

Kontrol Suhu dan Waktu pada Proses Pirolisis Limbah Plastik Menjadi BBM Menurut Jenis Plastik HDPE (time news roman 14)

Putu eragrostis Brizantha¹, Mila Fauziah², Beauty Anggraheny²

Abstrak – Sampah plastik merupakan sampah yang sulit untuk di daur ulang. Sampah plastik menduduki sampah terbanyak kedua didunia dengan kapasitas 5.4 juta ton per tahun atau total 14% dari produksi sampah. Oleh sebab itu penumpukan sampah di indonesia perlu ditanggulangi agar dapat mengurangi kapasitas sampah, dengan cara mendaur ulang sampah menjadi bahan bakar alternative. Pirolisis adalah mengkonversi wujud material padat menjadi gas, cair dan char. Dalam proses daur ulang ini tidak membutuhkan biaya yang mahal. Penggunaan tangki reactor dalam proses pembakaran dan kondensor yang dihubungkan oleh selang untuk tempat mengalirnya uap menuju kondensor. Pada saat pembakaran terdapat thermocoupele type K. Pengontrolan waktu dengan IC DS1307 untuk mengatur pembakaran dengan input waktu maksimal 24 jam. Input waktu menggunakan keypad untuk mempermudah pengguna dalam menginput waktu pada proses pembakaran. Bahan plastik yang digunakan HDPE 2kg ± pada saat proses pirolisis. Data dari kedua sensor tersebut diproses oleh ATmega 16. Percobaan ini menggunakan set point 150°C, 200°C, 250°C, 300°C, dan 350°C dengan waktu pembakaran sampai tetesan terakhir dalam proses. Dalam plan ini menggunakan metode kontrol PID dengan tuning metode Ziegler nichlos K_p 10.3, K_i 0.045, dan K_d 587.1, dengan max overshoot 3.3V, settling time 240 detik, time delay 120 detik, dan time peak 220 detik. Sehingga terdapat suhu dan waktu terbaik dari hasil pengujian system proses pirolisis terdapat dalam setting point 350°C dengan waktu 80 menit sampai hasil tetesan minyak terakhir sebanyak 848 ml.

Keywords : Pirolisis , PID, Minyak BBM

1. PENDAHULUAN

Sampah plastik yang tidak terpengut oleh pemulung, penanganannya tidak bisa di lakukan dengan metode open dump.

Pemusnahan sampah plastik dengan cara pembakaran (incineration), kurang efektif dan beresiko sebab dengan pembakaran munculnya polutan dari emisi gas buang (CO₂, CO, NO_x, dan SO_x) dan beberapa partikulat pencemar lainnya sehingga diperlukan cara pengolahan lain untuk mengolah sampah plastik. Perlu adanya alternatif proses daur ulang yang lebih menjanjikan dan berprospek ke depan. Salah satunya mengonversi sampah plastik menjadi minyak. Ini bisa dilakukan karena pada dasarnya plastik berasal dari minyak bumi,

sehingga tinggal dikembalikan ke bentuk semula. Selain itu plastik juga mempunyai nilai kalor cukup tinggi, setara dengan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar [1].

Dalam proses pirolisis ini menggunakan jenis plastic HDPE dikarenakan plastic HDPE merupakan jenis plastic yang memiliki kadar kimia yang tinggi dan mudah di proses daur ulang. Plastik HDPE yang hanya di rekomendasikan untuk penggunaan satu kali pemakaian, untuk menghindari penyalagunaan plastik

Alat pembuatan minyak berbahan limbah plastik sendiri pada dasarnya terdiri atas saluran pemasukan atau inlet. Fungsinya, memasukkan sampah plastik ke dalam tangki reaktor di atas tungku pembakar. Bahan bakarnya bisa dari limbah kayu bekas atau gas elpiji. Untuk memperoleh uap, tangki reaktor dihubungkan dengan kondensor atau alat pengembun yang berada di atas tangki. Diperlukan minimal dua kondensor untuk memisahkan uap yang mengandung rantai molekul pendek dengan uap yang mengandung rantai molekul panjang. Selanjutnya, pada setiap kondensor dipasang pipa penyalur untuk mengalirkan embun dari uap yang dihasilkan. Tetes demi tetes embun di tamping dalam botol sebelum proses refinery [1].

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pirolisis merupakan salah satu cara mengonversi wujud material mentah dari bahan bakar padat menjadi gas, cair, dan padat. Pirolisis adalah dekomposisi kimia material mentah melalui proses pemanasan tanpa oksigen, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas, *liquid* (tar), dan *solid* (char). Produk dari pirolisis itu sendiri dapat digunakan sebagai bahan bakar.

