

Kode>Nama Rumpun Ilmu: 454/Teknik Elektronika

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI



**EVALUASI PERFORMANSI PENGENDALI MODEL-FREE DAN
MODEL-BASED CONTROL PADA SISTEM
*PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)***

TIM PENGUSUL:

DHARMA ARYANI, S.T., M.T., Ph.D. NIDN: 0008027703 (Ketua)
NURHAYATI, S.SI., M.T. NIDN: 0003057204 (Anggota)

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
NOPEMBER 2019**

**HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**

Judul Penelitian : **EVALUASI PERFORMANSI PENGENDALI MODEL-FREE DAN MODEL-BASED CONTROL PADA SISTEM *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)***

Kode>Nama Rumpun Ilmu : 454 /Teknik Elektronika

Ketua Peneliti:

a. Nama Lengkap : DHARMA ARYANI, S.T., M.T., Ph.D.
b. NIDN : 0008027703
c. Jabatan Fungsional : Lektor/IIIc
d. Program Studi : D3 Teknik Elektronika
e. Nomor HP : 08884888000
f. Alamat surel (e-mail) : dharma.aryani@poliupg.ac.id

Anggota Peneliti (1):

a. Nama Lengkap : NURHAYATI, S.Si., M.T.
b. NIDN : 0003057204
c. Perguruan Tinggi : Politeknik Negeri Ujung Pandang



Anggota Peneliti (2):

a. Nama Lengkap : -
b. NIDN : -
c. Perguruan Tinggi : -


Lama Penelitian : 8 bulan
Biaya Penelitian : Rp. 8.000.000,-

Makassar, 27 Februari 2019

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro



DR. Ir. Hafsa Nirwana, M.T
NIP. 19640405 199003 2 002

Ketua Peneliti


Dharma Aryani, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19770208 200312 2 001

Mengetahui,
Penyantu Direktur I PNUP



Ahmad Zubair Sultan, S.T., MT., Ph.D.
NIP. 197404231999031002

Menyetujui,
Ketua PPPM PNUP



Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D
NIP. 19590826 198803 1 002

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL

HALAMAN PENGESAHAN

ABSTRAK

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	2
1.2 Tujuan Khusus	4
1.3 Urgensi Penelitian	4
1.4 Target Luaran	4

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Model-Based Control	6
2.2 Model-Free Control	6
2.3 Proton Exchange Membrane(PEM) Fuel Cell	7
2.4 Studi Pendahuluan Yang Telah Dilakukan	8
2.5 Roadmap Penelitian	8

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian	10
3.2 Tahapan Penelitian	10
3.3 Fishbone Diagram Penelitian	11

BAB 4. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

4.1. Hasil dan Analisa	15
------------------------------	----

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN 1 Biodata Pengusul

LAMPIRAN 2 Luaran penelitian

ABSTRAK

Karakteristik dari sistem Fuel Cell adalah tegangan yang dihasilkan akan semakin menurun jika terjadi penambahan beban. Sehingga dibutuhkan penambahan pengendali agar PEMFC dapat menghasilkan tegangan ideal. Pada penelitian ini akan dievaluasi terhadap performansi dua tipe pengendali , model-based dan model-free control yang diaplikasikan pada sistem dinamik PEM Fuel Cell. Pengendali yang diaplikasikan akan menentukan besar aliran Hydrogen dan Oxygen yang tepat dan mengendalikan tegangan keluaran fuel cell agar menghasilkan karakteristik ideal dari sistem PEM Fuel Cell.

Kata kunci: Model-based Control, Model-free Control, Proton Exchange Membrane Fuel Cell

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Sejak akhir 1960-an, teori kontrol modern telah tumbuh dan berkembang sepenuhnya dalam bidang identifikasi sistem, kontrol adaptif dan *robust*, kontrol optimal, hingga teori sistem stokastik. Namun, bidang teori kontrol modern masih menyimpan banyak topik yang menantang baik dari aspek teoritis dan perspektif praktis. Dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi informasi, proses praktis pada industri kimia, metalurgi, permesinan, elektronik, listrik, transportasi, dan logistik, telah mengalami perubahan signifikan. Industri-industri ini memiliki teknologi dan peralatan produksi dalam skala besar, dan proses produksinya menjadi lebih kompleks, sehingga membutuhkan sistem pengendalian proses.

Selain itu, banyak proses industri menghasilkan dan menyimpan sejumlah besar data proses. Data yang ada dapat digunakan baik secara on-line dan off-line, untuk secara langsung merancang pengendali, memprediksi dan menilai status sistem, mengevaluasi kinerja, membuat keputusan, atau bahkan mendiagnosis kesalahan. Namun, akan sangat signifikan penurunan performansi sistem jika data atau model proses yang digunakan kurang akurat. Untuk alasan ini, penggunaan Model-Based Control (MBC) dan Model-Free Control (MFC) memiliki tingkat urgensi yang tinggi baik dalam hal pengembangan teori maupun aplikasi. [4]

Model suatu sistem pada umumnya diperoleh melalui dua metode yaitu dengan pemodelan fisik dan identifikasi suatu sistem. Pemodelan fisik digunakan untuk mendapatkan model dengan menggunakan prinsip dasar persamaan differensial dan melakukan linierisasi pada suatu titik operasi. Sedangkan, identifikasi sistem adalah metode yang digunakan untuk mendapatkan model berdasarkan kumpulan data masukan dan keluaran hasil pengukuran sistem tersebut, dengan terlebih dahulu menetapkan struktur model sebelum parameter model ditentukan. Karakteristik sistem yang tidak teridentifikasi pada saat pemodelan selalu ada dalam proses pemodelan. Akibatnya, sistem kendali yang

dirancang pada pendekatan Model-Based Control (MBC) menjadi tidak stabil dan handal [1-3].

Pada penelitian ini *plant* yang digunakan adalah Proton Exchange Membrane Fuel Cell. *Fuel cell* menjadi salah satu solusi terbaik sebagai pembangkit listrik alternatif. Pada fuel cell konversi energi terjadi dengan adanya reaksi elektrokimia dari bahan bakar (hidrogen) dan oksidan (oksigen) yang akan mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh Fuel cell juga dipengaruhi oleh adanya rugi-rugi dari proses yang terjadi, baik dari proses kimia maupun mekanis. Polymer electrolyte membrane (PEM) fuel cell adalah jenis fuel cell yang paling umum digunakan dan menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar.

Karakteristik dari sistem fuel cell adalah tegangan yang dihasilkan akan semakin menurun jika terjadi penambahan beban. Sehingga dibutuhkan penambahan pengendali agar PEMFC dapat menghasilkan tegangan ideal. Namun, penerapan sistem pengendali pada PEMFC membutuhkan model proses yang secara akurat merepresentasikan dinamika sesungguhnya dari sebuah sistem nyata. Model pada umumnya diperoleh melalui dua metode yaitu dengan pemodelan fisik dan identifikasi suatu sistem. Pemodelan fisik digunakan untuk mendapatkan model dengan menggunakan prinsip dasar persamaan differensial dan melakukan linierisasi pada suatu titik operasi. Sedangkan, identifikasi sistem adalah metode yang digunakan untuk mendapatkan model berdasarkan kumpulan data masukan dan keluaran dengan terlebih dahulu menetapkan struktur model sebelum parameter model ditentukan.

Sistem dinamik PEMFC memiliki karakteristik dinamik yang nonlinear pada *operating range* tertentu. Untuk mengatasi hal tersebut, umumnya dilakukan linierisasi terhadap model nonlinear. Namun, linierisasi memiliki keterbatasan karena hanya dapat memprediksi perilaku lokal sistem nonlinear di sekitar titik operasi tertentu. Sehingga, dinamika sistem nonlinear jauh lebih lengkap daripada dinamika sistem linier karena pat fenomena nonlinear yang tidak dapat diprediksi oleh model linier.

Pada penelitian ini akan dilakukan evaluasi terhadap performansi dua tipe pengendali , model-based dan model-free control yang diaplikasikan pada sistem dinamik PEM FC.

1.2 TUJUAN KHUSUS

1. Merancang sistem *Model-Based Control* untuk sistem PEM Fuel Cell
2. Merancang sistem *Model-Free Control* untuk PEM Fuel Cell
3. Menganalisa performansi sistem kendali dari kedua tipe pengendali (MBC dan MFC) terhadap kestabilan sistem PEM Fuel Cell

1.3 URGENSI PENELITIAN

Urgensi penelitian ini adalah menerapkan metode kendali yang tepat untuk mengontrol sistem PEM FC dengan tingkat kehandalan dan adaptif yang tepat. Pendekatan sistem kendali yang dievaluasi adalah berbasis model dan tanpa model. Hal ini akan memberikan pengetahuan melalui hasil analisa terhadap tingkat kestabilan dan *robustness* diantara kedua pengendali tersebut.

1.4 TARGET LUARAN

Target luaran yang akan dicapai melalui penelitian dasar unggulan PT ini adalah:

1. Disain sistem kontrol *Model-Based Control* untuk sistem PEM Fuel Cell
2. Disain sistem kontrol *Model-Free Control* untuk PEM Fuel Cell
3. Hasil evaluasi performansi sistem kendali dari kedua tipe pengendali (MBC dan MFC) terhadap kestabilan sistem PEM Fuel Cell
4. Publikasi ilmiah

Luaran dari penelitian ini menjadi dasar untuk studi lanjut dan aplikasi sistem energi terbarukan dengan menggunakan *Fuel Cell*, yaitu:

1. Penerapan sistem kendali *PEM Fuel Cell*

2. Sebagai sumber acuan untuk mempelajari karakteristik dinamik sistem *PEM Fuel Cell*
3. Pemanfaatan sistem PEM Fuel Cell untuk perancangan test-bed atau simulasi sistem sumber energi terbarukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. MODEL-BASED CONTROL

Model-based control tidak berfungsi dengan baik jika model yang digunakan tidak merepresentasikan sistem dinamik dengan akurat. Merancang pengontrol menggunakan model yang tidak akurat dapat menyebabkan kinerja yang buruk atau sistem loop tertutup yang tidak stabil. Kesalahan pemodelan yang kecil dapat terjadi dan menyebabkan performansi sistem menjadi tidak baik. Untuk kontrol adaptif, Rohr telah menunjukkan bahwa melaporkan sistem kontrol adaptif stabil berdasarkan beberapa asumsi yang dibuat tentang model sistem dapat menunjukkan perilaku tak terduga tertentu di hadapan dinamika yang tidak dimodelkan. Bahkan ketika modelnya cukup akurat, hasil analisis teoretis, yang meliputi stabilitas, konvergensi, dan *robustness* sistem kontrol loop tertutup, akan dipengaruhi oleh asumsi tambahan yang dibuat tentang sistem. [1] Dalam model-based control, pengendali dapat didisain dengan berbasis *constraint* atau *unconstraint*.

2.2. PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL

Fuel cell adalah salah satu sumber energy 'green' atau ramah lingkungan serta berkualitas tinggi. Keunggulan dari Fuel cell adalah bobotnya yang ringan, ukurannya yang ringkas, perawatan rendah, efisiensi tinggi dan kehandalan. Ini berfungsi sebagai sumber energi potensial untuk pembangkit tenaga listrik untuk *standalone* dan juga untuk aplikasi *grid-connected*. Dibandingkan dengan jenis sel bahan bakar lainnya, PEMFC menunjukkan hasil yang menjanjikan dengan kelebihan seperti suhu rendah, kepadatan daya tinggi, respon cepat, dan emisi nol jika dijalankan dengan hidrogen murni, dan sangat sesuai untuk digunakan pada catu daya portabel, dan pembangkit listrik perumahan dan terdistribusi. [6]

Tiap unit sistem fuel cell terdiri atas 4 komponen utama, yaitu **Anoda** (fuel electrode, **Katoda** (oxygen electrode, **Elektrolit** sebagai penghantar yang mengalirkan ion yang berasal dari bahan bakar di anoda menuju katoda, dan **Katalis** yaitu material atau bahan khusus untuk mempercepat reaksi kimiawi atau reduksi-oksidasi. Pada sistem PEM Fuel Cell, input variabel adalah *flow H2*, *flow O2*, dan kerapatan arus (*i*), sedangkan input variabel adalah tegangan keluaran sistem yang telah dilewatkan pada beban.

2.3. STUDI PENDAHULUAN YANG TELAH DILAKUKAN

Studi dan investigasi tentang model free control telah dilakukan dibanyak aplikasi pengendali, salahsatunya oleh Mardi & Wang yang menggunakan jenis pengendali ini pada PMSM Motor [7]. Sebuah studi sebelumnya di [8] meneliti nonlinier dalam hubungan input-output dan memperkirakan hubungan nilai input dan output dalam skema relatif. Hasil menunjukkan cara terbaik untuk menetapkan nilai input dan output sistem perangkat lunak virtualized dengan mengambil rasio waktu respon dan alokasi sumber daya dari dua pengguna berturut-turut.

Studi lanjut juga telah dilakukan dengan memanfaatkan model PEM FC yang telah didapatkan untuk penerapan sistem kendali untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran PEM FC. Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa dibutuhkan model yang lebih akurat merepresentasikan sistem dinamik fuel cell secara keseluruhan baik linier maupun nonlinier.

