RANCANG BANGUN KONTROL KECEPATAN PUTAR MOTOR *BRUSH* DC MENGGUNAKAN METODE PID DENGAN PENGATURAN UMPAN HIDROGEN PADA PEM *FUEL CELL*

(*DESIGN OF BRUSH DC MOTOR'S SPEED CONTROLLER USING PID METHOD WITH ADJUSTED HYDROGEN FEED ON THE PEM FUEL CELL*)

FX Dwiyanto Meas[1] **Drs. Suwandi, M.si**[2] **Reza Fauzi Iskandar, Spd., Mt.**[3]
[1-3] Prodi S1Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom
[1]**fransdwiyanto@gmail.com** [2]**suwandi.sains@gmail.com** [3]**rezafauzii@gmail.com**

ABSTRAK

Hidrogen adalah salah satu alternatif yang menjadi solusi dari permasalahan krisis energi yang dialami dunia pada zaman ini. *Fuel cell* adalah salah satu teknologi yang menerima hydrogen dan menghasilkan energy listrik, panas dan air. Energi listrik yang dihasilkan oleh dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang yang salah satunya adalah transportasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang kontrol kecepatan motor DC dengan memanfaatkan energy listrik dari proses *fuel cell.* Kontrol yang diharapkan mampu meningkatkan efisiensi penggunaan hydrogen dengan mengatur *flow rate* umpan hydrogen kedalam *fuel cell* agar tidak terjadi *over flow* yang menyebabkan terbuangnya hydrogen. Selain itu kontrol yang diharapkan juga diharapkan dapat meningkatkan respon dari motor. Dengan tujuan tersebut, maka sistem kontrol yang cocok adalah sistem kontrol PID yang akan memberikan dampak pada respon transien sistem, yang terdiri dari konstanta – konstanta proporsional, derivatif, dan integral. Konstanta tersebut akan di-*tunning* melalui metode kedudukan akar untuk memperoleh sistem dengan *rise time* yang cepat dan *%overshoot* rendah yang menyebabkan sistem memiliki respon transien berupa *rise time* = 10.1s, *settling time* = 66s, *peak time* = 40.9s, *%Overshoot* = 8.66%, dan nilai tunak = 1.

Kata kunci : **Hidrogen, Motor Dc, *Fuel Cell*, Kontrol PID**

ABSTRACT

Hydrogen is one of the alternate way that become a solution of the crisis of energy problems. Fuel cell transform the hydrogen into electric power, heat, and water. The power that was made by the fuel cell can be used for a lot of things and transportation is one of them. This research main point is to make a design of a speed controller for a DC motor as a main object using the power that was created by fuel cell. The controller is a system that will increase the efficiency of the hydrogen used ,as a main supply, with controlling the flow rate of hydrogen that flowed into the fuel cell in order to avoid the over flowing of hydrogen that will be causing the hydrogen wasted. The controller will also boost the DC motor's response. In order to fulfill the purpose of the research, the method that is the most suited for the case is PID control system that will boosted the transient response from the system which stands from a proportional, derivative, and integral parameters that will be tuned using a root-locus method with the purpose to make a system that has a quick rise time and low %overshoot that will make the system has rise time=10.1s, *settling time*=66s, *peak time* = 40.9s, *%Overshoot*=8.66%, *steady state*=1 *as the transient response's result.*

Keywords : Hydrogen, DC Motor, Fuel Cell, PID

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Elektromekanik adalah sebuah sistem yang menggabungkan proses elektrik dan mekanik. Satu hal penting yang sering dijadikan objek penelitian dalam bidang elektromekanik adalah bidang motor elektrik. Motor DC adalah sumber penting dari pergerakan dalam bidang elektromekanik. Pengontrolan pada motor DC dapat dilakukan dalam berbagai aspek yang salah satunya adalah mengenai kecepatan putar. Kecepatan putar adalah variabel penting yang perlu dikontrol karena kecepatan putar adalah *output* utama dari sebuah motor.

