Model Predictive Control (MPC) untuk Sistem Motor DC Berbasis LabVIEW

SKRIPSI

untuk memenuhi salah satu persyaratan
mencapai derajat Sarjana S1



Disusun oleh:

Hasian Syuhada Syahraputra Siregar

13524024

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

2018

LEMBAR PENGESAHAN

Model Predictive Control (MPC) untuk Sistem Motor DC Berbasis LabVIEW

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Disusun oleh:

Hasian Syuhada Syahraputra Siregar
13524024

Yogyakarta, 31 Agustus 2018

Menyetujui,

Pembimbing

R M Sisdarmanto Adinandra, S.T., M.Sc
025240101

PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta, 1 Agustus 2018



Hasian Syuhada Syahraputra Siregar

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Model Predictive Control (MPC) untuk Sistem Motor DC Berbasis LabVIEW

TUGAS AKHIR

Disusun oleh:

Nama : Hasian Syuhada Syahraputra Siregar

No. Mahasiswa : 13524024

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 31 Agustus 2018

Tim penguji,

R M Sisdarmanto Adinandra, S.T., M.Sc ……

Ketua

Almira Budiyanto, S.Si., M.Eng. ……

Anggota I

Firmansyah Nur Budiman, S.T., M.Sc. ……

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik elektro

Universitas Islam Indonesia

Yusuf Aziz Amrulloh, S.T., M.Eng., Ph.D.

KATA PENGANTAR



Assalaamu'alaikum Warrahmatullaahi Wabarokaatuh

Puji syukur atas kehadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Skripsi dan laporan Skripsi. Shalawat serta salam selalu kita haturkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan seluruh sahabatnya.

Penyusunan laporan ini tidak bisa lepas dari bimbingan, dorongan, dan bantuan baik material dan spiritual dari berbagai pihak. Sehingga Skripsi dan laporan Skripsi yang telah dilaksanakan dengan baik dan dapat terealisasi dengan baik pula. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. R M Sisdarmanto Adinandra S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing.
2. Mama, Papa, dan Kakak saya tercinta atas pengorbanan, serta senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan.
3. Saudara-saudaraku Teknik Elektro, yang telah saling membantu dan menyemangati.
4. Semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu dan telah berpartisipasi serta mendukung saya dalam melakukan Skripsi.

Diharapkan laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, terutama bagi perkembangan teknologi di Indonesia. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran serta kritikan yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kita pemahaman ilmu yang bermanfaat.

Wassalaamu'alaikum Warrahmatullaahi Wabarokaatuh

Klaten, Agustus 2018

Penulis,

Hasian Syuhada Syahraputra Siregar

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

MPC = *Model Predictive Control*

N_p = *Prediction horizon*

N_c = *Control horizon*

LabVIEW = *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*

ABSTRAK

Dalam dunia pengendalian sangat banyak metode yang digunakan untuk memenuhi karakteristik pengendalian. Dalam setiap metode pengendalian dalam dunia industri maupun keseharian memiliki kelebihan dan kekurangannya. Model Predictive Control (MPC) merupakan salah satu metode pengendalian dan merupakan strategi pengendali lanjutan. Sistem miniplant Motor DC merupakan salah satu sistem yang dapat diterapkan oleh pengendalian MPC yang membutuhkan settling time yang cepat dan memiliki overshoot kecil. LabVIEW merupakan basis pemrograman yang digunakan karena program yang mudah untuk dipahami dan meminimalkan kesalahan. Parameter yang digunakan sebagai proses prediksi dan optimasi pengendalian adalah N_p (Prediction horizon) dan N_c (Control horizon). Hasil yang sudah sesuai dengan tujuan pengendalian terdapat pada saat set point 1000 RPM N_p= 3 dan N_c= 1 dengan settling time 2,461 detik dan overshoot 5,56 dan N_p = 7 dan N_c = 6 dengan settling time 2,881 detik dan overshoot 6,67 dan saat set point 2000 RPM N_p =5 dan N_c =1 dengan settling time 1,517 detik dan overshoot 5,83, N_p =5 dan N_c =2 dengan settling time 2,720 detik dan overshoot 5,28 dan N_p =5 dan N_c =3 dengan settling time 0,931 detik dan overshoot 5,28.

Kata kunci : MPC, Motor DC, *settling time*, *overshoot*, LabVIEW

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ii
PERNYATAAN iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI iv
KATA PENGANTAR v
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN vi
ABSTRAK vii
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR TABEL xi
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan Penelitian 2
1.5 Manfaat Penelitian 2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 3
2.1 Studi Literatur 3
2.2 Tinjauan Teori 3
2.2.1 *Model* Predictive *Control* (MPC) 4
2.2.2 Motor DC 5
2.2.3 LabVIEW 6
BAB 3 METODOLOGI 7
3.1 Pemodelan sistem Motor DC 7
3.2 Pengendalian *Model Predictive Control* Motor DC 9

3.2.1 Indeks Performa *Model Predictive Control* Sistem Motor DC..... 9
3.2.2 Pengaturan Parameter *Model Predictive Control*..... 9
3.3 Implementasi *Model Predictive Control* pada Sistem Motor DC pada LabVIEW..... 10
3.3.1 Implementasi MPC pada Sistem Motor DC pada LabVIEW untuk Simulasi..... 10
3.3.2 Implementasi MPC pada Sistem Motor DC pada LabVIEW untuk *real-time*..... 11
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN..... 12
4.1 Pengujian Motor DC..... 12
4.2 Pengujian untuk Kecepatan Motor DC 1000 RPM..... 13
4.3 Pengujian untuk Kecepatan Motor DC 1500 RPM..... 13
4.4 Pengujian untuk Kecepatan Motor DC 2000 RPM..... 15
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN..... 16
5.1 Kesimpulan..... 16
5.2 Saran..... 16
DAFTAR PUSTAKA..... 17
LAMPIRAN..... 18

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 MPC *Strategy*.....4

Gambar 2.2 Struktur pengendalian MPC.....5

Gambar 3.1 *Miniplant* Motor DC.....7

Gambar 3.2 Block Diagram LabVIEW MPC sistem Motor DC simulasi.....10

Gambar 3.3 Block Diagram LabVIEW MPC sistem Motor DC *real-time*.....11

Gambar 4.1 Hasil pengujian pada 1000 RPM untuk Nilai N_p=3 dan N_c =1, 2 dan 3.....12