2.5. ROADMAP PENELITIAN



<p>Kegiatan Penelitian Dan Pengembangan</p>	<p>Pemodelan sistem PEM Fuel Cell dalam bentuk MISO model linier dan Perancangan Predictive Control</p>	<p>Pembuatan model dinamik melalui metode identifikasi fungsi <i>parametrik</i> dan <i>non-parametrik</i> sistem nonlinier</p>	<p>Perancangan sistem kendali <i>Model-Based</i> dan <i>Model-Free Control</i>.</p>
<p>Pendekatan (Teknologi)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem identification Miso Model dengan menggunakan Least-Square Method • Linierisasi model dinamik PEM FC • Penambahan constrained Pengendali Predictive 	<ul style="list-style-type: none"> • ‘One-step estimation’ untuk Wiener model dengan metode orthogonal decomposition • Validasi berdasarkan nilai Mean Squared Error dan R-squared 	<ul style="list-style-type: none"> • Model dinamik yang digunakan berbasis model dlm struktur Wiener • Pendekatan Data-driven berbasis Subspace sistem
<p>Produk Penelitian</p>	<p>MISO Model untuk sistem PEMFC dan aplikasi Predictive Control</p>	<p>Model nonlinier <i>parametrik</i> dan <i>non-parametrik</i> PEM FC dalam struktur Wiener</p>	<p>Algoritma pengendali dan hasil evaluasi performansi MBC dan MFC pada pengendalian sistem PEM Fuel Cell</p>

BAB 3

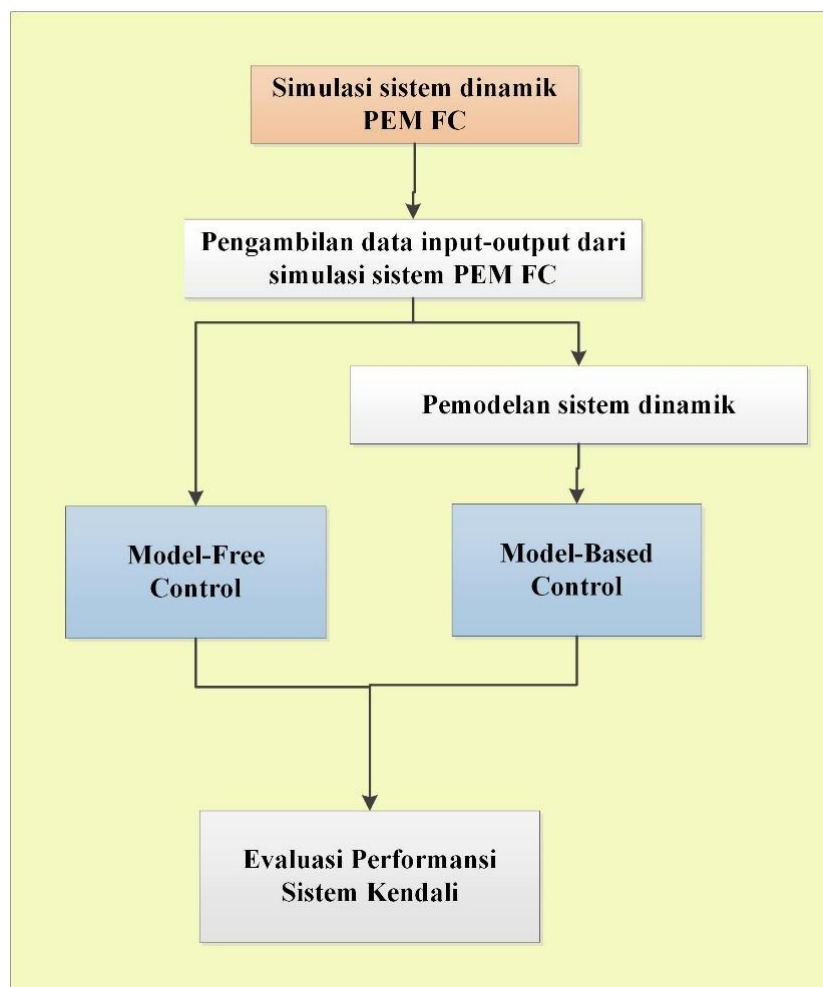
METODE PENELITIAN

3.1. WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Sistem Kendali Politeknik Negeri Ujung Pandang. Penelitian dilakukan selama 8 bulan pada Tahun Anggaran 2018.

3.2. TAHAPAN PENELITIAN

Tahapan penelitian diuraikan secara rinci melalui diagram pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

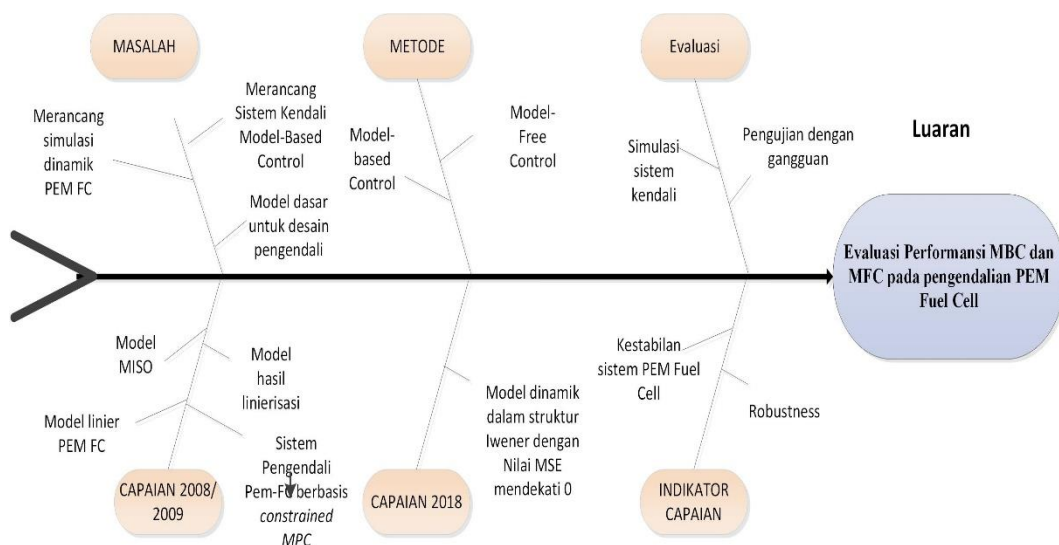
Dalam penelitian ini, ada dua elemen utama yang dirancang melalui program simulasi *Matlab & Simulink*, yaitu;

1. Model-Based Control with constraints
2. Model-free (Unconstrained) Control

Luaran yang ingin dicapai adalah sistem kendali dalam bentuk MBC dan MFC untuk meningkatkan kestabilan sistem PEM Fuel Cell. Indikator capaian hasil penelitian diukur melalui evaluasi kestabilan sistem dalam kondisi simulasi tanpa gangguan dan dengan penambahan gangguan.

3.3. FISHBONE DIAGRAM PENELITIAN

Fishbone diagram pada gambar 3.2. menunjukkan diagram alir penelitian yang sudah dilaksanakan dan yang akan dikerjakan dalam periode penelitian ini.



Gambar 3.2. Fishbone Diagram

BAB 4

HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

4.1. Model-based Control

Bentuk *Model-based control* yang digunakan adalah *Model Predictive Control* (MPC) atau sistem kendali prediktif. MPC termasuk dalam konsep perancangan pengendali berbasis model proses, dimana model proses digunakan secara eksplisit untuk merancang pengendali dengan cara meminimumkan suatu fungsi kriteria. Ide yang mendasari pada setiap jenis MPC adalah [2] :

1. Penggunaan model proses secara eksplisit untuk memprediksi keluaran proses yang akan datang dalam rentang waktu tertentu (*horizon*).
2. Perhitungan rangkaian sinyal kendali dengan meminimasi suatu fungsi kriteria.
3. Strategi surut; pada setiap waktu pencuplikan (pada waktu k) *horizon* dipindahkan menuju waktu pencuplikan berikutnya (pada waktu $k+1$) dengan melibatkan pemakaian sinyal kendali pertama (yaitu $u(k)$) untuk mengendalikan proses, dan kedua prosedur di atas diulang dengan menggunakan informasi terakhir.

Pada pengendali prediktif, model proses digunakan untuk memprediksi perilaku system dalam kurun waktu yang terbatas (*preceeding horizon*). Hasil prediksi ini digunakan untuk mengoptimasi keluaran system melalui sinyal masukan pada tiap waktu pencuplikan. Terdapat banyak variasi metode pengendali prediktif, dengan ide dasar yang sama yakni meminimasi fungsi kriteria. Perbedaan metode-metode tersebut terdapat pada model proses, model derau, serta fungsi kriteria yang diminimasi.

Metode MPC memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode pengendali lainnya, di antaranya adalah :

1. Konsepnya sangat intuitif serta penalaannya mudah.

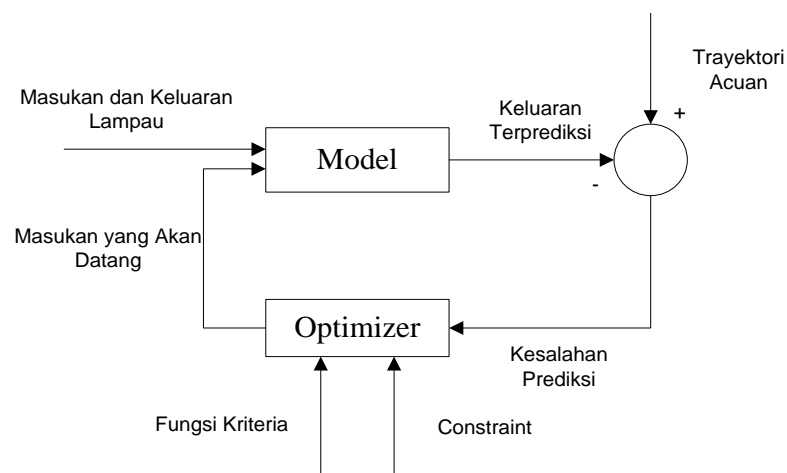
2. Dapat digunakan untuk mengendalikan proses yang beragam, mulai dari proses yang sederhana, hingga proses yang kompleks, memiliki waktu tunda yang besar, *non-minimum phase* atau proses yang tidak stabil.
3. Dapat menangani sistem *multivariable*.
4. Mempunyai kompensasi terhadap waktu tunda.
5. Mempunyai kemampuan dari pengendali *feed forward* untuk mengkompensasi gangguan yang terukur.
6. Mudah untuk mengimplementasikan pengendali yang diperoleh.
7. Dapat memperhitungkan batasan atau *constraint* dalam merancang pengendali.
8. Sangat berguna jika sinyal acuan untuk masa yang akan datang diketahui.

Selain beragam keuntungan yang dimiliki, metode MPC juga mempunyai kelemahan, yaitu masalah penurunan aturan sinyal kendali yang cukup kompleks dan keperluan akan model proses yang baik. Struktur dasar dari pengendali MPC dapat dilihat pada gambar 2.1. Metodologi semua jenis pengendali yang termasuk kedalam kategori MPC dapat dikenali oleh strategi berikut [1] :

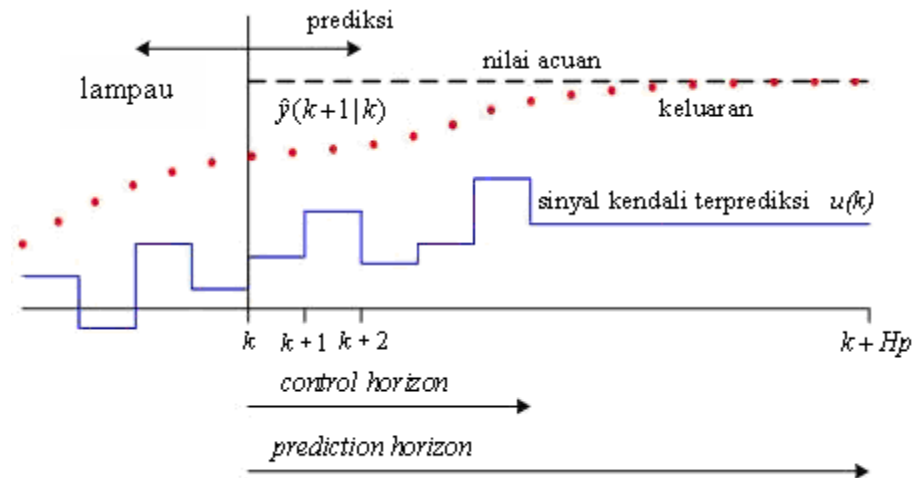
1. Keluaran proses yang akan datang untuk rentang *horizon Hp* yang ditentukan yang dinamakan sebagai *prediction horizon*, diprediksi pada setiap waktu pencuplikan dengan menggunakan model proses. Keluaran proses terprediksi ini $y(k+i/k)$ untuk $i = 1 \dots Hp$ bergantung pada nilai masukan dan keluaran lampau dan kepada sinyal kendali yang akan datang $u(k+i/k)$, $i = 0 \dots Hp-1$, yang akan digunakan sistem dan harus dihitung.
2. Serangkaian sinyal kendali dihitung dengan mengoptimasi suatu fungsi kriteria yang ditetapkan sebelumnya, dengan tujuan untuk menjaga proses sedekat mungkin terhadap trayektori acuan $r(k+i)$. Fungsi kriteria tersebut umumnya berupa suatu fungsi kuadratik dari kesalahan antara sinyal keluaran terprediksi dengan trayektori acuan. Solusi eksplisit

dapat diperoleh jika fungsi kriteria adalah kuadratik, model linier, dan tidak ada *constraints*, jika tidak, optimasi iteratif harus digunakan untuk memecahkannya. Langkah pertama dan kedua dapat diilustrasikan pada gambar 2.2.

