

BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

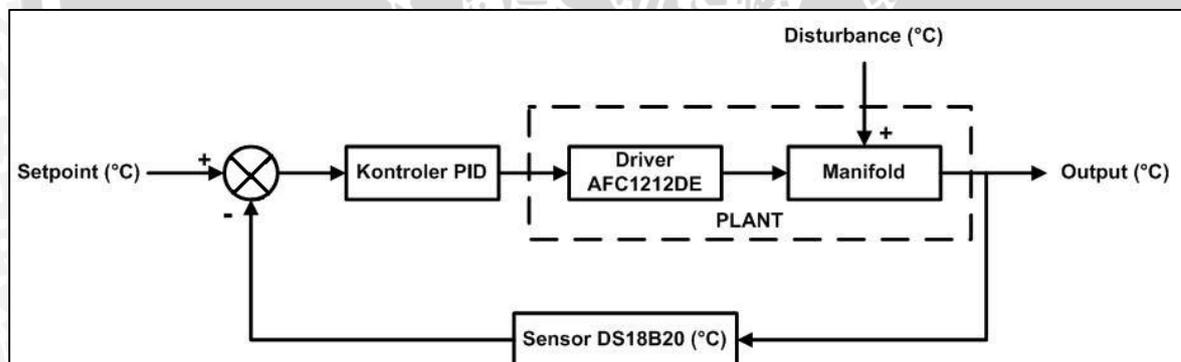
4.1 Perancangan Sistem

Dalam bab ini dibahas perancangan dan pembuatan model miniatur *gas compressor aftercooler* sebagai penurun temperatur gas bumi yang telah dikompresi. Perancangan alat meliputi perancangan perangkat keras dan perancangan program pada program Arduino 1.0.6.

Perancangan perangkat keras terdiri atas perancangan *manifold* sebagai *plant* dan perancangan elektris yang meliputi motor DC Delta AFC1212DE, sensor temperatur DS18B20, LCD 20x4, *thermo electric peltier*, catu daya 12V, dan mikrokontroler Arduino Mega 2560. Perancangan program yang terdiri atas identifikasi karakteristik motor DC menggunakan program Matlab R2014b dan perancangan program menggunakan Arduino 1.0.6.

4.2 Diagram Blok Sistem

Diagram blok system yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Blok Sistem

Keterangan dari blok diagram system tersebut adalah sebagai berikut :

1. *Set point* sistem berupa udara yang telah dikompresi dengan temperatur sebesar 125°F.
2. Pusat pengendalian sistem menggunakan Arduino Mega 2560 yang memberikan sinyal keluaran berupa *pulse width modulation* (PWM) ke *driver* motor DC Delta AFC1212DE.

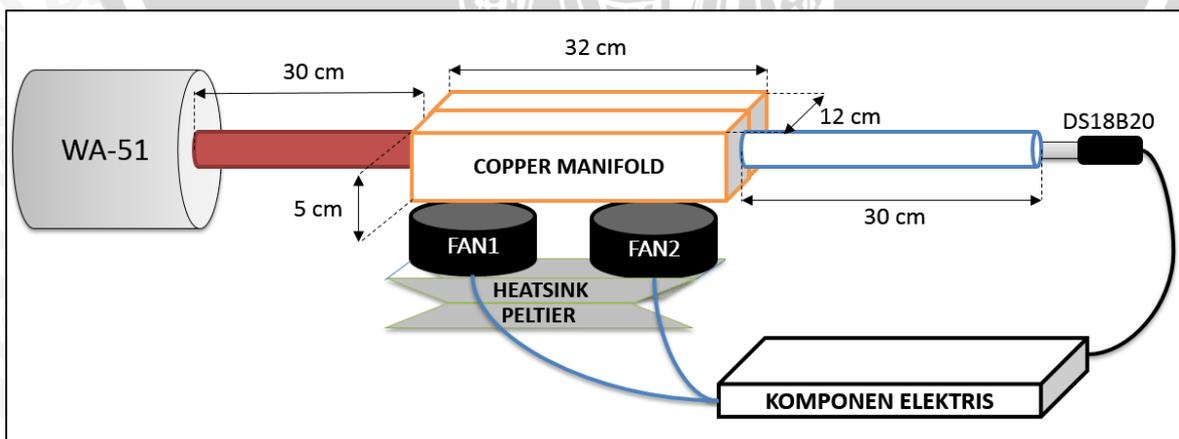
- Plant sistem berupa *driver* DC Fan Delta AFC1212DE dan *manifold* (percabangan pipa besar menjadi beberapa pipa kecil yang berguna sebagai agen *heat exchanger* atau pelepas panas).
- Sebagai *feed back* digunakan sensor temperatur DS18B20 yang dihubungkan dengan Arduino Mega 2560 pada pin digital.
- Keluaran dari sistem merupakan udara yang telah dikompresi dengan temperatur sebesar 125°F.