Gambar 4.2 Hasil pengujian pada 1000 RPM untuk Nilai N_p=5 dan N_c =1, 2, 3, 4 dan 5.....12

Gambar 4.3 Hasil pengujian saat kecepatan Motor DC 1500 RPM.....14

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Pengaturan parameter N_p (*Prediction horizon*) dan N_c (*Control horizon*).....10

Tabel 4.1 Hasil *settling time* dan *overshoot* pengujian pada 1000 RPM.....13

Tabel 4.2 Hasil *settling time* dan *overshoot* pengujian pada 1500 RPM.....14

Tabel 4.3 Hasil *settling time* dan *overshoot* pengujian pada 2000 RPM.....15

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pengendalian dalam sebuah sistem mempengaruhi perkembangan teknologi. Dengan adanya perkembangan teknologi, banyak teknologi sekarang yang digunakan di kehidupan sehari-hari dan biasanya hanya dapat dilihat di dunia industri, sebagai contoh pengendalian dalm *stir tank*, konveyor, *level tank* dan lain-lain.Teknologi di zaman sekarang dan perkembangannya sudah memasuki keseharian manusia, yaitu *smart home* seperti lampu cerdas, dapur cerdas, pendingin ruangan otomatis dan lain-lain. Perkembangan teknologi sendiri dapat bersifat sederhana maupun kompleks.

Fungsi pengendalian dalam sebuah sistem adalah meningkatkan performa sistem, meminimalkan *error* sistem dan menjaga stabilitas sistem agar sesuai dengan tujuan pengendaliannya. Keluaran sebuah sistem merupakan nilai konstan, oleh karena itu perlu dikendaliakan agar nilai yang sesuai kriteria memiliki *error* yang minimal. Sistem kendali atau pengendalian bekerja dalam menjaga nilai *error* untuk selalu mendekati nilai 0.

Salah satu sistem yang dikendalikan oleh pengendalian adalah sistem motor DC. Sistem motor DC adalah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik mejadi energi mekanik. Motor DC memliki proses yang cepat disebabkan oleh nilai torsi awal motor DC yang besar dan perfoma kecepatan yang linier. Aplikasi motor DC dalam kehidupan sehari-hari adalah kipas angin, *wiper* mobil, pemutar CD dan lain-lain, dan dalam dunia industri adalah mesin *drill*, mesin *spinning*, *elevator*, kompresi udara dan lain-lain.

Dalam pengendalian ada beberapa metode yang dapat digunakan yaitu PID Control, Sistem *Fuzzy*, Jaringan Saraf Tiruan (JST), *Model Predictive Control* (MPC) dan lain-lain. Dari beberapa metode pengendalian memiliki keunggulan dan kelemahannya masing-masing. Walaupun memiliki metode dan hasil pengendalian yang berbeda, tetapi memiliki tujuan yang sama yaitu memenuhi tujuan pengendalian itu sendiri.

Dalam penilitian digunakan metode pengendalian *Model Predictive Control* (MPC) dalam sebuah sistem. *Model Predictive Control* (MPC) merupakan strategi pengendalian lanjutan [1]. Pemilihan pengendalian ini karena masih belum banyak penelitian yang menggunakan pengendalian ini dalam sebuah sistem. Keunikan dari pengendalian ini adalah terdapat sistem prediksi hasil pengendaliannya.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana merancang MPC dan mengatur parameternya dalam sistem Motor DC untuk *settling time* kurang dari sama dengan 3 detik dan *overshoot* kurang dari 10%?

1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Menggunakan tipe MPC Linier.
2. Menggunakan NI LabVIEW 2014 (32-bit).
3. Keluaran Motor DC adalah 3000 RPM.

1.4 Tujuan Penelitian

Merancang MPC dan mengatur parameternya dalam sistem Motor DC untuk *settling time* kurang dari 3 detik dan *overshoot* kurang dari 10%?

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini adalah:

1. Merancang program MPC pada LabVIEW untuk sistem Motor DC.
2. Mendapatkan pengetahuan tentang MPC.
3. Mendapatkan parameter MPC untuk memenuhi tujuan pengendalian dalam sebuah sistem.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Penelitian karya A. Baskoro [2], dalam penelitian ini menjelaskan tentang analisis pengendalian MPC terhadap performa sistem pemanas udara dengan melihat nilai *settling time*. Penelitian berisi tentang perancangan sistem, pengujian dan analisis. Perancangan sistem merupakan kegiatan untuk mendapatkan parameter pengendalian *Model Predictive Control* untuk mendapatkan performa sistem terbaik yang dilihat dari *settling time* dan pengujian sistem merupakan kegiatan pengujian pengendali *Model Predictive Control* kedalam sistem *real-time*. Penelitian ini tidak memenuhi tujuan penelitian, yaitu untuk mendapatkan nilai *settling time* yang kurang dari 90 detik.

Penelitian karya Changliang dan kawan-kawan [3], dalam penetian ini menjelaskan tentang analisis pengendalian *finite-states* MPC pada *permanent magnet brushless DC motor*(BLDCM) untuk mengurangi komutasi riak torsi. Pengendalian FS-MPC digunakan untuk memprediksi respon selanjutnya pada periode sampling untuk setiap *switch power* dan mengevaluasi *cost function* yang telah ditentukan. FS-MPC dapat meminimalkan komutasi riak torsi pada BLDCM.

Penelitian karya D. Jichkar dan Y. Sondkar [4], dalam penetian ini menjelaskan tentang perbandingan komperatif dalam implementasi LabVIEW pada *Model Predictive Control* (MPC) dengan PID *Controller* untuk *flow control loop*. Perbandingan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *settling time* dan *Zero Pick Overshoot*. MPC *Controller* memiliki akurasi dan respon yang cepat dalam pengendalian dibandingkan PID *Controller* dalam proses dalam sistem.

Kontribusi penelitian ini adalah memahami pengertian, fungsi dan perancangan *Model Predictive Control* (MPC) beserta mengatur parameternya dalam sistem Motor DC untuk memenuhi tujuan pengendalian. Tujuan pengendalian penetian adalah memperoleh nilai *settling time* yang kurang dari 2 detik. Parameter menggunakan N_p (*Prediction horizon*) dan N_c (*Control horizon* yang telah ditentukan dan akan di dapatkan hasil yang memenuhi tujuan pengendalian.

