

# Sistem Kontrol Motor DC Penggerak Panel Photovoltaic dengan Metode Gain-Scheduling Model Predictive Control (GS-MPC)

## *Photovoltaic Panel DC Motor Control System with Gain-Scheduling Model Predictive Control (MPC) Method*

1<sup>st</sup> Praja Cahya Kesuma  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
prajakesuma@student.telkom  
university.ac.id

2<sup>nd</sup> Basuki Rahmat  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
basukir@telkomuniversity.ac.  
id

3<sup>rd</sup> Muh. Zakiyullah  
Romdlony  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia  
zakiyullah@telkomuniversity  
.ac.id

### Abstrak

*Model Predictive Control* merupakan jenis suatu kendali dengan metode prediksi. *Model Predictive Control* (MPC) menggunakan model sistem sebagai prediksi keluaran di masa depan. *Gain-Schedule Model Predictive Control* (MPC) digunakan saat model prediksi linier tidak memadai. Dengan menggunakan *Gain-Schedule* MPC bisa digunakan dengan prediksi linier maupun non linier. Adapun penelitian ini dilakukan dengan metode sistem kendali *Gain-Schedule Model Predictive Control* (MPC). Dengan melakukan pengamatan langsung dan mengumpulkan data dengan cara memonitoring dan mencatat data-data yang di butuhkan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menggerakkan motor DC dengan input berupa *Pulse With Modulation* (PWM) dan output berupa Degree. Tugas akhir ini memiliki nilai *fit estimation* data pada motor DC sebesar 91% dengan menggunakan *system identification* pada matlab. Pengendalian MPC hasil proses dipengaruhi oleh *cost function*, *constraint*, *parameter Np* (*Prediction Horizon*) dan *Nc* (*Control Horizon*). Terdapat 3 mode MPC untuk mengatur *Gain-Scheduled Model Predictive Control*, sinyal pada detik + ke

2 dan detik ke 8,5 yang menandakan pergantian kontrol MPC yang di rancang.

**Kata kunci:** *Photovoltaic*, *Model Predictive Control* (MPC), *Gain-Scheduled Model Predictive Control* (MPC)

### Abstract

*Model Predictive Control* is a type of control with a predictive method. *Model Predictive Control* (MPC) uses the system model to predict future output. *Gain-Schedule Model Predictive Control* (MPC) is used when a linear predictive model is inadequate. By using the *Gain-Schedule* MPC can be used with linear and non-linear predictions. This research was conducted using the *Gain-Schedule Model Predictive Control* (MPC) control system method. By making direct observations and collecting data by monitoring and recording the required data. The results of this study are expected to be able to drive a DC motor with input in the form of *Pulse With Modulation* (PWM) and output in the form of Degree. This final project has a data fit estimation value of 91% for DC motors using the identification system in matlab. Controlling the resulting MPC process is influenced by the *cost function*, *constraint*, *parameters Np* (*Prediction*

*Horizon) and  $N_c$  (Control Horizon). There are 3 MPC models to set the Gain-Scheduled Model Predictive Control, signals at  $-+$  to 2nd and 8.5th seconds which indicate the change of the designed MPC control.*

**Keywords:** *Photovoltaic, Model Predictive Control (MPC), Gain-Scheduled Model Predictive Control (MPC)*



## I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang terdiri dari 17.504 pulau. Pulau utama di Indonesia terdiri dari Kalimantan, Jawa, Sulawesi, Sumatera dan Papua. Dengan luasnya negara Indonesia, Indonesia terkenal dengan lebatnya hutan yang mengelilingi seluruh pulau Indonesia. Wilayah Indonesia memiliki 2 musim yaitu musim kemarau dan musim hujan. Dari aspek geografi, wilayah Indonesia mendapatkan cahaya dan panas matahari kurang lebih 12 jam dalam sehari. Maka dari itu Indonesia sebagai salah satu negara yang mengikuti perkembangan sumber energi terbarukan yaitu energi pembangkit listrik tenaga cahaya matahari.