1. Pirolisis Lambat

Degradasi dari biomassa dimulai dengan proses pirolisis dari temperatur 100°C hingga 500°C [2]. Produk-produk *Non-combustible*, seperti CO₂, senyawa organik, dan uap air, dihilangkan pada temperatur antara 100°C dan 200°C. Diatas temperatur 200°C, terjadi pemecahan struktur komponen bahan bakar menjadi gas dengan massa molekul yang rendah (*volatile*) dan char karbon. Pada temperatur 500°C semua *volatile* hilang, yang tersisa adalah char [3].

2. Kontrol PID

Metode kontrol yang digunakan untuk pengendalian ini pada alat pirolisis limbah plastik ini adalah kontrol PID. Kontroler PID merupakan kontroler yang paling sering dipakai dalam dunia industri.

diantaranya untuk mengontrol suhu. Persamaan kontroler PID dimodelkan,

1, Putu Eragrostis Brizantha adalah Mahasiswa D4 Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang
Email Putuera25@yahoo.com
2. Mila Fauziah adalah dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang
2. Beauty Anggraheny adalah dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

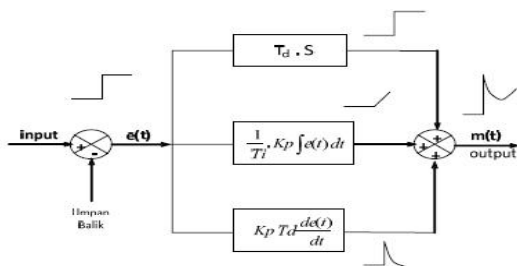
Dimana $u(t)$ adalah nilai yang dihitung oleh kontroler PID. K_p merupakan koefisien proportional, T_i merupakan *integral time*, dan T_d merupakan *differential time constant*. Fungsi dari setiap bagian pada kontroler PID adalah sebagai berikut :

- Proportional menunjukkan deviasi sinyal $e(t)$. Ketika sinyal dihasilkan maka kontroler akan mengurangi penyimpangan (*error*) sinyal.
- *Integral* digunakan untuk menghilangkan *error* dan meningkatkan stabilitas sistem.
- *Differential* digunakan untuk menunjukkan perubahan penyimpangan sinyal, memperbaiki respon sinyal sebelum penyimpangannya menjadi lebih besar, dan mempercepat respon sistem untuk mengurangi *setting time*. [4]

Tanggapan Loop Tertutup	Waktu Naik	Overshoot	Waktu Turun	Kesalahan Keadaan Tunak
Proporsional (K_p)	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun
Integral (K_i)	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
Derivative (K_d)	Perubahan Kecil	Menurun	Menurun	Perubahan Kecil

Gambar 2.1 Tanggapan sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter

Kontrol PID adalah system control gabungan antara control *Proportional*, *Integral* dan *Derivative*. Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing masing kontroler *Proportional*, *Integral* dan *Derivative* dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi kontroler *Proportional plus Integral plus Derivative (kontroler PID)*. Elemen-elemen kontroler P, I dan D masing masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghasilkan *offset* dan menghasilkan perubahan Awal yang besar. [5]



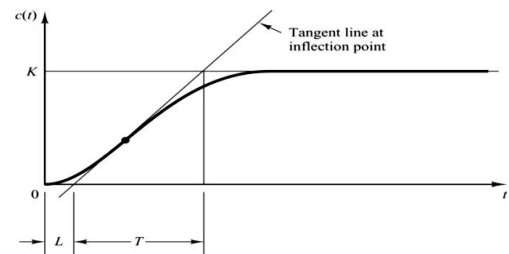
Gambar 2.2 Blok Diagram Kontroler PID

3. Metode Perancangan Kontroler PID Menggunakan Metode Ziegler-Nichols

Salah satu cara tuning PID adalah menggunakan teori dari Ziegler Nichols. Ada dua tipe metode yang bisa dilakukan yaitu metode loop terbuka dan metode loop tertutup. Metode yang

digunakan adalah metode dari *open loop* Ziegler-Nichols. Metode *open loop* didasarkan pada respon dari tiap step proses. Pada metode *open loop* ini sistem diberikan input sinyal *step* (dari 0 ke voltase yang konstan) kemudian diamati *output* yang terjadi dari kondisi awal menuju kondisi stabil (*steady state*). Hasil output digambarkan berupa grafik yang menunjukkan nilai respon dari sistem. [5]