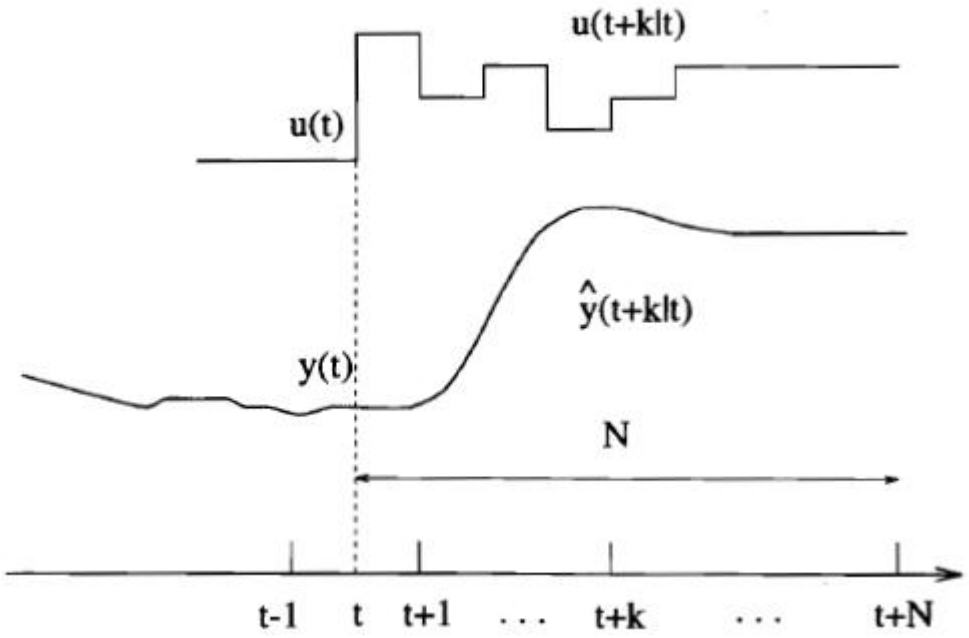
2.2 Tinjauan Teori

Dalam tinjauan teori hanya akan menjelaskan secara umum teori yang sebagai landasan teori penelitian. Seperti halnya pengertian umum dan keterkaitan antar tinjauan teori. Beberapa landasan teori tersebut adalah *Model Predictive Control* (MPC), Motor DC dan LabVIEW.

Model Predictive Control merupakan pengendalian sistem yang akan digunakan. Motor DC adalah sistem yang dikendalikan. LabVIEW sebagai basis pemprograman.

2.2.1 *Model Predictive Control* (MPC)

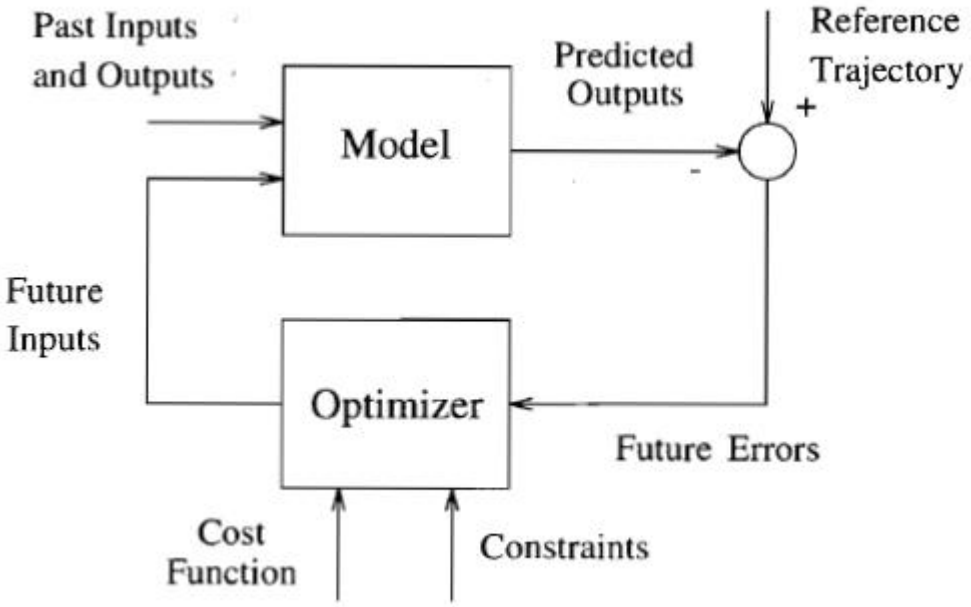
Model Predictive Control (MPC) adalah salah satu pengendalian yang menggunakan metode prediksi. Munculnya pengendalian prediksi berdasarkan keinginan dalam proses output dalam sebuah sistem selanjutnya dapat diketahui, rangkain perhitungan dalam pengendalian yang akan meminimalakan *objective function* dan setiap keluaran sistem sebelumnya akan masuk dalam perhitungan sebagai keluaran di masa depan atau selanjutnya pada setiap rangkain perhitungan [5]. MPC berbasis pada perhitungan iteratif atau berulang yang mengoptimalkan *infite-horizon* pada sistem.



Gambar 2.1 MPC *Strategy* [5]

Metode MPC atau pengendalian prediksi dalam pengendalian dapat dilihat dalam Gambar 2.1 yang merupakan strategi MPC. Metode dibagi menjadi tiga yaitu sinyal u atau sinyal kendali, sinyal y atau sinyal keluaran dan N atau *horizon* yang menetukan keluaran di masa depan atau selanjutnya. Prinsip kerjanya yaitu menggunakan model sistem sebagai prediksi keluaran di masa depan dalam rentang N atau *horizon*, menghitung sinyal kendali untuk meminimalkan *objective function* yang telah ditetapkan untuk menjaga sinyal keluaran proses sedekat mungkin dengan karakteristik sistem dan sinyal keluaran berikutnya mengikuti perhitungan yang mengunakan sinyal kendali sebelumnya seperti halnya untuk sinyal y(k+1) akan mengunakan

sinyal kendali u(k) dan selanjutnya sinyal y(k+1|k+1) akan mengunakan sinyal kendali baru u(k+1) karena nila sinyal keluaran y(k+1) sudah diketahui nilainya.