Energi cahaya matahari merupakan energi yang dihasilkan dari pancaran sinar matahari. Seperti yang kita ketahui matahari sebagai ciptaan Yang Maha Kuasa, merupakan sumber energi panas dan penerangan paling besar sepanjang usia dunia. Manusia bisa memanfaatkan energi sinar matahari menggunakan sel surya atau yang biasa dikenal *photovoltaic* yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Pemakaian *photovoltaic* (PV) telah banyak dilakukan di berbagai negara karena keuntungan yang dimiliki oleh energi matahari tersebut tidak menimbulkan polusi. Maka dari itu tak sedikit negara-negara yang tidak memanfaatkan sumber energi ini. Pada tahun 2012 Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mengatakan bahwa potensi energi surya di Indonesia sangatlah besar, yakni sekitar 4,8 Kwh/m<sup>2</sup> atau setara dengan 112.000 Gwp, namun selang beberapa tahun, data tersebut meningkat pada tahun 2020, potensi pengembangan energi surya di Indonesia tercatat sebesar 207,8 Giga Watt Peak (Gwp) dengan realisasi 0,15 Giga Watt Peak (Gwp).

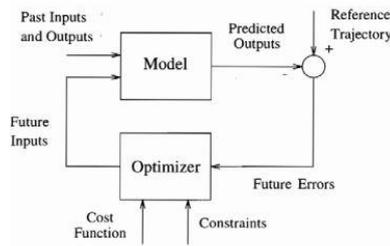
Pekerjaan pada penelitian tugas akhir ini memfokuskan simulasi sistem penggerak panel *photovoltaic* menggunakan metode sistem kendali *Gain-Scheduled Model Predictive Control* (MPC). Sistem penggerak *photovoltaic*, dibuat agar PV memperoleh energi maksimal dari cahaya matahari dengan mengatur posisi panel *photovoltaic* sesuai posisi matahari, sehingga sudut datang cahaya matahari jatuh tegak lurus pada permukaan bidang PV. Sistem penggerak inilah yang akan mengikuti pergerakan matahari agar mendapatkan sudut datang cahaya matahari tegak lurus pada permukaan bidang PV.

Secara simulasi, pengendalian Motor DC penggerak panel *photovoltaic* ini direalisasikan menggunakan *software* MATLAB. *Gain-Scheduled* MPC dapat diterapkan sebagai kontrol pada Motor DC dengan beban panel *Photovoltaic*. Pada tugas akhir ini diasumsikan sebagai masukan referensi sistem kontrol tersebut adalah sudut posisi matahari secara *real time*. Pada pengujian, untuk mengatur Motor DC sesuai posisi matahari tersebut menggunakan 3 mode MPC. MPC menjalankan prediksi berdasarkan masukan *Gain Schedulling*. Dengan demikian, *ouput* diharapkan adalah sudut panel *photovoltaic* mengikuti sudut posisi matahari. MPC digunakan untuk prediksi sudut yang diinginkan guna mendapatkan hasil yang terbaik. *Gain-Schedulling* dirancang guna mendapatkan sinyal kontrol yang terbaik dari MPC terhadap kondisi operasi plant yang berubah.

## II. KAJIAN TEORI

Pada penelitian ini dirancang sebuah sistem penggerak PV menggunakan sistem kendali *Gain-Scheduled Model Predictive Control* (MPC). Sistem ini memiliki cara kerja berupa menggerakkan motor DC yang dimana kecepatan motor DC atau arah berputar Motor DC akan diatur dengan potensiometer. Ketika motor DC tersebut bergerak, sensor MPU6050 yang tersambung dengan motor DC akan membaca sudut yang dihasilkan. Desain sistem *Gain-Scheduled Model Predictive Control* (MPC), mengacu pada gambar 3.5.

Pinsip yang mendasari dari jenis pengendali prediksi pertama menggunakan model proses untuk memprediksi keluaran yang akan datang dalam rentang waktu yang telah ditentukan (*Horizon*). Selanjutnya adalah menghitung sinyal kendali dengan meminimasi *Cost function* yang ditetapkan sebelumnya dengan tujuan untuk menjaga keluaran proses agar sedekat mungkin dengan trayektori acuan. Tahap selanjutnya adalah sinyal kendali terprediksi berikutnya dibuang, karena pada pencuplikan berikutnya, keluaran sudah diketahui nilainya. Maka langkah pertama diulang dengan nilai keluaran proses yang baru dan semua prosedur perhitungan yang diperlukan diperbaiki. Sinyal kendali yang baru nilainya berbeda, diperoleh dengan menggunakan konsep *receding horizon* [15].



Gambar 1 Blok Diagram MPC

a. Model Predictive Control (MPC)

Model Predictive Control (MPC) adalah salah satu jenis model kontrol yang menggunakan metode prediksi. MPC dapat memprediksi kondisi (state) sistem pada masa yang akan datang yang diinginkan. Perilaku sistem saat ini dianggap sebagai keluaran sistem sebelumnya  $y(k-1)$ , dan diumpankan ke MPC sebagai masukan saat ini yang dikombinasi dengan input setpoint untuk proses prediksi keluaran kondisi sistem di masa yang akan datang  $y(k+1)$ .