3. Sinyal kendali $u(k/k)$ dikirim ke proses, sedangkan sinyal kendali terprediksi berikutnya dibuang, karena pada pencuplikan berikutnya $y(k+1)$ sudah diketahui nilainya. Maka langkah pertama diulang dengan nilai keluaran proses yang baru dan semua prosedur perhitungan yang diperlukan diperbaiki. Sinyal kendali yang baru $u(k+1/k+1)$ (nilainya berbeda dengan $u(k+1/k)$) dihitung dengan menggunakan konsep *receding horizon*.



Gambar 4.1. Struktur pengendali MPC



Gambar4.2. Strategi Receding Horizon

Model Proses

Pada perancangan MPC, umumnya model proses yang digunakan berupa model ruang keadaan diskrit linier seperti berikut :

$$\underline{x}(k+1) = \underline{A}\underline{x}(k) + \underline{B}\underline{u}(k) \quad (2.2)$$

$$\underline{y}(k) = \underline{C}\underline{x}(k) \quad (2.3)$$

dengan :

$\underline{u}(k)$ = vektor masukan berdimensi- l

$\underline{x}(k)$ = vektor keadaan berdimensi- n

$\underline{y}(k)$ = vektor keluaran berdimensi- m

\underline{A} = matriks keadaan berdimensi $n \times n$

\underline{B} = matriks masukan berdimensi $n \times l$

\underline{C} = matriks keluaran berdimensi $m \times n$

Persamaan ruang keadaan ini merupakan kondisi ideal dan sederhana untuk sebuah sistem, karena tidak adanya *disturbance* serta *directfeedthrough* pada keluaran sistem. Pada perancangan MPC di Bab

selanjutnya, akan diuraikan penurunan sinyal kendali untuk model yang lebih kompleks yang digunakan.

Prediksi

Sinyal masukan yang digunakan dalam perhitungan prediksi keluaran adalah perubahan nilai sinyal masukan $\Delta u(k)$ pada setiap waktu pencuplikan k . Dimana perubahan tersebut merupakan selisih antara nilai sinyal masukan saat k atau $\underline{u}(k)$ dan sinyal masukan satu langkah sebelumnya $\underline{u}(k-1)$. Dalam menyelesaikan masalah pengendali prediktif, nilai keluaran terprediksi $\hat{y}(k+i|k)$ harus dapat dihitung dengan menggunakan estimasi terbaik dari variabel keadaan saat ini $\underline{x}(k)$, nilai masukan yang lampau $\underline{u}(k-1)$, dan nilai perkiraan dari perubahan masukan yang akan datang $\underline{\hat{u}}(k+i|k)$. Sebelum melangkah lebih jauh, hal pertama yang harus dilakukan adalah memprediksi nilai variabel keadaan dengan melakukan iterasi model ruang keadaan pada persamaan (2.2) dan (2.3). Perhitungan prediksi variabel keadaan adalah sebagai berikut;

$$\hat{\underline{x}}(k+1|k) = \underline{A}\underline{x}(k) + \underline{B}\hat{\underline{u}}(k|k) \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} \hat{\underline{x}}(k+2|k) &= \underline{A}\hat{\underline{x}}(k+1|k) + \underline{B}\hat{\underline{u}}(k+1|k) \\ &= \underline{A}^2\underline{x}(k) + \underline{A}\underline{B}\hat{\underline{u}}(k|k) + \underline{B}\hat{\underline{u}}(k+1|k) \end{aligned} \quad (2.5)$$

⋮

$$\begin{aligned} \hat{\underline{x}}(k+Hp|k) &= \underline{A}\hat{\underline{x}}(k+Hp-1|k) + \underline{B}\hat{\underline{u}}(k+Hp-1|k) \\ &= \underline{A}^{Hp}\underline{x}(k) + \underline{A}^{Hp-1}\underline{B}\hat{\underline{u}}(k|k) + \dots + \underline{B}\hat{\underline{u}}(k+Hp-1|k) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Pada setiap langkah prediksi digunakan $\hat{\underline{u}}(k|k)$ bukan $\underline{u}(k)$, karena besarnya nilai $\underline{u}(k)$ belum diketahui ketika menghitung prediksi.

Sekarang, diasumsikan bahwa nilai masukan hanya berubah pada waktu $k, k+1, \dots, k+Hu-1$, dan setelah itu menjadi konstan, sehingga didapatkan bahwa $\hat{u}(k+i|k) = \hat{u}(k+Hu-1|k)$ untuk $Hu \leq i \leq Hp-1$.

Selanjutnya, perhitungan prediksi diubah sehingga mengandung $\underline{\Delta\hat{u}}(k+i|k)$ daripada $\hat{u}(k+i|k)$, dengan

$$\underline{\Delta\hat{u}}(k+i|k) = \hat{u}(k+i|k) - \hat{u}(k+i-1|k) \quad (2.7)$$

dan pada setiap waktu pencuplikan k nilai yang sudah diketahui hanya $\underline{u}(k-1)$, maka

$$\hat{u}(k|k) = \underline{\Delta\hat{u}}(k|k) + \underline{u}(k-1|k) \quad (2.8)$$

$$\hat{u}(k+1|k) = \underline{\Delta\hat{u}}(k+1|k) + \underline{\Delta\hat{u}}(k|k) + \underline{u}(k-1|k) \quad (2.9)$$

⋮

$$\hat{u}(k+Hu-1|k) = \underline{\Delta\hat{u}}(k+Hu-1|k) + \dots + \underline{\Delta\hat{u}}(k|k) + \underline{u}(k-1|k) \quad (2.10)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.8) – (2.10) ke persamaan (2.4) – (2.6), diperoleh persamaan

$$\hat{x}(k+1|k) = \underline{A}x(k) + \underline{B}[\underline{\Delta\hat{u}}(k|k) + \underline{u}(k-1)] \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} \hat{x}(k+2|k) &= \underline{A}^2 x(k) + \underline{A}\underline{B}[\underline{\Delta\hat{u}}(k|k) + \underline{u}(k-1)] \\ &\quad + \underline{B}[\underbrace{\underline{\Delta\hat{u}}(k+1|k) + \underline{\Delta\hat{u}}(k|k) + \underline{u}(k-1)}_{\hat{u}(k+1|k)}] \\ &= \underline{A}^2 x(k) + (\underline{A} + \underline{I})\underline{B}\underline{\Delta\hat{u}}(k|k) + \underline{B}\underline{\Delta\hat{u}}(k+1|k) + (\underline{A} + \underline{I})\underline{B}\underline{u}(k-1) \end{aligned} \quad (2.12)$$

⋮

$$\begin{aligned} \hat{x}(k+Hu|k) &= \underline{A}^{Hu} x(k) + (\underline{A}^{Hu-1} + \dots + \underline{A} + \underline{I})\underline{B}\underline{\Delta\hat{u}}(k|k) + \dots \\ &\quad + \underline{B}\underline{\Delta\hat{u}}(k+Hu-1|k) + (\underline{A}^{Hu-1} + \dots + \underline{A} + \underline{I})\underline{B}\underline{u}(k-1) \end{aligned} \quad (2.13)$$

Dengan mengacu pada persamaan $\hat{u}(k+i|k) = \hat{u}(k+Hu-i|k)$ untuk $i > Hu$, maka perhitungan prediksi untuk $i > Hu$ adalah;

$$\begin{aligned} \hat{x}(k+Hu+1|k) &= \underline{A}^{Hu+1} \underline{x}(k) + (\underline{A}^{Hu} + \dots + \underline{A} + \underline{I}) \underline{B} \Delta \hat{u}(k|k) + \dots \\ &\quad + (\underline{A} + \underline{I}) \underline{B} \Delta \hat{u}(k+Hu-1|k) + (\underline{A}^{Hu} + \dots + \underline{A} + \underline{I}) \underline{B} \underline{u}(k-1) \end{aligned} \quad (2.14)$$

⋮

$$\begin{aligned} \hat{x}(k+Hp|k) &= \underline{A}^{Hp} \underline{x}(k) + (\underline{A}^{Hp-1} + \dots + \underline{A} + \underline{I}) \underline{B} \Delta \hat{u}(k|k) + \dots \\ &\quad + (\underline{A}^{Hp-Hu} + \dots + \underline{A} + \underline{I}) \underline{B} \Delta \hat{u}(k+Hu-1|k) \\ &\quad + (\underline{A}^{Hp-1} + \dots + \underline{A} + \underline{I}) \underline{B} \underline{u}(k-1) \end{aligned} \quad (2.15)$$

Persamaan (2.11) – (2.15) dapat disusun ke dalam bentuk vektor matriks sebagai berikut

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \hat{x}(k+1|k) \\ \vdots \\ \hat{x}(k+Hu|k) \\ \hat{x}(k+Hu+1|k) \\ \vdots \\ \hat{x}(k+Hp|k) \end{bmatrix} &= \underbrace{\begin{bmatrix} \underline{A} \\ \vdots \\ \underline{A}^{Hu} \\ \underline{A}^{Hu+1} \\ \vdots \\ \underline{A}^{Hp} \end{bmatrix}}_{\Psi} \underline{x}(k) + \underbrace{\begin{bmatrix} \underline{B} \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^{Hu-1} \underline{A}^i \underline{B} \\ \sum_{i=0}^{Hu} \underline{A}^i \underline{B} \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^{Hp-1} \underline{A}^i \underline{B} \end{bmatrix}}_{\Gamma} \underline{u}(k-1) \\ &\quad + \underbrace{\begin{bmatrix} \underline{B} & \dots & \underline{0}_{n \times l} \\ \underline{AB} + \underline{B} & \dots & \underline{0}_{n \times l} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=0}^{Hu-1} \underline{A}^i \underline{B} & \dots & \underline{B} \\ \sum_{i=0}^{Hu} \underline{A}^i \underline{B} & \dots & \underline{AB} + \underline{B} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \sum_{i=0}^{Hp-1} \underline{A}^i \underline{B} & \dots & \sum_{i=0}^{Hp-Hu} \underline{A}^i \underline{B} \end{bmatrix}}_{\Theta} \begin{bmatrix} \Delta \hat{u}(k) \\ \vdots \\ \Delta \hat{u}(k+Hu-1) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.16)$$

Lampau
Prediksi

Selain itu, persamaan prediksi keluaran $\underline{\hat{y}}(k+i|k)$ dapat ditulis seperti berikut ini;

$$\underline{\hat{y}}(k+1|k) = \underline{C}\underline{\hat{x}}(k+1|k) \quad (2.17)$$

$$\underline{\hat{y}}(k+2|k) = \underline{C}\underline{\hat{x}}(k+2|k) \quad (2.18)$$

⋮

$$\underline{\hat{y}}(k+Hp|k) = \underline{C}\underline{\hat{x}}(k+Hp|k) \quad (2.19)$$

Persamaan (2.17) – (2.19) kemudian dapat ditulis kedalam vektor matriks sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} \underline{\hat{y}}(k+1|k) \\ \vdots \\ \underline{\hat{y}}(k+Hp|k) \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \underline{C} & \underline{0}_{m \times n} & \cdots & \underline{0}_{m \times n} \\ \underline{0}_{m \times n} & \underline{C} & \cdots & \underline{0}_{m \times n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \underline{0}_{m \times n} & \underline{0}_{m \times n} & \cdots & \underline{C} \end{bmatrix}}_{\underline{C}_y} \begin{bmatrix} \underline{\hat{x}}(k+1|k) \\ \vdots \\ \underline{\hat{x}}(k+Hp|k) \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

4.2. Strategi Pengendali *Model Predictive Control* tanpa *Constraints*

Fungsi kriteria yang akan diminimumkan adalah fungsi kuadrat seperti pada persamaan (2.1) dan dapat ditulis sebagai berikut

$$V(k) = \|\underline{Y}(k) - \underline{T}(k)\|_{\underline{Q}}^2 + \|\underline{\Delta U}(k)\|_{\underline{R}}^2 \quad (2.21)$$

dimana

$V(k)$ = fungsi kriteria

$\underline{Y}(k)$ = matriks keluaran terprediksi

$\underline{T}(k)$ = matriks sinyal acuan (trajectory)

$\underline{\Delta U}(k)$ = perubahan sinyal kendali

$$\underline{Y}(k) = \begin{bmatrix} \hat{y}(k+1|k) \\ \vdots \\ \hat{y}(k+Hp|k) \end{bmatrix}, \quad \underline{T}(k) = \begin{bmatrix} r(k+1|k) \\ \vdots \\ r(k+Hp|k) \end{bmatrix},$$

$$\underline{\Delta U}(k) = \begin{bmatrix} \hat{u}(k|k) \\ \vdots \\ \hat{u}(k+Hu-1|k) \end{bmatrix}$$

dan matriks faktor bobot \underline{Q} dan \underline{R} adalah sebagai berikut

$$\underline{Q} = \begin{bmatrix} Q(1) & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & Q(Hp) \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} R(0) & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & R(Hu-1) \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

Bentuk fungsi kriteria menunjukkan bahwa vektor kesalahan (error) $\underline{Y}(k) - \underline{T}(k)$ diperhitungkan pada tiap pencuplikan dalam rentang *prediction horizon*, namun jika perhitungan error hanya diinginkan pada rentang waktu tertentu, hal ini dapat dilakukan dengan mengatur nilai faktor bobot Q bernilai 0 pada waktu tersebut. Selain vektor kesalahan, fungsi kriteria juga memperhitungkan perubahan dari vektor masukan yang hanya terjadi dalam rentang waktu *control horizon*.

