

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian yang terdapat di bab pendahuluan maka diperlukan langkah-langkah untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode penelitian pada skripsi ini meliputi:

1. Perancangan blok diagram sistem
2. Spesifikasi desain
3. Karakterisasi setiap blok

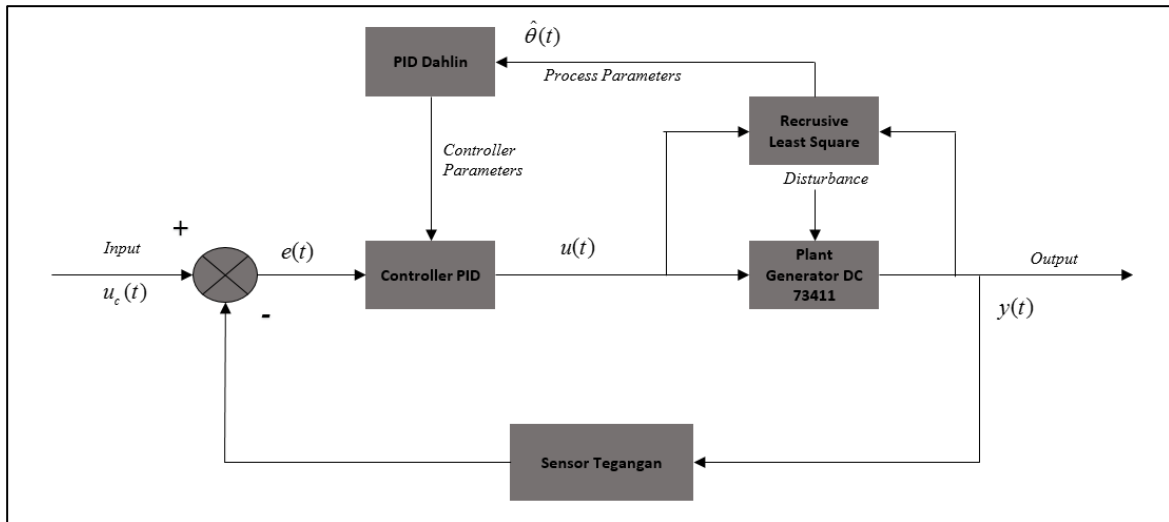
Karakterisasi setiap blok dilakukan untuk mempermudah analisis sistem. Karakterisasi dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

- a. Karakterisasi *plant* (motor generator DC 73411)
  - b. Karakterisasi *driver* L298
  - c. Karakterisasi sensor tegangan
  - d. Karakterisasi pengujian gangguan pada *plant*
4. Perancangan perangkat keras
  5. Penentuan nilai awal parameter estimasi dan parameter kontroler
  6. Perancangan dan pembuatan program algoritma *self-tuning controller*

Metode penelitian tersebut dijelaskan sebagai berikut:

#### **3.1 Perancangan Diagram Blok Sistem**

Perancangan diagram blok sistem menjelaskan sistem secara garis besar dan diharapkan alat dapat bekerja sesuai dengan yang didesain. Blok diagram sistem dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Diagram Blok Sistem

Keterangan:

$u_c(t)$ : *setpoint* (nilai masukan sistem yang diinginkan pada keluaran sistem).

$e(t)$ : nilai selisih antara *setpoint* dengan *output*.

$u(t)$ : nilai keluaran dari kontroler PID (sinyal kontrol).

$y(t)$ : keluaran sebenarnya dari sistem.

$\hat{\theta}(t)$ : parameter estimasi yang dihasilkan dari metode RLS.

Kontroler parameter: nilai yang menghasilkan parameter kontroler yang baru untuk kontroler PID.

### 3.2 Spesifikasi Desain

Desain yang diinginkan pada perancangan pengontrolan tegangan *output* dengan *self-tuning PID controller* mempunyai spesifikasi yaitu:

1. *Settling time* < 10 detik

*Settling time* < 10 detik, karena pada sistem diharapkan dengan menggunakan teknik adaptif dengan skema *self-tuning controller* pada tuning kontroler PID mampu mempercepat *settling time* sistem kurang dari 10 detik.

2. Tidak memiliki *Overshoot*

Sistem mempunyai nilai *maximum overshoot* 0%.

3. *Error Steady State* < 5%

*Error Steady State* < 5%, karena sistem dapat dikatakan baik ketika memiliki *output* dengan batas nilai akhir 5% dari *setpoint*.

### 3.3 Karakterisasi Setiap Blok

#### 3.3.1 Karakterisasi Plant Motor Generator DC 73411

Karakterisasi motor generator DC 73411 dilakukan untuk mengetahui karakteristik motor generator DC dalam perubahan tegangan masukan terhadap tegangan keluaran generator DC 73411. Adapun peralatan yang digunakan saat melakukan karakterisasi *plant* adalah sebagai berikut:

1. *Power Supply Unit* (PSU),
2. Motor Generator DC 73411,
3. Multimeter,
4. Perangkat komputer, dan
5. Kabel penghubung.