Sebuah sistem yang diasumsikan linier, dipresentasikan dalam bentuk persamaan ruang keadaan dengan persamaan :

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) \tag{1}$$

$$y(k) = C_y x(k) \tag{2}$$

$$z(k) = C_z x(k) \tag{3}$$

Dengan  $x$  adalah variabel keadaan,  $u$  adalah vektor masukan,  $y$  adalah vektor keluaran terukur, dan  $z$  adalah vektor keluaran yang dikendalikan untuk memenuhi batasan tertentu (constraint). Dalam prakteknya variabel  $y$  dan  $z$  disamakan, dalam hal ini, semua keluaran keluaran terkendali dapat diukur. Indeks  $k$  menunjukkan waktu pencuplikan.

Untuk menyelesaikan masalah kontrol prediktif dilakukan dengan menghitung nilai prediksi dari variabel keluaran terkendali  $[\hat{z}(k+i|k)]$ , yang diperoleh dari estimasi terbaik vektor keadaan  $[\hat{x}(k|k)]$ , vektor masukan pada pencuplikan lampau  $[\hat{u}(k-1)]$ , dan perkiraan perubahan sinyal yang akan datang  $[\Delta \hat{u}(k+i|k)]$  [15]. Dimana  $N_p$  merupakan Prediksi Horizon.

Prediksi persamaan tersebut diperoleh :

$$\hat{x}(k+N_p|k) = Ax(k+H_p-1|k) + B\hat{u}(k+1|k) \tag{4}$$

$$= A^2x(k) + BA\hat{u}(k|k) + B\hat{u}(k+1|k) \tag{5}$$

b. Gain-Schedule MPC

Gain scheduling adalah sebuah metode kendali dimana nilai parameter MPC yang digunakan oleh modul kendali dijadwalkan berdasarkan titik kerja atau kondisi operasi plant yang dihadapi. Agar setiap saat kontroler mengetahui kondisi proses, maka dalam skema kendali ini diperlukan pengukuran variabel tambahan (auxillaries variable) yang secara teknis digunakan sebagai variabel penjadwal (scheduled variable). Variabel parameter bisa mencakup beberapa model MPC maupun beberapa kondisi plant yang diatur.

c. Motor DC

Motor DC (Direct-Current) merupakan jenis motor yang menggunakan tegangan searah sebagai sumber tenaganya. Untuk menggerakkan suatu benda dengan beban tertentu, maka pada motor DC terdapat gearbox. Gearbox berfungsi sebagai media motor DC untuk menghasilkan tenaga dalam menggerakkan benda tertentu yang memiliki massa. Berikut persamaan state space Motor DC:

$$\frac{dx}{dt} = Ax(t) + Bu(t) \tag{3}$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) \tag{4}$$

$u(t)$  = vektor masukan berdimensi-( $l \times 1$ )

$x(t)$  = vektor keadaan berdimensi-( $n \times 1$ )

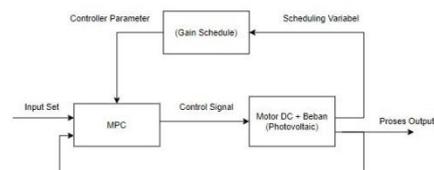
$y(t)$  = vektor keluaran berdimensi-( $m \times 1$ )

$A$  = matriks keadaan berdimensi  $n \times n$

$B$  = matriks masukan berdimensi  $n \times l$

$C$  = matriks keluaran berdimensi  $m \times n$

d. Diagram Blok



Gambar 2 Diagram blok sistem

1. Sistem Kendali (*Controller*)  
 Sistem Kendali yang dipakai adalah *Gain Schedule Model Predictive Control* (MPC). MPC sendiri berfungsi untuk mengendalikan pergerakan Motor DC.

2. Motor (*Plant*)  
 Motor yang dipakai adalah Motor DC. Motor DC berfungsi untuk menggerakkan panel *photovoltaic* yang dihubungkan dengan mekanik menggunakan gear.

3. Gain Schedule  
 Rancang dari 3 model controller MPC terhadap parameter-parameter yang diinputkan, parameter yang diinputkan meliputi *sample time*, *control horizon*, dan *prediction horizon*. Setelah merancang design MPC, aturlah MPC yang telah di rancang tadi. Disini menggunakan posisi matahari sebagai referensi.

