on delay*, *off delay*, *on timer*, *off timer* dan lain- lain sesuai dengan programnya. Untuk memproses *timer* tersebut, *PLC* memanggil berdasarkan alamatnya. Untuk melaksanakan sebagai control sistem, *PLC* ini didukung oleh perangkat lunak yang merupakan bagian peting dari *PLC*. Program *PLC* biasanya terdiri dari 2 jenis yaitu *ladder diagram* dan instruksi dasar diagram, setiap *PLC* mempunyai perbedaan dalam penulisan program [18].

### Inverter DC to AC

*Inverter* adalah perangkat elektronika yang dipergunakan untuk mengubah tegangan DC (Direct Current) menjadi tegangan AC (*Alternating Current*). Sumber tegangan *input inverter* adalah 12/24 V DC dapat menggunakan battery , tenaga surya, atau sumber DC yang lainnya dengan *output* 220 V AC [12].



Gambar 3. Inverter DC to AC

### Sensor Arus ZMCT103C

Pada umumnya pengukuran arus membutuhkan sebuah resistor *shunt* yaitu resistor yang dihubungkan seri pada beban dan mengubah aliran arus menjadi tegangan. Tegangan tersebut biasanya diumpankan ke *current transformer* terlebih dahulu. Ketelitian dalam pembacaan sensor dioptimalkan dengan cara pemasangan komponen. Arus akan mengalir ke dalam lilitan dan akan menghasilkan medan magnet di dalam lilitan tersebut [12].

Dalam perancangan dan pembuatan alat simulasi penulis menggunakan sensor arus ZMCT103C. Sensor tersebut merupakan trafo dengan bentuk *ring-core* yang memiliki keluaran arus maksimal sebesar 5 ma. Sensor ZMCT mampu mengukur arus tegangan AC satu fase. Adapun kelebihanannya yaitu dimensi kecil, akurasi tinggi,

mampu mengukur sampai dengan 5A dan keluaran yang proporsional berupa arus AC [12].



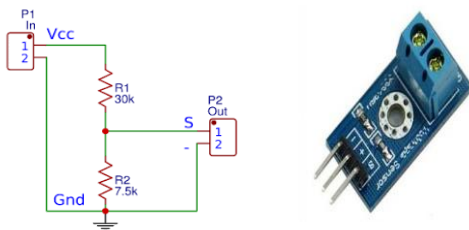
Gambar 4. Sensor Arus

Berikut adalah spesifikasi dari sensor arus ZMCT103C [19]:

- a. Dapat mengukur arus AC kurang dari 5A, sesuai analog output 5A/5ma
- b. Rated Input: 5A
- c. Rated Output: 5ma
- d. Menggunakan isolasi tegangan: 3000 V
- e. Bahan scaling: epoxy resin
- f. Suhu operasi: -40 ~ + 70 °C

**Sensor Tegangan DC**

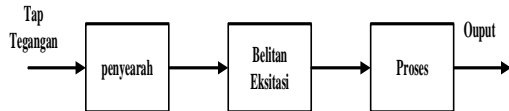
Sensor tegangan DC ini di dasarkan pada prinsip penekanan resistansi dan dapat membuat tegangan input berkurang hingga lima kali dari tegangan aslinya, maksimal pembacaan sensor ini adalah 25 V diturunkan lima kali lebih kecil menjadi 5 V [12].



Gambar 5. Sensor Tegangan DC

**Blok Diagram**

Blok diagram pengendalian tegangan medan generator dc eksitasi terpisah sebelum menggunakan *programmable logic controller (PLC)* dan sesudah menggunakan *programmable logic controller (PLC)* tipe *CPIE*, seperti pada Gambar 6 dan Gambar 7 berikut :