Adapun langkah langkah saat melakukan karakterisasi *plant* adalah sebagai berikut:

1. Tegangan *output Power Supply Unit* dihubungkan ke masukan generator DC.
2. Tegangan *output Power Supply Unit* diatur dari 0 volt hingga 20 volt dengan kenaikan setiap 1 volt.
3. Tegangan keluaran motor generator DC diukur menggunakan multimeter
4. Tegangan keluaran motor generator DC dicatat dan diamati.

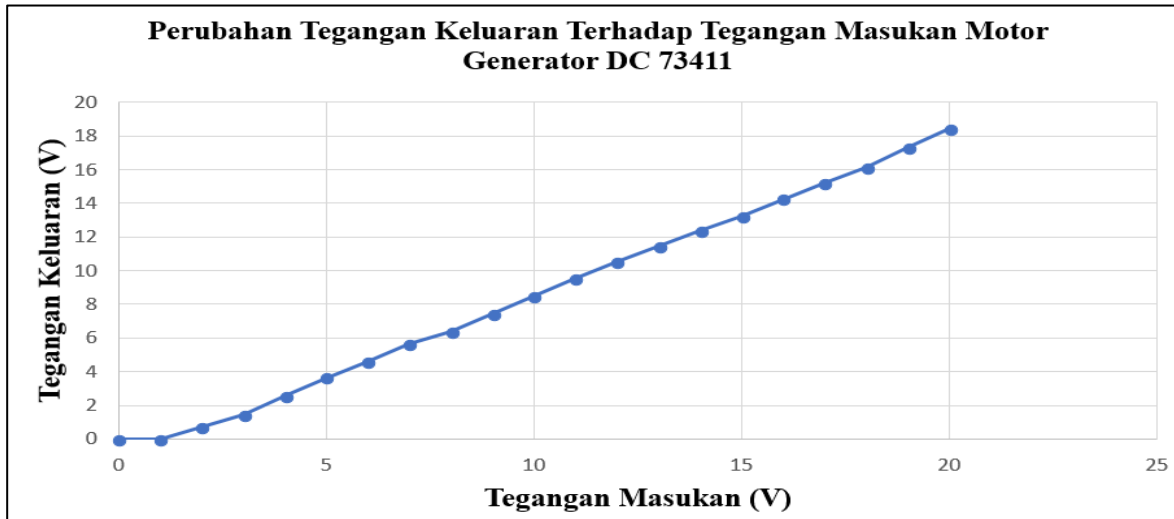
Nilai tegangan keluaran motor generator DC dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Nilai tegangan keluaran terhadap tegangan masukan motor generator DC

Tegangan Masukkan (volt)	Tegangan Keluaran (volt)
0	0
1	0
2	0.71
3	1.44
4	2.54
5	3.64
6	4.62
7	5.69
8	6.36
9	7.41
10	8.47
11	9.53
12	10.51
13	11.47
14	12.36
15	13.24
16	14.24
17	15.21
18	16.15
19	17.32

20	18.42
----	-------

Hubungan tegangan keluaran dengan tegangan masukan motor generator DC pada Tabel 3.1 dapat direpresentasikan menjadi grafik seperti pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Perubahan tegangan keluaran terhadap tegangan masukan motor generator DC

### 3.3.2 Karakterisasi *Driver* L298

Karakterisasi *driver* dilakukan untuk mengetahui karakteristik, kinerja dan *output* dari *driver motor* L298. Adapun peralatan yang digunakan saat melakukan karakterisasi *plant* adalah sebagai berikut:

1. *Power Supply Unit* (PSU),
2. Perangkat komputer,
3. *Driver motor* L298 ,
4. Multimeter,
5. STM32F4, dan
6. Kabel penghubung.

Adapun langkah langkah saat melakukan karakterisasi *plant* adalah sebagai berikut:

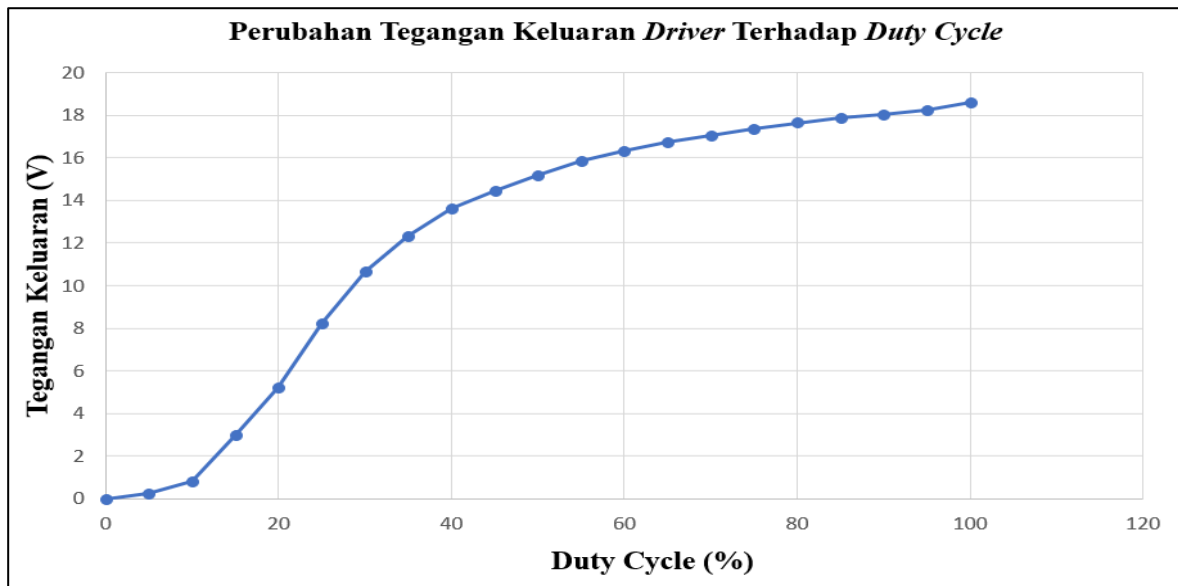
1. Tegangan keluaran *Power Supply Unit* dihubungkan ke masukan tegangan referensi driver.
2. Tegangan keluaran *Power Supply Unit* dihubungkan ke masukan tegangan referensi driver.
3. Tegangan keluaran *Power Supply Unit* dihubungkan ke masukan tegangan referensi driver.

