

PERANCANGAN MODEL MINIATUR GAS COMPRESSOR AFTERCOOLER PADA STASIUN KOMPRESOR PAGARDEWA PT.PGN AOSS BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA2560

Muhamad Ameer Hakim, Pembimbing 1: Aziz Muslim, Pembimbing 2: Purwanto.

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan M.T Haryono No.167 Malang 65145 Indonesia

Email : muameerhakim@gmail.com

Abstrak— Implementasi metode *redundant* pada motor AC didalam sistem *Gas Compressor Aftercooler* pada Stasiun Kompresor Pagardewa PT.PGN AOSS mempunyai dampak perbedaan jadwal *maintenance* kedua motor AC serta rentang kerja motor yang tidak spesifik. Pada penelitian ini diimplementasikan motor DC dengan metode *compact* sebagai sistem kerja menggunakan Kontroler Proporsional Integral Difrensial (PID) berbasis mikrokontroler ATMEGA2560. Pertimbangan penggunaan motor DC dan kontroler PID adalah dapat menyelaraskan kecepatan rotasi permenit (rpm) serta mempunyai rentang kerja yang spesifik, sehingga diharapkan akan meningkatkan efisiensi dan menyelaraskan jadwal *maintenance* motor DC. Berdasarkan metode *root-locus* dengan *pole s* = -2.78 didapatkan nilai parameter $K_p = 14.19$, $K_i = 20$, dan $K_d = 2.59$. Sistem dapat mencapai *setpoint* 125°F dengan *settling time* sebesar 140 sekon pada temperatur *ambient* sebesar 77°F dan 144 sekon pada temperatur *ambient* sebesar 95°F. Sistem dapat menjaga temperatur pada rentang 115°F hingga 135°F dengan *recovery time* antara 63 dan 75 sekon ketika diberi gangguan berupa peningkatan temperatur sebesar 15°F.

Kata kunci— *Gas Compressor Aftercooler, manifold, PWM, RPM, kontroler PID, metode root-locus.*

I. PENDAHULUAN

Stasiun Kompresor Pagardewa yang terletak di Provinsi Sumatera Selatan termasuk dalam Unit Bisnis Strategis Transmisi Sumatera-Jawa (*Strategic Business Unit* – SBU TSJ) milik PT Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk. yang mempunyai kewajiban sebagai penyedia jasa layanan transmisi dan distribusi gas bumi dari sumber yang berada di Provinsi Sumatera Selatan menuju konsumen yang berada di Provinsi Banten melalui Stasiun Penerima Gas Bojonegara dan Provinsi Jawa Barat melalui Stasiun Penerima Gas Muara Bekasi. Gas bumi yang dikompresi oleh Stasiun Kompresor Pagardewa PT Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk. SBU TSJ disuplai oleh PT Pertamina E&P yang terletak di Musi Barat dan Merbau, Provinsi Sumatera Selatan, memiliki debit aliran (*flow rate*) terukur 110-137.5 *Million Million Standard Cubic Feet per Day* (MMSCFD) dengan tekanan terukur 386 psig dan temperatur terukur 84°F (29°C) sesuai dengan yang tertera pada *Compressor Unit Control Panel* (CUCP). Gas Bumi dengan tekanan terukur tersebut dinyatakan kurang dari tekanan minimal Transmisi Sumatera-Jawa yang ditetapkan sebesar 900 psig, sehingga diperlukan proses peningkatan tekanan (kompresi) supaya dapat ditransmisikan bersama dengan gas bumi yang disuplai

oleh Conoco Phillips dan Medco Energy melalui jalur Transmisi Sumatera Jawa yang dimiliki oleh PT Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk. SBU TSJ.

Berdasarkan data pengukuran yang tertera pada panel *Compressor Unit Control Panel* (CUCP), gas bumi yang disuplai oleh PT Pertamina E&P memiliki tekanan terukur pada masukan (*suction*) kompresor sebesar 386 psig dengan temperatur terukur 84°F (29°C) akan dikompresi menjadi gas bumi yang memiliki tekanan terukur pada output (*discharge*) kompresor sebesar 914 psig dengan temperatur terukur 198°F-224°F (92°C-107°C). Temperatur gas terukur pada output (*discharge*) kompresor akan meningkat karena sesuai dengan hukum kompresi gas. Pada kondisi optimal jaringan transmisi, gas bumi ditransmisikan dengan temperatur terukur sebesar 125°F-135°F (52°C-57°C) sesuai dengan *schedule* pipa jaringan Transmisi Sumatera-Jawa (*Final Vendor Document Part – 1. Document No: 005-20-A-RE-901. 2008*) sehingga diperlukan proses penurunan temperatur pada gas yang akan ditransmisikan, yaitu dengan metode sistem *aftercooler* yang diaplikasikan diantara bagian *discharge* sistem kompresor dan unit *gas metering*.