Langkah berikutnya yaitu menggambarkan garis singgung dengan gradien paling besar pada grafik yang telah didapatkan. Garis singgung ini digunakan untuk mengetahui nilai dari waktu mati saat kondisi belum bergerak (L) dan waktu transisi (T). Nilai L dan T kemudian dapat digunakan untuk menentukan nilai K_p , K_i dan K_d dari system uji [5] sebagai berikut :

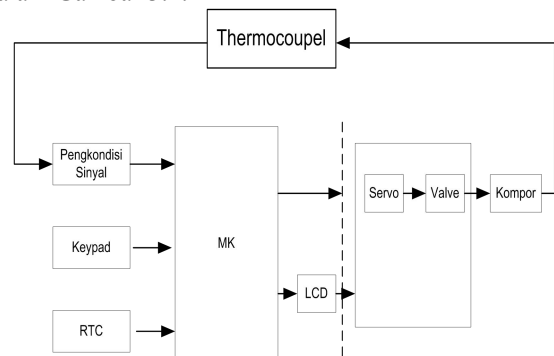


Gambar 2.3 grafik kurva s yang dihasilkan

III METODE PENELITIAN

1. Diagram Blok Perancangan Sistem

Diagram blok perancangan “Kontrol Suhu dan Waktu pada Proses Pirolisis Limbah Plastik Menjadi BBM Menurut Jenis Plastik HDPE (*High Density Polyethylene*)” dapat dilihat seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Blok

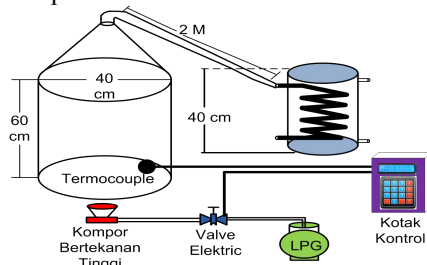
Berikut penjelasan Gambar 3.1 fungsi komponen-komponen yang digunakan pada proses pirolisis adalah:

1. Mikrokontroler ATmega16 adalah pusat pengendali sistem yang berfungsi untuk menerima perintah yang dikirim dari perangkat *input* dan diproses sesuai sistem kerja yang

- dibutuhkan, kemudian memberi perintah ke perangkat *output*.
2. *Thermocouple* merupakan sensor suhu yang digunakan untuk membaca suhu tangki reaktor yang dipanaskan oleh kompor, *thermocouple* memberikan informasi/*feedback* ke kontroler agar kompor dapat dikendalikan sesuai suhu yang diinginkan.
 3. Pengkondisi sinyal berfungsi untuk menguatkan tegangan keluaran sensor suhu agar sesuai dengan *range* tegangan ADC mikrokontroler yaitu 0V – 5V.
 4. *Keypad* berfungsi untuk input nilai parameter Set point, Lama Pembakaran
 5. RTC (*Real Time Clock*) sebagai pewaktu proses pirolisis yang mampu menghitung berdasarkan jam, menit dan detik, dan maximal input waktu yang diberikan selama 24 jam atau 1 hari.
 6. LCD (*Liquid Crystal Display*) berfungsi untuk menampilkan nilai suhu yang terdapat pada tangki reaktor dan menampilkan batas waktu (lamanya waktu) proses pirolisis berlangsung.
 7. Motor Servo digunakan untuk mengatur aliran gas pada saat pembakaran, motor servo mendapat logic dari mikro agar dapat menyesuaikan keluarnya gas saat pembakaran untuk menyesuaikan suhu sesuai set point
 8. Kompor digunakan untuk pemanas tabung reaktor pada proses pirolisis sampah plastik

2. Observasi Mekanik Pirolisis

Mekanik pirolisis merupakan suatu alat yang telah dirancang dan dibuat sebelumnya. Mekanik pirolisis berfungsi untuk melakukan proses pemanasan, dimana bahan plastik akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Pada judul “Kontrol Suhu dan Waktu pada Proses Pirolisis Limbah Plastik Menjadi BBM Menurut Jenis Plastik HDPE (*High Density Polyethylene*)” merupakan pengembangan dari Skripsi sebelumnya, pengembangan difokuskan pada metode untuk mengontrol sistem pirolisis yang telah dirancang. Mekanik pirolisis dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Mekanik Proses Pirolisis

Spesifikasi alat pengolah sampah plastik, antara lain:

1. Dimensi Alat
Tinggi *reactor* : 60cm

- Diameter tengah *reactor* : 40cm
- 2. Suhu *Maksimal* : 500°C
- 3. Range suhu *proses* : 150°C – 350°C
- 4. Kapasitas bahan baku untuk diameter ini adalah 2kg

Perancangan mekanik dapat dilihat pada Gambar 3.2. Mekanik terdiri dari *incinerator* atau tabung reaktor yang terbuat dari bahan stainless steel yang dihubungkan menggunakan pipa sepanjang 1.5 meter menuju ke kondensor, kondensor berisi pipa aluminium dengan diameter 8 mm sepanjang 2 meter yang berfungsi sebagai media pendingin uap dari fase uap menjadi cair.