4.3 Spesifikasi Alat

Spesifikasi sistem miniatur *gas compressor aftercooler* menggunakan Kontroler PID berbasis Arduino Mega 2560 adalah sebagai berikut:

- Rentang temperatur masukan sebesar 192°F-200°F dan temperatur keluaran sebesar 125°F.
- Bekerja pada rentang temperatur lingkungan (*ambient*) sebesar 77°F dan 95°F.
- Dimensi *cooper manifold* sebesar 32cm x 12cm x 5cm dengan diameter luar sebesar 0.97cm.
- Tekanan udara yang dihasilkan dari *heated air compressor* WA-51 sebesar 7psig.
- Sensor yang digunakan adalah sensor temperatur DS18B20 yang mempunyai rentang pengukuran -58°F hingga 257°F.
- Aktuator menggunakan dua DC Fan Delta AFC1212DE yang mendapat sinyal masukan dari *output* PWM Arduino Mega 2560.

Skema perancangan sistem dapat dilihat dalam Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Skema Keseluruhan Sistem

4.4 Prinsip Kerja Sistem

Cara kerja sistem *gas compressor aftercooler* adalah sebagai berikut:

1. Catu daya yang digunakan terdiri dari 3 macam, yaitu:
 - 5 VDC yang digunakan sebagai catu daya bagi mikrokontroler Arduino Mega 2560.
 - 12 VDC yang digunakan sebagai catu daya DC Fan Delta AFC1212DE dan Peltier TEC12706.
 - 220 VAC yang digunakan sebagai catu daya dari *hot jet* Winning WA-51.
2. Menggunakan sensor temperatur DS18B20 dimana sinyal keluaran dari sensor sudah berupa data digital sehingga dapat dikoneksikan langsung sebagai masukan pada pin digital Arduino Mega 2560 dengan tambahan resistor 4,7K Ω .
3. Sinyal digital yang masuk ke Arduino Mega 2560 kemudian diproses menjadi sinyal kontrol berupa PWM.
4. Sinyal kontrol dari Arduino Mega 2560 difungsikan sebagai masukan ke *driver* DC Fan Delta AFC1212DE. *Driver* berfungsi menguatkan sinyal yang dihasilkan Arduino Mega 2560 dari 0-5 Volt menjadi 5-12 Volt.
5. Kompresor pemanas (*Hot Jet*) WA-51 diaktifkan dengan skala 1, sehingga menghasilkan udara dengan tekanan 7 psig dan temperatur 192°F dalam rentang waktu sekitar 56 detik.
6. Dua buah DC Fan Delta AFC1212DE akan berputar ketika pembacaan sensor temperatur DS18B20 mencapai 192°F dan bekerja untuk menurunkan temperatur udara sesuai *setpoint* menjadi 125°F dan menjaga kestabilannya.
7. Kecepatan putaran permenit (RPM) dari kedua DC Fan Delta AFC1212DE akan berubah sesuai dengan temperatur udara pada masukan *manifold*. Semakin tinggi temperatur udara masukan, maka kecepatan putaran permenit akan meningkat. Besarnya nilai temperatur dan kecepatan putaran permenit (RPM) DC Fan ditampilkan pada LCD 20x4.

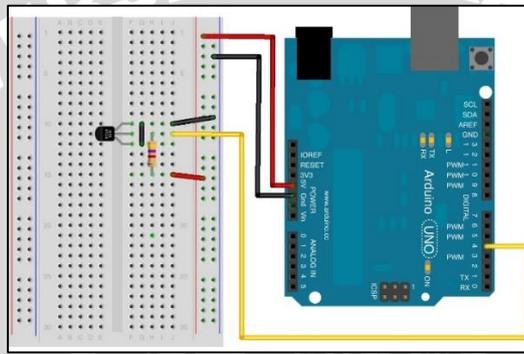
4.5 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Berdasarkan diagram blok perancangan alat yang telah disusun, perancangan perangkat keras meliputi perancangan *gas compressor aftercooler* serta perancangan listrik yang meliputi rangkaian catu daya, rangkaian sensor temperatur DS18B20, *hot jet* Winning WA-51, rangkaian DC Fan Delta AFC1212DE beserta *tachometer*, dan rangkaian

LCD 20x4. Di bawah ini adalah penjelasan masing-masing rangkaian penyusun keseluruhan alat.