Gambar 2.2 Struktur pengendalian MPC [5]

Dalam Gambar 2.2 merupakan struktur dasar dalam pengendalian MPC. Model menggunakan pada prediksi keluarannya berdasarkan nilai sebelumnya dan nilai sekarang dalam pengoptimasian pengendalian di masa depan [5]. Seperti halnya pengendalian lainya yang membedekan adalah ada 3 masukan yang mengendalikan model yaitu masukan dan keluaran sebelumnya dan prediksi keluaran yang masuk dalam perhitungan.

2.2.2 Motor DC

Motor DC adalah salah satu mesin yang mengubah energi listrik ke energi gerak [6]. Kelebihan Motor DC antara lain memiliki daya keluaran yang cukup besar dan penggunaan yang mudah. Kelemahan dari Motor DC adalah arus masukan yang direkomendasikan yang besar, sesuai bebannya dan apabila tegangan masukan yang tidak stabil membuat flux pada kumparan magnet dalam motor DC tidak stabil.

Dalam *transfer function* motor DC yaitu [6] :

$$G_m(s) = \frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{K_T}{(sL_a + R)(sJ + D) + K_E K_T} \tag{2.1}$$

K_T = torsi konstan

L_a = induktansi

R = resistansi

J = *moment of inertia*

D = *viscous damping factor*

K_E = tegangan konstan

2.2.3 LabVIEW

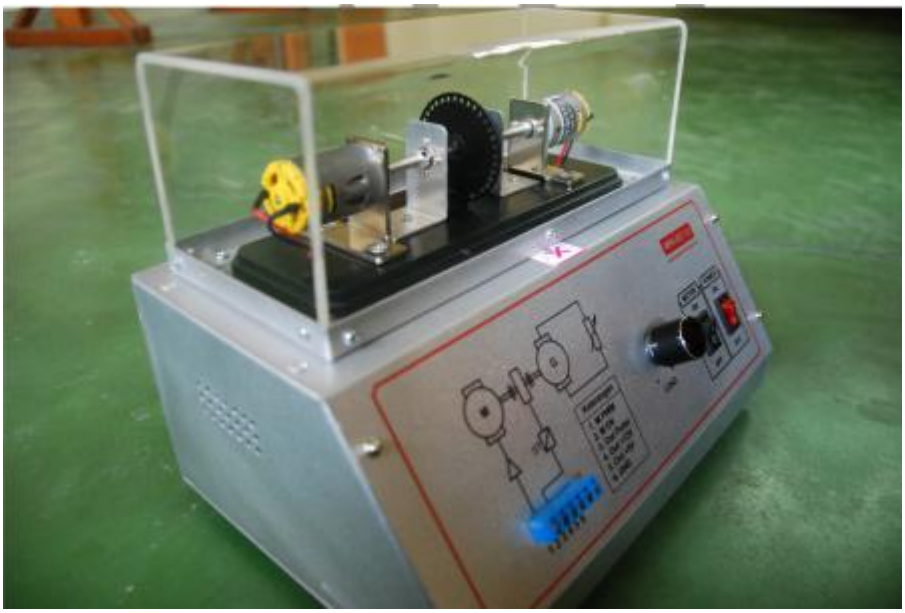
LabVIEW(*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) adalah sebuah software pemrograman berisi intrumen virtual yang terdiri dari komputer, perangkat lunak dan perangkat keras yang digabungkan dan dikonfigurasi untuk menyamai fungsi intrumentasi tradisional [7]. Perbedaan LabVIEW dengan *software* pemrograman yang lain yaitu menggunakan VI(Virtual Instruments) yang terdiri dari tiga komponen yaitu *block diagram*, *front panel* dan *connector panel*. Berdasarkan hal tersebut LabVIEW lebih mudah dipahami dalam pembacaan program dan meminimalkan kesalahan dalam pemrograman.

MPC dalam LabVIEW menggunakan beberapa VI yaitu “CD Create MPC Controller VI”, “CD Step Forward MPC Window VI” dan “CD Implement MPC Controller VI”. “CD Create MPC Controller VI” memiliki fungsi membuat pengendalian *Model Predictive Control* (MPC) untuk model *state-space*. “CD Step Forward MPC Window VI” memiliki fungsi menghitung nilai *set-point* dan/atau nilai *disturbance*. “CD Implement MPC Controller VI” memiliki fungsi menghitung *Control Action* (u(k)) yang diterapkan ke *plant*.

BAB 3
METODOLOGI

3.1 Pemodelan Sistem Motor DC

Pemodelan sistem Motor DC merupakan proses mencari persamaan matematis dari sistem Motor DC yang berupa fungsi alih dan kemudian diubah menjadi *state space*. Pemodelan diperlukan untuk proses prediksi dan optimasi dalam MPC. Model fungsi alih Motor DC yang digunakan mendekati sistem Motor DC agar nilai prediksi dan optimasi MPC tidak terlalu besar.



Gambar 3.1. *Miniplant* Motor DC

Motor DC yang digunakan dalam penelitian terlihat pada Gambar 3.1. *Transfer function* sistem *miniplant* Motor DC dalam penelitian didapatkan dengan persamaan All-Pole Second Order Transfer Function dan metode Ziegler-Nichols [8]:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = K \frac{\omega_n^{\,2}}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^{\,2}} \tag{3.1}$$

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d} \tag{3.2}$$

$$\tan \omega_d t_r = \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta} \tag{3.3}$$

$$\omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1-\zeta^2}} \tag{3.4}$$

K = Gain overall

ω_n = Frekuensi alami

ζ = Rasio redaman

t_p = Peak time

t_r = Rise time

Berdasarkan data sistem Motor DC open loop didapatkan nilai Gain overall = 65, *rise time* = 0.2139 detik dan *peak time* = 0.93 detik. Persamaan model matematis atau *transfer function* dari sistem Motor DC yang digunakan dalam penelitian adalah:

$$G_m(s) = \frac{3.39}{0.005s^2 + 0.0467s + 0.0522} \tag{3.5}$$

Berdasarkan model matematis atau *transfer function* yang digunakan dalam penelitian didapatkan *state-space* model:

$$x(t) = \begin{bmatrix} -9.34 & -2.61 \\ 4 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 16 \\ 0 \end{bmatrix} u(t) \tag{3.6}$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 0 & 10.59 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} u(t)$$

$x(t)$ = sinyal *state*

$u(t)$ = sinyal masukan (*input*)

$y(t)$ = sinyal keluaran (*output*)

3.2 Pengendalian *Model Predictive Control* Sistem Motor DC

Pengendalian MPC sistem Motor DC dapat dilihat pada Gambar 2.2 Struktur pengendalian MPC. Merubah *Reference Trajectory* menjadi keluaran sistem Motor DC dan masukan Motor DC adalah *Predicted Output*. Sistem Motor DC memiliki masukan *duty cycle* dan keluaran RPM.