Berdasarkan pada persamaan ruang keadaan (2.16) dan (2.20), maka matriks $\underline{Y}(k)$ dapat ditulis dalam bentuk;

$$\underline{Y}(k) = \underline{C}_y \underline{\Psi} x(k) + \underline{C}_y \underline{\Gamma} u(k-1) + \underline{C}_y \underline{\Theta} \underline{\Delta U}(k) \quad (2.24)$$

Selain matriks-matriks di atas, didefinisikan juga suatu matriks penjejukan kesalahan $\underline{E}(k)$, yaitu selisih antara nilai trayektori acuan yang akan datang dengan tanggapan bebas dari sistem. Tanggapan bebas adalah tanggapan yang akan terjadi pada rentang *prediction horizon* jika tidak ada perubahan nilai masukan ($\underline{\Delta U}(k) = \underline{0}$) [3]. Persamaan matematis dari matriks $\underline{E}(k)$ adalah sebagai berikut ;

$$\underline{E}(k) = \underline{T}(k) - \underline{C}_y \underline{\Psi} x(k) - \underline{C}_y \underline{\Gamma} u(k-1) \quad (2.25)$$

Persamaan (2.21) kemudian dapat ditulis kembali dalam bentuk yang mengandung matriks $\underline{E}(k)$ dan $\underline{\Delta U}(k)$ sebagai berikut ;

$$\begin{aligned} V(k) &= \left\| \underline{C}_y \underline{\Theta} \underline{\Delta U}(k) - \underline{E}(k) \right\|_{\underline{Q}}^2 + \left\| \underline{\Delta U}(k) \right\|_{\underline{R}}^2 \\ &= \left[\underline{\Delta U}^T(k) \underline{\Theta}^T \underline{C}_y^T - \underline{E}^T(k) \right] \underline{Q} \left[\underline{C}_y \underline{\Theta} \underline{\Delta U}(k) - \underline{E}(k) \right] + \underline{\Delta U}^T(k) \underline{R} \underline{\Delta U}(k) \\ &= \underbrace{\underline{E}^T(k) \underline{Q} \underline{E}(k)}_{\underline{c}_1} - \underbrace{\underline{\Delta U}^T(k) 2 \underline{\Theta}^T \underline{C}_y^T \underline{Q} \underline{E}(k)}_{\underline{G}} + \underbrace{\underline{\Delta U}^T(k) \left[\underline{\Theta}^T \underline{C}_y^T \underline{Q} \underline{C}_y \underline{\Theta} + \underline{R} \right] \underline{\Delta U}(k)}_{\underline{H}} \end{aligned} \quad (2.26)$$

Pada persamaan (2.26), bagian $\underline{E}^T(k)\underline{Q}\underline{E}(k)$ tidak mengandung unsur $\underline{\Delta U}(k)$ sehingga bagian tersebut bisa dianggap konstan sehingga bagian tersebut tidak diikutsertakan dalam proses optimasi untuk menghitung nilai $\underline{\Delta U}(k)$. Persamaan (2.26) kemudian dapat ditulis kembali menjadi

$$V(k) = \underline{c}_1 - \underline{\Delta U}^T(k)\underline{G} + \underline{\Delta U}^T(k)\underline{H}\underline{\Delta U}(k) \quad (2.27)$$

dimana

$$\underline{G} = 2\underline{\Theta}^T \underline{C}_y^T \underline{Q}\underline{E}(k) \quad (2.28)$$

dan

$$\underline{H} = \underline{\Theta}^T \underline{C}_y^T \underline{Q}\underline{C}_y \underline{\Theta} + \underline{R} \quad (2.29)$$

Nilai optimal $\underline{\Delta U}(k)$ dapat dihitung dengan membuat gradien dari $V(k)$ bernilai nol [3]. Gradien $V(k)$ dari persamaan (2.27) adalah

$$\nabla_{\underline{\Delta U}(k)} V(k) = -\underline{G} + 2\underline{H}\underline{\Delta U}(k) \quad (2.30)$$

Dengan membuat nol nilai $\nabla_{\underline{\Delta U}(k)} V(k)$ pada persamaan (2.30), maka didapatkan nilai optimal dari perubahan sinyal kendali sebagai berikut

$$\underline{\Delta U}(k)_{opt} = \frac{1}{2} \underline{H}^{-1} \underline{G} \quad (2.31)$$

Setelah nilai matriks $\underline{\Delta U}(k)$ didapatkan, maka nilai yang digunakan untuk mengubah sinyal kendali hanya nilai dari baris pertama matriks $\underline{\Delta U}(k)$ sedangkan nilai dari baris yang lain dari matriks $\underline{\Delta U}(k)$ dibuang [3].

Model Linier PEMFC

Untuk mendapatkan model linier yang paling tepat mewakili sistem PEMFC didapatkan pada penelitian sebelumnya. Di mana model matematik PEMFC di linierkan dan diidentifikasi untuk mencari kecocokan model yang paling sesuai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model linier yang dianggap dapat mewakili sistem yg sebenarnya adalah model yang turunkan melalui sistem identifikasi Least Square yaitu model state space dengan penambahan vektor kompensasi pada persamaan keadaan dan keluaran. Oleh karena itu, pada perancangan algoritma pengendali MPC, model tersebut yang akan digunakan sebagai model acuan. Berikut ini adalah persamaan state variable model;

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \\ x_3(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.9981 & 0.0033 & 0.0052 \\ -0.0004 & 1.0007 & 0.0014 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 41.5927 & 0.9272 & -0.3597 \\ -0.3922 & 21.8817 & -0.0507 \\ -0.0201 & 0.0086 & 0.5496 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(k) \\ u_2(k) \\ u_3(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.1452 \\ -0.0506 \\ -0.0025 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

$$y(k) = \begin{bmatrix} 0.0765 & -0.1523 & 0.0802 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2.6869 & -2.119 & -10.3971 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(k) \\ u_2(k) \\ u_3(k) \end{bmatrix} + 29.0544$$

Masukan sistem pada model yang sebenarnya adalah flow H2 dan flow O2, sedangkan masukan ketiga yaitu kerapatan arus (i), merupakan feedback dari tegangan keluaran sistem yang telah dilewatkan pada beban. Sehingga, pengendali MPC hanya akan mengeluarkan dua buah sinyal kendali yaitu flow H2 (u_1) dan flow O2 (u_2), dan kerapatan arus menjadi fungsi gangguan df . Dengan demikian, bentuk persamaan dari model linier berubah menjadi;

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \\ x_3(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.9981 & 0.0033 & 0.0052 \\ -0.0004 & 1.0007 & 0.0014 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 41.5927 & 0.9272 \\ -0.3922 & 21.8817 \\ -0.0201 & 0.0086 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.3597 \\ -0.0507 \\ 0.5496 \end{bmatrix} df(k) + \begin{bmatrix} -0.1452 \\ -0.0506 \\ -0.0025 \end{bmatrix}$$

$$y(k) = \begin{bmatrix} 0.0765 & -0.1523 & 0.0802 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2.6869 & -2.119 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix} + -10.3971.df(k) + 29.0544$$

$$x = [pH_2 \quad pO_2 \quad pH_2O_c]^T$$

$$u = [H_{2-in} \quad H_{2-in}]^T$$

$$df = i$$

$$y = V$$

4.3. Uji Observability dan Controllability Sistem

Pengujian Observability dan Controllability terhadap suatu model merupakan langkah penting yang harus dilakukan terlebih dahulu sebelum menentukan layak tidaknya sebuah model untuk dijadikan sebagai dasar perancangan sebuah pengendali. Uji *observability* sistem dimaksudkan untuk mengetahui apakah sistem tersebut benar-benar dapat diobservasi dan untuk mengetahui apakah *state-state* yang diobservasi tersebut dapat mewakili keadaan sistem yang sebenarnya. Sedangkan uji *controllability* akan menentukan apakah sistem yang diwakili oleh model tersebut dapat dikendalikan oleh sebuah pengendali.

Asumsikan bahwa model ruang keadaan sistem *PEMFC* yang ditunjukkan pada persamaan (3.3) dapat diwakili oleh persamaan berikut :

$$x((k+1)T) = Ax(kT) + Bu(kT) \quad (3.4)$$

$$y(kT) = Cx(kT) \quad (3.5)$$

Untuk melakukan pengetesan *observability* dari suatu sistem, langkah yang harus dilakukan adalah membentuk matriks *observability* seperti yang ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$\left[C^T : A^T C^T : \dots : (A^T)^{n-1} C^T \right] \quad (3.6)$$

dimana :

- n adalah jumlah *state* yang dimiliki oleh sebuah sistem.
- sistem *observable* jika matriks *observability* memiliki *rank* sebanyak n (jumlah state)

Dengan menggunakan matriks C dan A persamaan (3.5.) ke dalam persamaan (3.6), didapatkan matriks *observability* berikut ini;

$$obsv = \begin{bmatrix} 0.0765 & -0.1523 & 0.0802 \\ 0.076416 & -0.15215 & 0.080385 \\ 0.076331 & -0.15201 & 0.080569 \end{bmatrix}$$

Rank dari matriks *obsv* adalah 3, dengan Rank matriks A dari model. Hal ini menunjukkan bahwa sistem bersifat *Observable sempurna*.

Untuk melakukan pengujian *controllability* dari suatu sistem, langkah yang harus dilakukan adalah membentuk matriks *controllability* seperti yang ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$[B:AB:\dots:A^{n-1}B] \quad (3.7)$$

dimana :

- *n* adalah jumlah *state* yang dimiliki oleh sebuah sistem.
- sistem *controllable* jika matriks *controllability* memiliki *rank* sebanyak *n* (jumlah *state*)

Dengan menggunakan matriks B dan A persamaan (3.5.) ke dalam persamaan (3.7), didapatkan matriks *controllability* berikut ini;

$$ctrb = \begin{bmatrix} 41.593 & 0.9272 & -0.3597 & 41.512 & 0.99769 & -0.35633 & 41.432 & 1.0681 & -0.35296 \\ -0.3922 & 21.882 & -0.0507 & -0.40914 & 21.897 & -0.049822 & -0.42606 & 21.912 & -0.048945 \\ -0.0201 & 0.0086 & 0.5496 & -0.0201 & 0.0086 & 0.5496 & -0.0201 & 0.0086 & 0.5496 \end{bmatrix}$$

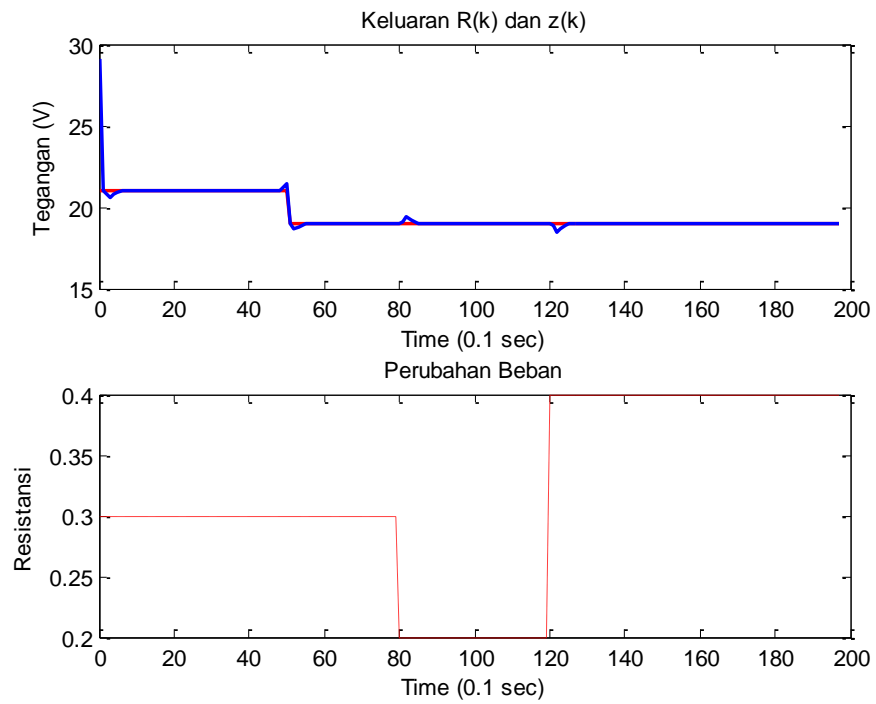
Rank dari matriks *ctrb* adalah 3, dengan Rank matriks A dari model. Hal ini menunjukkan bahwa sistem bersifat *controllable sempurna*.

4.4. Analisa MPC

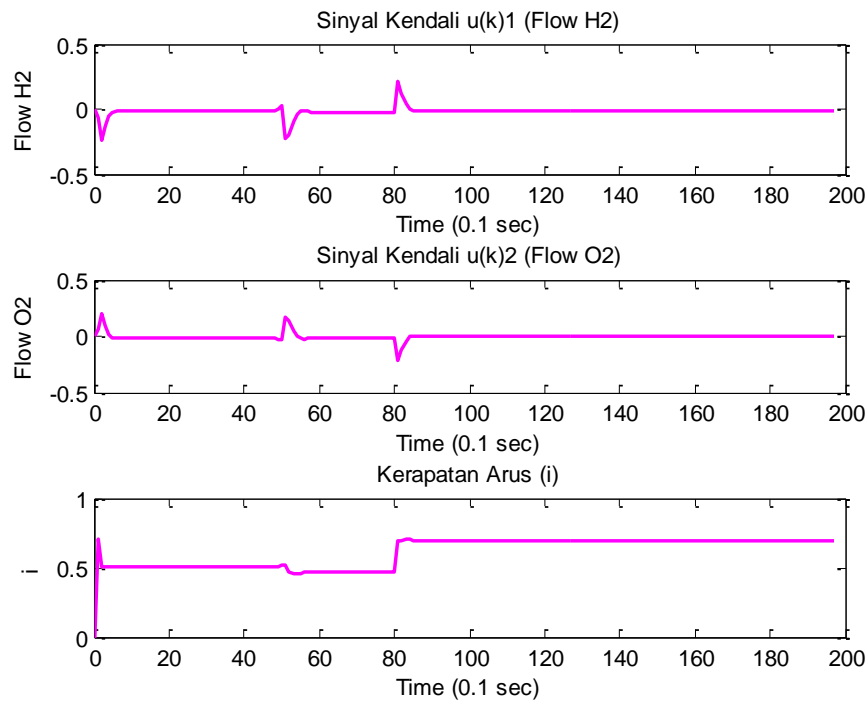
Tujuan dari uji coba dan analisa adalah untuk mengetahui kinerja dari pengendali *MPC* tanpa constraint dan dengan constraint dengan parameter penalaan yang berbeda-beda. Perancangan algoritma pengendali menggunakan program Matlab. Untuk semua tahapan pengujian yang dilakukan, model dari sistem PEMFC diberikan sinyal acuan (*trajectory*) serta sinyal gangguan (*disturbance*) berupa perubahan beban yang berubah pada waktu pencuplikan tertentu. Dengan uji ini, keterbatasan dan keandalan dari pengendali yang dirancang dapat diketahui.