4.5.1 Sensor Temperatur DS18B20

Sensor temperatur DS18B20 pada perancangan ini berfungsi sebagai pengukur temperatur udara yang telah dikompresi. Sensor temperatur DS18B20 mampu melakukan pembacaan temperatur pada rentang -58°F hingga 257°F . Keluaran dari sensor temperatur DS18B20 yang dihubungkan pada pin digital Arduino Mega 2560 dengan tambahan resistor $4,7\text{K}\Omega$ merupakan data digital yang digunakan sebagai masukan untuk perhitungan algoritma PID yang dirancang. Cara menghubungkan dengan Arduino Mega 2560 ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Skematik Perancangan Sensor DS18B20

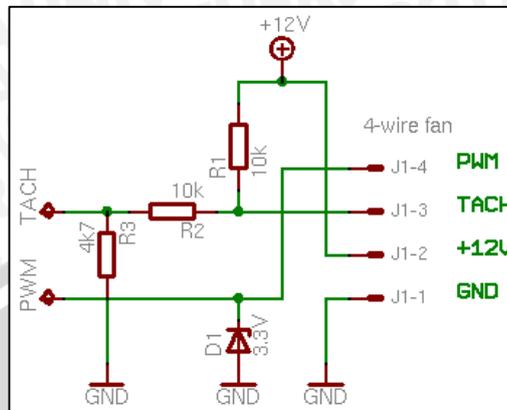
4.5.2 Hot Jet WA-51

Heated-air compressor atau yang kerap disebut sebagai *hot jet* pada dunia industri merupakan sebuah kompresor udara yang dilengkapi dengan pemanas (*heater*). *Hot jet* pada perancangan ini berfungsi sebagai pengkompresi udara dengan rentang temperatur 192°F - 752°F sebagai masukan dari *copper manifold* yang kemudian akan diturunkan temperaturnya. Pada penelitian ini digunakan skala 1 yang bernilai 192°F .

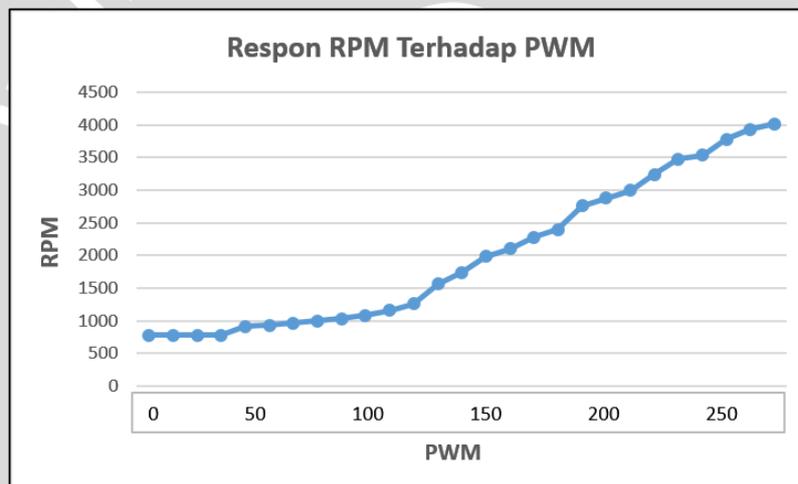
4.5.3 DC Fan Delta AFC1212DE

Pengendalian DC Fan Delta AFC1212DE menggunakan rangkaian Arduino Mega 2560 sebagai pengolah dan memberikan data berupa *Pulse width Modulation* (PWM) agar DC Fan dapat diatur kecepatan rotasi permenit (RPM). DC Fan yang digunakan pada perancangan ini tidak diketahui karakteristiknya, sehingga yang perlu dilakukan adalah melakukan pengujian dengan menggunakan rangkaian *tachometer* yang sudah terintegrasi dalam rangkaian di dalam *casing* DC Fan Delta AFC1212DE. Pin 1 pada DC Fan dihubungkan menuju pin digital Arduino Mega 2560 menggunakan

pull up resistor 10K Ω seperti yang tertera pada gambar 4.4. Karakteristik DC Fan pada perancangan ini didapatkan dengan cara memberi masukan unit *step*. Hasil respon kecepatan rotasi per menit (RPM) terhadap PWM ditunjukkan pada Gambar 4.5.