3.2.1 Indeks Performa *Model Predictive Control* Sistem Motor DC

Indeks performa dalam MPC merupakan *cost function* dengan meminimalkan nilainya. *Cost function* merupakan sebuah formula atau persamaan, cerminan perubahan *error* terhadap referansi dan aksi pengendalian. Salah satu indeks performa yang sering digunakan adalah indeks Generalized Predictive Control (GPC) dan indeks Linear Quadratic Predictive Control (LQPC).

Cost function atau indeks performa yang digunakan dalam penelitian ini adalah [9]:

$$J(u,k) = \sum_{j=N_m}^{N} \hat{x}^T(k+j\,|\,k) Q \hat{x}(k+j\,|\,k) + \sum_{j=1}^{N} u^T(k+j-1\,|\,k) R u(k+j-1\,|\,k) \tag{3.7}$$

$J(u,k)$ = indeks performa output.

$x(k)$ = sinyal *state*

$u(k)$ = sinyal kendali

Q = matrix bobot *state*

R = matrix bobot pengendali

3.2.2 Pengaturan Parameter *Model Predictive Control*

Pengaturan parameter dalam MPC merupakan bagian penting dalam proses prediksi dan optimasi pengendalian. Parameter tersebut adalah N_p (*Prediction horizon*) dan N_c (*Control horizon*). Parameter ini memiliki ketentuan untuk menentukan nilainya, N_p dan N_c harus berupa bilangan bulat, nilai N_c tidak boleh besar dari nilai N_p dan nilai maksimal adalah N_c sama dengan nilai N_p.

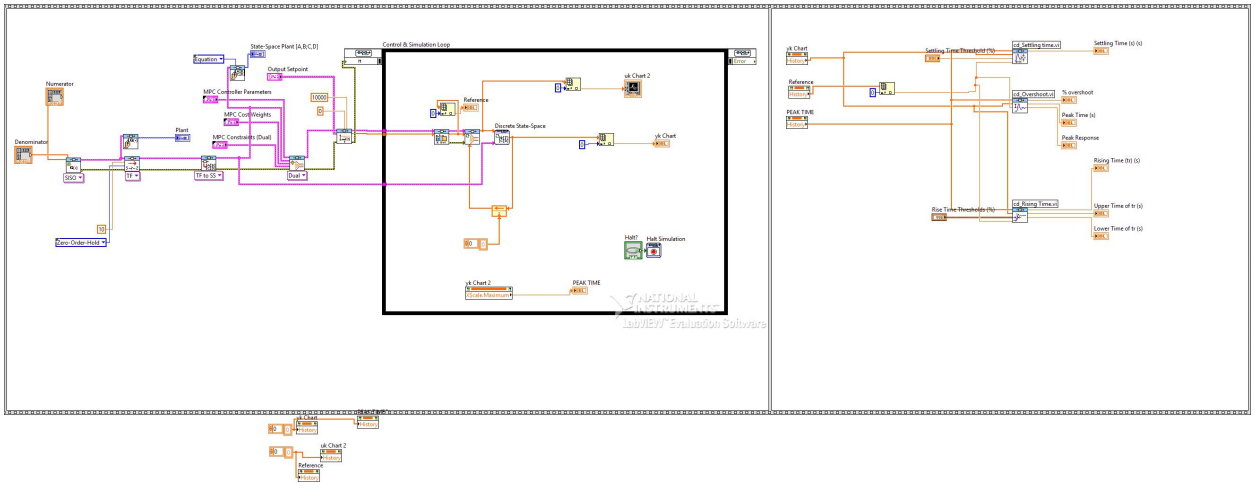
Tabel 3.1 Pengaturan parameter N_p (*Prediction horizon*) dan N_c (*Control horizon*)

Kecepatan Motor DC	N_p	N_c						
1000 RPM	3	1	2	3				
	5	1	2	3	4	5		
	7	1	2	3	4	5	6	7
1500 RPM	3	1	2	3				
	5	1	2	3	4	5		
	7	1	2	3	4	5	6	7
2000 RPM	3	1	2	3				
	5	1	2	3	4	5		
	7	1	2	3	4	5	6	7

3.3 Implementasi *Model Predictive Control* pada Sistem Motor DC pada LabVIEW

Setelah pemodelan sistem, mengatur indeks performa dan parameter MPC langkah selanjutnya implementasikan pengendalian MPC pada sistem Motor DC secara simulasi dan *real-time*. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam implementasikan pengendalian MPC pada LabVIEW yaitu tujuan pengendalian (*settling time*, *overshoot*, *rise time*, dan lain-lain), VI yang digunakan dalam MPC pada LabVIEW, parameter dan pemodelan.

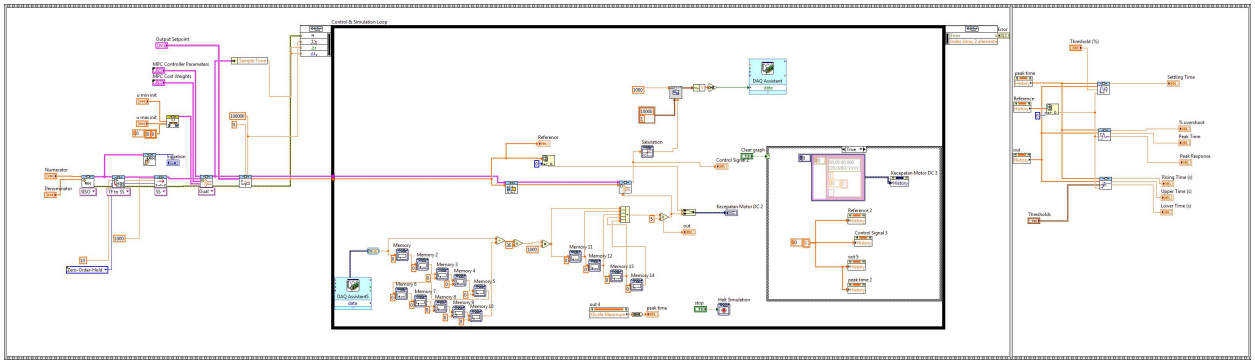
3.3.1 Implementasi MPC pada Sistem Motor DC pada LabVIEW untuk Simulasi



Gambar 3.2 Block Diagram LabVIEW MPC sistem Motor DC simulasi

Program LabVIEW dalam implemetasi *Model Predictive Control* pada sistem Motor DC untuk simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.2. Program terdiri dari sistem pengendalian MPC dan karakteristik tujuan pengendaliannya.