3. Perancangan dan Pembuatan *Electric*

Perancangan dan pembuatan *hardware* pada proses pirolisis limbah plastik menjadi BBM terdiri dari beberapa komponen elektronika yang diintegrasikan menjadi satu kesatuan *sistem*.

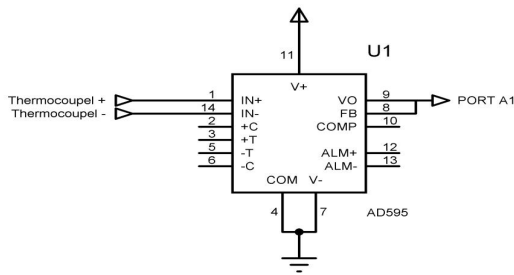
1. Mikrokontroler ATmega16

“Kontrol Suhu dan Waktu pada Proses Pirolisis Limbah Plastik Menjadi BBM Menurut Jenis Plastik HDPE (*High Density Polyethylene*)” berbasis mikrokontroler ATmega16 yang berfungsi sebagai pusat pengendali sistem kerja proses pirolisis. Pemilihan mikrokontroler ATmega16 ini karena mempunyai kapasitas memori penyimpanan yang besar sesuai untuk menampung program sistem pirolisis yang akan dibuat.

Tabel 3.1 Tabel I/O ATm16

PORT ATM16	INPUT	OUTPUT
PA0		SERVO
PA1	AD595	
PA2		LCD RS
PA3		LCD E
PA4		LCD DB4
PA5		LCD DB5
PA6		LCD DB6
PA7		LCD DB7
PB0	Keypad col1	
PB1	Keypad col2	
PB2	Keypad col3	
PB3	Keypad col4	
PB4		Row 1
PB5		Row 2
PB6		Row 3
PB7		Row 4
PC0		RTC SCL
PC1	RTC SDA	RTC SDA

2. Rangkaian Pengkondisi Sinyal



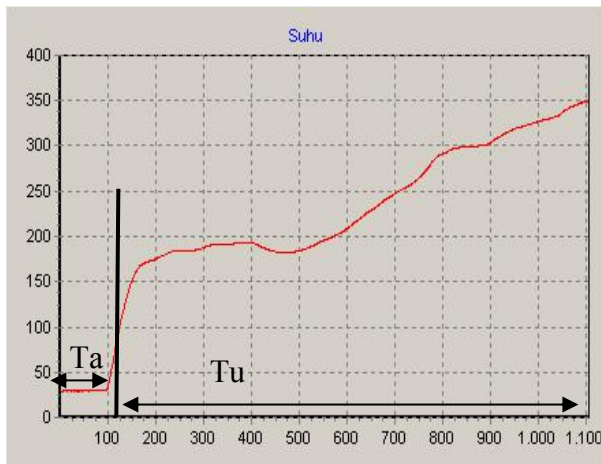
Gambar 3.3 Skematik AD595

Gambar 3.3 merupakan sebuah IC (*Integrated Circuit*) pengkondisi sinyal *thermocouple* yang menyediakan kompensasi sambungan dingin (*cold junction compensation*) beserta penguatan. Pin-pin *thermocouple* dihubungkan pada pin 1 dan pin 14 pada IC AD595 seperti pada Gambar 3.3. Rangkaian pengkondisi sinyal ini memerlukan suplai tegangan sebesar 5V DC. Keluaran dari rangkaian pengkondisi sinyal berupa tegangan sebesar 10mV/°C dan Resolusi ADC pembacaan suhu dapat dihitung dengan rumus

$$Resolusi = \frac{V_{ref}}{2^n - 1} = \frac{5}{2^{10} - 1} = 0.0049$$

Dari rumus diatas dapat diketahui bahwa resolusi pembacaan ADC terhadap pembacaan suhu sebesar 0.0049V

3. Perhitungan PID



Gambar 3.4 Respon Open Loop

Tu=(L) =115 s (Respon mengalami kenaikan pada awal proses)