Kesesuaian antara *output* yang aktual dengan yang *output* yang dikehendaki atau *set point* adalah kriteria agar sebuah motor dikatakan handal. Untuk memperoleh kriteria tersebut, maka sebuah motor harus dikondisikan atau dikontrol. Proses pengendalian kecepatan putar motor DC dapat dilakukan melalui pengontrolan tegangan masuk pada motor. Tegangan masuk berhubungan dengan sumber energi yang digunakan. Hidrogen adalah salah satu bahan bakar alternatif yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Salah satu teknologi yang populer

digunakan untuk memanfaatkan hidrogen sebagai sumber bahan bakar adalah *fuel cell.* Berkaitan dengan kontrol tegangan keluaran pada teknologi ini, untuk mencapai rapat arus yang maksimal maka kondisi kelembapan *membrane* dan jumlah umpan hidrogen adalah variabel yang harus diperhatikan. Dengan menggunakan variabel tersebut maka dengan mengatur laju umpan hidrogen dapat secara tidak langsung mengatur kecepatan putar motor mlalui tegangan keluaran *fuel cell.*

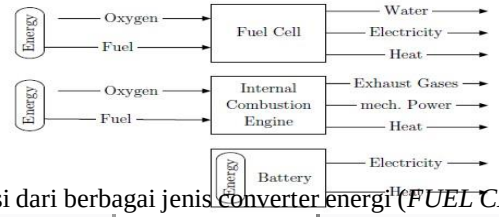
Kontrol penggerak, kecepatan adalah salah satu hal penting yang perlu dikontrol dalam implementasi pengembangan sistem penggerak dengan alasan efisiensi dan *safety.* Sistem kontrol kecepatan dapat mengurangi penggunaan bahan bakar jika dibandingkan dengan sistem tanpa kontrol. Pengendara dimungkinkan untuk meningkatkan atau menurunkan kecepatan sesuai kondisi dan kebutuhan. Penelitian ini akan dibangun sebuah sistem kecepatan kontrol putar *Brush DC motor* dengan mengatur tegangan keluar dari *fuel cell* melalui pengaturan laju aliran umpan hidrogen ke dalam *fuel cell*. PID adalah sistem kontrol yang akan diimplementasikan ke dalam rancangan peneliti.

Penelitian ini dikerjakan dengan tujuan untuk merancang sebuah kontrol pengatur kecepatan putar motor dengan meninjau pengaruh dari umpan hidrogen kedalam *fuel cell*. Kontrol yang diharapkan berasal menggunakan kontrol PID dengan harapan respon transien yang memiliki % *overshoot* kurang dari 10% dan respon *rise time* yang cepat dengan *zero offset.* Untuk mencapai tujuan penelitian berupa rancangan kontrol PID yang sesuai, maka dibutuhkan identifikasi terhadap karakteristik perputaran motor terhadap laju aliran umpan hidrogen, karakteristik dinamik sistem secara keseluruhan. Kesesuaian hasil rancangan kemudian akan diuji melalui pembandingan hasil implementasi pada sistem dan hasil rancangan untuk kemudian dianalisis dan dilaporkan.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Fuel Cell

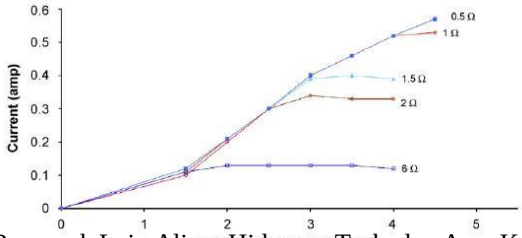
Fuel cell merupakan alat konversi energi yang bersifat *electrochemical*. Dapat dikatakan sebagai *black box* yang merubah energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar yang merupakan hidrogen dalam penggunaan alat menjadi energi listrik dan air sebagai hasil reaksinya secara langsung. [6]



Gambar 1 Skematik representasi dari berbagai jenis converter energi (*FUEL CELL, Internal Combustion Engine*, Baterai)[6]

2.2 Hubungan umpan Hidrogen dengan Arus Keluaran Fuel Cell

Arus keluaran dari *fuel cell* adalah variabel yang dapat diatur. Pernyataan tersebut telah dibuktikan oleh Claire H.Woo dan J.B Benziger. Arus keluaran dari *fuel cell* dapat diatur untuk memperoleh daya keluaran *fuel cell* yang stabil.