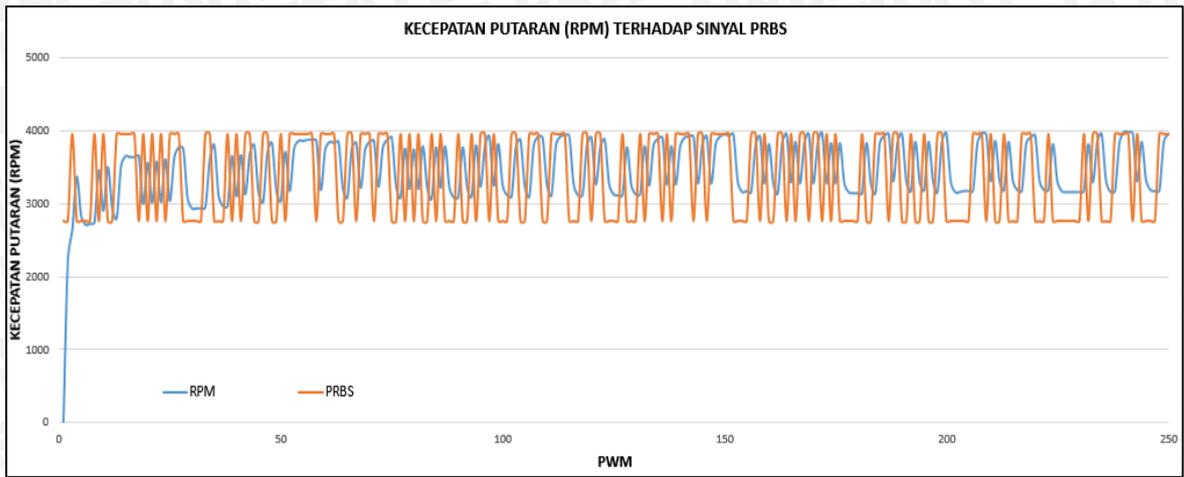
Gambar 4.4 Skematik Perancangan Tachometer AFC1212DE



Gambar 4.5 Grafik Karakteristik DC Fan Delta AFC1212DE

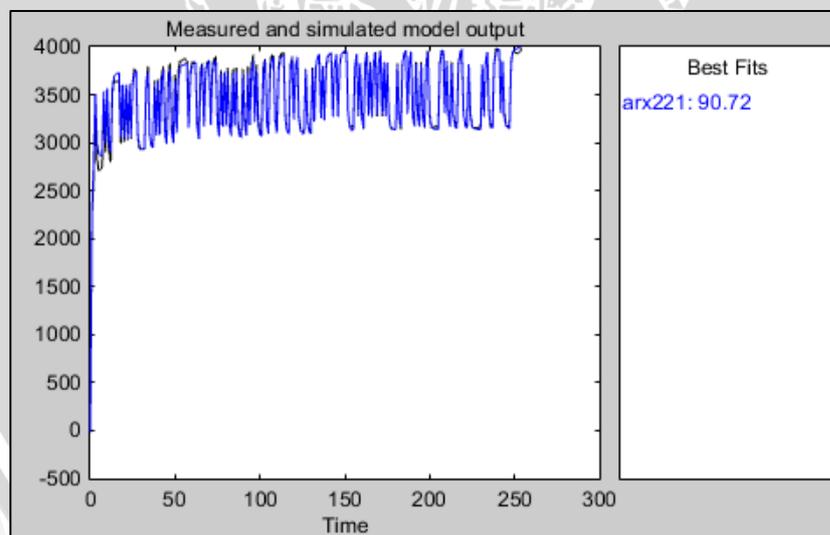
Fungsi alih motor didapatkan melalui pemodelan dengan cara membangkitkan sinyal *Pseudo Random Binary Sequence* (PRBS). Langkah yang dilakukan untuk membangkitkan sinyal PRBS adalah sebagai berikut:

1. Mencari nilai yang linear dari hasil kecepatan motor terhadap PWM pada Gambar 4.5.
2. Memasukkan nilai dari grafik yang telah dicuplik pada Gambar 4.5 untuk membangkitkan sinyal PRBS. Hasil dari keluaran motor terhadap sinyal PRBS yang telah dibangkitkan ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Kecepatan DC Fan Delta AFC1212DE Terhadap Sinyal PRBS

3. Setelah didapatkan sinyal PRBS selanjutnya adalah melakukan identifikasi dengan menggunakan MATLAB R2014b.
4. Digunakan sistem identifikasi yang ada pada MATLAB. Data sinyal PRBS yang telah disimpan kemudian diimpor pada blok *system identification tool*. sistem model yang digunakan adalah *Auto Regresive with Exogenous Input (ARX)* dan estimasi parameter yang sesuai adalah 2 2 1 dengan *best fit* sebesar 90.72 % yang ditunjukkan pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Grafik Simulasi Model Output dengan Best Fit 90.72%

5. Dari hasil identifikasi, fungsi alih DC Fan Delta AFC1212DE yang didapat adalah

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

4.5.4 Konfigurasi I/O Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 digunakan sebagai pusat pengolah utama dalam melakukan proses pengendalian. Konfigurasi I/O dari Arduino Mega ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Fungsi Pin Arduino Mega 2560

No.	Pin	Fungsi
1	P2	Digunakan sebagai masukan dari sensor DS18B20
2	P3	Digunakan sebagai masukan sinyal PWM DC Fan
3	P4	Digunakan sebagai masukan <i>tachometer</i> DC Fan
8	P5	Digunakan sebagai masukan <i>tachometer</i> DC Fan
4	D22	Digunakan sebagai antar muka LCD 20x4
6	D24	Digunakan sebagai antar muka LCD 20x4
4	D26	Digunakan sebagai antar muka LCD 20x4
5	D28	Digunakan sebagai antar muka LCD 20x4
6	D30	Digunakan sebagai antar muka LCD 20x4
7	D31	Digunakan sebagai antar muka LCD 20x4

4.6 Perancangan Kontroler

Untuk memenuhi tujuan performansi *loop* yang diinginkan, maka perlu ditambahkan kontroler pada sistem tersebut. Kontroler yang dipilih ialah kontroler Proporsional Integral Differensial (PID). Untuk mendapatkan parameter kontroler PID, dilakukan tiga perhitungan metode kontroler, yaitu metode Root Locus, Ziegler Nichols, dan *Autotune* pada Matlab R2014b.