Ta=(T)=985s(Respon mencapai titik setpoint yang ditentukan)

Diperoleh data :

- L = 115s
- T = 985s

$$K_p = 1,2 \times \frac{T}{L} = 1,2 \times \frac{1000}{110} = 10.3$$

$$T_i = 2 \times L = 2 \times 115 = 230$$

$$T_d = 0.5 \times 115 = 57$$

Setelah mencari parameter metode *Ziegler Nichlos* dapat dihitung Kp, Ki, dan Kd :

$$K_p = 10.3$$

$$K_i = K_p / T_i = 10.3 / 230 = 0,045$$

$$K_d = K_p \times T_d = 10.3 \times 57 = 587.1$$

Maka dari nilai tersebut bisa disimulasikan menggunakan Simulink untuk mengetahui responnya. Hasil *tuning* parameter PID dengan respon suhu yang terbaik diperoleh nilai Kp = 10.3 Ki = 0,045, dan Kd = 587.1. Nilai tersebut yang menjadi logic yang akan diproses oleh mikrokontroller

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini meliputi hasil pengujian tiap – tiap blok sistem, laantara lain pengujian regulator tegangan, driver valve *electric* (presentase), Pengujian sesnor *thermocouple*, pengujian rangkian LCD, pengujian pengkondisi sinyal AD595, Dari hasil pengujian tersebut akan dilakukan analisa dan pembahasan untuk mengetahui apakah sistem tersebut telah bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Selain itu juga akan dilakukan pengujian pada kinerja kontroller PID berdasarkan nilai konstanta Kp, Ki dan Kd yang telah dirancang.

1 Pengujian Sensor Suhu

Pengujian *thermocouple* untuk mengetahui berapa *persentase error* sebelum dipasang dalam tangki reactor. Kemudian sensor dihubungkan ke pengkondisi sinyal AD595 dan data keluarannya dibaca oleh mikrokontroller pada pin ADC1.

Tabel 4.1 Pengujian Sensor Suhu

No	Sensor Suhu °C	Thermometer	Error %
1	95	100	5%
2	130	125	4%
3	155	150	3.33%
4	175	175	0
5	205	200	2.5%
6	225	225	0
7	255	250	2%
8	280	275	1.8%
9	305	300	1.67%
10	330	325	1.53%
11	360	350	2.86%
		Rata-Rata	2.24%

Berdasarkan dari pengujian sensor pada Tabel 4.1 dapat dikatakan bahwa dalam pengukuran sensor

memiliki *error* minimal 0% dan *maksimal* 5% . Dengan *error* rata rata sebesar 2.24%.

2 Pengujian Pengkondisi Sinyal Suhu

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan tegangan setiap suhu *setpoint* yang ditentukan, dan apakah pengkondisi sinyal AD595 berkerja dengan baik untuk mengetahui berapa penguatan tiap *set point* yang ditentukan.

Tabel 4.2 Pengujian Pengondisi Sinyal Suhu

No	Suhu (°C)	Out thermocoupe (mv)	Out AD595 (mv)
1	150	0.0084	1600
2	175	0.0103	1780
3	200	0.0123	1980
4	225	0.0145	2220
5	250	0.0171	2630
6	275	0.019	2840
7	300	0.0216	3250
8	325	0.0239	3660
9	350	0.0269	4200