Gambar 2 Grafik Pengaruh Laju Aliran Hidrogen Terhadap Arus Keluaran *Fuel Cell* [3]

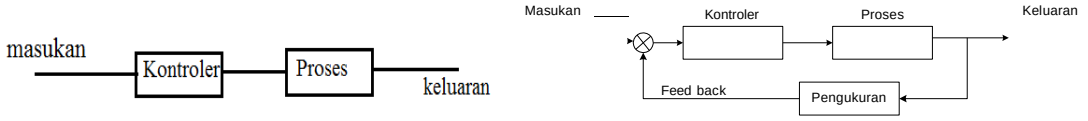
Load resistance (Ω)	Max H_2 flow (sccm)	Max current (A)	ΔV_{max} (V)	Max power density (W/cm^2)	Water collected at cathode (mL/h)/(A)
0.5	6.0	0.810	0.405	0.173	NA
0.8	4.5	0.610	0.490	0.157	NA
1.0	4.0	0.530	0.530	0.148	0.38 (0.54)
1.5	3.5	0.410	0.610	0.132	0.27 (0.40)
2.0	2.5	0.345	0.690	0.125	0.21 (0.30)
6.0	1.0	0.110	0.810	0.048	NA

Gambar 3 Tabel Pengaruh Perubahan *Flow Rate* Terhadap Arus Keluaran Berdasarkan Gambar 2.5 [3]

Percobaan menunjukan bahwa arus maksimal meningkat sesuai dengan besar *flow rate* hidrogen yang diumpankan dengan limit sesuai dengan besar resistansi internal yang digunakan.

2.3 Sistem Kontrol

Sistem kontrol adalah sebuah sistem atau rangkaian proses yang dibuat untuk memenuhi sebuhah kondisi dimana sebuah masukan dapat menentukan atau mengendalikan keluaran pada nilai tertentu, atau pada waku tertentu, menentukan urut-urutan proses sesuai dengan masukan yang diinginkan.



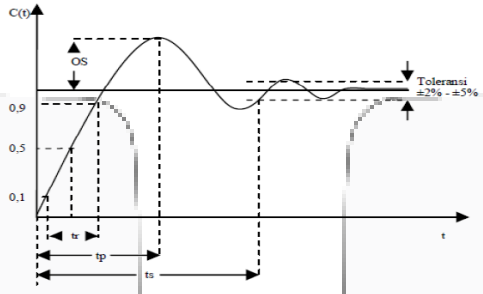
a b

Gambar 4 Sistem a) *open loop* b) Sistem *close loop*

2.4 Respon Transien Sistem

Respon transien digunakan sebagai parameter untuk mengetahui hasil pengontrolan terhadap sistem. Parameter pada respon transien yang umum digunakan adalah sebagai berikut:

1. Waktu naik (*rise time*) adalah waktu yang diperlukan sistem untuk naik dari 10% menuju 90% dari nilai akhir
2. Waktu puncak (*peak time*), waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai *output* maksimum sistem untuk pertama kali.
3. % *Overshoot*, perbandingan nilai puncak maksimum dengan nilai akhir yang dinyatakan dalam bentuk persentase
4. Waktu penetapan (*settling time*), waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai kondisi ±2% dari nilai tunak
5. *Steady state error* adalah perbedaan nilai pada saat keadaan tunak dengan *set point* yang dihendaki.



Gambar 5 Respon transien sistem secara umum

2.5 Kontroler

Kontroler adalah bentuk implementasi dari kontrol ke dalam sistem. Kontroler memiliki fungsi sebagai penentu atau pengatur proses ketika menerima sinya input baik perintah maupun *error*. Kontrol PID adalah kontrol yang menggabungkan ketiga elemen proporsional, integrator, dan derivatif untuk memperoleh respon transien tertentu. Berikut adalah persamaan kontrol PID:

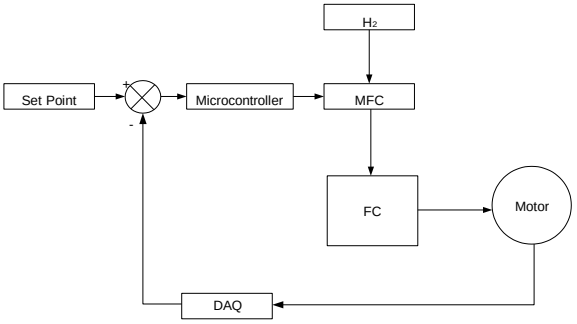
( ) ∫ ( ) — (1)