1. Jika nilai posisi matahari terbaca  $x > 5$  rad, akan dialihkan ke controller MPC 1
2. Jika nilai posisi matahari terbaca  $2 \text{ rad} < x < 5$  rad akan dialihkan ke controller MPC 2
3. Jika nilai posisi matahari terbaca  $x < 2$  rad akan dialihkan ke controller MPC 3

Dimana  $x$  = Posisi matahari (Radian), dimana 2 rad dan 5 rad adalah nilai dari posisi matahari

III. METODE

Proses pengambilan data motor DC dikarenakan keterbatasan Motor DC yang tidak ada label merknya, disini menggunakan *System Identification* untuk mendapatkan persamaan sistemnya. Diawali dengan menggunakan potensiometer dan Sensor MPU 6050 untuk mendapatkan data PWM dan Degree dimana Arduino Uno dan Data Streamer Microsoft Excel dihubungkan agar mendapatkan data secara otomatis, data yang didapatkan seperti tertera di lampiran 1

Setelah mendapatkan data, data tersebut di unggah ke dalam Matlab, di dalam Matlab data tersebut diubah menjadi bentuk array, lalu data tersebut di import ke dalam *system identification*. Setelah itu estimasikan ke bentuk model state space data import yang telah di import ke *system identification* tersebut. Rancang lah state space tersebut agar menghasilkan *fit estimation* lebih dari 90%. Di pengujian kali ini mendapatkan *fit estimation* lebih dari

90% dari mengubah *range frequency*. Persamaan state space didapatkan dari persamaan:

```

ssl =
Continuous-time identified state-space model:
dx/dt = A x(t) + B u(t) + K e(t)
y(t) = C x(t) + D u(t) + e(t)

A =
      x1      x2
x1 -2.774 +/- 1.577e+14 -3.164 +/- 1.095e+14
x2  8.775 +/- 3.64e+14 -0.9656 +/- 1.577e+14

B =
      u1
x1 1.746 +/- 1.804e+14
x2 -12.39 +/- 3.185e+14

C =
      x1      x2
y1 0.376 +/- 3.38e+13 -0.7057 +/- 3.06e+13

D =
      u1
y1 0

K =
      y1
x1 0.003066 +/- 2.488e+11
x2 0.01151 +/- 3.463e+11
    
```

Gambar 3 Hasil System Identification

$$\frac{dx}{dt} = Ax(t) + Bu(t) \tag{5}$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) \tag{6}$$

$$A = \begin{bmatrix} -2,774 & -3,164 \\ 8,775 & 0,9656 \end{bmatrix} \tag{7}$$

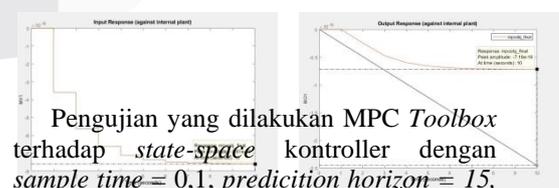
$$B = \begin{bmatrix} 1,746 \\ -12,39 \end{bmatrix} \tag{8}$$

$$C = [0,376 \quad -0,7057] \tag{9}$$

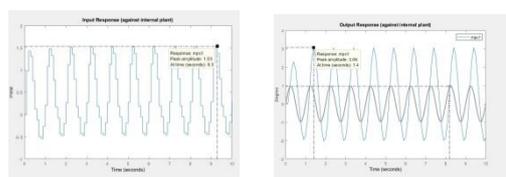
$$D = 0 \tag{10}$$

**Design MPC Toolbox Terhadap Controller**

Pengujian yang dilakukan MPC *Toolbox* terhadap *state-space* controller dengan *sample time* = 1, *prediction horizon* = 20, *control horizon*, 1 menghasilkan input dan output response yang ditunjukkan pada gambar 4

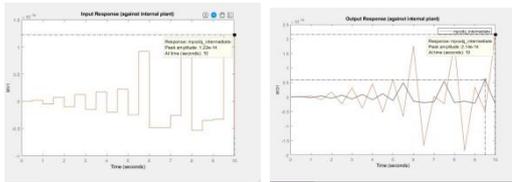


Pengujian yang dilakukan MPC *Toolbox* terhadap *state-space* controller dengan *sample time* = 0,1, *prediction horizon* = 15, *control horizon*, 2 menghasilkan input dan output response yang ditunjukkan pada gambar 5