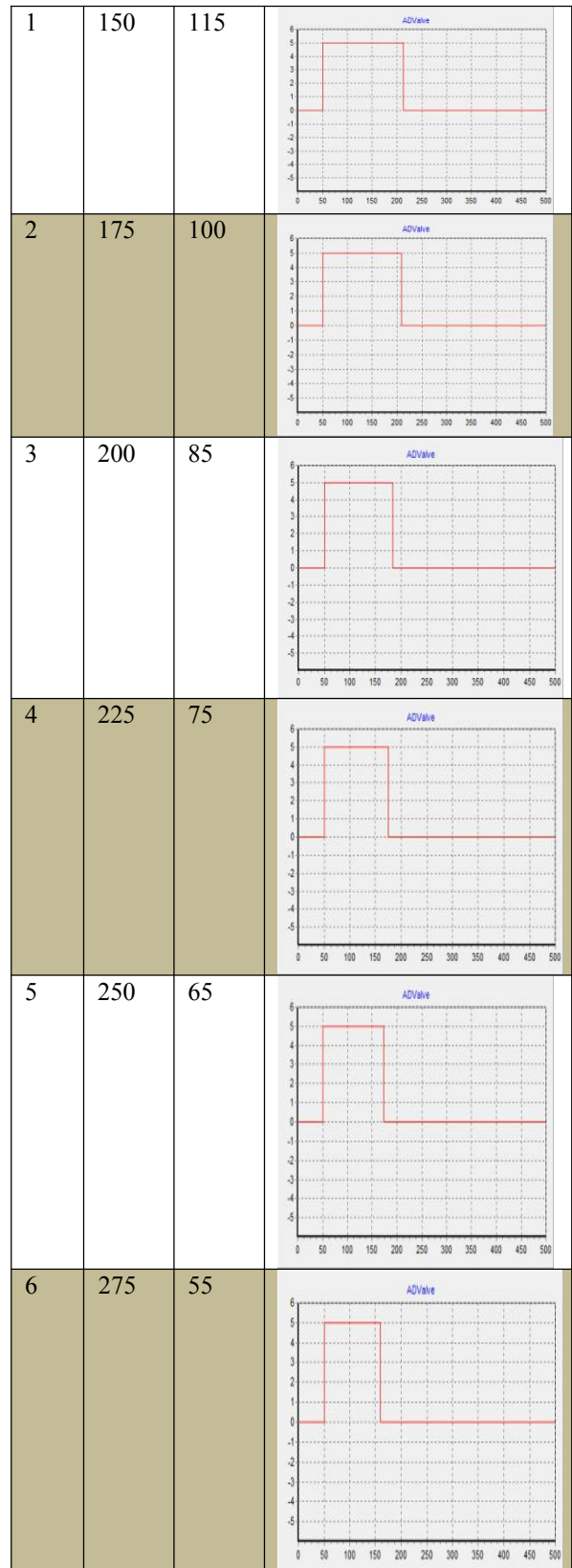
Berdasarkan tabel 4.2 sinyal *output* dari thermocoupe memiliki resolusi pembacaan ADC terhadap pembacaan suhu sebesar 0.0049V dan untuk penguatan 188 kali tiap derajat suhu agar dapat terbaca oleh ADC mikrokontroller atmega 16. Karena tegangan 1.6 V– 4.2 V sudah memenuhi standar kinerja mikrokontroller.

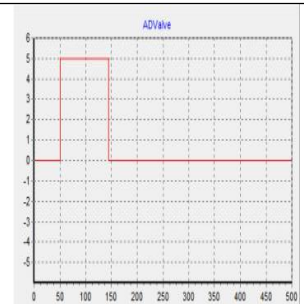
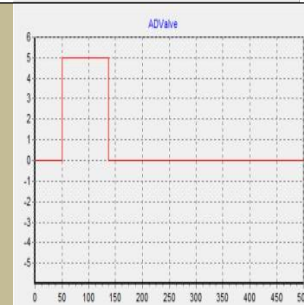
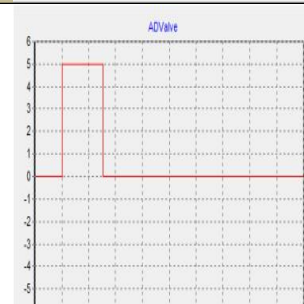
3. Pengujian Motor Servo Terhadap Posisi Valve

Pengujian sensor posisi untuk mengetahui berapa persen valve ketika suhu mencapai *set point* yang diinginkan, untuk menstabilkan suhu yang diinginkan sesuai *set point*. Oleh karena itu dalam percobaan ini menggunakan 9 *set point* yaitu 150°C, 175°C, 200°C, 225°C, 250°C, 275°C, 300°C, 325°C, 350°C agar dapat mengetahui brp derajat motor servo untuk dapat menstabilkan suhu sesuai *set point* yang ditentukan dapat dilihat pada T abel 4.3.

4.3 Pengujian Motor Servo Terhadap Posisi Valve

No	Setpoint Suhu (°C)	Kondisi valve (°)	DUTY CYCLE
1	150	115	
2	175	100	
3	200	85	
4	225	75	
5	250	65	
6	275	55	



7	300	45	
8	325	35	
9	350	25	

Dari grafik Gambar 4.1 tersebut terdapat *overshoot* 13% dan memiliki *settling time* selama 780 detik atau 13 menit. Grafik tersebut masih belum stabil sehingga harus nilai k_p, k_i dan k_d dibuat perubahan dengan memasukkan nilai parameter yang telah didapat ke persamaan PID.

$$\frac{(T_p - \text{setpoint})}{\text{setpoint}} \times 100\% = \frac{170 - 150}{150} \times 100\% = 13\%$$
Max Overshoot :13%
Settling Time : 780 detik =13 menit
Time Delay : 430 detik =7.2 menit
Time Peak : 770 detik =12.8 menit