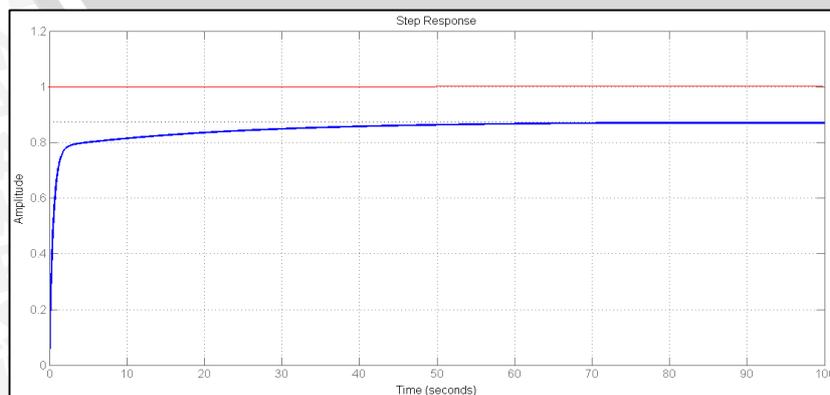
4.6.1 Perancangan Kontroler Metode Root Locus

Untuk memenuhi tujuan performansi *loop* yang diinginkan, maka perlu ditambahkan kontroler pada sistem tersebut. Kontroler yang dipilih ialah kontroler Proporsional Integral Differensial (PID). Setelah didapatkan fungsi alih sistem yaitu

$$F(s) = \frac{1.136s + 0.01513}{s^2 + 3.01s + 0.02944}$$

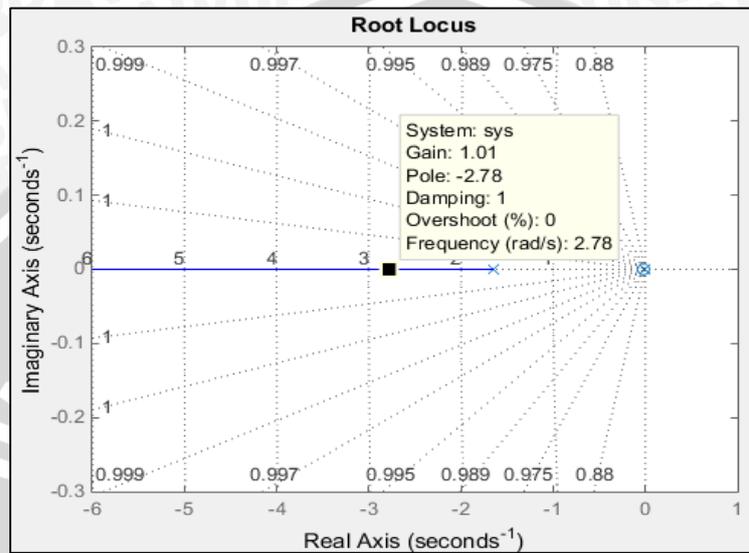
Selanjutnya adalah menentukan letak simpul *loop* tertutup.

Respon sistem terhadap masukan fungsi unit *step* dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Simulasi Respon Sistem Tanpa Kontroler

Dari respon yang didapat, sistem memiliki *error steady state* yang besar sehingga diperlukan kontroler untuk memperbaiki sistem. Memperbaiki sistem dapat diperoleh dengan memodifikasi *loop – loop* tertutupnya. Berdasarkan fungsi alih *loop* tertutup dapat diketahui sistem berorde dua. Nilai parameter PID ditentukan oleh pemilihan *pole* pada diagram *root locus*. Pada penelitian ini digunakan $s_1 = -2.78$. Penentuan letak *pole* pada diagram *root locus* terlihat dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Letak Pole Pada Diagram *Root Locus*