Pengujian MPC Tanpa Constraint

Parameter pengendali yang digunakan adalah $H_p = H_u = 3$ dan $Q = I_3$, $R = I_6$ Gambar 4.1 dan 4.2. menunjukkan keluaran prediksi, gangguan, serta sinyal kendali yang dihasilkan.



Gambar 4.1. Keluaran sistem dengan pengendali MPC tanpa constraint



Gambar 4.2. Sinyal kendali pengendali MPC tanpa constraint

Dengan menggunakan MPC noconstraint (tanpa batasan), sinyal keluaran model dapat mengikuti perubahan sinyal acuan dan dapat mengatasi gangguan dengan baik. Namun, sinyal kendali yang dihasilkan tidak sesuai dengan karakteristik fisik dari sistem PEMFC yang sebenarnya, karena sinyal kendali bernilai ada yang bernilai negatif. Untuk pengujian selanjutnya, rasio antara besar aliran Hydrogen dan Oxygen akan menjadi constraint pada sinyal kendali.

4.1 Pengujian MPC dengan constraint

Berdasarkan karakteristik fisik dari sistem PEMFC, sinyal masukan yang berupa *flow* Hydrogen dan *flow* Oxygen harus bernilai positif dan dalam batas nilai tertentu. Demikian juga dengan perubahan *flow* pada tiap waktu juga harus dibatasi besaran maksimum dan minimumnya. Constraint yang digunakan untuk kebutuhan tersebut adalah

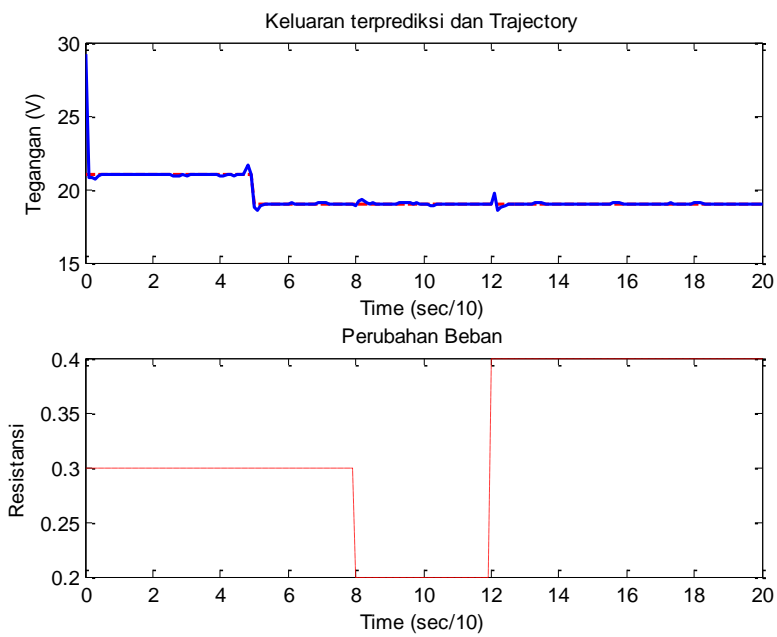
$$-0.1 \leq \Delta u(k) \leq 0.1$$

$$0.001 \leq u(k) \leq 0.55$$

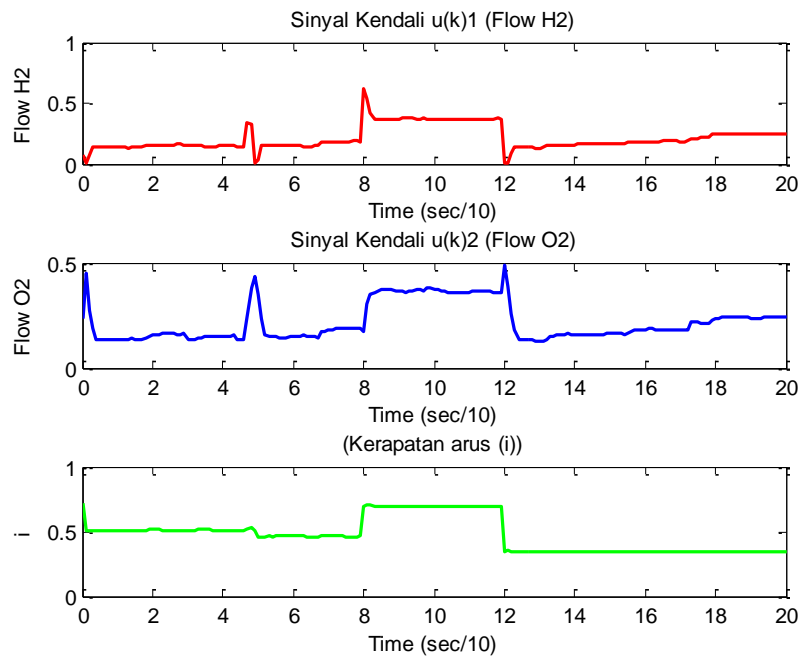
$$u_2(k) = 0.89u_1(k)$$

4.2.1 Perbandingan hasil pengendalian MPC Constrained dengan Matriks Bobot R yang berubah-ubah

a. $Q = I_3, R = 0.1 I_6$



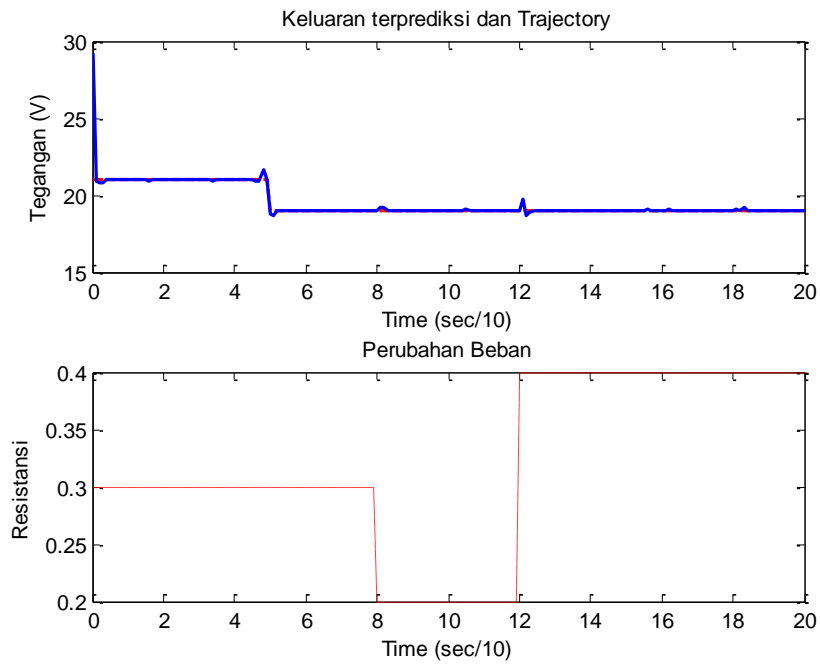
Gambar 4.3. Keluaran sistem dengan pengendali MPC constrained ($Q = I_3, R = 0.1 I_6$)



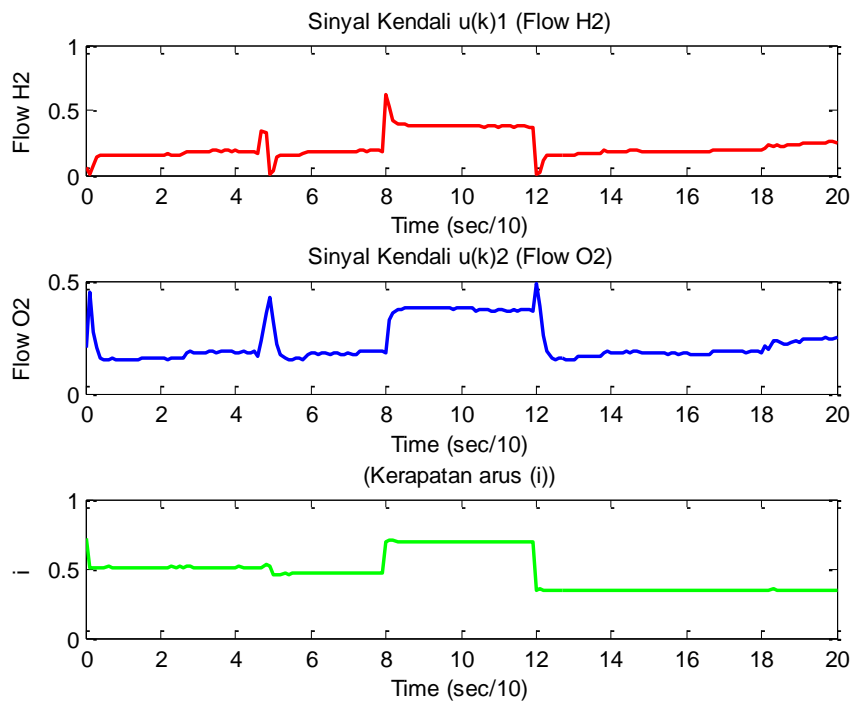
Gambar 4.4. Sinyal kendali pengendali MPC constrained ($Q = I_3$, $R = 0.1 I_6$)

Dengan penambahan constraint pada sinyal kendali, pengendali dapat menghasilkan sinyal kendali yang sesuai dengan karakteristik yang diinginkan yaitu berada dalam batas nilai maksimum dan minimum yang ditentukan. Meskipun masih terdapat solusi yang *infeasible* yaitu pada waktu ke 12 detik. Pada percobaan ini, nilai parameter yang digunakan $Q = I_3$ dan $R = 0.1 I_6$ menghasilkan keluaran terprediksi yang kurang halus, terdapat banyak titik dimana keluaran tidak mengikuti sinyal acuan, meskipun tanpa adanya gangguan.

b. $Q = I_3$, $R = 1 I_6$



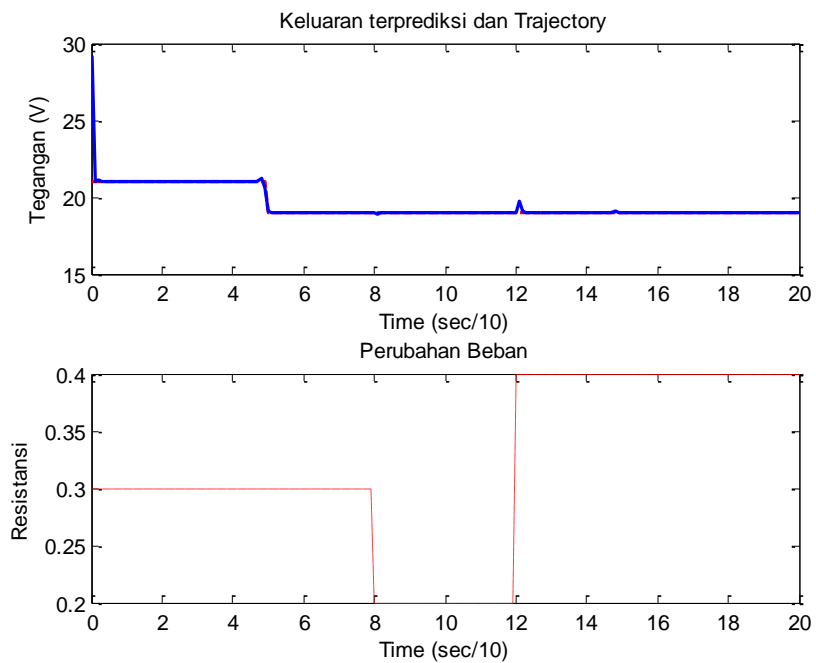
Gambar 4.5. Keluaran sistem dengan pengendali MPC constrained ($Q = I_3$, $R = 1 I_6$)



