



**TUGAS AKHIR TF 145565**

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN  
*TEMPERATURE COMBUSTION CHAMBER* PADA *MINI  
PLANT* ALAT PRODUKSI BAHAN BAKAR MINYAK  
(BBM) DARI LIMBAH PLASTIK**

**Wanda Nirmala Santoso  
NRP 10511500000073**

**Dosen Pembimbing  
Arief Abdurrahman, S.T., M.T.  
NIP. 19870712 201404 1 002  
Murry Raditya, S.T., M.T.  
NIP. 1988201711055**

**PROGRAM STUDI DIII TEKNOLOGI INSTRUMENTASI  
DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**





**TUGAS AKHIR TF 145565**

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN  
*TEMPERATURE COMBUSTION CHAMBER* PADA *MINI  
PLANT* ALAT PRODUKSI BAHAN BAKAR MINYAK  
(BBM) DARI LIMBAH PLASTIK**

**Wanda Nirmala Santoso  
NRP 10511500000073**

**Pembimbing  
Arief Abdurrakhman, S.T., M.T.  
NIP. 19870712 201404 1 002  
Murry Raditya, S.T., M.T.  
NIP. 1988201711055**

**PROGRAM STUDI DIII TEKNOLOGI INSTRUMENTASI  
DEPARTEMEN TEKNIK INSTRUMENTASI  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**



***FINAL PROJECT TF 145565***

**DESIGN SYSTEM CONTROL SYSTEM  
TEMPERATURE COMBUSTION CHAMBER ON MINI  
PLANT TOOLS PRODUCTION OF FUEL OIL (BBM)  
FROM PLASTIC WASTE**

**Wanda Nirmala Santoso  
NRP 1051150000073**

**Lecturer Advisors  
Arief Abdurrahman, S.T., M.T.  
NIP. 19870712 201404 1 002  
Murry Raditya, S.T., M.T.  
NIP. 19882017111055**

***PROGRAM STUDY DIII TECHNOLOGY INSTRUMENTATION  
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF VOCATION  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018***

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN  
TEMPERATURE COMBUSTION CHAMBER PADA MINI  
PLANT ALAT PRODUKSI BAHAN BAKAR MINYAK  
(BBM) DARI LIMBAH PLASTIK**

**TUGAS AKHIR**

**Oleh :**

**Wanda Nirmala Santoso  
NRP 105 115 00000 073**

**Surabaya, 17 Juli 2018  
Mengetahui dan Menyetujui,**

**Dosen Pembimbing I,**

**Dosen Pembimbing II,**



**Arief Abdurrahman, S.T., M.T.**  
**NIP. 19650309 199002 1 001**



**Murry Raditya, S.T., M.T.**  
**NIP. 1988201711055**

**Ketua Departemen Teknik Instrumentasi,**



**Dr. Ir. Puryadi Agus Darwito, M.Sc**  
**NIP. 19620822 198803 1 001**

**RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN  
TEMPERATUR COMBUSTION CHAMBER PADA MINI  
PLANT ALAT PRODUKSI BAHAN BAKAR MINYAK  
(BBM) DARI LIMBAH PLASTIK**


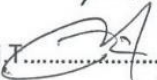

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Ahli Madya  
Pada Program Studi D3 Teknik Instrumentasi  
Departemen Teknik Instrumentasi  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**Oleh :**

**Wanda Nirmala Santoso  
NRP 105 115 00000 073**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Arief Abdurrahman, S.T., M.T.  (Dosen Pembimbing I)
2. Murry Raditya, S.T., M.T.  (Dosen Pembimbing II)
3. Dwi Oktavianto W.N, S.T., M.T.  (Penguji i)

Surabaya, 17 Juli 2018

# **RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATURE COMBUSTION CHAMBER PADA MINI PLANT ALAT PRODUKSI BAHAN BAKAR MINYAK (BBM) DARI LIMBAH PLASTIK**

**Nama** : Wanda Nirmala Santoso  
**NRP** : 1051150000073  
**Jurusan** : D3 Teknik Instrumentasi, ITS Surabaya  
**Pembimbing** : Arief Abdurrahman, S.T., M.T.  
Murry Raditya, S.T., M.T

## **Abstrak**

Sistem Pengendalian temperatur pada combustion chamber berfungsi untuk mengatur panas yang ada ruang pemanasan sehingga nilai panas pada ruang pemanas dapat terjaga. Ruang pemanas Pembuatan sistem pengendalian temperatur diawali dengan menggunakan sensor thermocouple tipe K yang dihubungkan dengan Atmega16 sebagai kontroler dan Motor Operated Valve (MOV) sebagai Aktuator. Sensor bertugas sebagai sensing suhu yang ada di dalam *combustion chamber* dan MOV bertugas mengatur laju alir gas untuk mengendalikan nyala api pada kompor. Akurasi sensor yang digunakan sebesar 99,2%. Sistem pengendalian yang diterapkan yaitu menggunakan mode *feedback control*. Nilai Konstanta Proporsional ( $K_p$ ) yang digunakan adalah 1,2 dan didapatkan nilai overshoot sebesar  $16^\circ\text{C}$  serta nilai *error steady state* sebesar 3% dengan *rise time* sebesar 9 menit dan *settling time* sebesar 6 menit

**Kata kunci** : sensor, kontroler, aktuator, *feedback control*

***DESIGN SYSTEM CONTROL SYSTEM TEMPERATURE  
COMBUSTION CHAMBER ON MINI PLANT TOOLS  
PRODUCTION OF FUEL OIL (BBM) FROM PLASTIC  
WASTE***