Setelah ditentukan letak *pole* yang diinginkan kemudian dengan mensubstitusikan nilai s_1 dari nilai fungsi alih sistem dan memvariasikan nilai parameter K_i akan didapatkan parameter PID dalam Tabel 4.2. Pencarian nilai parameter K_p , K_i , dan K_d dengan menggunakan MATLAB R2014b ditunjukkan pada *listing* program berikut :

```
[%nilai pole yang ditentukan dari gambar root locus
s1=-2.78
KI= [20 15 10 5 1]
plant_num=[0 1.136 0.01513];
plant_den=[1 3.01 0.02944];
slmag = abs(s1);
beta = angle(s1);
plant_al = polyval(plant_num,s1)/polyval(plant_den,s1);
plantslmag = abs(plant_al)
psi = angle(plant_al)
t=0 : 1 : 2 : 50
for k =1:5
KP = -sin(beta+psi)/(plantslmag*sin(beta))-2*KI(k)*cos(beta)/slmag
nilai_KI = KI(k)
KD = sin(psi)/(slmag*plantslmag*sin(beta))+KI(k)/slmag^2
Gcnum = [KD KP KI(k)];
Gcden = [0 1 0];
Tnum = conv(plant_num,Gcnum);
Tden = conv(plant_den,Gcden)+conv(plant_num,Gcnum);
r = roots(Tden)
step (Tnum,Tden,t)
```

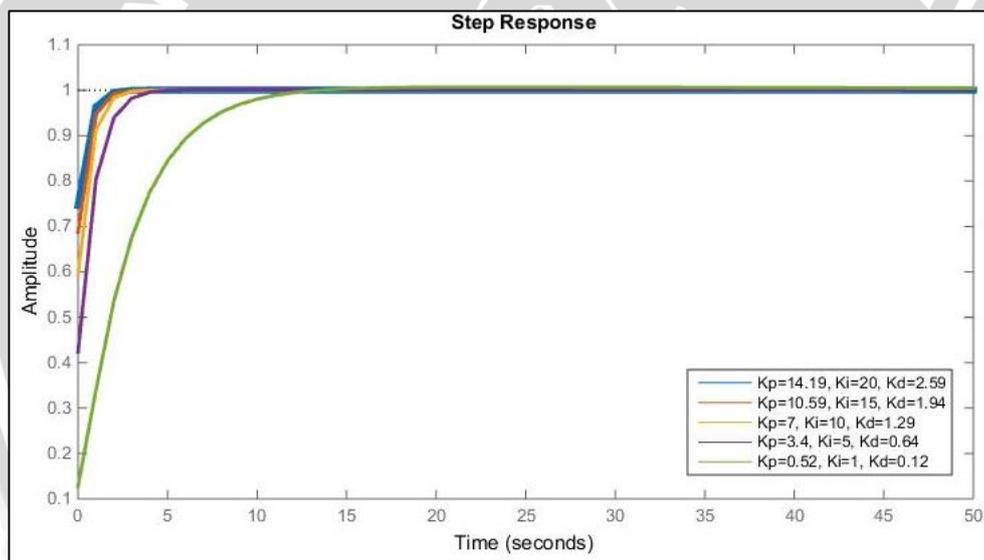
```
hold on
end
hold off
figure, rlocus(Tnum,Tden) ]
```

Hasil pencarian parameter K_p , K_i dan K_d dari perhitungan pada program diatas ditunjukkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Parameter PID dengan $s_1 = -2.78$

No.	K_p	K_i	K_d	Pole 1	Pole 2	Pole 3
1	14.19	20	2.59	-2.7800	-2.0734	-0.0133
2	10.59	15	1.94	-2.7800	-1.9114	-0.0133
3	7	10	1.29	-2.7800	-1.6529	-0.0133
4	3.4	5	0.64	-2.7800	-1.17541	-0.0133
5	0.52	1	0.12	-2.7800	-0.3528	-0.0133

Setelah didapatkan nilai K_p , K_i dan K_d hasil perhitungan, kemudian dilakukan pengujian terhadap sistem, dan parameter yang sesuai dengan sistem. Hasil respon sistem terhadap 6 parameter K_i yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Respon Sistem Terhadap Parameter Kontroler Root Locus

4.6.2 Perancangan Kontroler Metode 1 Ziegler Nichols

Grafik karakteristik *plant* dalam Gambar 4.11 menunjukkan bahwa bentuk kurva karakteristik *plant* menyerupai huruf S (*S-shaped curve*) sehingga dapat digunakan *tuning* K_p , K_i , dan K_d menggunakan metode 1 Ziegler-Nichols. Langkah awal *tuning* parameter dengan metode 1 Ziegler-Nichols adalah menarik garis *tangent* pada titik infleksi grafik karakteristik *plant*. Kemudian mencari perpotongan garis *tangent* dengan garis nilai akhir, sehingga diperoleh nilai T dan L. Nilai T dan L tersebut digunakan untuk menentukan