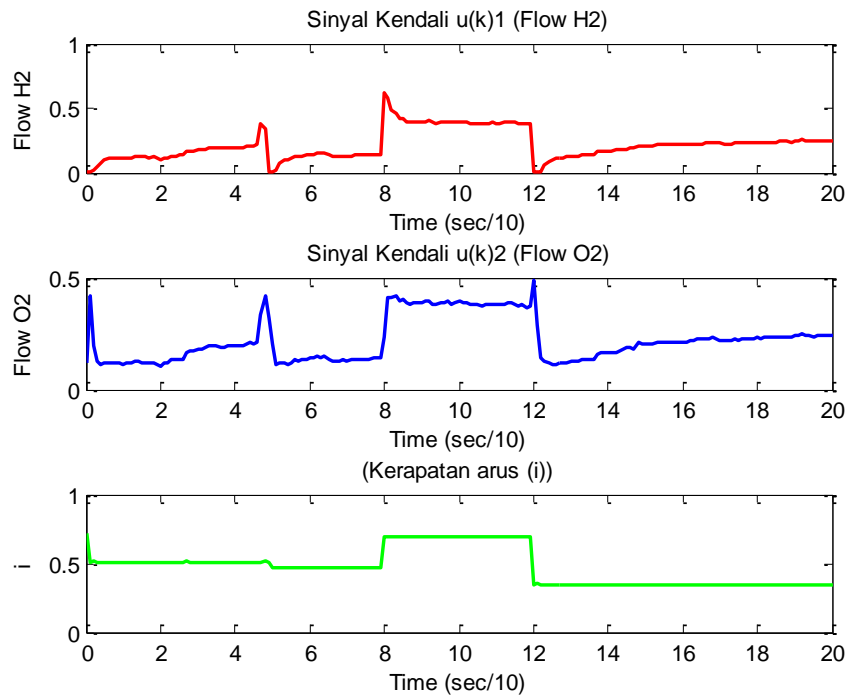
Gambar 4.6. Sinyal kendali pengendali MPC constrained ($Q = I_3$, $R = 1 I_6$)

Jika nilai parameter yang digunakan $Q = I_3$ dan $R = 1 I_6$, menghasilkan keluaran terprediksi yang lebih halus, meskipun masih terdapat beberapa titik dimana keluaran tidak mengikuti sinyal acuan meskipun tanpa adanya gangguan. Namun sinyal kendali semakin halus dengan penambahan bobot matriks R, meskipun masih terdapat solusi *infeasible* pada titik 5 detik dan 12 detik.

c. $Q = I_3, R = 10 I_6$



Gambar 4.7. Keluaran sistem dengan pengendali MPC constrained ($Q = I_3, R = 10 I_6$)

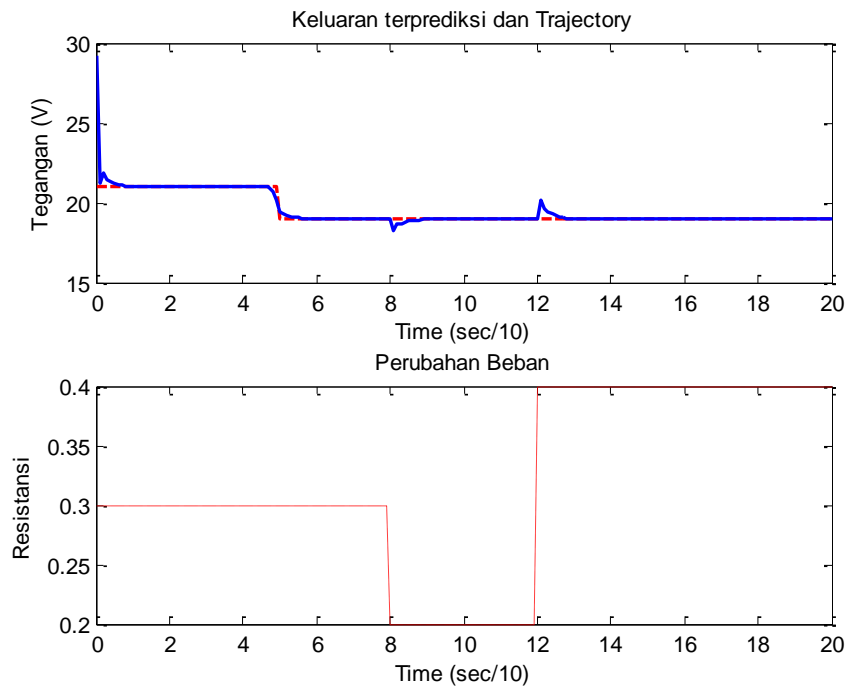


Gambar 4.8. Sinyal kendali pengendali MPC constrained

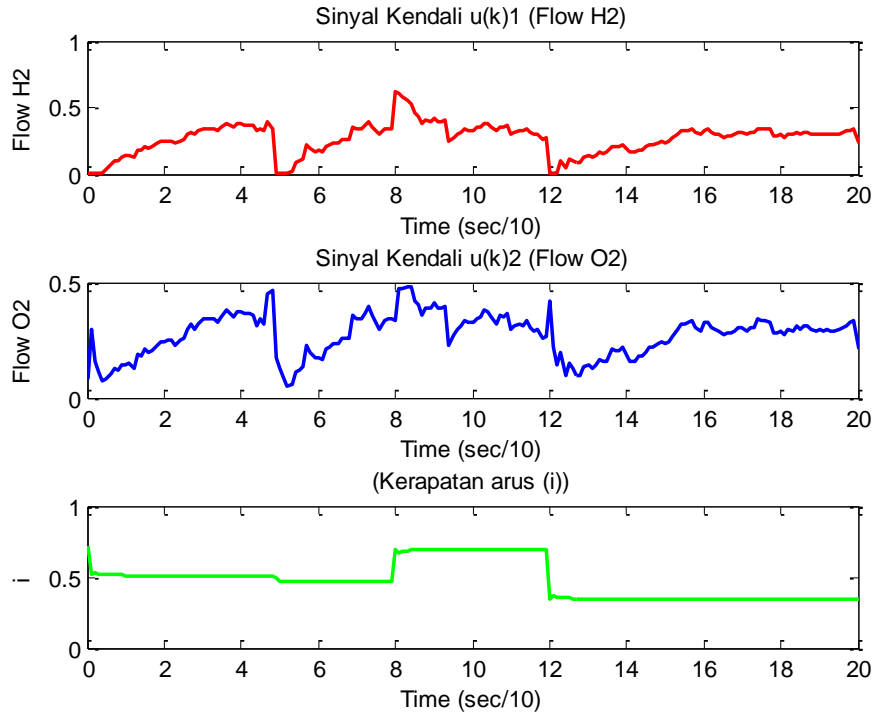
$$(Q = I_3, R = 10 I_6)$$

Untuk $Q = I_3$ dan $R = 10 I_6$, perubahan sinyal kendali lebih di tekan sehingga dihasilkan sinyal kendali yang lebih halus dengan satu solusi *infeasible* yang sangat nampak yaitu pada titik 12 detik saat terjadi gangguan berupa perubahan beban yang besar. Kelaran prediksi juga mampu mengikuti perubahan sinyal acuan dengan baik dan hanya sedikit perubahan sinyal keluaran yang terjadi saat diberi gangguan berupa perubahan beban.

d. $Q = I_3, R = 100 I_6$



Gambar 4.9. Keluaran sistem dengan pengendali MPC constrained ($Q = I_3$, $R = 100 I_6$)



Gambar 4.10. Sinyal kendali pengendali MPC constrained ($Q = I_3$, $R = 100 I_6$)

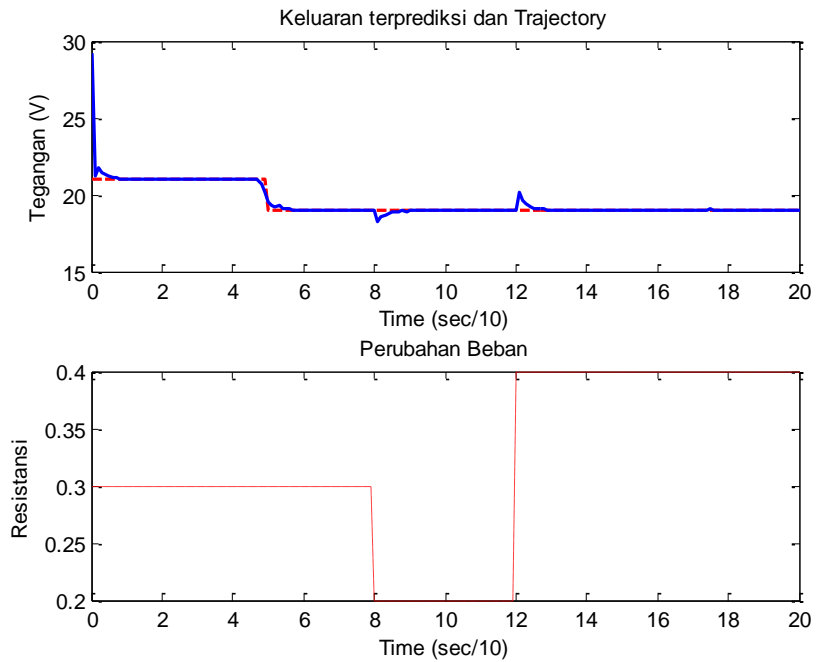
Jika nilai matriks bobot sinyal kendali $Q = I_3$ dan $R = 100 I_6$, sinyal kendali menjadi tidak halus lagi, dengan perubahan sinyal yang menjadi tidak proporsional. Hal ini menyebabkan keluaran prediksi yang dihasilkan akan sangat sensitif terhadap gangguan dan perubahan sinyal acuan yang terjadi.

Dari pengujian yang dilakukan, terlihat bahwa meskipun dengan merubah nilai matriks R , keluaran prediksi tetap dapat mengikuti sinyal acuan yang diberikan serta pengendali dapat mengatasi gangguan yang terjadi, sehingga keluaran dengan mudah dapat kembali mengikuti sinyal acuan. Dengan makin besarnya nilai R , maka nilai $\Delta u(k)$ semakin ditekan sehingga dihasilkan keluaran yang lebih halus. Namun rentang antara matriks R dan Q yang terlalu besar menghasilkan sinyal kendali yang tidak baik sehingga pada nilai matriks $R = 100I_6$, keluaran sistem tidak sehalus keluaran dengan nilai matriks R yang lebih kecil. Pada pengujian selanjutnya, nilai matriks R yang digunakan adalah $10 I_6$.

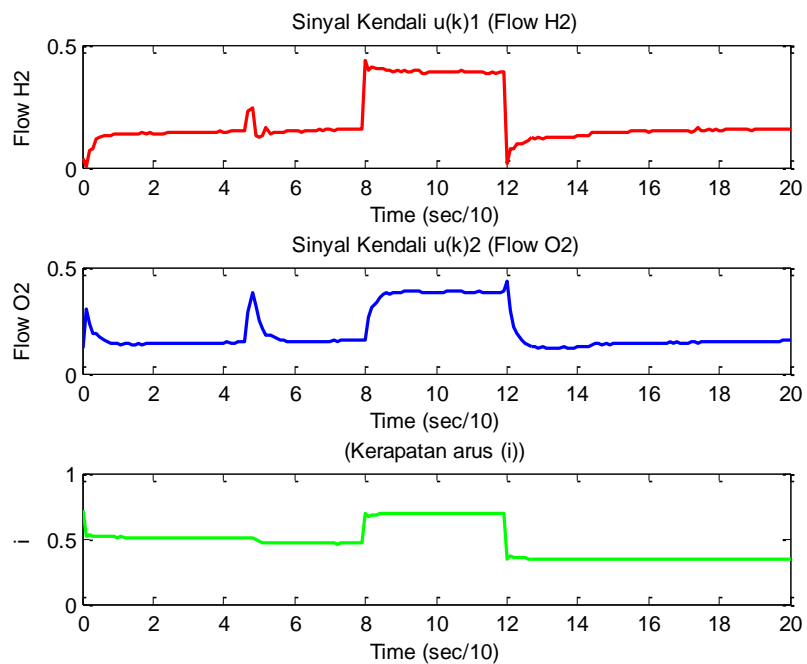
Semua sinyal kendali yang dihasilkan selalu memenuhi constraint (batasan) maksimum dan minimum untuk $u(k)$, namun untuk persamaan $u_2(k) = 0.89 u_1(k)$, tidak semua sinyal kendali yang dihasilkan dapat memenuhi batasan tersebut. Inilah yang disebut solusi *infeasible* dalam sistem pengendali MPC. Kondisi ini, membuat MPC mencari solusi lain untuk menentukan sinyal kendali yang bagaimana yang dikeluarkan agar tetap mempertahankan keluaran prediksi sesuai dengan sinyal acuan (minimasi error). Umumnya, hal ini terjadi jika terdapat perubahan sinyal acuan dan saat terjadinya gangguan. Pada sistem PEMFC sendiri, hal ini tidak menjadi masalah selama sinyal kendali tetap berada dalam batasan maksimum minimum yang ditetapkan.