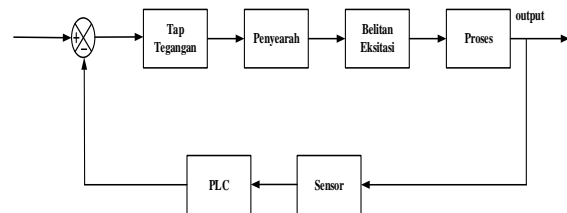
Gambar 6. Blok Diagram Generator DC Eksitasi Terpisah Sebelum Menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)*.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

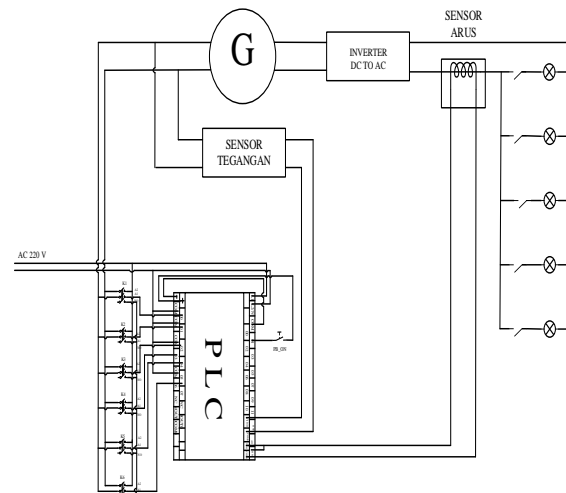
**Pengawatan Rangkaian Kendali**

Rangkaian kendali yang difungsikan untuk pengendalian tegangan medan generator DC eksitasi

terpisah terdiri dari sensor arus, sensor tegangan DC, enam kontaktor dan 1 *push button*.



Gambar 7. Blok Diagram Generator DC Eksitasi Terpisah Menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)*.



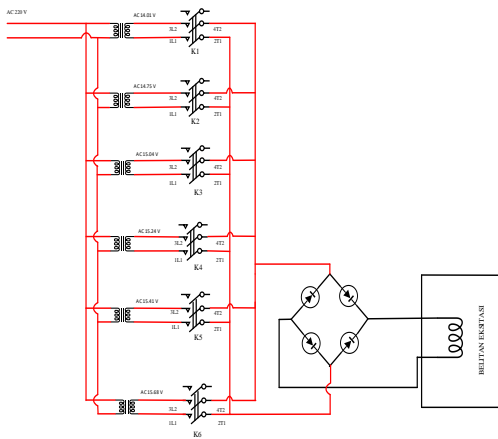
Gambar 8. Rangkaian Kendali Generator DC Eksitasi Terpisah Menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)*.

**Pengawatan Rangkaian Daya**

Sistem kerja generator DC eksitasi terpisah yang digerakan oleh penggerak mula (*prime mover*) berupa motor DC yang sudah terkopel dengan generator DC. Untuk menghasilkan tegangan *output* dari generator DC diperlukan eksitasi medan DC, Dimana eksitasi medan dari sumber tegangan satu phasa AC di salurkan ke *voltage regulator* melalui kontaktor yang di kendalikan oleh *Programmable Logic Controller (PLC)* menggunakan sensor arus dan sensor tagangan dc kemudian masuk ke penyearah semikonduktor atau oleh komutator, Tegangan yang disalurkan dari *voltage regulator* melalui kontaktor ke penyearah semikonduktor atau oleh komutator sesuai dengan kebutuhan beban, Semakin besar beban pada generator DC eksitasi terpisah maka semakin besar tegangan yang di berikan *voltage regulator* ke penyearah semikonduktor atau oleh komutator untuk di teruskan ke belitan eksitasi.

Pada saat diberi eksitasi maka mengalir arus medan ( $I_f$ ) pada kumparan rotor dan menaikkan fluksi medan magnet ( $\phi$ ) yang dihasilkan oleh kumparan stator. Maka tegangan induksi ( $E$ ) yang dihasilkan oleh kumparan stator menjadi naik dan tegangan *output* ( $V_i$ ) pun juga ikut naik.

Sebuah pengawatan rangkaian daya generator DC eksitasi terpisah menggunakan *programmable logic controller (PLC)*.