Dari respon Gambar 4.1 dapat dikatakan bahwa dapat dikatakan respon sebelum dikontrol dengan tuning PID. Dengan metode *Ziegler Nichlos* dapat merubah nilai K_p, K_i , dan K_d terhadap suhu target 150°C dimulai dengan menggunakan tuning PID $K_p=10.3, K_i=0.045, K_d=587.1$ dapat dilihat dalam Gambar 4.2

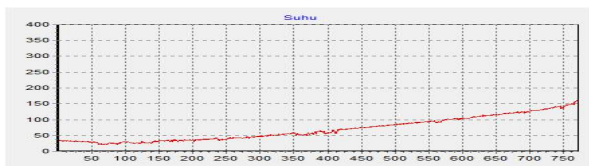


Gambar 4.2 Grafik Respon Terhadap Sudut Target Sebesar 150°C dengan nilai tuning PID $K_p=10.3, K_i=0.045, K_d=587.1$

Dari pengujian table 4.3 dapat disimpulkan bahwa ketika suhu mencapai *set point* yang ditentukan maka valve menutup 160° agar suhu dapat tercapai dan distabilkan sesuai program yang diinginkan agar suhu dapat stabil terhadap *set point* yang ditentukan. Dengan error 0 % dalam pergerakan valve.

4.5 Pengujian Sistem Tanpa PID dan dengan PID

Pengujian ini adalah untuk melihat nilai parameter kontrol PID (K_p, K_i dan K_d) tanpa menggunakan tuning PID dengan metode *Ziegler-Nichols* untuk mengetahui respon sebelum dikontrol dengan PID. Dengan nilai parameter tanpa tuning PID.



Gambar 4.1 Grafik respon terhadap sudut target 150 °C Tanpa tuning PID

Dari Gambar 4.2 menunjukkan bahwa pada saat tuning PID $K_p=10.3, K_i=0.045, K_d=587.1$, dapat membentuk kurva respon seperti Gambar 4.3 dengan :

$$\frac{(T_p - \text{setpoint})}{\text{setpoint}} \times 100\% = \frac{155 - 150}{150} \times 100\% = 3.3\%$$

$$\frac{(T_p - \text{setpoint})}{\text{setpoint}} \times 100\% = \frac{155 - 150}{150} \times 100\% = 3.3\%$$
Max Over Shoot : 3.3%
Settling time : 240 detik = 4 menit
Time Delay : 120 detik = 2 menit
Time-peak : 220 detik = 3.8 menit

Dari 2 data yang diambil sampling membuktikan bahwa *control* PID dapat membuat grafik kurva respon menjadi lebih baik dan proses pembakaran mencapai *set point* lebih cepat .

4.6 Pengujian Sistem

Setelah uji perblok semua *system* dalam plan maka langkah selanjutnya pengujian *system*, untuk mengetahui banyaknya minyak yang dihasilkan dan

tingkat kestabilan suhu dalam 150°C, 200°C, 250°C, 300°C, dan 350°C. Dengan menggunakan plastic 2kg HDPE dalam pembakaran, kemudian mengamati pergerakan suhu dalam set point yang ditentukan apakah metode PID yang digunakan sudah baik.

Tabel 4.4 Data Pengujian Sistem

No	Set Point	Waktu	Suhu Actual (°C)	Volume (ml)
1	150°C	10	155	200
2		20	160	430
3		30	168	590
4		40	165	600
5		50	168	610
6		60	170	615
7		65	173	619
8	200°C	10	207	210
9		20	218	580
10		30	220	600
11		40	225	620
12		50	221	621
13		60	228	622
14		65	233	625
15	250°C	10	259	270
16		20	263	600
17		30	268	620
18		40	270	650
19		50	275	720
20		60	280	735
21		65	290	750
22	300°C	10	310	390
23		20	325	710
24		30	334	720
25		40	329	740
26		50	335	745
27		60	320	758
28		65	315	770
29		70	314	773
30		75	313	774
31	350°C	10	351	250
32		20	355	660
33		30	356	720
34		40	358	750
35		50	360	800
36		60	355	820
37		65	359	830
38		70	354	845
39		75	353	847
40	80	354	848	

Pengamatan pada Tabel 4.4 set point 350°C mengalami perubahan suhu *actual* tidak begitu jauh dari *set point*, *maximal* kenaikan suhu sebesar 5 °C dan pada *set point* 250°C kenaikan suhu *actual* yang paling tinggi sebesar 40°C ,dari data penelitian yang didapat menunjukkan bahwa pengaruh kenaikan suhu yang melebihi diatas *set point* 250°C mempunyai nilai *error* suhu sebesar 40°C. Hal ini disebabkan karena pengaruh besarnya api, sedangkan besarnya api sendiri diatur oleh putaran servo. Pwm pada servo kurang stabil akibat pengaruh suhu disekitar servo melebihi ambang batas suhu *maximal* servo.