Sehingga jika diimplementasikan kedalam blok kontroler, persamaan sistem kontrol akan menjadi:

( ) — ———— (2)

2.6 Gambaran Umum Sistem

Sistem yang akan dibangun oleh peneliti adalah sebuah sistem kontrol putaran motor *brush* DC melalui pengaturan umpan hidrogen ke dalam *fuel cell*. *Set point* diberikan melalui program yang akan dijalankan arduino. Arduino akan mengatur bukaan *valve* yang mengumpan hidrogen ke dalam *fuel cell*. Ketika aliran hidrogen berubah-ubah sesuai *set point* maka tegangan yang dihasilkan *fuel cell* juga akan mengalami perubahan. Tegangan yang berubah akan secara langsung mempengaruhi kecepatan putar motor *brush*. Data Perputaran motor dicatat dan dikembalikan sebagai *feedback* ke dalam sistem kontrol. Informasi yang dibawa oleh *feedback* berupa selisih antara *set point* dengan keadaan perputaran aktual (*error*). *Error* ini akan diproses oleh arduino untuk kemudian memberikan perintah kepada aktuator.



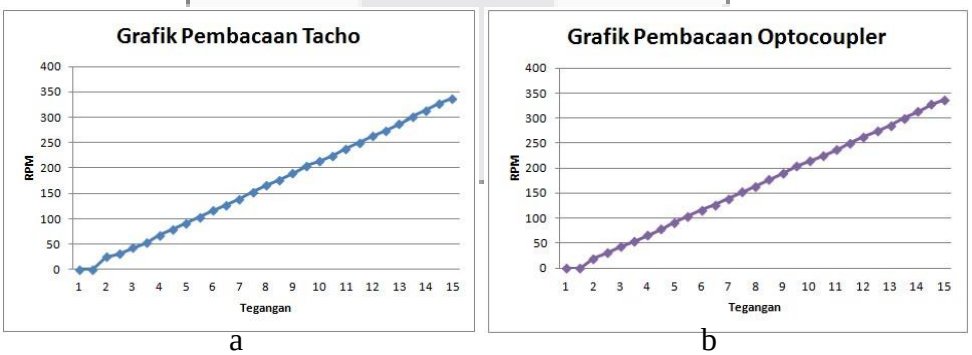
Gambar 6 Skematik umum sistem

Gambar 7 Realisasi Sistem

3. Pengujian dan Analisis

3.1 Pengujian Sensor *Rotary* Optocoupler

Sensor dasar yang digunakan sebagai pendeteksi kecepatan putar motor adalah sensor *rotary* optocoupler. Sensor akan mengirimkan sinyal 0 – 1 berdasarkan kondisi terhalang atau tidaknya IR Led. Jumlah perubahan nilai dari 0 – 1 kemudian akan dicatat dan dikalkulasi menjadi bentuk RPM. Pengujian dilakukan dengan kondisi motor menerima *supply* tegangan dari catu daya sebesar 0 – 15 volt dengan kenaikan 0.5 volt per titik uji. Putaran motor kemudian dibaca melalui dua cara. Pertama, melalui *tacho meter* yang ditembakan langsung untuk menghitung kecepatan pada motor. Kedua, pada poros motor dipasangkan piringan penghalang sensor *rotary* optocoupler yang terhubung pada *microcontroller*



a b

Gambar 8 Grafik pembacaan RPM a) *Tachometer* b)*Rotary Optocoupler*

3.2 Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Sistem yang terdiri dari beberapa subsistem perlu mendapat pengujian sebelum melihat dampak dari pengontrolan. Tujuan dari pengujian sistem secara keseluruhan adalah untuk mendapatkan karakteristik *output* sistem terhadap variasi *input* yang diberikan. Pengujian terjadi dalam kondisi *open loop*. Pengujian dilakukan dengang mengintegrasikan seluruh sub-sitem yang respon *output*-nya diamati dan di rekam melalui *microcontroller*. *Set point input* yang diberikan merupakan besar laju aliran dari umpan hydrogen kedalam *fuel cell* yang dikenndalikan menggunakan MFC melalui computer. Besar laju aliran yang dijadikan *input* mengalami

peningkatan 0.2 slpm per *set point* di mulai dari 0.4 slpm yang merupakan skala terkecil yang dapat diberikan MFC sampai dengan 3.8 slpm yang merupakan batas *flow rate* maksimum dari *fuel cell.* Data diambil dalam periode 30s dengan pencuplikan setiap 0.1s sehingga setiap *set point* memiliki 300 data.