4. Tegangan keluaran *Power Supply Unit* dihubungkan ke masukan tegangan referensi driver.
  5. Pin keluaran PWM di STM32F4 dihubungkan ke pin masukan tegangan *driver*.
  6. Tegangan keluaran driver dihubungkan ke multimeter.
  7. *Duty cycle* pada sinyal PWM diatur mulai 0% hingga 100% dengan kenaikan setiap 5 % untuk membangkitkan tegangan keluaran *driver*.
  8. Nilai tegangan yang terbaca oleh multimeter dicatat dan diamati.
- Nilai tegangan keluaran *driver motor L298* dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Nilai tegangan keluaran *driver* terhadap masukan sinyal PWM

Duty Cycle (%)	Tegangan Keluaran (V)
0	0
5	0.24
10	0.79
15	2.98
20	5.21
25	8.23
30	10.69
35	12.32
40	13.63
45	14.44
50	15.18
55	15.86
60	16.33
65	16.75
70	17.07
75	17.36
80	17.65
85	17.86
90	18.06
95	18.27
100	18.6

Hubungan tegangan keluaran driver dengan masukan driver yang berupa sinyal PWM pada Tabel 3.2 dapat direpresentasikan menjadi grafik seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Perubahan tegangan keluaran *driver* terhadap *duty cycle*

### 3.3.3 Karakterisasi Sensor Tegangan

Karakterisasi sensor tegangan dilakukan untuk mengetahui tingkat kelinieran dalam pembacaan tegangan keluaran motor generator DC. Adapun peralatan yang digunakan saat melakukan karakterisasi *plant* adalah sebagai berikut:

1. *Power Supply Unit* (PSU),
2. Sensor tegangan,
3. Motor generator DC 73411,
4. Multimeter,
5. STM32F4,
6. Perangkat komputer, dan
7. Kabel penghubung.

Adapun langkah langkah saat melakukan karakterisasi *plant* adalah sebagai berikut:

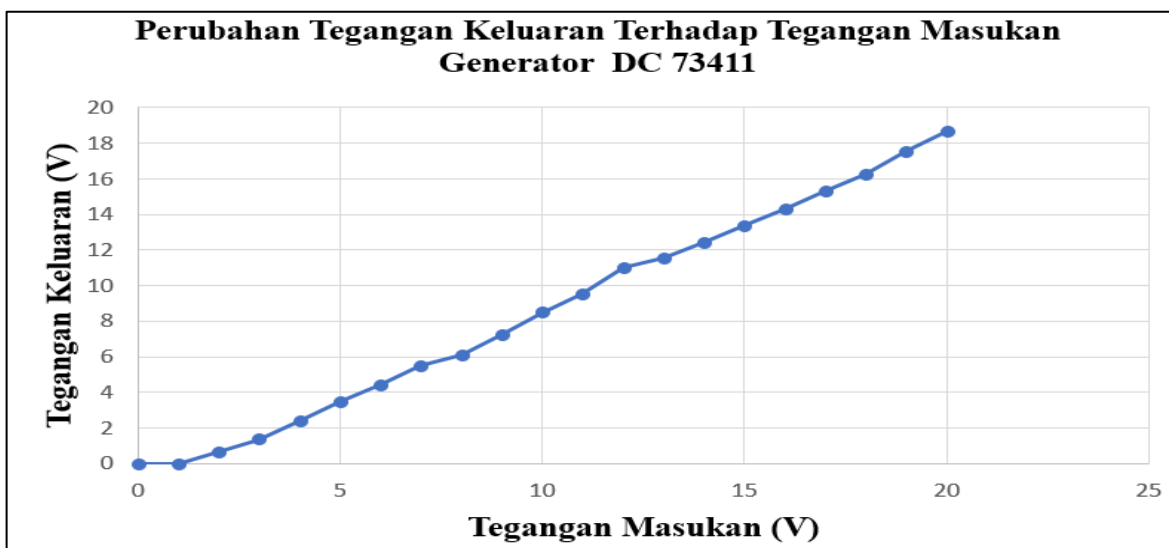
1. Tegangan keluaran *Power Supply Unit* dihubungkan ke masukan motor generator DC.
2. Tegangan keluaran motor generator DC dihubungkan ke sensor tegangan.
3. Sensor tegangan dihubungkan ke pin pembacaan analog di STM32F4.
4. Tegangan keluaran *Power Supply Unit* diatur dari 0 volt hingga 20 volt dengan kenaikan sebesar 1 volt.
5. Nilai tegangan yang terbaca oleh sensor dicatat dan diamati.