Pada perancangan miniatur sistem *gas compressor aftercooler*, penyusun menggunakan dua unit motor DC serta mengintegrasikan sistem pendingin berupa *thermoelectric cooler*. Kelebihan penggunaan dua unit motor DC yang bekerja secara *sharing* sebagai penggerak kipas adalah kecepatan rotasi permenit (*rotation per minute*) yang dapat menyesuaikan terhadap temperatur masukan (*suction temperature*) pada *aftercooler* sehingga menyeimbangkan beban kerja kedua motor penggerak kipas. Disamping demikian, jadwal perawatan berkala (*maintenance*) kedua kipas dapat disetarakan. Adapun penggunaan *thermoelectric cooler* berfungsi sebagai penurun temperatur udara yang akan dihisap oleh kipas *aftercooler*, sehingga diharapkan dapat meringankan beban kerja dengan cara menurunkan kecepatan rotasi kedua motor DC.

II. IDENTIFIKASI SISTEM

A. *Aftercooler*

Kegunaan utama dari sistem *aftercooler* atau sering disebut juga *heat exchanger* adalah sebuah sistem yang berfungsi untuk mendinginkan atau menurunkan temperatur suatu sistem. Aplikasi dari sistem *aftercooler* pada umumnya diterapkan pada industri yang membutuhkan sistem penurun temperatur pada hasil/produk seperti pada industri petrokimia, kilang minyak, bahan kimia, dan pembangkit listrik. Sistem *aftercooler* sebagai penurun temperatur suatu sistem terdiri dari dua jenis, yaitu dengan cara menghembuskan udara oleh kipas (*forced draft aftercooler*) atau

menginduksikan panas keluar dari sistem (*induced draft aftercooler*).



Gambar 1. Aftercooler Pada SKP PT.PGN AOSS

B. Motor DC

Motor DC yang digunakan dalam penelitian ini adalah *4-wired brushless fan DC* Delta AFC1212DE. Pertimbangan menggunakan *4-wired brushless fan DC* adalah kekompakan akan ukuran serta mempunyai masukan untuk sinyal PWM (*pulse width modulation*) yang berguna untuk pengaturan kecepatan RPM (rotasi per menit) melalui pengaturan tegangan dengan mengatur *duty cycle* dimana pembacaan rpm melalui *tachometer* yang menghasilkan 2 pulsa setiap perputaran. Membutuhkan catu daya 12VDC 1.60A, Delta AFC1212DE mempunyai nilai kecepatan rpm maksimal sebesar 4200 rpm yang dapat menghasilkan aliran udara sebesar 193 CFM (*Cubic Feet Minute*).



Gambar 1. 4-Wired Brushless Fan DC

C. Heated Air Compressor WA-51

Alat yang disebut sebagai *hotjet* pada dunia industri ini digunakan untuk memodelkan *gas compressor* dari sistem *aftercooler*. Membutuhkan catu daya dengan *rating* 200-230V 8A, *Hotjet* WA-51 mempunyai 11 skala dalam mengatur temperatur udara yang dihasilkan agar sesuai dengan kebutuhan pengguna, yaitu 190°F (skala 1) hingga 740°F (skala 11) dengan tekanan udara sebesar 15psig.



Gambar 2. WA-51 Hotjet

D. Sensor Temperatur DS18B20 probe

Sensor temperatur DS18B20 digunakan untuk mengukur temperatur pada tempat yang basah atau lembab. Keluaran data sensor temperatur ini merupakan

data digital, maka tidak terdapat degradasi data ketika mengukur temperatur pada jarak yang jauh. DS18B20 menyediakan 9 hingga 12-bit (yang dapat dikonfigurasi) data dan serial number yang independen, maka beberapa sensor DS18B20 dapat dipasang dalam 1 bus. Hal ini memungkinkan pembacaan temperatur dari berbagai tempat terpisah. Meskipun secara datasheet sensor DS18B20 ini dapat mengukur temperatur hingga 125°C (257°F), namun dengan penutup kabel dari PVC disarankan untuk penggunaan tidak melebihi 100°C (212°F).