Tabel 1 Data rata – rata hasil pengujian sistem keseluruhan

No	SP(slpm)	Data-n bergerak	Waktu (s)	RPM rata - rata	RPM Max
1	0,4	96	9,6	278,3198653	514
2	0,6	65	6,5	317,9493243	498
3	0,8	55	5,5	408,8344595	591
4	1	48	4,8	445,3783784	624
5	1,2	40	4	421,6621622	581
6	1,4	33	3,3	492,5337838	647
7	1,6	29	2,9	509,2331081	664
8	1,8	27	2,7	519,5101351	657
9	2	28	2,8	525,4864865	657
10	2,2	26	2,6	529,3581081	664
11	2,4	24	2,4	546,4662162	673
12	2,6	23	2,3	552,0743243	680
13	2,8	20	2	563,4527027	690
14	3	23	2,3	552,1385135	706
15	3,2	19	1,9	582,2432432	723
16	3,4	19	1,9	584,0439189	723
17	3,6	16	1,6	597,4358108	730
18	3,8	16	1,6	598,222973	730

3.3 Permodelan Sistem

Permodelan sistem dilakukan dengan cara mengolah data yang diperoleh pada pengujian sistem secara keseluruhan dan per SP dengan menggunakan *software* Matlab 2013a. Data yang diolah berjumlah 292 data secara keseluruhan yang diambil selama 40 detik dengan frekuensi 0.1 detik per data dan SP 500 RPM. Sistem kemudian diperoleh dengan memilih model dengan persentase ketepatan tertinggi seperti pada tabel 2 yang mengkasilkan fungsi transfer sebagai berikut:

Tabel 2 Perbandingan Model

Model	Pole	Zero	Persentase Ketepatan	MSE	Rise Time	Settling Time	Overshoot
Tf 1	5	0	94,8%	109,9	25,5	51,6	0%
Tf 2	4	4	94,62%	117,4	20,9	97,2	21%
Tf 3	4	1	93,48%	172,5	104	195	0%

( ) _____ (3)

Model yang telah dipilih kemudian diuji dengan menggunakan metode Routh-Hurwitz yang menghasilkan *routh array* seperti tabel 3.

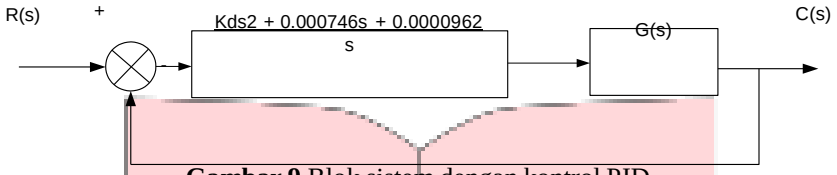
Tabel 3 *Routh array*

Orde	Konstanta			*Sign*
s^5	1	0,4808	0,03234	+
s^4	0,542	0,1145	0,00217	+
s^3	0,269	0.0283	0	+