1 Perbandingan hasil pengendalian MPC Constrained dengan Matriks Bobot Q yang berubah-ubah

a. $Q = 0.1 I_3, R = 10I_6$



Gambar 4.11. Keluaran sistem dengan pengendali MPC constrained ($Q=0.1I_3$, $R=10I_6$)

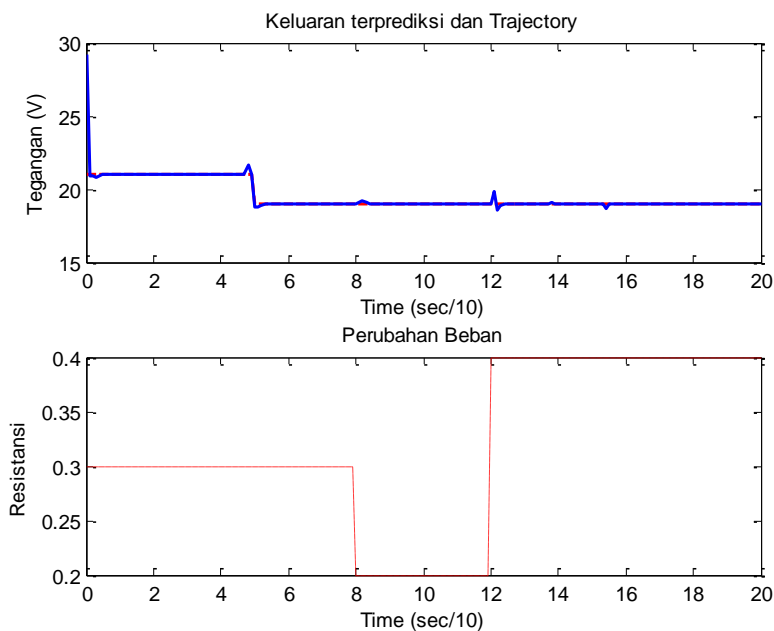


Gambar 4.12. Sinyal kendali pengendali MPC constrained ($Q=0.1I_3$, $R=10I_6$)

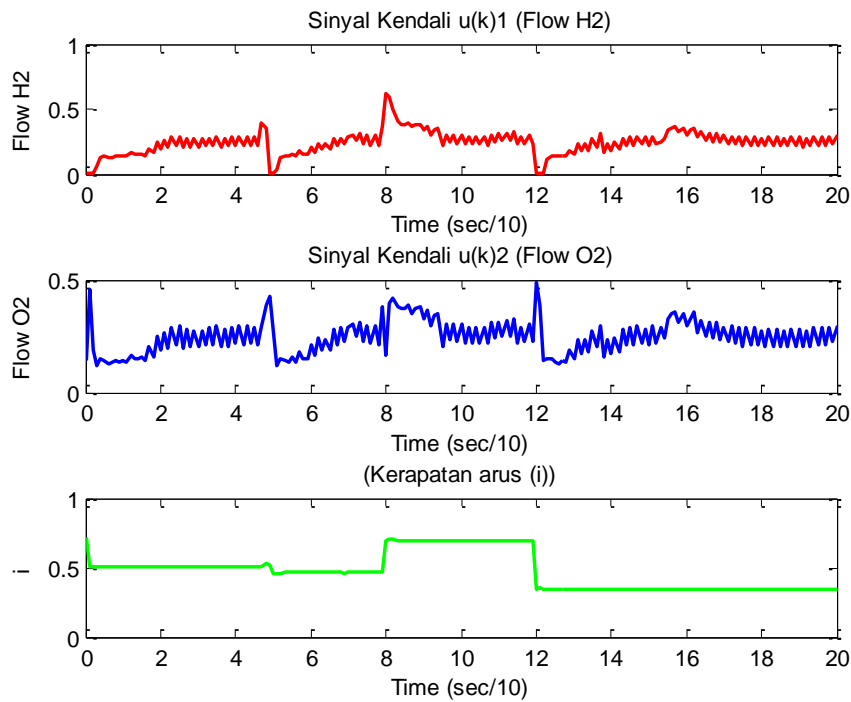
Untuk analisa terhadap pengaruh perubahan matriks bobot kesalahan Q , pengujian dilakukan dari $Q=0.1I_3$, $R=10I_6$. Pada uji ini, sinyal kendali yang

dihasilkan cukup halus, namun sinyal keluaran sensitif terhadap pengaruh perubahan sinyal acuan maupun gangguan yang terjadi. Dalam hal ini, dapat dikatakan bahwa error yang terjadi tidak dapat diatasi dengan lebih cepat oleh pengendali karena bobot kesalahannya diperkecil. Pada uji ini juga masih terdapat solusi *infeasible* yaitu pada saat terjadi perubahan sinyal acuan di titik 5 detik dan saat terjadi perubahan beban di titik 12 detik.

b. $Q = 10 I_3, R = 10 I_6$



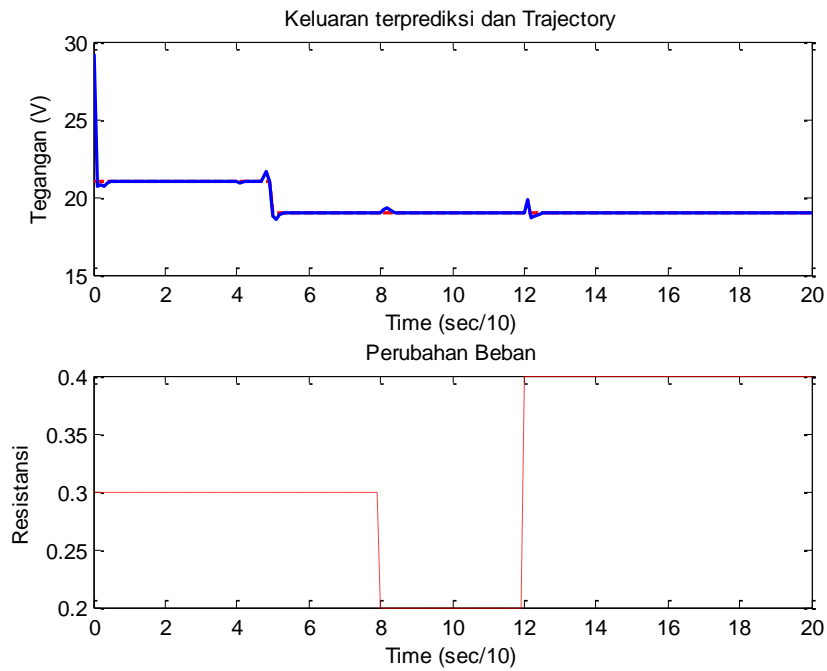
Gambar 4.13. Keluaran sistem dengan pengendali MPC constrained
($Q=10I_3, R=10I_6$)



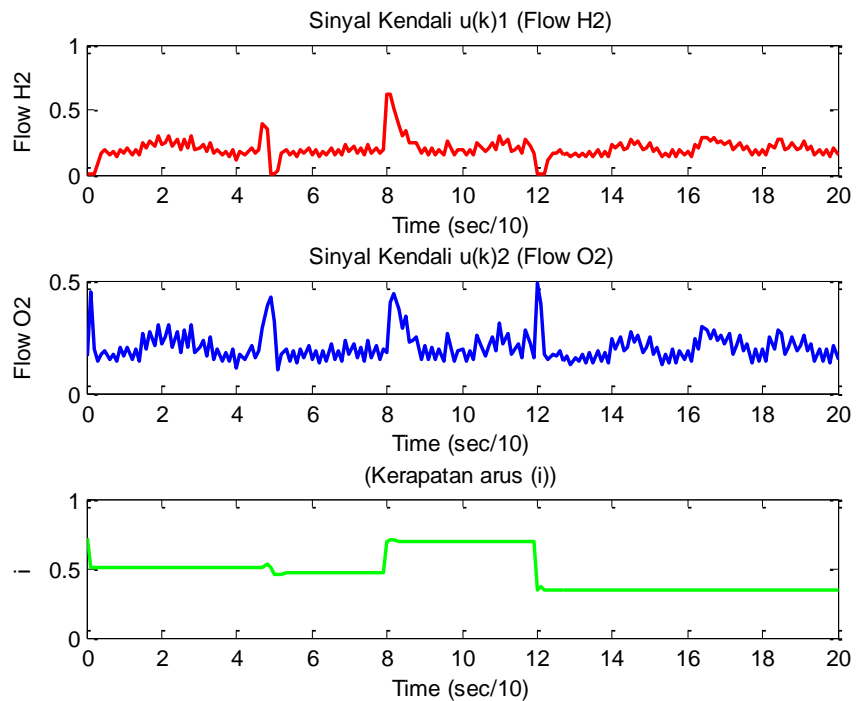
Gambar 4.14. Sinyal kendali pengendali MPC constrained
($Q=10I_3$, $R=10I_6$)

Dengan memperbesar bobot matriks Q menjadi $10I_3$, keluaran yang dihasilkan sangat halus, mampu mengikuti perubahan sinyal acuan dengan sangat baik dan pengaruh gangguan dapat diatasi dengan sangat baik pula. Namun, karena bobot matriks kesalahan yang diperbesar, maka perubahan sinyal kendali tidak ditekan untuk mengatasi error yang terjadi dengan cepat, sehingga sinyal kendali menjadi tidak halus, dan solusi *infeasible* tampak semakin banyak yaitu di titik 0.1, 5, 8 dan 12 detik.

c. $Q = 100I_3$, $R = 10I_6$



Gambar 4.15. Keluaran sistem dengan pengendali MPC constrained
 $(Q=100I_3, R=10I_6)$



Gambar 4.16. Sinyal kendali pengendali MPC constrained
 $(Q=100I_3, R=10I_6)$

Dengan merubah besar nilai matriks Q dari nilai kecil hingga besar, terlihat bahwa untuk sistem PEMFC, untuk nilai paling besar (100), sinyal kendali berubah semakin bebas dan tidak di tekan.

Dari keseluruhan hasil percobaan, terlihat bahwa hasil pengendalian yang terbaik adalah dengan menggunakan matriks bobot kesalahan $Q = 1 I_3$ dan matriks bobot sinyal kendali $R = 10I_6$ untuk panjang prediction horizon dan control horizon = 3 seperti pada gambar (4.7 dan 4.8), dimana perubahan sinyal kendali halus dan keluaran prediksi paling mendekati sinyal acuan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Albertos, A. Sala, *Iterative Identification and Control*, Springer-Verlag, London, UK, 2002.
- [2] B.D.O. Anderson, Failures of adaptive control theory and their resolution, *Communications in Information and Systems* 5 (1) (2005) 1–20.
- [3] B.D.O. Anderson, A. Dehghani, Historical, generic and current challenges of adaptive control, in: *Proc. of Third IFAC Workshop on Periodic Control Systems*, Anichkov Palace, Russia, 2007.
- [4] Hou, Zhong-Sheng, and Zhuo Wang. "From model-based control to data-driven control: Survey, classification and perspective." *Information Sciences* 235 (2013): 3-35.
- [5]] Z.S. Hou, J.X. Xu, On data-driven control theory: the state of the art and perspective, *Acta Automatica Sinica* 35 (6) (2009) 650–667
- [6] Yusivar, F., Subiantoro, A., Aryani, D., Gunawan, R., and Priambodo, P.S., 2009. Miso Model Identification of proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEM-FC) using Least_Square Method, *International Workshop on Material for New and Renewable Energy*, E-FC3 , DOI: 10.1063/1.3243263
- [7] N. A. Mardi and L. Wang, "Subspace-based model predictive control of time-varying systems," in *Decision and Control, 2009 held jointly with the 2009 28th Chinese Control Conference. CDC/CCC 2009. Proceedings of the 48th IEEE Conference on*, pp. 4005–4010, IEEE, 2009.
- [8] L. Ying, T. Abdelzaher, L. Chenyang, S. Lui, and L. Xue, "Feedback control with queueing-theoretic prediction for relative delay guarantees in web servers," in *RealTime and Embedded Technology and Applications Symposium*, 2003. *Proceedings. The 9th IEEE*, 2003.

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 BIODATA TIM PENELITI

LAMPIRAN 2 LUARAN PENELITIAN

LAMPIRAN 1

JUSTIFIKASI ANGGARAN PENELITIAN

1. Bahan Habis Pakai

No.	Nama Bahan	Justifikasi	Jumlah	Harga satuan	Harga Total
------------	-------------------	--------------------	---------------	---------------------	--------------------

				(*Rp 1000)	(*Rp 1000)
1	Harddisk internal	Pelaporan/dokumentasi	1	500	500
2	Kertas A4s	Pelaporan/dokumentasi	4	34	136
	Kertas HVS F4	Pelaporan/dokumentasi	2	37	64
3	Catridge Printer Hitam	Pelaporan/dokumentasi	2	200	400
5	Biaya berlangganan internet	Komunikasi Data	10	100	1000
6	CDRIW	Pelaporan/dokumentasi	1	100	100
7	Upgrade memory alat komputasi	Simulasi	1	1000	1000
8	Extend kapasitas penyimpanan alat komputasi	Simulasi	1	1000	1000
9	Buku/referensi	Referensi	4	200	800
Subtotal					5000

2. Perjalanan dan Lain-lain

1	Penggandaan Laporan	Pelaporan	5	40	200
3	Seminar Nasional tentang Renewable Energy	Pelaporan/proceeding	1	1000	1000
4	Perjalanan domestik & akomodasi	Seminar Nasional	1	1800	1800
Sub Total					3000
Total					8000

LAMPIRAN 2

SUSUNAN ORGANISASI TIM PENELITI DAN PEMBAGIAN TUGAS

No.	Nama	NIDN	Alokasi Waktu/Minggu	Uraian Tugas
1.	Dharma Aryani, S.T., M.T.,	0008027703	8 jam /minggu	<ul style="list-style-type: none">• Merancang ALgoritma Pengendali MBC dan MFC• Melakukan simulasi pengendali• Melakukan evaluasi performansi pengendali
2.	Nurhayati, S.Si., M.T.	0003057204	6 jam/minggu	<ul style="list-style-type: none">• Pengumpulan data• Ikut serta dalam pengembangan model dan perancangan pengendali• Penyusunan materi diseminasi

LAMPIRAN 3

KETERSEDIAAN SARANA DAN PRASARANA PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Sistem Kendali Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Sarana dan prasarana yang dibutuhkan untuk penelitian meliputi:

1. Personal Komputer dengan memori minimal 6 GB dan kapasitas hard drive minimum 500 GB untuk pengembangan materi penelitian, pengkodean bahasa pemrograman, simulasi, dokumentasi dan penulisan laporan.
2. Telepon dan jaringan internet untuk komunikasi dan akses untuk studi literatur.