3.3.2 Implementasi MPC pada Sistem Motor DC pada LabVIEW untuk *Real-Time*



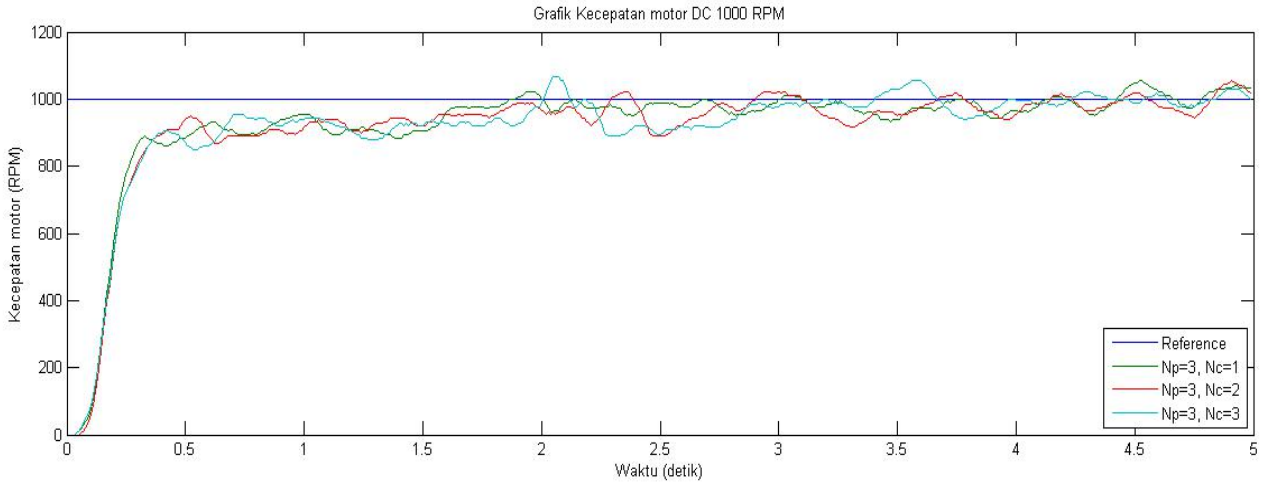
Gambar 3.3 Block Diagram LabVIEW MPC sistem Motor DC *real-time*

Program LabVIEW dalam implemetasi *Model Predictive Control* pada sistem Motor DC untuk *real-time* dapat dilihat pada Gambar 3.3. Program terdiri dari sistem pengendalian MPC dan karakteristik tujuan pengendaliannya. Program *real-time* yang membedakan adalah terdapat akusisi data sebagai pengambilan data secara *real-time*.

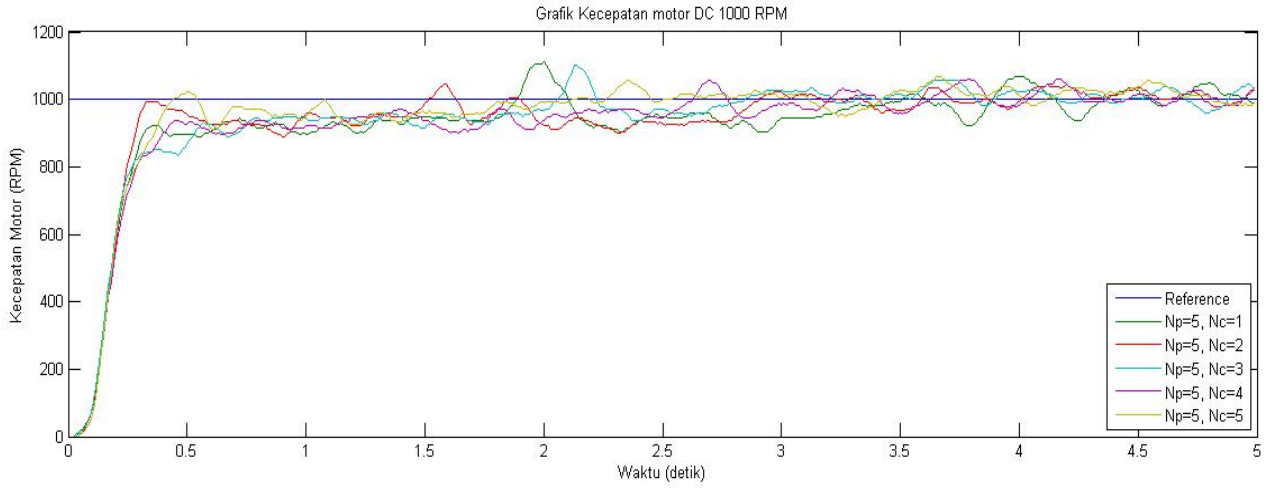
BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Motor DC

Pada pengujian dilakukan pada 3 kondisi yaitu pada kecepatan Motor DC 1000, 1500 dan 2000 RPM. Pengujian dilakukan sebanyak 15 data dengan berbeda parameter N_p dan N_c.



Gambar 4.1. Hasil pengujian pada 1000 RPM untuk Nilai N_p=3 dan N_c=1, 2, dan 3



Gambar 4.2. Hasil pengujian pada 1000 RPM untuk Nilai N_p=5 dan N_c=1, 2, 3, 4 dan 5

Pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh sudah sesuai dengan sinyal referensi 1000 RPM. Kekurangan dari hasil yang diperoleh adalah masih memiliki nilai berubah-ubah setelah menuju keadaan *steady-state* yang cukup besar. Hal ini disebabkan keadaan keluaran motor DC yang digunakan dan/atau model yang diberikan kepada sistem pengendalian MPC belum sesuai dengan sistem Motor DC.