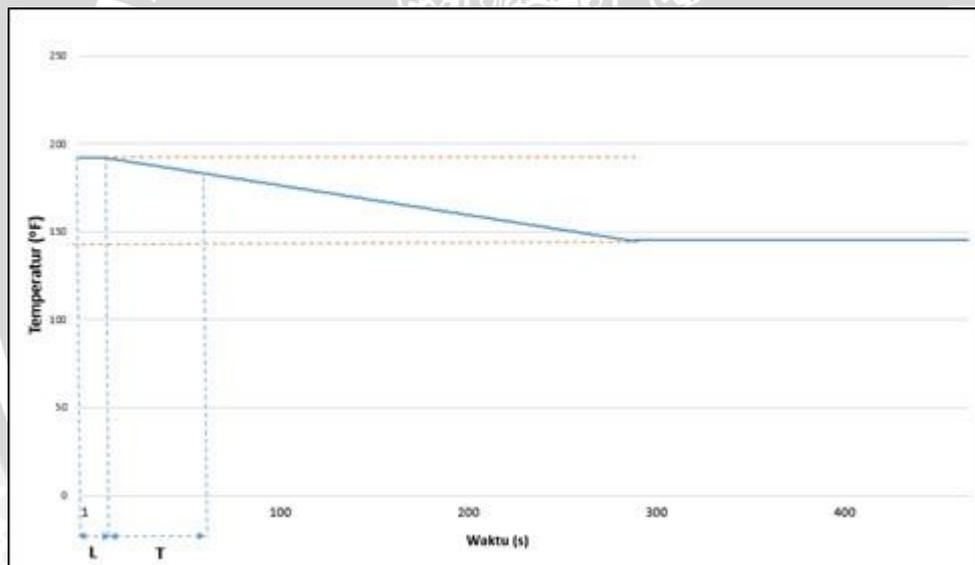
besarnya K_p , K_i , dan K_d yang tepat, sesuai dengan Tabel 4.3 aturan *tuning* metode 1 Ziegler-Nichols.

Tabel 4.3 Aturan Metode 1 Ziegler-Nichols

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Sumber: Ogata K. (1997)

Penentuan nilai K_p , K_i , dan K_d ditunjukkan dalam Gambar 4.11 dengan menggunakan metode 1 *ziegler-nichols*. Berdasarkan Gambar 4.11 didapatkan nilai $T = 39$ dan nilai $L = 14$ sehingga kita dapat mengetahui besarnya nilai $K_p = 3.34$, nilai $T_i = 28$, nilai $T_d = 7$, $K_i = 0.0878$, dan nilai $K_d = 23.28$ dihitung berdasarkan Tabel 4.3.

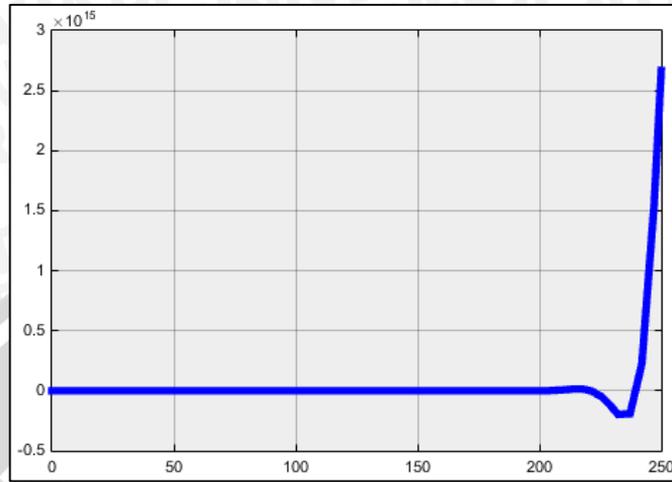


Gambar 4.11 Grafik Respon Plant Dengan Nilai PWM 175

Perhitungan menggunakan PID pada tabel 4.3:

- $T_i = 2 \times L = 2 \times 14 = 28$; $T_d = 0,5 \times L = 0,5 \times 14 = 7$
- $K_p = 1,2 \times \frac{T}{L} = 1,2 \times \frac{39}{14} = 3.34$
- $K_i = \frac{K_p}{T_i}$; $K_i = \frac{3.34}{28} = 0.12$
- $K_d = K_p \times T_d$; $K_d = 3.34 \times 7 = 23.38$