Gambar 9. Pengawatan Rangkaian Daya Generator DC Eksitasi Terpisah Menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)*.

**Rangkaian Input dan Output Programmable Logic Controller (PLC)**

Sistem pengendalian generator DC eksitasi terpisah menggunakan *programmable logic controller (PLC)* tipe CP1E, *Programmable logic controller (PLC)* merupakan perpaduan antara hardware dan software, *programmable logic controller (PLC)* akan bekerja sesuai dengan program yang diupload melalui PC atau Laptop, pemrograman dan pengiriman data program menggunakan aplikasi CX-Programmer. Rangkaian pengawatan input terdiri dari komponen sensor dan push button sedangkan output terdiri komponen kontaktor. Selanjutnya, rangkaian *input* dan *output programmable logic controller (PLC)* adalah seperti pada gambar 10 :

**Perhitungan Arus Medan Generator Beban Nol**

$$V_f = 14,01 \text{ Volt}$$

$$R_f = 77,2 \text{ Ohm}$$

Maka Arus medan ( $I_f$ ) adalah :

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{14,01 \text{ V}}{77,2 \Omega} = 0,181 \text{ A}$$

**Perhitungan Tegangan Induksi Armature Generator DC Beban Resistif Menggunakan PLC**

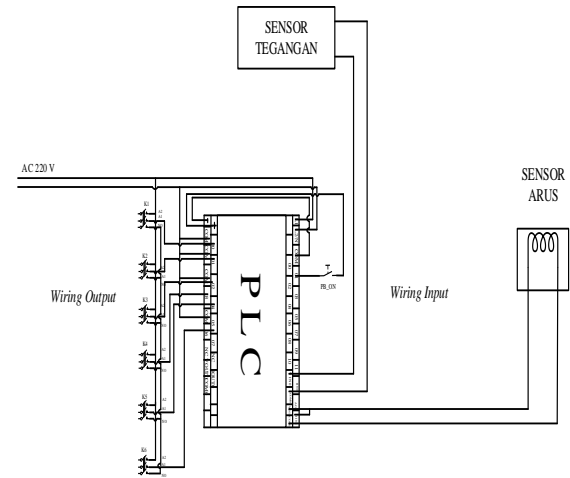
Hasil pengukuran pada tegangan jepit ( $V_t$ ) sebesar 23,055 Volt adalah :

$$E_a = V_t + (I_a \times R_a) = 23,055 + (0,56 \times 20,1) = 34,311 \text{ Volt}$$

Hasil perhitungan pada tegangan jepit ( $V_t$ ) sebesar 23,575 Volt adalah :

$$E_a = V_t + (I_a \times R_a)$$

$$E_a = 23,575 + (0,87 \times 20,1) = 41,062 \text{ Volt}$$



Gambar 10. Rangkaian Input dan Output Programmable Logic Controller (PLC)

Hasil perhitungan pada tegangan jepit ( $V_t$ ) sebesar 23,94 Volt adalah :

$$E_a = V_t + (I_a \times R_a) = 23,94 + (1,10 \times 20,1) = 46,050 \text{ Volt}$$

Tabel 1. Perhitungan Tegangan Induksi Armature Generator

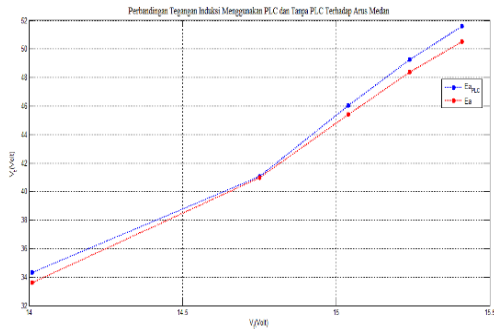
Beban Watt	Arus Beban ( $I_a$ ) A	Tegangan Medan ( $V_f$ )	Tegangan Jepit (pengukuran) $V_t$	Tegangan induksi armature (perhitungan) $E_a$
5	0,56	14,01	23,055	34,311
10	0,87	14,75	23,575	41,062
15	1,1	15,04	23,94	46,050
20	1,27	15,24	23,745	49,272
25	1,37	15,41	24,05	51,587