Gambar 3. Sensor Temperatur DS18B20

E. Manifold

Definisi *manifold* adalah percabangan dari satu pipa besar menuju beberapa pipa kecil yang lebar serta menuju satu pipa besar kembali. Kegunaan *manifold* dalam penelitian ini sebagai agen *heat releaser* atau pelepas panas yang dihasilkan oleh *hotjet*. Penggunaan bahan tembaga sebagai pipa mengacu pada koefisien hantar panas tembaga merupakan yang terbaik dari jenis logam.



Gambar 4. Manifold Tembaga

F. Arduino MEGA 2560

Arduino Mega 2560 adalah board Arduino Mega versi terbaru, yang merupakan perbaikan dari board terdahulunya yaitu Arduino Mega 1280. Arduino Mega 2560 memiliki 54 pin digital *input/output* (dengan 14 pin yang dapat digunakan sebagai *output PWM* (*Pulse Width Modulation*)), 16 pin input analog, 4 UART (*Universal Asynchronous Receiver/ Transmitter*), kristal 16 MHz osilator, koneksi USB, jack listrik, *header ICSP* (*in-circuit serial programming*), dan tombol reset.



Gambar 5. Arduino MEGA 2560

G. LCD 20x4

LCD (*liquid crystal display*) yang digunakan adalah lcd yang memiliki resolusi 20x4 dan dapat dikontrol dalam dua mode yaitu 4-bit dan 8-bit. LCD berguna untuk menampilkan nilai-nilai pembacaan dari sensor DS18B20 yaitu temperatur sistem dalam derajat *Fahrenheit* dan

Celcius serta tachometer yang terdapat pada 4-wired brushless fan DC Delta AFC1212DE yang diperoleh untuk menampilkan kecepatan rotasi per menit (RPM).



Gambar 6. LCD 20x4

H. Sinyal Pseudo Random Binary Sequences

Pengujian Pseudo Random Binary Sequence (PRBS) adalah sinyal kotak yang termodulasi pada lebarnya dan berlangsung secara sekuensial. Sinyal ini biasanya dibangkitkan menggunakan Linear Feedback Shift Register (LFSR). Pada LFSR memiliki 2 parameter dasar yang menentukan sifat sekuensial yang dihasilkan, yaitu: panjang dari shift register dan susunan umpan balik. PRBS memiliki variasi panjang sekuensialnya tergantung dari panjangnya shift register seperti ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Variasi Panjang Skuensial PRBS

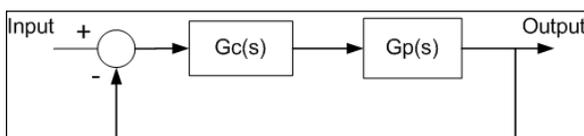
Panjang Register (N)	Panjang Sekuensial $l = 2^n - 1$	Posisi Tap Umpan Balik
2	3	1 dan 2
3	7	1 dan 3
4	15	3 dan 4
5	31	3 dan 5
6	63	5 dan 6
7	127	4 dan 7
8	255	2, 3, 4, dan 8
9	511	5 dan 9
10	1023	7 dan 10

Panjang dari shift register menentukan periode maksimum yang dapat dihasilkan dari sekuensial PRBS yang tidak berulang dan dapat dinyatakan dengan Persamaan:

$$L_{PRBS} = 2^n - 1$$

I. Kontroler PID Metode Root Locus

Rancangan sistem kendali loop tertutup dengan metode root locus memungkinkan untuk mengatur sekurang-kurangnya dua letak pole sistem loop tertutup sehingga dapat diatur tanggapan transient pada tingkat tertentu dan pengaruhnya terhadap tanggapan keadaan mantap. Prosedur analitis perancangan kontroler PID menggunakan metode root locus dapat dilihat dalam gambar berikut.



Gambar 7. Sistem Kendali

Untuk sistem tersebut, persamaan karakteristik diberikan oleh

$$1 + Gc(s)Gp(s) = 0$$

Misalkan diinginkan lokus akar melalui $s = s_1$, maka

$$Gc(s_1)Gp(s_1) = -1$$

$$Gc(s_1)|Gp(s_1)|e^{j\psi} = 1e^{j\pi}$$

Fungsi alih kontroler PID setelah ditransformasi laplace dinyatakan oleh

$$Gc(s) = Kp + \frac{Ki}{s} + Kd.s$$

Sehingga dari persamaan diatas didapatkan

$$Gc(s_1) = \frac{1}{|Gp(s_1)|} e^{j(\pi-\psi)}$$

atau

$$Kd s_1^2 + Kp s_1 + Ki = \frac{e^{j(\pi-\psi)}}{|Gp(s_1)|}$$

Dengan

$$s_1 = |s_1|e^{j\beta}$$

Maka

$$\begin{aligned} Kd |s_1|^2 (\cos 2\beta + j \sin 2\beta) + Kp |s_1| (\cos \beta + j \sin \beta) + Ki \\ = \frac{|s_1|}{|Gp(s_1)|} [\cos(\beta + \pi - \psi) + j \sin(\beta + \pi - \psi)] \end{aligned}$$