s^2	0,057	0,00217	0	+
s^1	0,018	0	0	+
s^0	0,00217	0	0	+

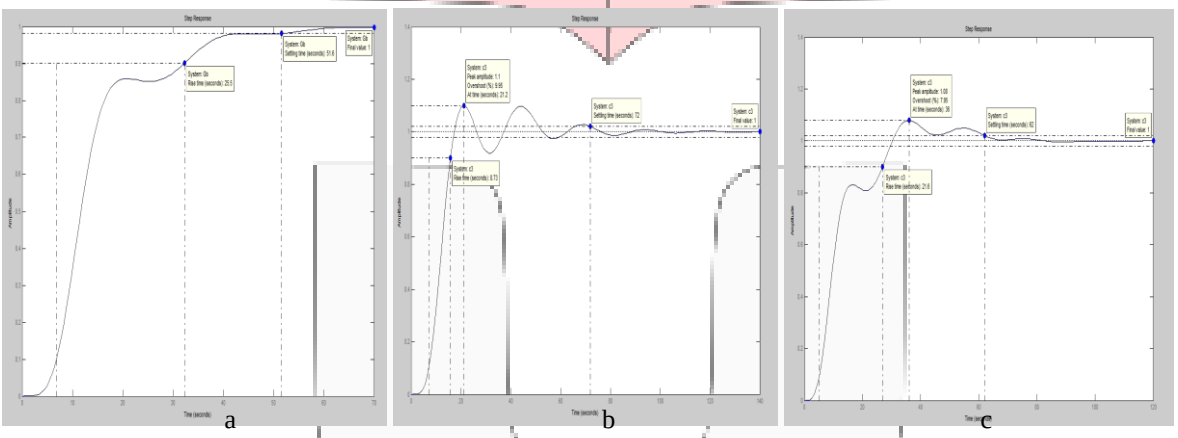
3.4 Perancangan Kontrol PID

Perancangan kontrol PID dilakukan dengan menggunakan dasar dari permodelan sistem. Karakteristik fungsi transfer sistem seperti *rise time, settling time, percent overshoot, error steady state* adalah faktor – faktor yang menjadi prioritas pada saat proses perancangan. Perancangan dimulai dengan memberikan penguat proporsional berdasarkan kedudukan akar sistem. Kemudian hasil dikoreksi dan disempurnakan dengan penambahan kontrol PI dengan tujuan memperoleh *zero offsets*. Untuk meningkatkan kestabilan dari hasil keluaran sistem makan ditambahkan kontrol derivative sehingga blok sistem menjadi seperti gambar 9.



Gambar 9 Blok sistem dengan kontrol PID

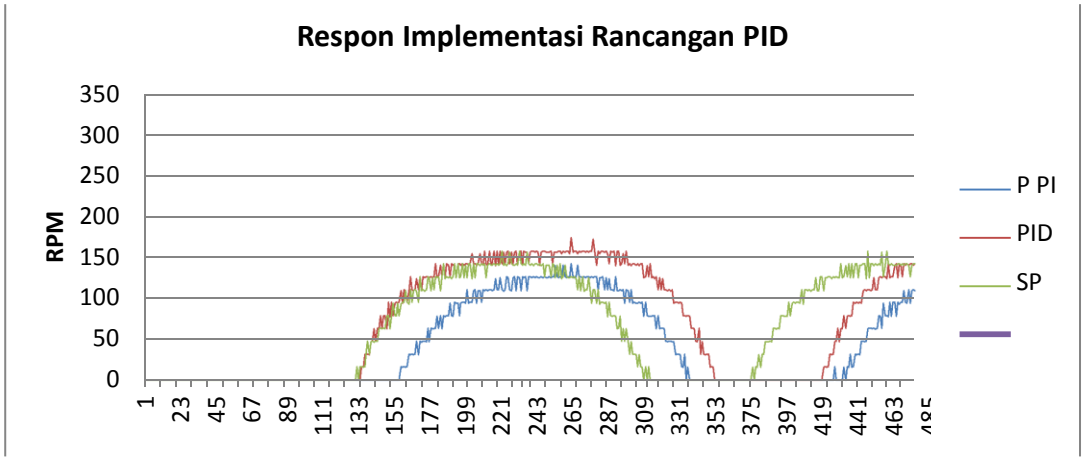
Gambar 10 adalah perbedaan respon transien dengan kontrol yang berbeda.