Beban Resistif Menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)*

Tabel 2. Perhitungan Tegangan Induksi Armature Generator Beban Resistif Tanpa *Programmable Logic Controller (PLC)*

Beban Watt	Arus Beban ( $I_a$ ) A	Tegangan Medan $V_f$	Tegangan Jepit (pengukuran) $V_t$	Tegangan induksi armature (perhitungan) $E_a$
5	0,56	14,01	22,37	33,626
10	0,91	14,75	22,67	40,961
15	1,12	15,04	22,9	45,412
20	1,26	15,24	23,06	48,386
25	1,36	15,41	23,2	50,506

Hasil perbandingan tegangan induksi terhadap tegangan medan digambarkan dengan Grafik seperti Gambar 11 berikut :



Gambar 11 Grafik Perbandingan Tegangan Induksi Menggunakan PLC dan Tanpa PLC

**Perhitungan Efisiensi Generator DC Eksitasi Terpisah Tanpa PLC**

Tahanan jangkar 20,1 ohm, tahanan medan 77,2 ohm, Tegangan jepit ( $V_t$ ) sebesar 22,37 Volt , untuk menghitung efisiensi pada saat berbeban dengan  $I_f$  sebesar 0,24 Ampere dengan menggunakan persamaan (6), (7) dan (8) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 R_a &= 20,1 \text{ Ohm} \\
 R_f &= 77,2 \text{ Ohm} \\
 R_L &= 405 \text{ Ohm} \\
 I_f &= 0,24 \text{ Ampere} \\
 V_t &= 22,37 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 I_L &= 0,56 \text{ A} \\
 P_{in} &= E_a \times I_a \\
 &= 33,626 \times 0,56 \\
 &= 18,831 \text{ W} \\
 P_{out} &= V_t \times I_L \\
 &= 22,37 \times 0,56 \\
 &= 12,527 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Maka, efisiensi generator DC adalah :

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \\
 &= \frac{12,527}{18,831} \times 100 \%
 \end{aligned}$$

$$= 66,526 \%$$

Tabel 3. Perhitungan Efisiensi Generator DC Eskitasi Terpisah Tanpa Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC)

Beban Watt	Tegangan Medan [Volt]	R <sub>L</sub> Ohm	I <sub>L</sub> A	Pin	Pout	Efisiensi %
5	14,01	405	0,56	18,831	12,527	66,526
10	14,75	405	0,91	37,275	19,723	52,913
15	15,04	405	1,12	50,861	25,190	49,527
20	15,24	405	1,26	60,966	29,286	48,037
25	15,41	405	1,36	68,688	31,743	46,213

**Perhitungan Efisiensi Generator DC Eksitasi Terpisah Menggunakan PLC**

Tahanan jangkar 20,1 ohm, tahanan medan 77,2 ohm, Tegangan jepit ( $V_t$ ) sebesar 22,37 Volt , untuk menghitung efisiensi pada saat berbeban dengan  $I_f$  sebesar 0,24 Ampere dengan menggunakan persamaan (6), (7) dan (8) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 R_a &= 20,1 \text{ Ohm} \\
 R_f &= 77,2 \text{ Ohm} \\
 R_L &= 405 \text{ Ohm} \\
 I_f &= 0,24 \text{ Ampere} \\
 V_t &= 22,37 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 I_L &= 0,56 \text{ A} \\
 P_{in} &= E_a \times I_a \\
 &= 33,626 \times 0,56 \\
 &= 18,831 \text{ W} \\
 P_{out} &= V_t \times I_L \\
 &= 22,37 \times 0,56 \\
 &= 12,527 \text{ W}
 \end{aligned}$$