Menyamakan real dengan real dan imajiner dengan imajiner, didapat

$$\begin{bmatrix} |s_1|^2 & |s_1| \cos \beta \\ |s_1|^2 & |s_1| \sin \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Kd \\ Kp \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{|s_1|}{|Gp(s_1)|} \cos(\beta + \pi + \psi) - Ki \\ \frac{|s_1|}{|Gp(s_1)|} \sin(\beta + \pi + \psi) \end{bmatrix}$$

atau

$$\begin{bmatrix} |s_1|^2 & |s_1| \cos \beta \\ |s_1|^2 & |s_1| \sin \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Kd \\ Kp \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{|s_1|}{|Gp(s_1)|} \cos(\psi - \beta) - Ki \\ \frac{|s_1|}{|Gp(s_1)|} \sin(\psi - \beta) \end{bmatrix}$$

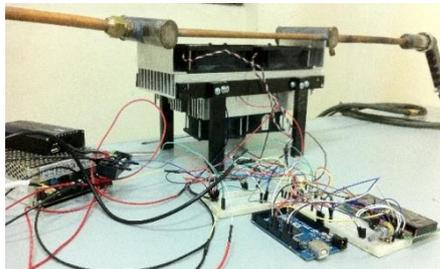
Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa untuk perancangan kontroler PID, satu dari tiga penguatan Kp, Ki, Kd, harus ditentukan dahulu. Sedangkan untuk perancangan PI atau PD, penguatan yang sesuai pada persamaan diatas dibuat sama dengan nol. Untuk kasus S_I adalah imajiner, persamaan diatas akan menghasilkan dua persamaan dalam Kp dan Kd serta besar Ki harus ditentukan terlebih dahulu.

III. PERANCANGAN MODUL

Perancangan ini meliputi pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak, dimana perangkat keras meliputi perancangan model miniatur gas compressor aftercooler dan perancangan rangkaian listrik bagi Arduino Mega2560, sensor temperatur DS18B20, dan 4-wired brushless fan DC. Perancangan perangkat lunak meliputi pembuatan program pada software Arduino v1.0.8 untuk keperluan analisis sistem yaitu dengan membangkitkan sinyal PRBS dan program kontrol PWM 4-wired brushless fan DC. Untuk mencari fungsi alih aktuator digunakan software simulink Matlab R2014b.

A. Perancangan Gas Compressor Aftercooler

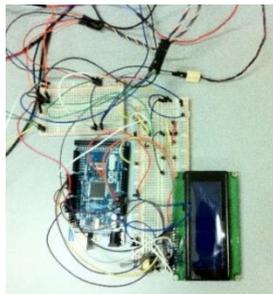
Pada penelitian ini, *gas compressor aftercooler* dirancang untuk mendinginkan udara yang bertekanan 7psig dan dengan temperatur 92°C (198°F) menjadi 54°C (130°F). Kontruksi dari *gas compressor aftercoller* dengan desain sendiri ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Perancangan Gas Compressor Aftercooler

B. Perancangan Elektris

Perancangan elektris dari skripsi ini meliputi dari perancangan elektris *4-wired brushless fan DC*, sensor temperatur DS18B20, *tachometer Delta DC fan AFC1212DE*, LCD 20x4 yang berguna untuk menampilkan hasil pembacaan sensor yang dihubungkan dengan Arduino Mega2560 sebagai mikrokontroler, dan catu daya 12V.



Gambar 9. Perancangan Elektris Sistem

C. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dimulai dengan menjalankan program PRBS pada *software* Arduino v1.0.8, selanjutnya didapatkan fungsi alih sistem dengan *software* Matlab R2014b dengan input output hasil dari program PRBS. Setelah didapatkan fungsi alih sistem, maka langkah selanjutnya adalah mendapatkan parameter K_p , K_i , dan K_d , yang digunakan sebagai parameter kontroler PID pada pemrograman *software* Arduino v1.0.8.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Pengujian ini meliputi pengujian perangkat keras, dalam hal ini pengujian sensor DS18B20, pengujian *4-wired brushless fan DC* Delta AFC1212DE, pengujian Hotjet WA51. Pada pengujian *4-wired brushless fan DC* Delta AFC1212DE menggunakan sinyal PRBS pada *software* Arduino v1.0.8 didapatkan data input-output yang selanjutnya akan dianalisa pada *software* Matlab R2014b dengan fasilitas ident serta simulink.