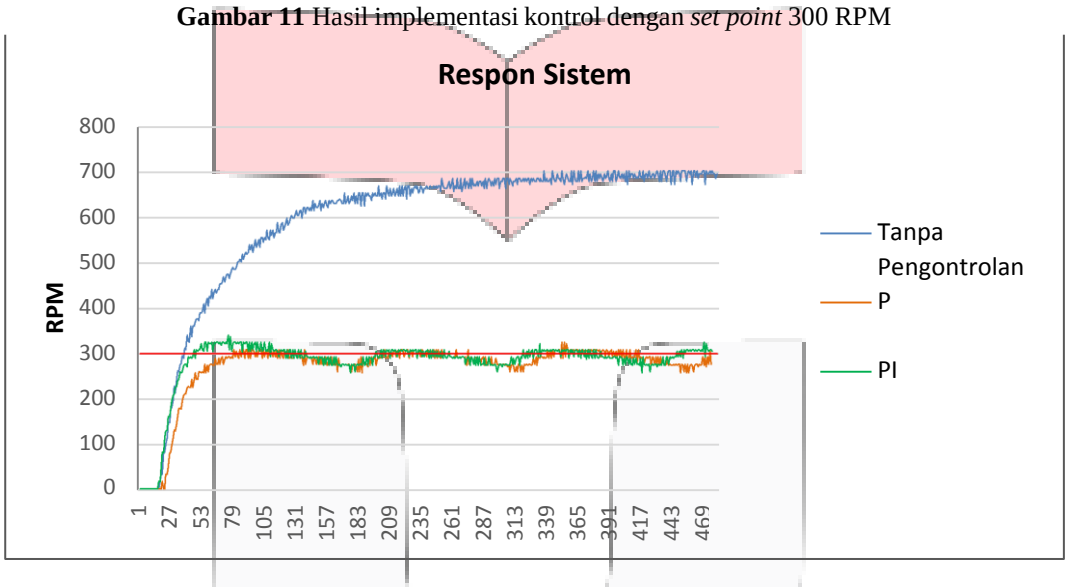
Gambar 10 Respon sistem dengan kontrol a) Proporsional b)PI c)PID

3.5 Implementasi Rancangan Kontrol

Setelah perancangan selesai proses implementasi dan pengujian berlangsung. Blok kontrol pada gambar 9 diimplementasikan melalui *source code* pada program utama dengan kondisi logika yang digunakan adalah jika *error* yang merupakan selisih nilai *set point* dan hasil pembacaan sensor lebih besar dari nilai *up flow* maka kontroler akan memberikan keluaran *up flow* dengan nilai 3.4 slpm dan jika *error* lebih kecil nilai *down flow* maka kontroler akan mengeluarkan perintah *down flow* dengan nilai 0 slpm. SP yang digunakan bernilai 300 RPM. Percobaan implementasi kontroler dilakukan dalam periode 50 detik dengan frekuensi pencuplikan 0.1 detik per-data yang menghasilkan 494 data.



Gambar 11 Hasil implementasi kontrol dengan *set point* 300 RPM



Gambar 12 Hasil implementasi kontrol baru dengan *set point* 300 RPM

Tabel 4 Data respon transien sistem

Parameter	KI = 0.0005	KI = 0.00125	KI = 0.0025	KI = 0.0035	KI = 0.005	Tanpa KI
Tr(s)	23	23	19	19	20	25
Ts(s)	5,9	5,6	4,9	4,8	4,9	5,8
Tp(s)	7,9	8,6	6,1	8	7,8	36,2
%Os	6,59	6,59	12,20	16,67	11,61	17,65
10%	29,01	29,01	29,01	29,01	30,621	27,667
90%	261,09	261,09	261,09	261,09	275,589	249,003
2%	284,298	284,298	284,298	284,298	300,0858	271,1366
Nilai Tunak(RPM)	290,1	290,1	290,1	290,1	306,21	276,67
Respon pertama(Data-n)	22	20	18	22	19	22
respon 10%(Data-n)	23	21	20	23	21	25
Respon 90%(Data-n)	46	44	39	42	41	50
Settling (Data-n)	59	56	49	48	49	58
nilai max	309,22	309,22	325,49	338,45	341,76	325,49

3.6 Analisis Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka didapat analisis sebagai berikut :

1. Sistem termasuk kedalam sistem dengan orde 5 sesuai dengan jumlah pole yang dimiliki pada persamaan fungsi transfer sistem. Sistem adalah sistem yang stabil sehingga dapat dikontrol yang ditunjukan oleh tidak adanya perubahan tanda pada *routh array* kolom kedua.
2. Penguatan proporsional belum dapat memenuhi target *zero offsets* sehingga perlu ditambahkan parameter integrator. Hasil dari kendali PI menunjukan pencapaian dengan desain terbaik pada Kp = 0.73 dan Ki = 0.094 dengan respon *rise time* = 8.73s, *settling time* = 72s, *peak time* = 21.2s, *%overshoot* = 9.95%, nilai tunak = 1. Kestabilan sistem kemudian ditingkatkan melalui penambahan kontrol derivarif dengan nilai Kd = 1 yang kemudian menghasilkan respon transien sistem menjadi *rise time* = 10.1s, *settling time* = 66s, *peak time* = 40.9s, *%overshoot* = 8.66%, nilai tunak = 1.
3. Hasil implementasi rancangan kontrol tidak memberikan hasil yang baik. Hal tersebut disebabkan oleh terlalu kecilnya penguat sehingga aktuator yang berupa MFC tidak dapat memberikan keluaran yang mampu menjadi bahan reaksi *fuel cell*. Kontrol dengan hasil yang lebih baik diperoleh dari rancangan demham KP = 0.05 dan KI = 0.005.