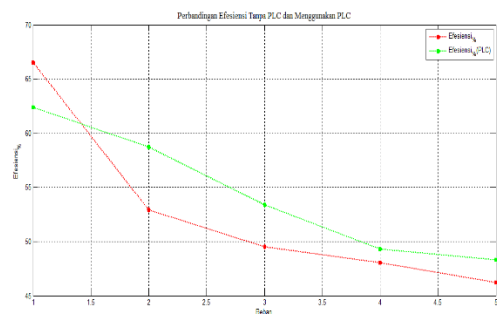
Maka, efisiensi generator DC adalah :

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \\
 &= \frac{12,527}{18,831} \times 100 \% \\
 &= 66,526 \%
 \end{aligned}$$

Tabel 4. Perhitungan Efisiensi Generator DC Eskitasi Terpisah Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC)

Beban Watt	Tegangan Medan Volt	R <sub>L</sub> Ohm	I <sub>L</sub> A	Pin	Pout	Efisiensi %
5	14,01	405	0,52	19,214	11,989	62,395
10	14,75	405	0,89	35,724	20,982	58,733
15	15,04	405	1,13	50,655	27,052	53,405
20	15,24	405	1,3	62,575	30,869	49,330
25	15,41	405	1,42	70,674	34,151	48,322

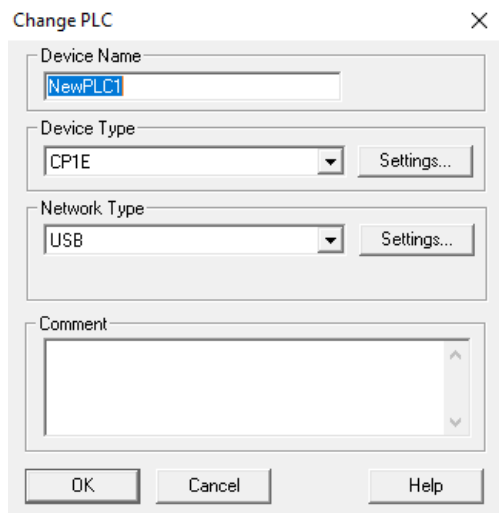
Hasil menganalisa hasil perbandingan efisiensi % beban resistif sebelum menggunakan PLC dan sesudah menggunakan PLC digambarkan dengan grafik seperti pada Gambar 12 berikut :



Gambar 12. Perbandingan Efisiensi % Beban Resistif Sebelum Menggunakan PLC dan Sesudah Menggunakan PLC

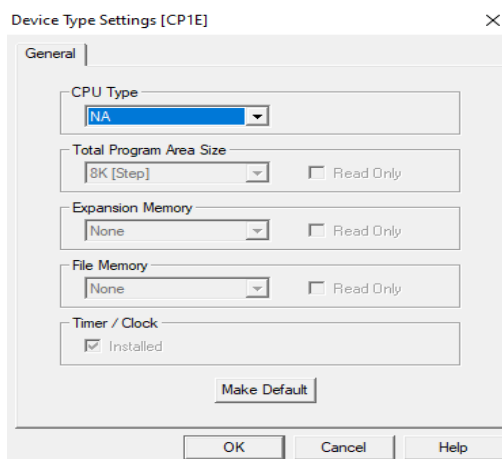
### Membuat Program Programmable Logic Controller (PLC)

Bahasa program yang digunakan adalah *Ladder Diagram (LD)*. Sebelum membuka lembar kerja *CX-Programmer* terlebih dahulu melakukan konfigurasi perangkat keras (*Hardware*) seperti pada Gambar 13 berikut :



Gambar 13. Konfigurasi Programmable Logic Controller (PLC) Tipe CP1E.