Pengamatan terhadap volume minyak terbanyak

yang dihasilkan pada *set point* 350 dengan lama pembakaran 80 menit paling banyak yaitu 848 ml, dan pada *set point* 250 mengalami kenaikan volume minyak terbanyak pada menit 10 sampai menit ke 20 sebanyak 330 mL, berbeda dengan suhu pirolisis 150°C pada menit ke 10 ke 20 menit hanya menghasilkan *volume* minyak sebanyak 230 ml, dari tiga data tersebut dapat dibuktikan bahwa suhu pirolisis dan waktu pembakaran berpengaruh pada *volume* minyak yang dihasilkan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan dan pengujian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengukuran sensor *thermocoupe*l type K memiliki *error* minimal 0% dan *maksimal* 5%. Dengan *error* rata rata sebesar 2.24%.
2. Sistem Pirolisis diujikan tanpa controller dengan set point 150° C kapasitas plastik 2kg mengalami waktu pembakaran yang relative lebih lama. Dengan suhu tunak 110°C steady state tercapai 26.66%, pada saat diimplementasikan metode control PID dengan tunning menggunakan metode *Ziegler nichlos* dengan $K_p= 10.3$, $K_i= 0.045$ dan $K_d= 587.1$ dan diuji pada kondisi tanpa beban membutuhkan waktu 65 menit pada set point 150 °C mengalami suhu tunak 90 °C dengan minyak yang dihasilkan 168 ml. Tunning dengan metode *Ziegler Nichlos* $K_p : 10.3$ $K_i: 0.045$ $K_d:587.1$ yang diujikan pada system dengan *overshoot* : 3.3V, *settling time* : 240 detik, *time delay* :120 detik, *time peak* :220 detik.
3. Dari hasil percobaan yang dilakukan pada berbeban dari set point 150-300°C masih mengandung air, proses optimal dari pengujian tercapai saat setting point pada suhu 350°C dengan waktu 80 menit dan hasil sebesar 848ml berupa oil/ pelumas, tetapi dalam proses pembakaran dengan set point 350°C sangat rentang terjadi kebakaran pada mekanik, oleh karena itu proses pada set point 350°C sangat berbahaya bagi pengguna untuk saat ini.

5.2 Saran

Beberapa hal yang direkomendasikan untuk penelitian dan pengembangan selanjutnya adalah :

1. Desain mekanik untuk proses pirolisis ini diharapkan agar meminimalisir terjadinya kebocoran pada tangki reaktor, hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya

- kebakaran serta pembuangan gas hasil pirolisis
2. Diharapkan pada pengembangan selanjutnya perlu dilengkapi alat penjernih atau suling sehingga minyak hasil pirolisis dapat langsung digunakan.
 3. Diharapkan dalam pengembangan selanjutnya ditambahkan sensor tekanan untuk mengetahui tekanan dalam tangki reactor agar menghindari terjadinya ledakan pada proses pembakaran
 4. Diharapkan perubahan desain kondensor ulir pipa dapat diberi air dan *volume* kondensor diperbesar agar mempercepat proses pendinginan

DAFTAR PUSTAKA

- [1]Ramadhan, A., dan Munawar, A. 2012. “Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Menggunakan Proses Pirolisis. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*”. 4 No.1, 44 – 53.
- [2]Simeoni, A., Santoni, P.A., Larini, M. & Balbi, J.H. 2001. *Proposal for theoretical contribution for improvement of semi physical forest fire spread models thanks to a multiphase approach: application to a fire spread model across a fuel bed*. Combustion Science and Technology, Vol.162, 59-84, 0010-2202.
- [3]Beall, F.C. & Eickner, H.W. 1970. *Thermal degradation of wood components*. Areviedo f literature, Forest Service Research, Paper FPL 130, 0363-6259.
- [4]Ogata, Katsuhito .1996. Kontrol Automatic.Erlangga.Edisi 2.
- [5]Rahmad, Agung. 2009. “Belajar Dasar Pengontrolan dengan Metode PID”, Universitas Gunadarma, Bekasi : 29 Januari 2009