Nilai tegangan keluaran yang telah dibaca sensor dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Nilai tegangan pembacaan sensor terhadap tegangan masukan motor generator DC

Tegangan Masukan (volt)	Hasil Pembacaan Sensor (volt)
0	0
1	0
2	0.64
3	1.36
4	2.38
5	3.47
6	4.42
7	5.48
8	6.13
9	7.24
10	8.49
11	9.53
12	11.04
13	11.53
14	12.44
15	13.36
16	14.31
17	15.29
18	16.24
19	17.51
20	18.66

Hubungan tegangan keluaran yang dibaca sensor dengan tegangan keluaran motor generator DC dapat direpresentasikan menjadi grafik seperti pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Perubahan tegangan pembacaan sensor terhadap tegangan masukan generator DC

### 3.3.4 Karakterisasi Pengujian Gangguan pada *Plant* Generator DC 73411

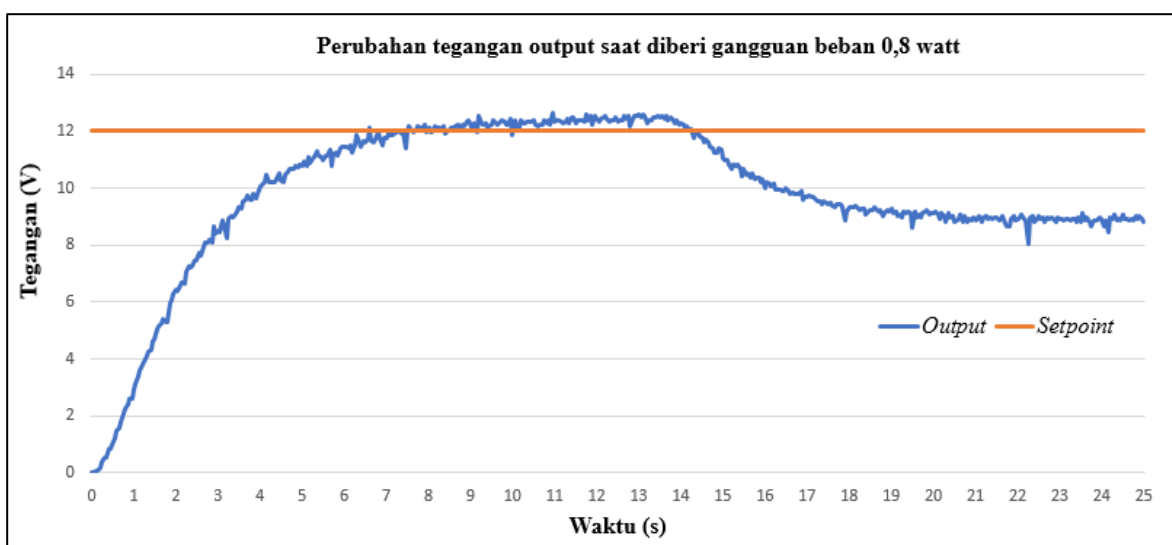
Untuk mengetahui pengaruh perubahan tegangan *output plant* generator DC 73411 saat diberikan gangguan berupa beban dengan nilai daya yang berbeda yaitu 0,8 watt, 1,6 watt, dan 3,4 watt. Adapun peralatan yang digunakan saat melakukan karakterisasi pengujian gangguan pada *plant* adalah sebagai berikut:

1. *Power Supply Unit* (PSU),
2. Sensor tegangan,
3. Motor generator DC 73411,
4. Multimeter,
5. STM32F4,
6. Perangkat komputer,
7. Rangkaian beban lampu dengan dimmer, dan
8. Kabel penghubung.

Adapun langkah langkah saat melakukan karakterisasi *plant* adalah sebagai berikut :