Gambar 5 Hasil Kontrol MPC Designer 2

Pengujian yang dilakukan MPC Toolbox terhadap *state-space* controller dengan *sample time* = 0,5, *prediction horizon* = 20, *control horizon*, 1. menghasilkan input dan output response yang ditunjukkan pada gambar 6



Gambar 6 Hasil Kontrol MPC Designer 3

Pada gambar 4.4, gambar 4.5 dan gambar 4.6 diatas memperlihatkan grafik input dan output berupa Sinyal Input data dari PWM dan Sinyal Output data dari Degree. Pada sinyal plant output terdapat 2 sinyal yaitu sinyal dari LTI System (garis berwarna biru dan jingga) dan sinyal dari refrensi yang diberikan (garis berwarna abu-abu).

Tabel 1 Perbedaan 3 Desain Model MPC

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengujian Gain-Scheduled MPC Menggunakan Simulink

Pengujian Gain-Scheduled MPC setelah didapatkannya Design MPC merancang design simulink. Simulink yang digunakan seperti pada gambar 4.19. Desain konsep pada simulink Gain-Schedule, Motor (Motor DC) merupakan plant dan Multiple MPC merupakan controller dari sebuah model gain-schedule MPC. Keluaran motor DC merupakan torsi, dari keluaran Motor DC terubung ke panel.

	MPC Design 1	MPC Design 2	MPC Design 3
Prediction Horizon	20	15	20
Control Horizon	1	2	1
Sample Time	1	0,1	0,5

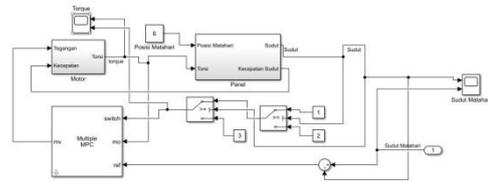
Sistem ini dirancang dengan 3 metode controller MPC yaitu:

1. Jika nilai posisi matahari terbaca  $x > 5$  rad akan dialihkan ke controller MPC 1

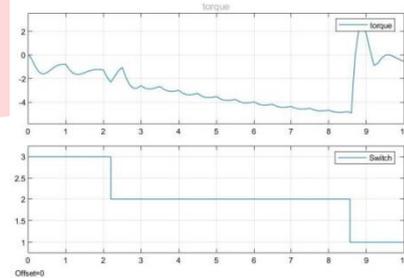
2. Jika nilai posisi matahari terbaca  $2 \text{ rad} < x < 5 \text{ rad}$  akan dialihkan ke controller MPC 2

3. Jika nilai posisi matahari terbaca  $< 2 \text{ rad}$  akan dialihkan ke controller MPC 3

Dimana  $x$  = Posisi matahari (Radian), dimana 2 rad dan 5 rad adalah nilai dari posisi matahari



Gambar 7 Simulink Gain-Schedule MPC

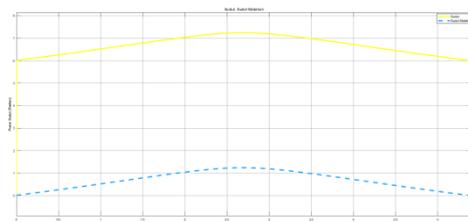


Gambar 8 Gambar Sinyal Torsi

Tabel 2 Data Statistik Sinyal Torsi Gain-Schedule

Torsi	
Data	Nilai
Rise Time	80,551 ms
Overshoot	53,007%

Hasil dari sinyal torsi dapat dilihat pada gambar 4.10. Berdasarkan tabel 4.4 didapatkan data torsi pada panel mengalami Rise Time 80,551 ms, Overshoot 53,007%. Terlihat juga bahwa pada sinyal terdapat pergantian sinyal pada detik + ke 2 dan detik ke 8,5 yang menandakan pergantian kontrol MPC yang di rancang. Sumbu datar merupakan time (second), sumbu tegak torsi merupakan satuan Nm, sumbu tegak pada switch merupakan satuannya adalah radian.



Gambar 9 Gambar Sinyal Sudut Matahari

Tabel 3 Data Statistik Sinyal Sudut Matahari Gain-Schedule

Posisi Matahari	
Data	Nilai
Overshoot	0,505%
Risetime	9,399ks

Hasil sinyal dari sudut matahari dilihat pada **gambar 4.11**. Berdasarkan tabel 4.5 didapatkan data sinyal sudut matahari pada panel yaitu Overshoot 0.505% dan Risetime 9,399ks. Terlihat juga bahwa pada sinyal gambar 4.11 dimulai dari keadaan waktu 0, pada saat sumbu tegak(rad) pada posisi 6 rad, sinyal rancang dapat mengikuti refrensi yang diinginkan. Sumbu datar merupakan time (second) dan sumbu tegak merupakan radian.