A. Pengujian sensor DS18B20 probe

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui error pengukuran temperatur sensor DS18B20 dengan

membandingkan hasil pengukuran sensor DS18B20 dengan hasil pengukuran termometer digital.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor DS18B20

Termometer (°C)	DS18B20 (°C)	Error (°C)
25,00	25,374	0,374
30,00	30,45	0,45
35,00	35,562	0,562
40,00	40,41	0,42
45,00	45,326	0,326
50,00	50,326	0,326
55,00	55,252	0,252
60,00	60,302	0,302
65,00	65,386	0,386
70,00	70,348	0,348
75,00	75,112	0,112
80,00	80,086	0,086
85,00	84,684	0,316
90,00	89,758	0,242
95,00	94,822	0,187
Rata-rata		0,328

B. Pengujian Fan DC Delta AFC1212DE

Pengujian *4-wired brushless fan DC* Delta AFC1212DE bertujuan untuk mengetahui karakteristik motor, diantaranya adalah pengujian *driver*, hubungan PWM dengan RPM, pengujian sinyal PRBS, pencarian nilai *best fits*, dan mendapatkan fungsi alih.

Tabel 3. Hasil Pengujian Driver DeltaAFC1212DE

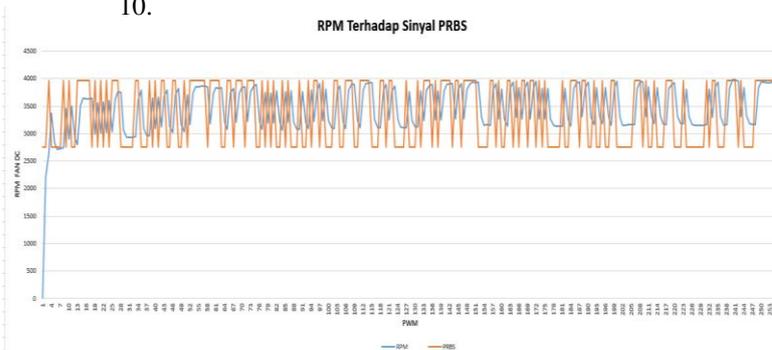
No	PWM	Tegangan Kontroler (mV)	Tegangan Driver (mV)
1	0	0	0
2	10	192,6	5.120
3	20	367,4	5.120
4	30	530	5.120
5	40	707	5.210
6	50	880	5.300
7	60	1.059	5.400
8	70	1.231	5.490
9	80	1.405	5.670
10	90	1.584	5.800
11	100	1.756	5.910
12	110	1.936	6.000
13	120	2.111	6.120
14	130	2.283	6.230
15	140	2.464	6.370
16	150	2.637	6.720
17	160	2.825	7.310
18	170	2.991	7.760
19	180	3.171	8.240
20	190	3.342	8.720
21	200	3.510	9.170
22	210	3.703	9.640
23	220	3.910	10.630
24	230	4.050	10.960
25	240	4.230	11.130
26	250	4.400	11.710
27	255	4.480	12.150

Hasil pengujian menunjukkan bahwa keluaran tegangan yang dihasilkan rangkaian *driver* sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan oleh DC fan Delta AFC1212DE. Namun pada nilai PWM dibawah 40, *driver* mengatur agar motor DC tidak dalam kondisi *off*, melainkan tetap bekerja dengan nilai tegangan konstan sebesar 5.12V. Pengujian ini dibuktikan dengan tabel hubungan PWM dengan kecepatan rotasi per menit yang ditunjukkan oleh tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian PWM terhadap RPM

No	PWM	Kecepatan (rpm)
1	0	0
2	10	780
3	20	780
4	30	780
5	40	910
6	50	930
7	60	960
8	70	995
9	80	1030
10	90	1080
11	100	1160
12	110	1260
13	120	1560
14	130	1740
15	140	1980
16	150	2100
17	160	2280
18	170	2400
19	180	2760
20	190	2880
21	200	3000
22	210	3240
23	220	3480
24	230	3540
25	240	3780
26	250	3930
27	255	4020