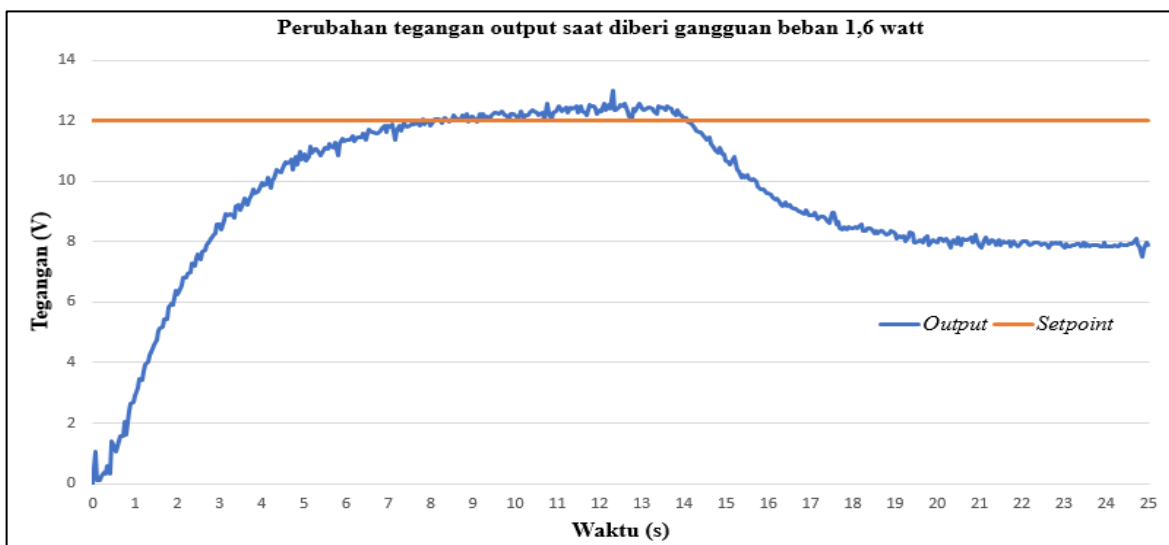
1. Tegangan keluaran *Power Supply Unit* dihubungkan ke masukan motor generator DC.
2. Tegangan keluaran motor generator DC dihubungkan ke sensor tegangan.
3. Sensor tegangan dihubungkan ke pin pembacaan analoga di STM32F4.
4. Tegangan keluaran *Power Supply Unit* diatur 12 volt
5. Ketika respon steady dimmer diputar sesuai dengan daya beban yang telah ditentukan
6. Nilai tegangan yang terbaca oleh sensor dicatat dan diamati.

Hasil dari tegangan output pada plan generator DC 73411 ketika diberikan gangguan beban dengan daya 0,8 watt, 1,6 watt, dan 3,4 watt masing-masing ditunjukkan pada gambar 3.5, 3.6, dan 3.7.