#### V. KESIMPULAN

Pada penelitian tugas akhir ini yang mensimulasikan metode *Gain Scheduled Model Predictive Control* (MPC) pada motor DC terhadap derajat. Berdasarkan hasil dari simulasi dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dikarenakan tidak adanya model dari motor DC yang digunakan, model matematik dari model motor DC menggunakan *system identification* pada matlab.
2. Pengendalian MPC hasil proses dipengaruhi oleh *cost function*, *constraint*, *parameter Np* (*Prediction Horizon*) dan *Nc* (*Control Horizon*).
3. Untuk menggunakan metode kontrol *Gain Scheduled* harus adanya variabel tambahan untuk mengatur kontrol tersebut. Variabel tambahan tersebut salah satunya menggunakan lebih dari 2 model MPC.
4. Kecocokan data estimasi pada *system identification* lebih dari 90%.
5. Menggunakan Data Streamer mempermudah pengambilan data pada serial monitor pada Arduino.
6. Pada pengujian kali ini mendapatkan bahwa pada sinyal terdapat pergantian sinyal pada detik + ke 2 dan detik ke 8,5 yang menandakan pergantian kontrol MPC yang di rancang.
7. Sinyal torsi, kecepatan sudut dan posisi matahari dapat mengikuti kontrol yang dijadwalkan.

## REFERENSI

- [1] Mintorogo, D. (2004). Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic Cells) Pada Perumahan dan Pembangunan Komersial. *DIMENSI (Journal of Architecture and Built Environment)*, 13.
- [2] Siregar, H. S., & Adinandra, R. M. (2018). Model Predictive Control (MPC) untuk sistem motor DC berbasis LabView. 4.
- [3] Fachri, R. K. (2021). IMPLEMENTASI METODE KONTROL PADA AUTONOMOUS MOBIL ROBOT DENGAN FUNGSI LYAPUNOV-BARIER TERHADAP SISTEM NAVIGASI WAYPOINT. 98.
- [4] Handoko, P. (2017). SISTEM KENDALI PERANGKAT ELEKTRONIKA MONOLITIK BERBASIS ARDUINO UNO R3. 11.
- [5] Khanna, A., & Gaur, T. (2017). Model Predictive Control Of Dc Motor Model In Matlab. *Scientific & Engineering Research*, 4.
- [6] Almada, D., & Yusuf, H. (2017). Perancangan Prototype Proteksi Arus Beban Lebih Pada Beban DC Menggunakan Mikrontroller. 10.
- [7] Azis, P. F. (2020). Implementasi Robot Beroda Menggunakan Driver L298N Melalui MPU6050 Sebagai Kendali Gestur Tangan. 72.
- [8] Ariffin, S., & Fathoni, A. (2014). PEMANFAATAN PULSE WIDTH MODULATION UNTUK MENGONTROL MOTOR. 17.
- [9] Gholaminejad, T., Khaki-Sedigh, A., & Bagheri, P. (2017). Direct adaptive model predictive control tuning based on the first-order plus dead time models. *The Institution of Engineering and Technology*, 12.
- [10] Wróbel, K., Serkies, P., & Szabat, K. (2020). Model Predictive Base Direct Speed Control of Induction Motor Drive -Continuous and Finite Set Approaches. 15.
- [11] Landau, I. d., Lozano, R., M'Saad, M., & Karimi, A. (2011). Dalam *Adaptive Control Algorithms, Analysis and Applications Second Edition* (hal. 610). Springer-Verlag London.
- [12] Leque, A., & Hegedus, S. (2011). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* (2nd ed.). Jhon Wiley & Sons.
- [13] Camacho, E., & Bordons, C. (2012). *Model Predictive Control*. Sevilla: Springer Science & Business Media.
- [14] Firman, B. (2016). SENSOR IMU MPU6050. *IMPLEMENTASI SENSOR IMU MPU6050 BERBASIS SERIAL I2C PADA SELF-BALANCING ROBOT*, 4-5.
- [15] Ahyar, M. (2016, November). PERANCANGAN PENGENDALI MODEL PREDICTIVE CONTROL PADA SERVOMEKANIS DC, Vol. 8, No. 1. *DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 10.