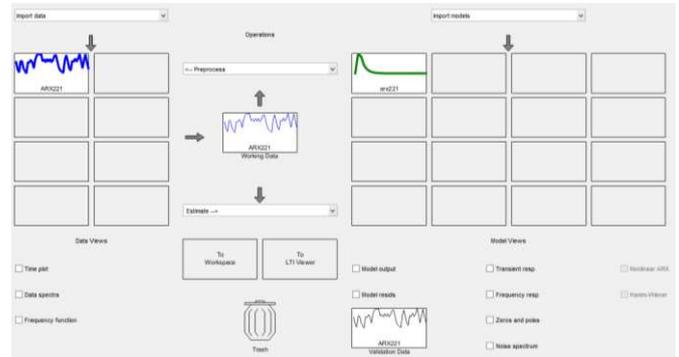
Hasil pengujian motor DC fan Delta AFC1212DE menunjukkan bahwa semakin besar sinyal PWM, maka putaran motor semakin cepat. Dengan data pengujian motor yang diperoleh dapat dilakukan pengujian selanjutnya menggunakan sinyal PRBS. Hasil pengujian menggunakan sinyal PRBS ditunjukkan dalam Gambar 10.



Gambar 10. Pengaruh sinyal PRBS terhadap RPM

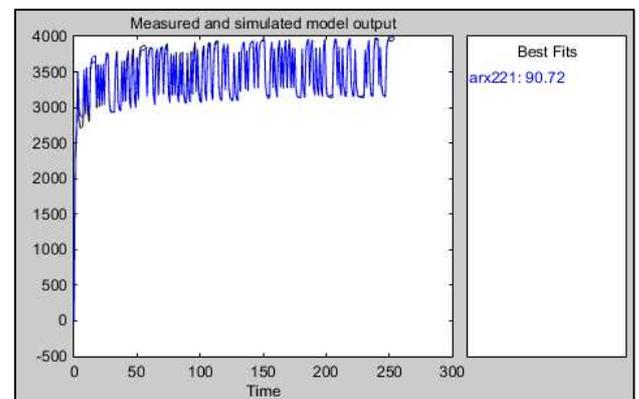
Identifikasi sistem bertujuan didapatkannya fungsi alih dari keseluruhan sistem. Pengujian dilakukan

menggunakan *software* Matlab R2014b dengan fasilitas *ident* yang dimilikinya. Data identifikasi yang digunakan, PRBS sebagai *input* sedangkan kecepatan motor sebagai *output*. Struktur model yang digunakan adalah *Auto Regressive with Exogenous input* (ARX) dengan estimasi parameter 2 2 1.



Gambar 11. Identifikasi Menggunakan Matlab R2014b

Dengan identifikasi yang dilakukan diatas, didapatkan nilai *best fits* sebesar 90.72 %,



Gambar 12. Best Fits Karakteristik Motor

Dari hasil pengujian motor DC dengan sinyal PRBS didapat nilai fungsi alih motor DC sebagai berikut:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1.136 s + 0.01513}{s^2 + 1.65 s + 0.01431}$$

C. Pengujian Hotjet WA-51

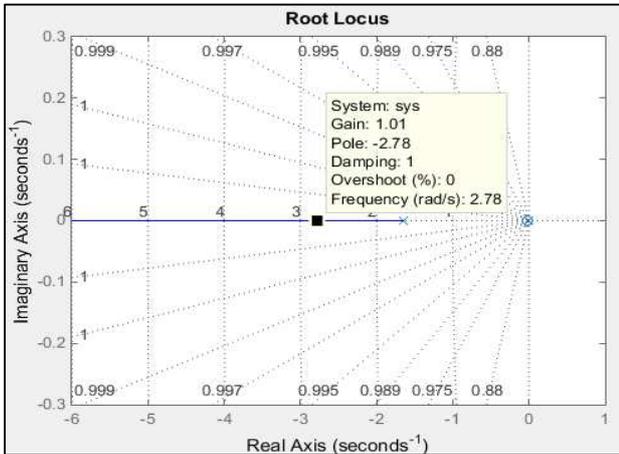
Heated-air Compressor atau yang kerap disebut *hotjet* pada dunia industri merupakan sebuah kompresor yang dilengkapi dengan pemanas (*heater*), sehingga udara yang dihasilkan mempunyai temperatur yang tinggi. *Hotjet* Winning WA-51 yang mempunyai 11 skala yang dapat diatur dengan rentang temperatur udara sebesar 92°C - 400°C. Pada penelitian ini digunakan skala 1, yang menghasilkan udara dengan temperatur 92°C. Pengujian dilakukan untuk mengetahui waktu untuk mencapai *setpoint* yaitu 92°C.