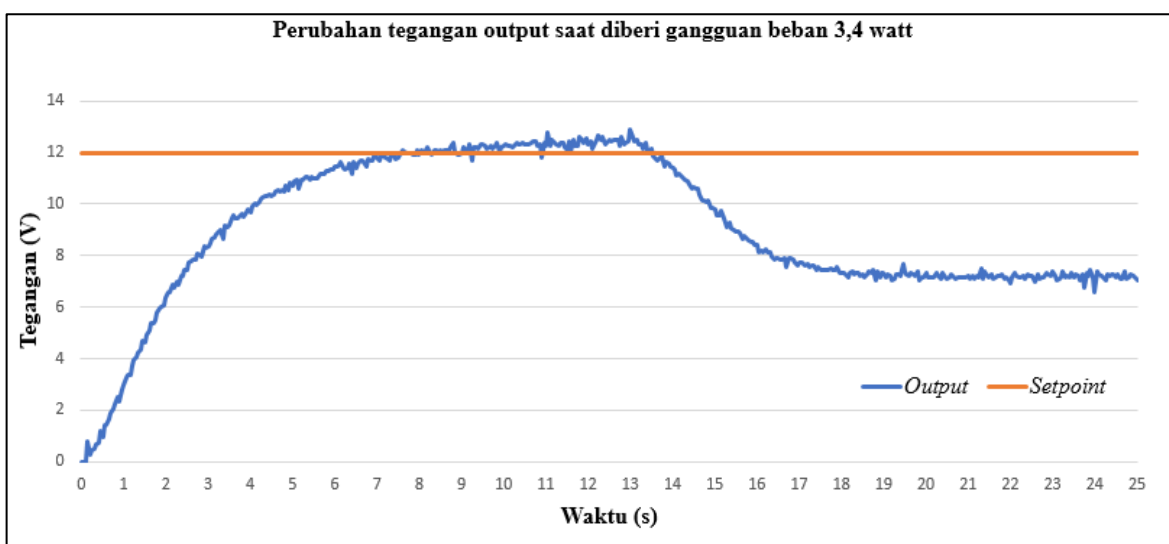


**Gambar 3.5** Perubahan tegangan keluaran saat diberikan gangguan beban 0,8 watt





Gambar 3.6 Perubahan tegangan keluaran saat diberikan gangguan beban 1,6 watt

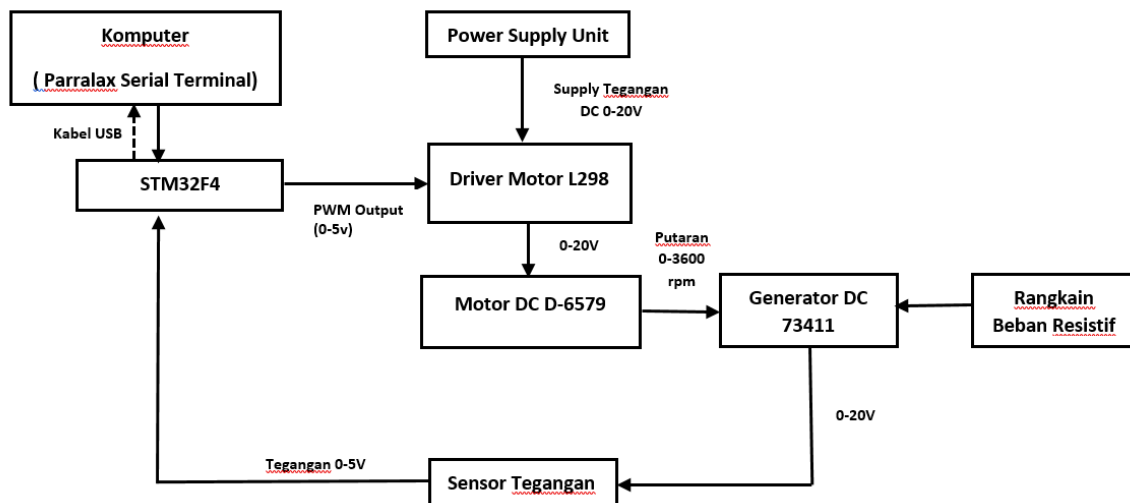


Gambar 3.7 Perubahan tegangan keluaran saat diberikan gangguan beban 3,4 watt

Berdasarkan grafik pada gambar 3.5, 3.6, dan 3.7, gangguan 0,8 watt, 1,6 watt, dan 3,4 watt masing-masing dapat menurunkan tegangan *output*. Ketika diberikan gangguan dengan beban 0,8 watt dapat menurunkan tegangan *output* hingga 9 volt atau 25% dari tegangan *steady state*. Saat diberikan gangguan dengan beban 1,6 watt dapat menurunkan tegangan *output* hingga 8 volt atau 33,33% dari tegangan *steady state*. Dan ketika diberikan gangguan dengan beban 3,4 watt dapat menurunkan tegangan *output* hingga 7 volt atau 41,67% dari tegangan *steady state*.

### 3.5 Perancangan Perangkat Keras

Pembuatan perangkat keras dilakukan sebagai langkah awal sebelum terbentuknya suatu sistem beserta pemrogramannya. Hal ini dimaksudkan agar pemodelan Generator DC 734 11 dengan pengontrol tegangan *output* menggunakan *self-tuning controller Model* dapat berjalan sesuai dengan spesifikasi desain yang telah direncanakan. Hal yang perlu dilakukan pada pembuatan perangkat keras adalah pembuatan skema perangkat keras dan pemilihan modul elektronik. Skema dari perangkat keras adalah seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Skema pembuatan perangkat keras

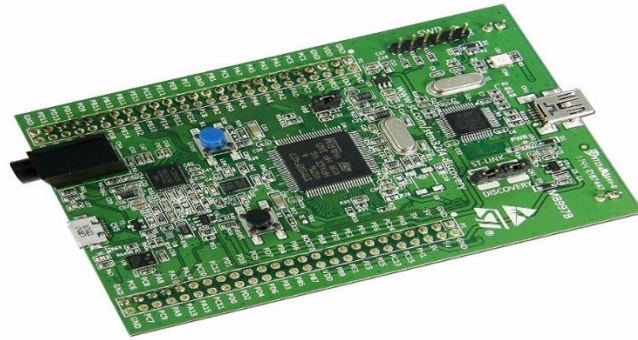
Modul elektronik yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. *Power Supply Unit* sebagai catu daya driver motor



Gambar 3.9 Power Supply Unit (PSU)

2. Mikrokontroler STM32F4 *Discovery* sebagai perangkat kontroler



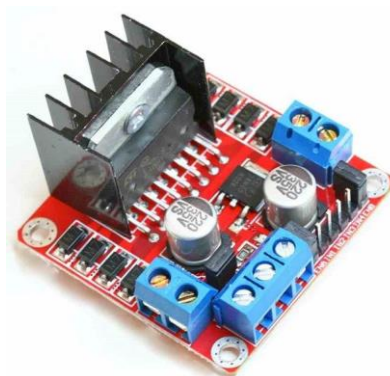
**Gambar 3.10** STM32F4 *Discovery*

3. Sensor tegangan digunakan sebagai pembagi tegangan keluaran motor generator DC agar sesuai dengan tegangan masukan arduino.



**Gambar 3.11** Sensor tegangan

4. *Driver motor H-Bridge L298N*



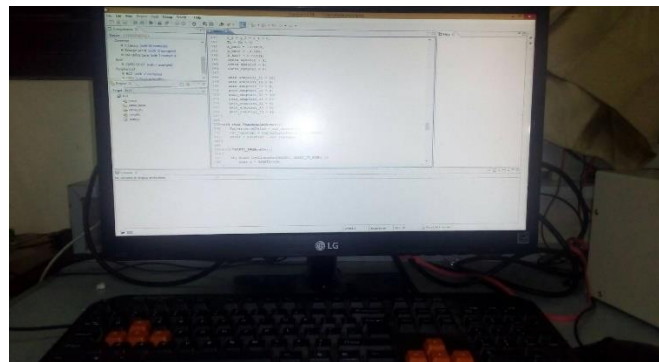
**Gambar 3.12** *Driver motor H-Bridge L298N*

- 5. Rangkaian beban resistif lampu bohlam 2,5 volt dengan dimmer



**Gambar 3.13** Rangkaian beban resistif

- 6. Komputer atau PC yang sudah terinstall software CooCox CoIDE



**Gambar 3.14** Komputer yang terinstall coocox coide

- 7. *Plant* motor generator DC 73411



**Gambar 3.15** *Plant* motor generator DC 73411

Prinsip kerja sistem pengontrolan tegangan output pada plant generator DC 73411 dengan menggunakan *self-tuning controller* berdasarkan skema perangkat keras pada gambar 8 adalah sebagai berikut:

1. Tegangan output dari plant generator dc 73411 akan dibaca oleh sensor tegangan dengan kalibrasi dari 0-20 V menjadi 0-5 V.
2. Selanjutnya hasil pembacaan dari sensor tegangan akan masuk ke rangkaian pengkondisi sinyal.
3. Tegangan keluaran rangkaian pengkondisi sinyal berfungsi sebagai masukan analog bagi rangkaian ADC. Rangkaian ADC tersebut terdapat pada STM32F4 *Discovery* sebagai pemroses utama ADC.
4. Kemudian sinyal keluaran ADC tersebut kemudian diproses dengan menggunakan *Self-Tuning Controller* dengan kontroler PID sehingga menghasilkan keluaran berupa sinyal PWM pada pin A0 di mikrokontroler STM32F4 *Discovery*.
5. Keluaran sinyal PWM dari STM32F4 *Discovery* digunakan sebagai sinyal kontrol bagi aktuator berupa motor dc yang kemudian masuk kedalam *Driver* L298 yang dicatu dengan Power Supply Unit 20 V.
6. Tegangan keluaran dari *driver* L298 merupakan sinyal kontrol PWM yang telah dikuatkan.
7. Motor DC akan bergerak sesuai dengan besar *duty cycle* PWM yang dikeluarkan oleh *microcontroller* STM32F4 *Discovery* dan generator DC akan menghasilkan tegangan output yang kemudian akan dibaca kembali oleh sensor tegangan.
8. Kemudian hasil dari pembacaan sensor akan di tampilkan melalui komputer menggunakan software parallax serial terminal.

### **3.6 Perancangan dan Pembuatan Program *Self-Tuning Controller***

Perancangan algoritma pada skripsi ini meliputi:

1. Perancangan algoritma untuk mencari estimasi parameter dari *plant*.
2. Perancangan algoritma untuk mendapatkan parameter kontroler dengan metode Dahlin PID Kontroler.
3. Perancangan algoritma untuk menentukan estimasi parameter kontrol awal.
4. Pembuatan *flowchart* untuk pembuatan program di perangkat lunak.
5. Implementasi pada alat.

### 3.7 Penentuan Nilai Awal Parameter Estimasi Dan Parameter Kontrol.

Untuk mencari nilai awal parameter estimasi dilakukan dengan proses identifikasi sistem. Identifikasi sistem motor generator DC 73411 dilakukan dengan cara membangkitkan sinyal *Pseudo Random Binary Sequence (PRBS)* pada mikrokontroler yang kemudian menjadi sinyal masukan motor generator DC 73411. Dari pasangan data masukan dan keluaran tegangan dari motor generator DC 73411 dapat dilakukan identifikasi.

Selanjutnya memproses data masukan dan keluaran menggunakan sintaks ident pada *software* Matlab dengan struktur Model *Auto Regressive with Exogenous (ARX)* yang dapat dituliskan pada persamaan 1:

$$A(q)y(k) = B(q)u(k - nk) + e(k) \quad (3.1)$$

Dengan:

$$A(q) = 1 + a_1q^{-1} + a_2q^{-2} \dots + a_{na}q^{-na}$$

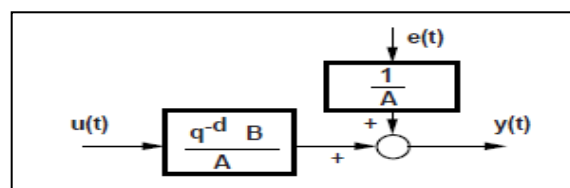
$$B(q) = b_1q^{-1} + b_2q^{-2} \dots + b_{nb}q^{-nb}$$