4. Kesimpulan

Berdasarkan dari proses perancangan dan implementasi dalam penelitian yang telah dikerjakan, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil permodelan dengan bantuan Matlab 2013a, objek pengujian adalah sebuah sistem yang memiliki lima pole dan nol zero yang berarti sistem memiliki orde lima yang setelah diuji dengan metode *routh-hurwitz* sistem merupakan sistem yang stabil untuk dikontrol.
2. Berdasarkan hasil simulasi, rancangan kontrol PID yang paling sesuai untuk memenuhi target respon transien sistem adalah rancangan PID dengan Kp = 0.73, Ki = 0.094, dan Kd = 1 yang akan menjadikan sistem memiliki respon transien yaitu *rise time* = 10.1s, *settling time* = 66s, *peak time* = 40.9s, *% Overshoot* = 8.66%, dan *nilai tunak* = 1.
3. Rancangan kontrol tidak di rekomendasikan untuk diimplementasikan karena keluaran sistem tidak sesuai dengan *set point* sehingga ditentukan kontrol baru dengan KP = 0.05 dan KI = 0.005.
4. Sistem memiliki respon yang fruktuatif diakibatkan oleh sifat kapsitif dari sumber yang kuat yang menyebabkan lambatnya respon sumber tegangan yang berupa *fuel cell* terhadap perubahan kontrol aliran umpan hidrogen.

5. Saran

Untuk keperluan penelitian dimasa yang akan datang, peneliti merekomendasikan untuk pemecahan permasalahan sifat kapasitif dari *fuel cell* untuk diutamakan agar hasil yang diperoleh dari perubahan kontrol *flow* dapat direspon dengan cepat dan menghasilkan RPM keluaran yang lebih stabil.

Daftar Pustaka:

1. **Martin, A. J.** *Distribution Requirement Planning, Distribution Management's Most Powerful Tool.* America : Oliver Weight Limited Publications, 1983.
2. *Dynamic Models and Model Validation for PEM Fuel Cells Using Electrical Circuits.* **Wang, Caisheng, Nehrir, M Hashem dan Shaw, Steven R.** 2005.
3. *PEM fuel cell current regulation by fuel feed control.* **Woo, Claire H. dan Benziger, J. B.** 2006.
4. **Azzumar, Muhammad.** *PEMODELAN DAN SIMULASI BRUSHLESS DC MOTOR KECIL UNTUK APLIKASI AKTUATOR SIRIP ROKET.* Depok : s.n., 2012.
5. *Linearized State Space Modeling of PEMFC for Control Applications.* **Abbasi, M. Abbas dan Shahid, M. Bilal.** 2011.
6. *Control Engineering Practice.* **Kunusch, Cristian, et al.** 2013, Experimental Results Applying Second Order Sliding Mode Control To A PEM Fuel Cell Based System.
7. *Applied Energy.* **Meidanshahi, Vida dan Karimi, Gholamreza.** 2011, Dynamic Modeling, Optimization And Control Of Power Density In A PEM Fuel Cell.
8. **EG&G Technical Services, Inc.** *Fuel Cell Handbook (Seventh Edition).* Morgantown : National Energy Technology Laboratory, 2004.
9. **Wiranto, D. C. A.** *Cara Kerja Fuel Cell.* 2012.
10. **Handayani, Sri.** *MEMBRAN ELEKTROLIT BERBASIS POLIETER-ETER KETON TERSULFONASI UNTUK DIRECT METHANOL FUEL CELL SUHU TINGGI.* Depok : FT UI, 2008.