Tabel 5. Pengujian *hotjet* WA-51

No	Temperature (C ⁰)	Waktu (s)
1	25	0
2	30	3,23
3	35	6,6
4	40	10,12
5	45	13,04
6	50	16,45
7	55	23,02
8	60	29,56
9	65	34,31
10	70	41,28
11	75	47,87
12	80	48,8
13	85	59,52
14	90	55,35
15	92	56,71

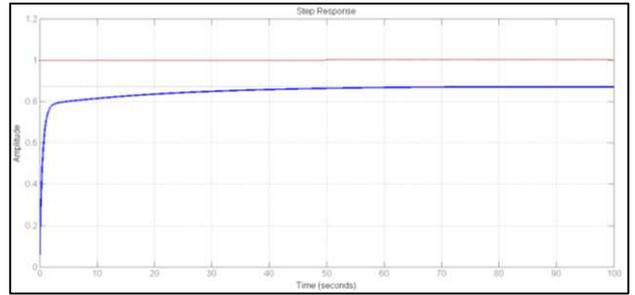
D. Penentuan Parameter PID

Untuk mendapatkan parameter PID yang diinginkan terlebih dahulu ditentukan *pole* yang diinginkan berdasarkan grafik *root locus* dari sistem. Dari grafik *root locus* dapat dilihat bahwa semua akar berada pada sisi kiri bidang *s*, dapat disimpulkan bahwa sistem stabil dalam nilai manapun, dalam penelitian ini dipilih *pole* $s = -2.78$ dengan *gain* sebesar 1.



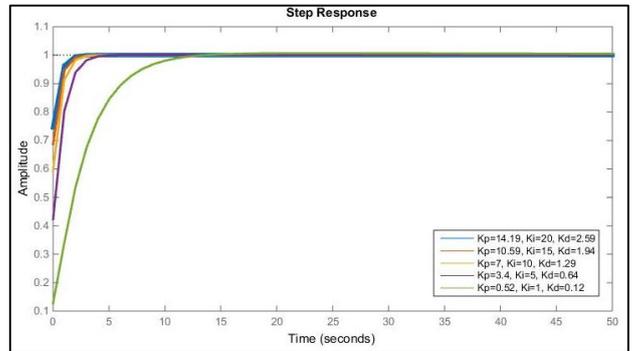
Gambar 13. *Root Locus* Fungsi Alih Sistem Dan Pemilihan *Pole S*

Dari gambar 14 dapat diketahui bahwa respon sistem tanpa menggunakan parameter kontroler PID tidak dapat mencapai *setpoint* yang telah ditentukan. Dengan digunakannya parameter kontroler PID hasil *tuning* didapatkan respon yang mencapai *setpoint* serta lebih cepat dari respon tanpa menggunakan parameter kontroler PID.



Gambar 14. Grafik Respon Sistem Tanpa PID

selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan parameter PID yang sesuai dengan kriteria yang diinginkan, dalam hal ini menggunakan metode *root locus* yang diimplementasikan dalam *software* Matlab R2014b. Dengan digunakannya ketiga parameter PID hasil dari *tuning* maka didapatkan respon yang lebih baik dibandingkan dengan respon sistem tanpa parameter PID seperti pada gambar 15.



Gambar 15. Grafik Respon Sistem Parameter PID

Dari lima pilihan parameter PID yang dapat digunakan, maka dipilih parameter PID dengan nilai:

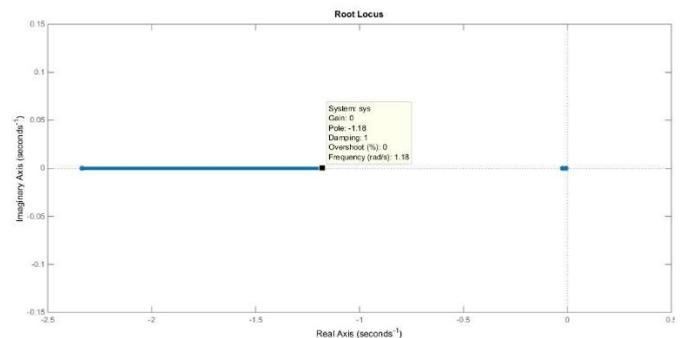
$$K_p = 14.19$$

$$K_i = 20$$

$$K_d = 2.59$$

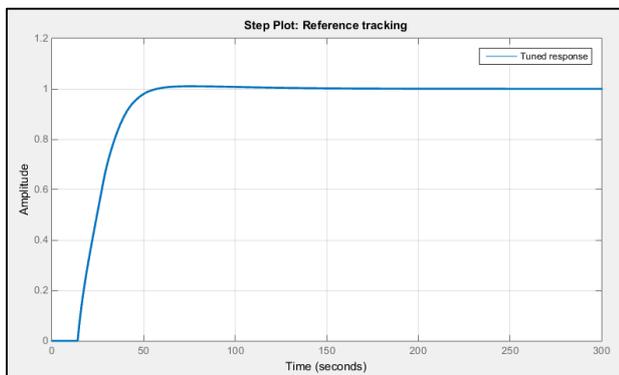
$$T_s = 140 \text{ sekon}$$

Dari penelitian, disimpulkan bahwa parameter PID yang bernilai $K_p = 14.19$, $K_i = 20$, dan $K_d = 2.59$ yang paling tepat digunakan, karena sesuai dengan *settling time* yang diinginkan, yaitu 140 sekon, serta tidak membebani motor untuk bekerja dengan sangat cepat. Grafik *root locus* dari fungsi alih *plant* dengan diimplementasikan parameter PID yang telah didapat ditunjukkan pada gambar 16.



Gambar 16. *Root Locus* Sistem Keseluruhan

Pada *software* Matlab R2014b terdapat aplikasi *simulink* yang dapat mensimulasikan sistem dengan parameter PID yang telah didapatkan sebelumnya. Dengan bantuan fasilitas *auto tune* pada aplikasi *simulink*, didapatkan bahwa sistem tidak membutuhkan parameter K_d yang ditunjukkan pada gambar 17.



Gambar 17. *Auto Tune* Pada Fasilitas *Simulink*

Parameter PID dari hasil *auto tune* bernilai:

$$K_p = 0.086$$

$$K_i = 0.021$$

$$K_d = 0.2118$$

$$T_s = 22.8 \text{ sekon}$$

Parameter K_p dan K_i yang didapatkan pada fasilitas *auto tune* pada aplikasi *simulink* Matlab R2014b tidak dapat digunakan pada plant sistem keseluruhan karena berdasarkan percobaan, hasil implementasi kedua parameter tersebut tidak stabil serta motor DC akan *overheat* karena *settling time* yang terlampaui cepat.

V. KESIMPULAN DAN PROSPEK

Pengujian dari *4-wired brushless DC fan* Delta AFC1212DE pada *software* Matlab R2014b menggunakan struktur model ARX (*Auto Regressive with Exogenous Input*) dengan nilai parameter $[2 \ 2 \ 1]$ memperoleh nilai *best fits* sebesar 90,727%. Pada perancangan parameter PID menggunakan metode *root locus* dengan nilai pole $s = -2.78$ didapatkan nilai parameter PID yaitu $K_p = 14.19$, $K_i = 20$, dan $K_d = 2.59$ dengan pertimbangan respon yang cukup stabil dan tidak membebani motor diluar kemampuan kerja. Dengan setpoint temperatur sebesar 125°F, dibutuhkan *time settling* sebesar 140 sekon.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa dengan kontroler PID yang diterapkan pada motor DC dapat bekerja dengan *range* kerja motor yang lebih spesifik dari metode sebelumnya, yaitu metode *lead-lag*. Namun keterbatasan kemampuan motor DC yang digunakan pada penelitian ini mengakibatkan tekanan udara yang dapat diturunkan temperaturnya hanya dibawah 15psig.

Penelitian *gas compressor aftercooler* dapat diaplikasikan pada stasiun kompresor gas dengan skala kecil, contohnya pada jaringan distribusi gas pada kelas rumah tangga.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gunterus, Frans. 1994. *Falsafah Dasar : Sistem Pengendalian Proses*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- [2] Amstrom, K. J., & Hagglund, Tore. 1995 *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. Instrument Society of America: Research Triangle Park.
- [3] Ogata, K. 1997. *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*. Jakarta. Penerbit Erlangga.
- [4] Atmel Corporation. 2019. *ATMEGA 2560 Series*.
- [5] Gas Negara. 2008. *Final Vendor Document: Gas Compressor Aftercooler. Document No.: 005-20-A-RE-901*. Stasiun Kompresor Pagardewa.
- [6] Arthur, J. K., William, R. P., & Daniel, G. M. 2006. *Fundamentals Of Natural Gas Processing*. America: CRC Press.