$y(k)$  = keluaran

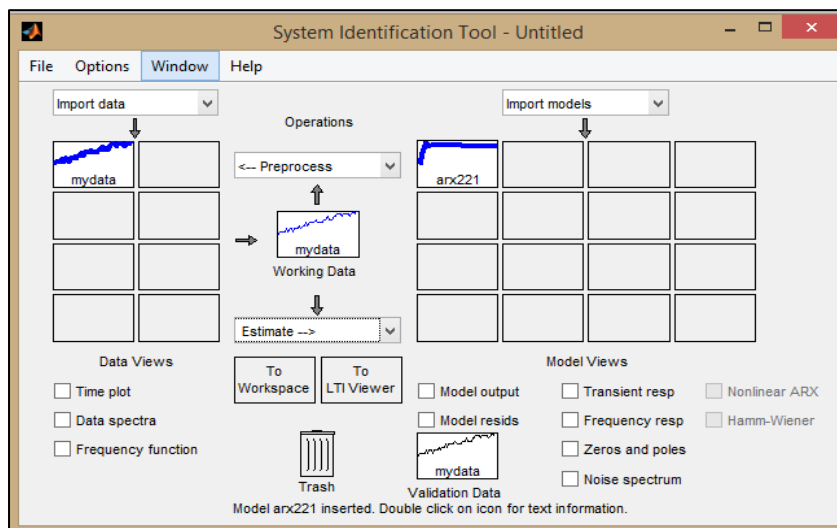
$u(k)$  = masukan

$e(k)$  = gangguan

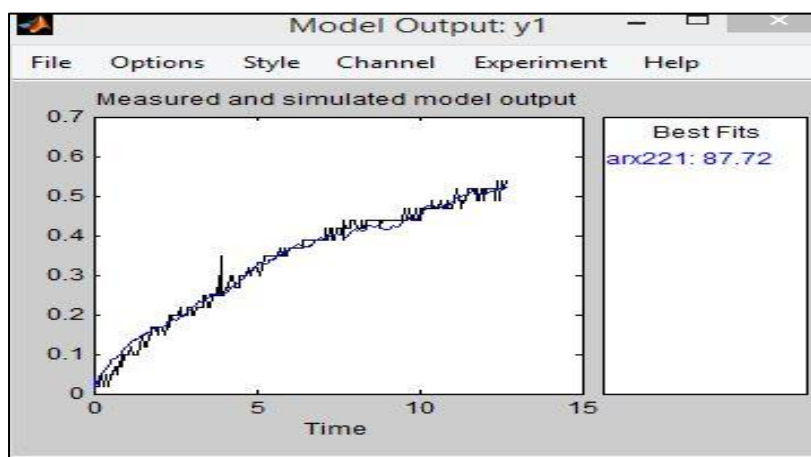
Atau dalam bentuk diagram seperti pada gambar 16.



Gambar 3.16 Struktur model ARX



Gambar 3.17 System Indetification Tool



Gambar 3.18 Sinyal output dari estimasi model

Proses identifikasi dilakukan beberapa kali hingga didapatkan besfit yang terbaik. Dari hasil identifikasi, didapatkan fungsi alih motor generator DC 73411 yang memiliki besfit sebesar 87,72%. Fungsi alih tersebut dapat dilihat pada persamaan 3.2

$$G(z^{-1}) = \frac{0,001839z^{-1} + 0,002953z^{-2}}{1 - 0,4457z^{-1} - 0,548z^{-2}} \quad (3.2)$$

Dengan nilai  $\hat{a}_1 = -0.4457$ ,  $\hat{a}_2 = -0.548$ ,  $\hat{b}_1 = 0.001839$ .

Setelah mendapatkan nilai  $\hat{a}_1$ ,  $\hat{a}_2$ , dan  $\hat{b}_1$  yang didapat dari persamaan (3-1) langkah selanjutnya adalah menghitung nilai  $K_p, T_I, T_D$  dengan menggunakan persamaan (2-9), (2-10), (2-11), (2-12), (2-13). Untuk waktu sampling  $T_0 = 0,05$  detik dan nilai *adjustment factor* menurut Bobál *et al*,  $B = 1 \times 10^{-6}$ , oleh karena itu perhitungan ditunjukkan dengan cara dibawah ini :

$$Q = 1 - e^{-\frac{T_0}{B}} = 1 - e^{-\frac{0,05}{10^{-6}}} = 1$$

$$K_p = -1 X \left( \frac{a_1 + (2 x a_2)}{b_1} x Q \right) = -1 X \left( \frac{-0,4457 + (2 x (-0,548))}{0,01839} x 1 \right) = 83,8336$$

$$T_d = \frac{T_0 x a_2 x Q}{K_p x b_1} = \frac{0,05 x (-0,4457) x 1}{83,8336 x 0,01839} = -0,0144582$$

$$K_d = K_p x T_d = 83,8336 x (-0,0144582) = -1,48994$$

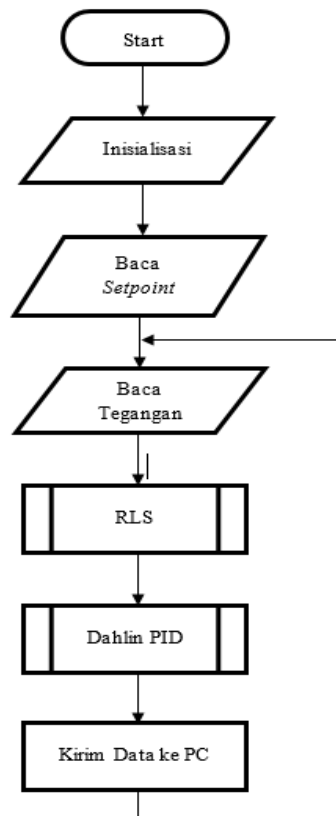
$$T_i = -1 x \left( \frac{1}{\frac{1}{a_1 + (2 x a_2)} + 1 + \frac{T_d}{T_0}} \right) = -1 x \left( \frac{1}{\frac{1}{-1,5417} + 1 + \left( \frac{-0,0144582}{0,05} \right)} \right) = 12,2356052$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{83,8336}{12,2356052} = 6.851610408$$

Dari perhitungan diatas didapatkan bahwa nilai parameter gain kontroler awal  $K_p = 83,8336$ ,  $K_d = -1,48994$ ,  $K_i = 6.851610408$

### 3.8 Flowchart Program Utama

Perancangan perangkat lunak berkaitan dengan *flowchart* program yang akan diimplementasikan ke *microcontroller* STM32F4 *Discovery*. Gambar 3.6 adalah *flowchart* sistem keseluruhan dan *flowchart* *Self-Tuning Controller*.





**Gambar 3.19** *Flowchart* sistem keseluruhan