4.2 Pengujian untuk Kecepatan Motor DC 1000 RPM

Pada pengujian kecepatan Motor DC 1000 RPM dilakukan sebanyak 15 pengujian untuk setiap nilai parameter N_p dan N_c yang telah ditunjukan pada Tabel 3.1. Pengujian simulasi dan *real-time* akan dibandingkan dari nilai settling time kurang dari sama dengan 3 detik dan overshoot kurang dari 10 %. Perubahan nilai parameter N_p dan N_c juga sebagai analisa pengujian. Berikut ini tabel hasil pengujian:

Tabel 4.1. Hasil *settling time* dan *overshoot* pengujian pada 1000 RPM

Np	Nc	Settling Time (s) Simulasi	Overshoot (%) Simulasi	Settling Time (s) *Real-time*	Overshoot (%) *Real-time*
3	1	3	0	2,461	5,56
3	2	3	0	5,032	8,33
3	3	3	0	5,618	8,33
5	1	3	0	4,260	11,11
5	2	3	0	3,772	9,44
5	3	3	0	4,126	10,56
5	4	3	0	4,649	7,78
5	5	3	0	3,452	6,67
7	1	3	0	3,528	6,67
7	2	3	0	4,023	8,33
7	3	3	0	4,983	8,33
7	4	3	0	2,841	11,11
7	5	3	0	3,841	8,33
7	6	3	0	2,881	6,67
7	7	3	0	3,841	11,11

Analisis pengujian berdasarkan Tabel 4.1 pengaruh bertambahnya nilai N_p membuat *overshoot* menjadi bertambah akan tetapi untuk sebagian besar parameter dan pengaruh bertambahnya nilai N_c membuat *overshoot* berkurang akan tetapi untuk sebagian besar parameter. Pengaruh bertambahnya nilai N_p membuat *settling time* menjadi melambat akan tetapi untuk sebagian besar parameter dan pengaruh bertambahnya nilai N_c membuat *settling time* berkurang akan tetapi untuk sebagian besar parameter. Nilai *settling time* dan *overshoot* simulasi dan real-time masih memiliki selisih yang cukup besar.

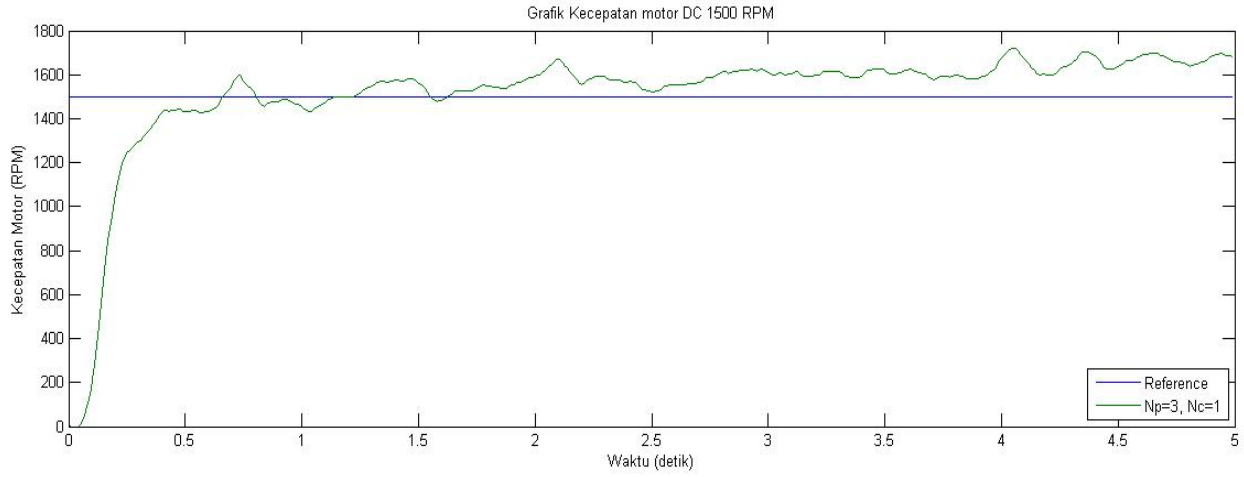
4.3 Pengujian untuk Kecepatan Motor DC 1500 RPM

Pada pengujian kecepatan Motor DC 1500 RPM dilakukan sebanyak 15 pengujian untuk setiap nilai parameter N_p dan N_c yang telah ditunjukan pada Tabel 3.1. Berikut ini tabel hasil pengujian:

Tabel 4.2 Hasil *settling time* dan *overshoot* pengujian pada 1500 RPM

Np	Nc	Settling Time (s) Simulasi	Overshoot (%) Simulasi	Settling Time (s) *Real-time*	Overshoot (%) *Real-time*
3	1	3	0	4,439	34,44
3	2	3	0	4,023	26,3
3	3	3	0	2,923	20
5	1	3	0	2,242	21,85
5	2	3	0	3,878	30
5	3	3	0	2,048	25,19
5	4	3	0	0,69	34,07
5	5	3	0	1,016	32,96
7	1	3	0	2,933	31,11
7	2	3	0	2,278	22,96
7	3	3	0	3,093	29,63
7	4	3	0	1,182	28,52
7	5	3	0	2,867	25,93
7	6	3	0	2,173	44,81
7	7	3	0	2,586	26,30

Analisis pengujian berdasarkan Tabel 4.2 pengaruh bertambahnya nilai N_p membuat *overshoot* menjadi bertambah akan tetapi untuk sebagian besar parameter dan pengaruh bertambahnya nilai N_c membuat *overshoot* berkurang akan tetapi untuk sebagian besar parameter. Pengaruh bertambahnya nilai N_p membuat *settling time* menjadi melambat akan tetapi untuk sebagian besar parameter dan pengaruh bertambahnya nilai N_c membuat *settling time* berkurang akan tetapi untuk sebagian besar parameter. Nilai *settling time* dan *overshoot* simulasi dan real-time masih memiliki selisih yang cukup besar.