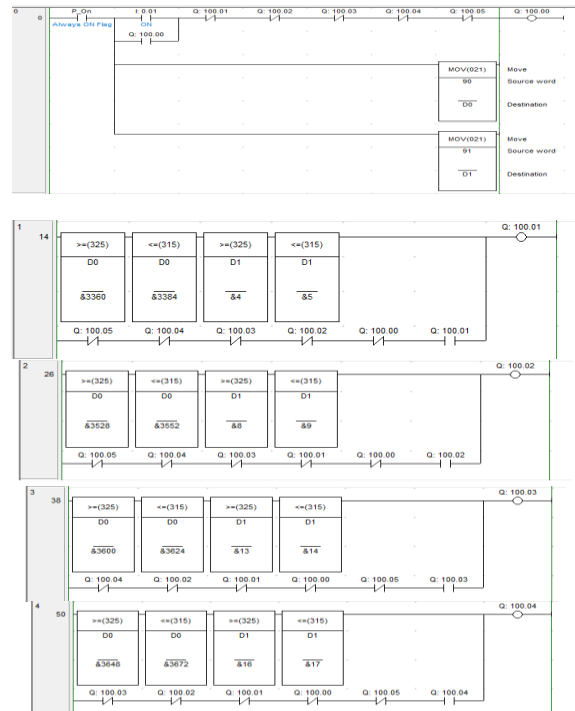
Lalu setting type CPU yang merupakan bagian utama dari *Programmable Logic Controller (PLC)* sebagai *Central Processor Unit* terhadap sinyal data *input* seperti pada Gambar 14 berikut :



Gambar 14. Setting Type CPU

### Ladder Diagram (LD) Pengendalian Generator DC Eksitasi Terpisah

*Ladder Diagram* terdiri dari push button ON di posisi *Normally Open (NO)* PLC, Perintah MOV(021) 90 untuk pengalamanan *input AD0* pada PLC sebagai pembaca sensor tegangan DC dan MOV(021) 91 untuk pengalamanan *input AD1* pada PLC sebagai pembaca sensor arus, untuk *output PLC* ada enam Kontaktor, seperti pada gambar 15 dan gambar 16 berikut :



Gambar 15. Ladder Diagram (LD) PLC

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan generator DC eksitasi terpisah, maka dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengukuran generator DC eksitasi terpisah beban nol pada saat tegangan medan 14,01 Volt dan arus medan 0,24 *Ampere* diperoleh hasil perhitungan untuk arus medan sebesar 0,183 *Ampere* dan saat tegangan medan 15,41 Volt dan arus medan 0,27 *Ampere* diperoleh hasil perhitungan arus medan sebesar 0,200 *Ampere*. Data pengukuran generator DC eksitasi terpisah beban 1 tegangan jepit 22,37 Volt dan arus beban 0,56 *Ampere* diperoleh hasil perhitungan untuk tegangan induksi *armature* sebesar 33,626 Volt dan pada saat beban 5 tegangan jepit 23,2 Volt dan arus beban 1,36 *Ampere* diperoleh hasil perhitungan untuk tegangan induksi *armature* sebesar 50,506 Volt. Ketika generator menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)* pada saat beban 1 dengan tegangan jepit 23,055 Volt dan arus beban 0,56 diperoleh hasil perhitungan untuk tegangan induksi *armature* sebesar 34,311 Volt dan pada saat beban 5 dengan tegangan jepit 24,05 Volt dan arus beban 1,37 diperoleh hasil perhitungan untuk tegangan induksi sebesar 51,587 Volt.
2. Pengukuran dan perhitungan untuk tegangan induksi *armature* maka diperoleh untuk hasil persentasenya, pada saat tegangan medan 14,01 Volt tegangan induksi tanpa menggunakan PLC sebesar 33,636 Volt dan menggunakan PPLC

sebesar 34,311 Volt untuk nilai error nya sebesar 2,307%. Pada saat tegangan medan 15,41 Volt tegangan induksi tanpa menggunakan PLC sebesar 51,587 Volt dan menggunakan PPLC sebesar 51,587 Volt untuk nilai error nya sebesar 2,140 %. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai efisiensi tanpa menggunakan PLC sebesar 66,526 % ketika tegangan medan 14,01 Volt pada saat tegangan medan 15,41 Volt nilai efisiensi 46,213 %. Ketika menggunakan PLC dengan nilai tegangan medan yang sama diperoleh nilai efisiensi sebesar 62,395 % dan 48,322 %.