LAMPIRAN 4

BIODATA KETUA PENELITI

A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Dharma Aryani, S.T., M.T.,Ph.D.
2	Jenis Kelamin	P
3	Jabatan Fungsional	Lektor
4	NIP	197702082003122001
5	NIDN	0008027703
6	Tempat dan Tanggal Lahir	Pangkep, 08 Februari 1977
7	Alamat e-mail	dharma.aryani@poliupg.ac.id
8	Alamat Rumah	Kompleks Dosen Unhas Blok AC No. 1D, Tamalanrea, Makassar
9	Nomor Telepon/HP	08884888000
10	Alamat Kantor	Jl. Perintis Kemerdekaan KM. 10 Tamalanrea, Makassar, 90245
11	Nomor Telepon/Faks	0411-585365,585356,585368/0411-586043
12	Lulusan yang Telah Dihasilkan	D3 = 500 orang
13	Mata Kuliah yg Diampu	1. Sistem Pengaturan 2. Mikroprosesor 3. Elektronika Digital 4. Praktikum Sistem Pengaturan 5. Praktikum Pengukuran Dasar 6. Praktikum Elektronika Digital

B. Riwayat Pendidikan

	S1	S2	S3
Nama Perguruan Tinggi	Universitas Hasanuddin, Makassar	Universitas Indonesia, Depok	RMIT University, Australia
Bidang ilmu	Teknik Elektro Program studi: Teknik Elektronika	Teknik Elektro Program studi : Teknik Kontrol Industri	Electrical & Electronics Engineering
Tahun Masuk-Lulus	1994 - 1999	2007-2009	2013-2017
Judul Skripsi/Tesis	Perencanaan Sistem Wireless Local Area Network (WLAN) dengan	Perancangan pengendali <i>Model Predictive Control</i> (MPC)	System Identification and Control System

	Menggunakan modem Radio FSK Full-Duplex	contrained pada sistem <i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell</i> (PEMFC)	Design for Relative Performance Management and Resource Provisioning of Virtualized Software System
Dosen Pembimbing	1. Ir. Tahir Ali 2. Ir. Ingrid Nurtanio	1. DR. Ir. Feri Yusivar, M.Eng. 2. Ir. Aries Subiantoro, M.Eng	1. Prof. Liuping Wang 2. DR. Richardt Wilkinson

C. Pengalaman Penelitian Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul	Pendanaan
			Sumber
1	2012	Simulasi Evaluasi Peningkatan Kualitas Daya Listrik Pada Instalasi Rumah Tinggal Mewah	Penelitian Dasar Pemerintah-Dalam Negeri
2	2013-2014	Perancangan test-bed eksperimen sistem <i>virtualized software system</i>	Mandiri
3	2014-2015	Pemodelan matematis dan sistem identifikasi sistem <i>virtualized software system</i>	Mandiri
4	2015-2016	Perancangan <i>feedback control</i> untuk sistem <i>virtualized software system</i>	Mandiri

D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah (Rp.)
1.	2013	IbM Dusun Lengkesse Dalam Mengatasi Ketiadaan Listrik	PKM DIKTI	

E. Pengalaman Penulisan Artikel Ilmiah Dalam Jurnal Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Judul Artikel Ilmiah	Volume/Nomor/Tahun	Nama Jurnal
1	Miso Model Identification of Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEM-FC) using Least-Square Method	E-FC3 , 2009 DOI: 10.1063/1.3243263	International Workshop on Advance Material New and Renewable Energy
2	Control Oriented System Identification for Performance Management in Virtualized Software System	Vol. 47(3), pp. 4122–412, 2014	IFAC Proceedings Volumes, Elsevier
3	An Improved Hammerstein-Wiener System Identification with Application to Virtualized Software System	IEEE CCA, pp. 1552-1557, 2015	Proceedings of 2015 IEEE Conference on Control Applications
4	Block-oriented nonlinear model based control for relative performance and resource management in virtualized software system	AUCC 2016, pp 71-76	Proceedings of 2016 Australian Control Conference
5	On Identification of Hammerstein and Wiener model with application to virtualized software system	Vol. 48 (6), pp. 1146–1161, 2016	International Journal of System and Science, Taylor & Francis
6	Data-Driven Predictive Control with Nonlinear Compensation for Performance Management in Virtualized Software System	<u>Volume 50, Issue 1</u> , July 2017, Pages 7795-7800	IFAC-PapersOnLine, Elsevier

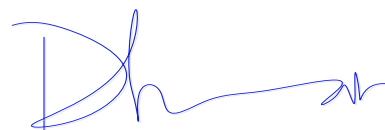
F. Pengalaman Penyampaian Makalah Secara Oral Pada Pertemuan / Seminar Ilmiah

No	Nama Pertemuan Ilmiah/Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1	IFAC World Congress 2014	“Control Oriented System Identification for Performance Management in Virtualized Software	Cape Town, Africa, 2014
2	IEEE Multi Conference on System and Control 2015	An Improved Hammerstein-Wiener System Identification with Application to Virtualized Software System	Sydney, Australia, 2015
3	Australian Control Conference 2016	Block-oriented nonlinear model based control for relative performance and resource management in virtualized software system	Newcastle, Australia, 2016
4	IFAC World Congress 2017	Data-Driven Predictive Control with Nonlinear Compensation for Performance Management in Virtualized Software System	Toulouse, Perancis, 2017

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi. Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan proposal CPPBT .

Makassar, 25 Februari 2019

Ketua Tim Peneliti



Dharma Aryani, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197702082003122001

Biodata Anggota Tim Peneliti

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Nurhayati, S.Si., M.T.
2	Jabatan Fungsional	Lektor Kepala
3	Jabatan Struktural	Kepala Unit Akreditasi Politeknik Negeri Ujung Pandang
4	NIP	19720503 200012 2 001
5	NIDN	0005037204
6	Tempat dan Tanggal Lahir	Patallasang, 3 Mei 1972
7	Alamat Rumah	BTN Citra Tello Permai Blok A4/33 Makassar
8	Nomor Telepon/Faks/HP	081342307238
9	Alamat Kantor	Jl. P. Kemerdekaan KM.10 Makassar 90245
10	Nomor Telepon/Faks	(0411)585367/(0411)586043
11	Alamat E-mail	Nurhayatigazalisanusi@gmail.com
12	Lulusan yang Telah Dihasilkan	D3 = 125 orang D4 = 8 orang
13	Mata Kuliah yang Diampu	1. Fisika Teknik (2000 – sekarang)
		2. Multimedia Database
		3. Dasar Pemograman
		4. Praktikum Desain dan Pengembangan Multimedia
		5. Kewirausahaan/entrepreneurship

B. Riwayat Pendidikan

	S1	S2	S3
Nama Perguruan Tinggi	Unhas, Makassar	ITB	
Bidang Ilmu	Fisika	Teknik Elektro	
Tahun Masuk-Lulus	1991 - 1997	2003 – 2005	
Judul Skripsi/Thesis/Disertasi	Resolusi Deterministik Spektrum Ultraviolet untuk Penentuan Kadar Nitrat Air Bawah Tanah di sekitar Pabrik Gula Kabupaten Takalar	Evaluasi Bisnis Proses Sistem Basis Data Log Book Perikanan dalam Pengawasan Kapal Ikan	
Nama Pembimbing/Promotor	Dr. Sri Suryani S.DEA	Dr.Ir. Bambang Pharmasetiawan	

C. Pengalaman Penelitian dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jml(Juta Rp)
1	2010	Aplikasi mikrokontroler sebagai penghemat energi listrik pada pendingin udara rumah tangga	Dikti	45 Juta

2	2012	Pengujian, Pengukuran dan Analisis Redaman Serat Optik yang dibengkokkan	Dikti	35 Juta
3	2014	Rancang Bangun Sistem Proteksi dan Pengontrolan Daya Beban Listrik Menggunakan PLC	DIPA PNUP Kerjasama PLN	7 Juta
4	2015	Perancangan Modul Sistem Kontrol Air Menggunakan Scada	Hibah Bersaing, DIPA PNUP	9 juta
5	2016	Audit Energi Sistem Kelistrikan Gedung Politeknik Negeri Ujung Pandang Menggunakan Scada Sebagai Instrumen Pengukuran Permanen	(PPM Ristekdikti, Penelitian Produk Terapan, 2015-2016)	75 JUTA
6	2017	Rancang Bangun Sistem Informasi Penghitung Stock Barang Menggunakan Metode <i>First Input First Output (FIFO)</i> dan <i>Economic Order Quantity (EOQ)</i>	DIPA PNUP	9 JUTA
7	2018	Metode Experience Learning sebagai Basis Pembelajaran (studi kasus : Materi Kuliah Fisika Teknik)	DIPA PNUP	8 JUTA

D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Juta Rp)
1	2010	IbM Desa Lantang Dalam Mewujudkan Tenaga Terampil Bidang Kelistrikan	Dikti	41 Juta
2	2011	IbM Kelompok Wanita Nelayan di Desa Sidorejo Polewali Mandar Dalam Alih Teknologi Pengering Mekanis Permen Jelly Rumput Laut	Dikti	35 Juta
3	2012	IbM Kelompok Tani Peternak Puyuh di Kabupaten Maros	Dikti	37 Juta
4	2012	IbM Pelatihan dan Perawatan Elektronik	Dikti	35 Juta
5	2013	IbM Peternak bebek Petelur di Kabupaten Takalar	Dikti	40 Juta
6	2013	Ipteks Bagi Kewirausahaan di Politeknik Negeri Ujung Pandang	Dikti	90 Juta
7	2015	IbM Sound System Masjid Nurul Huda Desa Lantang Kab.Takalar	DIPA PNUP	9 Juta
8	2016	IbM Kelompok Tani Karya Lestari Kab.Takalar	DIPA PNUP	9 Juta
9	2017	IbK Menciptakan Wirausaha Muda Mandiri Di PNUP	PPM RistekDikti	150 Juta

10	2018	PPK Menciptakan Wirausaha Muda Mandiri Di PNUP	PPM RistekDikti	100 Juta

E. Pengalaman Penulisan Artikel ilmiah Dalam Jurnal dalam 5 Tahun Terakhir

No	Judul Artikel Ilmiah	Volume/ Nomor/Tahun	Nama Jurnal
1	Rancang Bangun Alat Proteksi Otomatis pada Instalasi Listrik Rumah Tangga	Edisi Juli 2010, Tahun 8 Nomor 2 Hal 77 – 150, ISSN 1412 – 8764	Elektrika
2	Analisis Penggunaan Static Compensator (Statcom) untuk Perbaikan Tegangan dan Rugi Daya pada Sistem Tenaga Listrik	Edisi Januari 2011, Tahun 9, Nomor 1, hal 1 – 75, ISSN 1412 - 8764	Elektrika
3	Rancang Bangun Simulator SCADA Pengontrolan Suhu Berbasis PLC	Edisi Juli 2012, tahun 11, Nomor 2, ISSN 1412 - 8764	Elektrika
4	Pengujian, Pengukuran dan Analisis Redaman Serat Optik yang dibengkokkan	Edisi Juli 2012, tahun 11, Nomor 2, Hal 1 – 75, ISSN 1412 - 8764	Elektrika
5	Pengaruh Kapasitor Shunt terhadap Susut Transmisi Sistem Interkoneksi SulSelBar Berbasis DigSILENT Power Factory 15.1 ,	Edisi Juli 2016, vol 3, Hal 30-35.ISSN 2339-0700,	Jurnal Penelitian INTEK
6	Creating New Independent Entrepreneurship in Science And Technology at The State Polytechnic of Ujung Pandang	Prosiding seminar Nasional Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat, 2017 , ISBN .978-602-60766-2-5, hal 407-413	Journal PPM UPPM PNUP
7	Sistem Informasi Penghitung Stock Barang Menggunakan Metode <i>First Input First Output (FIFO)</i> dan <i>Economic Order Quantity (EOQ)</i>	Edisi Mei 2017, Tahun 14, vol 1, Hal 16-25. ISSN 1412-8764	Elektrika

F. Pengalaman Penulisan Buku dalam 5 Tahun Terakhir

No	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit
1	Kewirausahaan	2013	172 hal	Politeknik Negeri Ujung Pandang
2	Fisika Teknik	2008	141 hal	Politeknik Negeri Ujung Pandang
3	Manajemen Industri	2007	141 hal	Politeknik Negeri Ujung Pandang

G. Penghargaan yang Pernah Diraih Dalam 10 Tahun Terakhir

No	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Satya Lencana 10 Tahun		2013
2.			

Makassar, 25 Februari 2019
Anggota Pengusul,



Nurhayati, S.Si., M.T.
NIP. 19720503 200012 2 001



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG**

Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea, Makassar 90245

Tlp. 0411-58538, 585367, 585365, Fax. 0411-586043

E-mail : pnup@poliupg.ac.id

Home Page : <http://www.poliupg.ac.id>

SURAT PERNYATAAN KETUA PENELITI/PELAKSANA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dharma Aryani, S.T., M.T., Ph.D.

NIP/NIDN/ Pangkat / Golongan : 19770208 200312 2 001

Nama Institusi Tempat Kerja : Politeknik Negeri Ujung Pandang

Alamat Kantor : Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Tamalanrea, Makassar

Dengan ini menyatakan bahwa proposal penelitian saya dengan judul:

**EVALUASI PERFORMANSI PENGENDALI MODEL-FREE DAN MODEL-BASED
CONTROL PADA SISTEM *PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL (PEMFC)***

yang diusulkan dalam skema **Penelitian Dasar Unggulan** untuk tahun anggaran 2019 **bersifat original dan belum pernah dibiayai oleh lembaga/sumber dana lain.**

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku dan mengembalikan seluruh biaya penelitian yang sudah diterima ke kas negara.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Makassar, 27 Februari 2019

Yang menyatakan,

Mengetahui
Ketua PPPM PNUP


Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19590826 198803 1 002



Dharma Aryani, ST.,MT, PhD
NIP. 19770208 200312 2 001