Gambar 4.3. Hasil pengujian saat kecepatan Motor DC 1500 RPM

Pada pengujian kecepatan Motor DC 1500 RPM memiliki *steady-state error* yang cukup besar yang dapat dilihat dari nilai *overshoot* yang melebihi dari tujuan pengendalian sebesar 10 % seperti yang ditunjukan pada Gambar 4.3. Hal ini disebabkan keadaan keluaran motor DC

yang digunakan dan/atau model yang diberikan kepada sistem pengendalian MPC belum sesuai dengan sistem Motor DC.

4.4 Pengujian untuk Kecepatan Motor DC 2000 RPM

Pada pengujian kecepatan Motor DC 2000 RPM dilakukan sebanyak 15 pengujian untuk setiap nilai parameter N_p dan N_c yang telah ditunjukan pada Tabel 3.1. Berikut ini tabel hasil pengujian:

Tabel 4.3 Hasil *settling time* dan *overshoot* pengujian pada 2000 RPM

Np	Nc	Settling Time (s) Simulasi	Overshoot (%) Simulasi	Settling Time (s) *Real-time*	Overshoot (%) *Real-time*
3	1	3	0	3,168	6,39
3	2	3	0	4,009	10
3	3	3	0	2,66	12,5
5	1	3	0	1,517	5,83
5	2	3	0	2,72	5,28
5	3	3	0	0,931	5,28
5	4	3	0	3,02	8,61
5	5	3	0	2,608	10,83
7	1	3	0	3,709	6,94
7	2	3	0	3,53	5,28
7	3	3	0	4,277	6,67
7	4	3	0	2,093	15,28
7	5	3	0	2,45	7,81
7	6	3	0	2,972	5
7	7	3	0	3,652	8,33

Analisis pengujian berdasarkan Tabel 4.3 pengaruh bertambahnya nilai N_p membuat *overshoot* menjadi bertambah akan tetapi untuk sebagian besar parameter dan pengaruh bertambahnya nilai N_c membuat *overshoot* berkurang akan tetapi untuk sebagian besar parameter. Pengaruh bertambahnya nilai N_p membuat *settling time* menjadi melambat akan tetapi untuk sebagian besar parameter dan pengaruh bertambahnya nilai N_c membuat *settling time* berkurang akan tetapi untuk sebagian besar parameter. Nilai *settling time* dan *overshoot* simulasi dan real-time masih memiliki selisih yang cukup besar.

Hasil yang sudah sesuai dengan tujuan pengendalian terdapat pada N_p =3 dan N_c =1, saat *set point* 1000 RPM (*settling time* 2,461 detik dan *overshoot* 5,56), N_p =7 dan N_c =6, saat *set point* 1000 RPM (*settling time* 2,881 detik dan *overshoot* 6,67), N_p =5 dan N_c =1, saat *set point* 2000 RPM (*settling time* 1,517 detik dan *overshoot* 5,83), N_p =5 dan N_c =2, saat *set point* 2000 RPM (*settling time* 2,720 detik dan *overshoot* 5,28) dan N_p =5 dan N_c =3, saat *set point* 2000 RPM (*settling time* 0,931 detik dan *overshoot* 5,28).

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Pemodelan pada pengendalian MPC sistem Motor DC sangat mempengaruhi hasil dikarenakan semakin dekat persamaan model dengan sistemnya akan mempercepat proses dan memperkecil adanya *overshoot*.
2. Pengendalian MPC hasil proses dipengaruhi oleh *cost function*, *constraint*, parameter N_p (*Prediction horizon*) dan N_c (*Control horizon*).
3. Hasil yang sudah sesuai dengan tujuan pengendalian terdapat pada :
   a) N_p =3 dan N_c =1, saat *set point* 1000 RPM (*settling time* 2,461 detik dan *overshoot* 5,56).
   b) N_p =7 dan N_c =6, saat *set point* 1000 RPM (*settling time* 2,881 detik dan *overshoot* 6,67).
   c) N_p =5 dan N_c =1, saat *set point* 2000 RPM (*settling time* 1,517 detik dan *overshoot* 5,83).
   d) N_p =5 dan N_c =2, saat *set point* 2000 RPM (*settling time* 2,720 detik dan *overshoot* 5,28).
   e) N_p =5 dan N_c =3, saat *set point* 2000 RPM (*settling time* 0,931 detik dan *overshoot* 5,28).

5.2 Saran

1. Mengaplikasikan pengendalian MPC untuk sistem *multi input multi output* (MIMO)
2. Mengaplikasikan MPC pada sistem non-linier.

DAFTAR PUSTAKA

[1] S. Abirami, A.S. Zahir hussain,D. Saravana Muth dan C.B. Aravind kumar, "Performance comparison of different controllers for a level process," *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 4, pp. 341-344, 2014.

[2] A. Baskoro, "*Model Predictive Control*(MPC) untuk Sistem Pemanas Udara Berbasisis MATLAB," *Tugas Akhir*, *Universitas Islam Indonesia* ., 2014.

[3] C. Xia, Y. Wang dan T. Shi, "Implementation of Finite-States Model Predictive Control for Commutation Torque Ripple Minimization of Permanent Magnet Brushless DC Motor," *IEEE Transaction on Industrial Electronics, IEEE* ., vol. 60, pp. 896-905, 2013.

[4] C. Jichkar dan S. Sondkar, "Comparative study of real time implementation of LabVIEW based MPC controller and PID controller for flow control loops," *2nd International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, *IEEE .,* pp. 464-470, 2017.

[5] E. Camacho dan C. Bardons, "Model Predictive Control," *Springer.*, 2006.

[6] Electro-Craft Corporation, "DC Motor Speed Controls Servo Systems", 3rd ed. United State of America : Permagon Press, 2009.

[7] J. Travis dan J. Kring, "LabVIEW for Everyone:Graphical Progamming Made Easy and Fun, Third Edition," *Prentice Hall.*, pp. 6964–6975,2006.

[8] J. Ziegler dan J. Nichols, "Optimum Settings for Automatic Controllers" *Transaction of The A.S.M.E.*, pp. 759–765,1942.

[9] A. Bemporad, M. Morari and N. L. Ricker, Model Predictive Control Toolbox™ User's Guide, The MathWorks, Inc., 2013.

LAMPIRAN