3. Sensor tegangan DC dan sensor arus ZMCT103C dapat digunakan sebagai pengendali generator DC eksitasi terpisah.
4. Untuk mendapatkan pengendalian generator dc eksitasi terpisah yang lebih baik disarankan menggunakan beban yang nilainya berbeda-beda agar menentukan range yang akan di baca PLC menggunakan sensor lebih mudah dan dapat menggunakan sensor yang ketelitiannya lebih tinggi, seperti sensor arus ACS758LCB.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Evalina, A. A. Zulfikar, and Z. Zulfikar, "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller," *Journal of Electrical Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 73–80, 2018.
- [2] Z. Anthony, *Mesin Listrik Dasar*. Padang: ITP Press, 2018.
- [3] H. Berahim, *Pengantar Teknik Tenaga Listrik : Teori Ringkas dan Penyelesaian Soal*. Yogyakarta: Andi Offset, 1991.
- [4] A. E. Putra, *PLC Konsep, Pemrograman dan Aplikasi*. Yogyakarta: Gava Media Jogjakarta, 2014.
- [5] S. Nuari, Atmam, and E. Zondra, "Analisis Starting Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller (PLC)," *SainETIn*, vol. 2, no. 2, pp. 60–67, 2018.
- [6] R. A. Rangkuti, A. Atmam, and E. Zondra, "Studi Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Berbasis Programmable Logic Controller (PLC)," *Jurnal Teknik*, vol. 14, no. 1, pp. 121–128, 2020.
- [7] E. P. Wibowo, E. Zondra, and U. Situmeang, "Studi Penggunaan Variable Speed Drive Untuk Pengaturan Kecepatan Motor Exhaust Fan Pada Dyno Test Room PT. Trakindo Utama Pekanbaru," *Jurnal Teknik*, vol. 12, no. 2, pp. 85–96, 2018.
- [8] Erisman, H. Eteruddin, and 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.
- [9] Atmam, A. Tanjung, and Zulfahri, "Analisis Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD)," *SainETIn*, vol. 2, no. 2, pp. 52–59, 2018.
- [10] 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.
- [11] R. Ratnadewi *et al.*, "Control and Notification Automatic Water Pump with Arduino and SMS Gateway," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 407, p. 12160, 2018.
- [12] A. Fitriandi, E. Komalasari, and H. Gusmedi, "Rancang Bangun Alat Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Mikrokontroler dengan SMS Gateway Rancang Bangun Alat Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Mikrokontroler dengan SMS Gateway," *Electrician*, vol. 10, no. 2, pp. 87–98, 2016.
- [13] 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.
- [14] H. Eteruddin, D. Setiawan, and A. Atmam, "Web Based Raspberry Monitoring System Solar Energy Power Plant," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 469, no. 1, 2020.
- [15] D. Setiawan, H. Eteruddin, and M. Idris, "Analisis Pengaruh Perubahan Tegangan Terhadap Iluminasi Lampu Menggunakan Raspberry-Pi di Universitas Lancang Kuning," *Jurnal Teknik*, vol. 13, no. 1, pp. 17–24, 2019.
- [16] A. E. Putra, *Konsep Pemrograman dan Aplikasi (Omron CPM1A/CPM2A dan ZEN Programmable Relay)*. Yogyakarta: Gava Media, 2004.
- [17] M. Maslar, "PLC Standard Programming Languages: IEC 1131-3," in *Conference Record of 1996 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference*, 1996, pp. 26–31.
- [18] B. William, *Programmable Logic Controller*. Jakarta: Erlangga, 2003.
- [19] A. B. Muljono, I. M. A. Nrartha, I. M. Ginarsa, and I. M. B. Suksmadana, "Rancang Bangun Smart Energy Meter Berbasis UNO dan Raspberry Pi," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 14, no. 1, pp. 9–18, 2018.