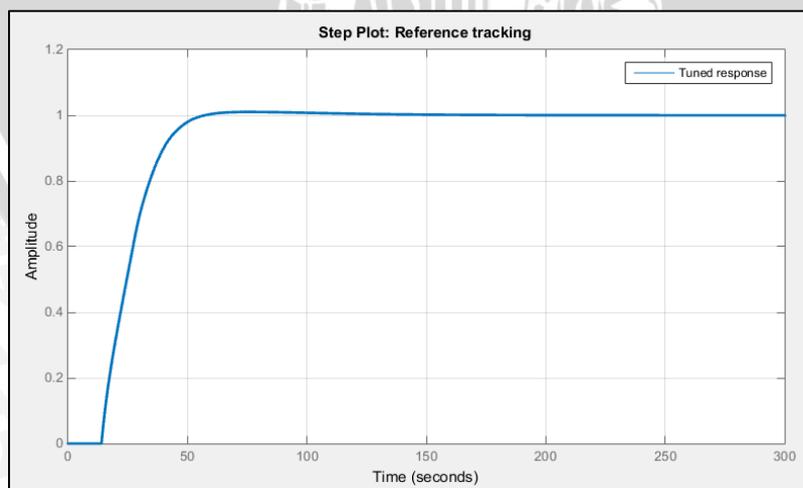
Berdasarkan fungsi alih $plant \frac{18.125 e^{-14s}}{39 s + 1}$ dilakukan simulasi pada fasilitas *simulink* Matlab R2014b, didapatkan respon sistem yang tidak baik, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik Simulasi Metode Ziegler Nichols

4.6.3 Perancangan Kontroler Secara *Autotune*

Untuk memperbaiki respon yang tidak baik dari simulasi metode Ziegler Nichols, maka dilakukan *autotune* pada Matlab R2014b agar dihasilkan respon sistem yang diharapkan. Fasilitas *autotune* pada *simulink* Matlab R2014b berguna untuk mengatur performansi dan *robustness* dari respon, baik yang memiliki satu atau dua derajat kebebasan dengan cara menghitung secara otomatis dengan melinierkan model dari *plant* terlebih dahulu. Hasil dari *autotune* ditunjukkan pada Gambar 4.13.

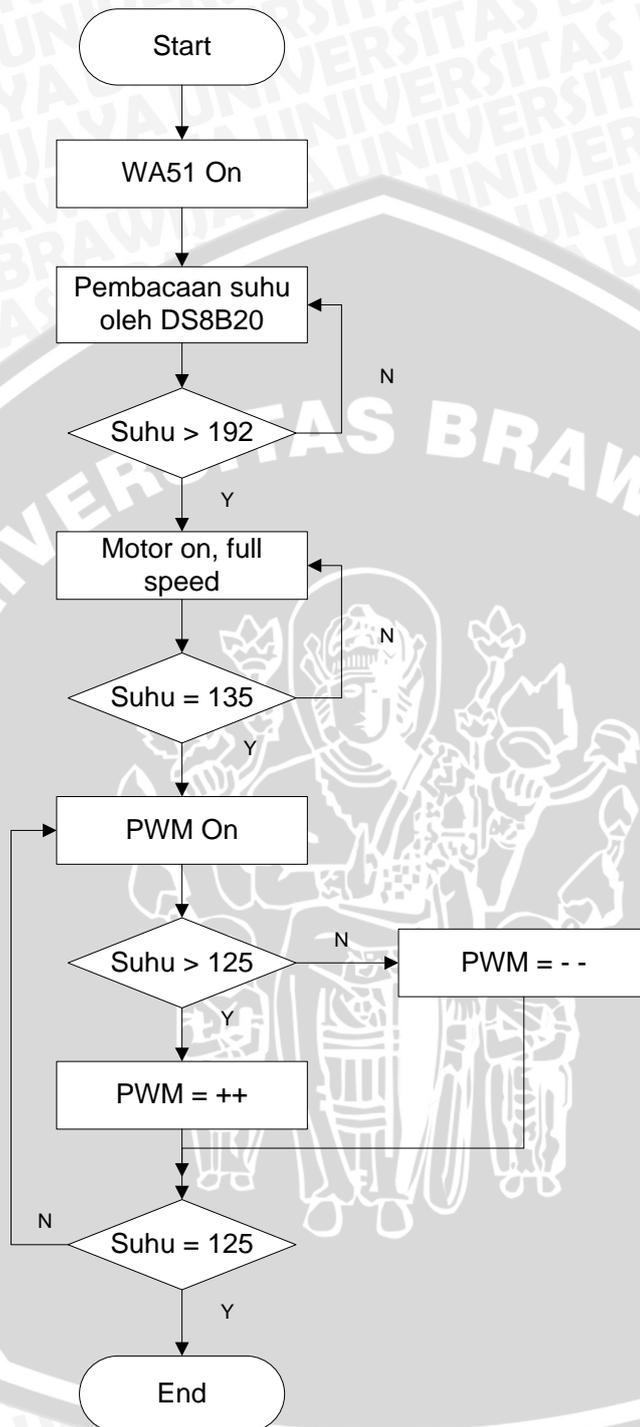


Gambar 4.13 Grafik Respon *Autotune* Pada Matlab R2014b

Berdasarkan hasil dari *autotune* Matlab R2014b, didapatkan parameter $K_p = 0.086$, $K_i = 0.0021$, dan $K_d = 0.2118$.

4.7 Perancangan Perangkat Lunak

Diagram alir sistem keseluruhan ditampilkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Diagram Alir Sistem Keseluruhan