***Name*** : Wanda Nirmala Santoso  
***NRP*** : 10511500000073  
***Department*** : *Diploma of Instrumentation Engineering, ITS  
Surabaya*  
***Supervisor*** : **Arief Abdurrakhman, S.T., M.T.  
Murry Raditya, S.T., M.T**

***Abstract***

*The temperature control system in the combustion chamber serves to regulate the heat that exists in the heating chamber so that the heat value in the heating chamber can be maintained. Heating chamber The production of a temperature control system begins with a K type thermocouple sensor which is connected to the Atmega16 as a controller and Motor Operated Valve (MOV) as an Actuator. The sensor acts as a sensing temperature in the combustion chamber and the MOV is responsible for regulating the gas flow rate to control the flame on the stove. The sensor accuracy used is 99.2%. The control system applied is using feedback control mode. The value of Proportional Constant (Kp) used is 1,2 and the overshoot value is 16°C and the steady state error value is 3% then rise time within 9 minutes and settling time within 6 minutes*

***Keyword*** : *sensor, controller, actuator, feedback control*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa terpanjatkan kepada Allah SWT, sholawat serta salam tak lupa tetap tucurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Karena atas berkah, rahmat dan hidayah-Nya penulis mampu untuk melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir sebagai prasyarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya, dengan judul Rancang Bangun Sistem Pengendalian Temperature Combustion Chamber pada Mini Plant Alat Produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) dari Limbah Plastik.

Tentunya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua orang yang ikut membantu penulis dalam menyelesaikan penyelesaian Tugas Akhir ini. Oleh karena itu pada kesempatan berharga ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga besar, Ayah, Ibu dan kakak tersayang yang telah memberikan doa dan dukungannya.
2. Dr. Ir Purwadi Agus Darwito, Msc selaku Kepala Departemen Teknik Instrumentasi FV-ITS Surabaya.
3. Arief Abdurrahman, ST.,MT selaku dosen wali yang telah memberikan pengarahan selama 6 semester dengan penuh kesabaran dan selaku dosen pembimbing utama plant yang senantiasa memberikan masukan dan motivasi selama mengerjakan
4. Murry Raditya, ST., MT selaku dosen pembimbing kedua dalam Tugas Akhir yang senantiasa memberikan masukan dan motivasi selama pengerjaan.
5. Bapak ibu dosen yang telah memberikan banyak ilmu dan wawasan selama kuliah.
6. Teman-teman asisten Laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol

7. Geng kos-kosan
8. Rekan-rekan Bahan Bakar Murah yang senantiasa berjuang sampai titik darah penghabisan.
9. Rekan-rekan instrumentasi 15 dan F50 yang selalu mensupport.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini masih banyak kesalahan dan kekurangan. Begitu pula dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih dimungkinkan adanya beberapa kesalahan yang tidak penulis sengaja. Oleh karena itu, penulis akan dengan senang hati menerima kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaannya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Maalah .....	3
1.5 Manfaat.....	3

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Plastik.....	5
2.2 Proses Pirolisis .....	7
2.3 Kondensasi .....	9
2.4 Thermocouple.....	10
2.5 <i>Stepper Motor Controlled Valve</i> .....	12
2.5.1 <i>Unipolar Stepper Motor</i> .....	15
2.5.2 <i>Bipolar Stepper Motor</i> .....	16
2.6 <i>Modul Relay</i> .....	17
2.7 Mikrokontroler Atmega16.....	18
2.8 LCD.....	24
2.9 Karakteristik Alat Ukur .....	24
2.9.1 Karakteristik Statik .....	24
2.9.2 Karakteristik Dinamik.....	28
2.9.2.1 Macam-macam Karakteristik Dinamik .....	29
2.9.2.2 Analisis Ketidakpastian .....	31

<b>BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT</b>	
3.1 Diagram Alir.....	37
3.2 Metodologi Penelitian.....	38
3.2.1 Studi Literatur.....	38
3.2.2 Perancangan Sistem .....	38
3.2.3 Integrasi Sensor, Mirkrokontroler dan Aktuator ....	42
3.2.4 Pengujian Alat .....	43
3.2.5 Analisis Data .....	43
<b>BAB IV HASIL DATA DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Analisa Data .....	45
4.1.1 Hasil Rancang Bangun.....	45
4.1.2 Pengujian Sensor <i>Thermocouple</i> Tipe K.....	46
4.2 Pengendalian MOV Menggunakan Driver Motor Stepper Unipolar.....	54
4.2.1 Validasi Putaran MOV.....	56
4.3 Pembahasan.....	58
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>63</b>
<b>LAMPIRAN A (<i>Listing Program pada Code Vision Avr</i>)</b>	
<b>LAMPIRAN B (<i>Data Sheet System Atmega16</i>)</b>	
<b>LAMPIRAN C (<i>Data Sheet Sensor Thermocouple Type K</i>)</b>	
<b>BIOGRAFI PENULIS</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Nomor Kode Plastik .....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Proses Pirolisis .....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Tegangan Seeback.....	11
<b>Gambar 2.3</b>	Stepper Motor Controlled Valve. ....	12
<b>Gambar 2.4</b>	Konfigurasi Motor Unipolar.....	16
<b>Gambar 2.5</b>	Konfigurasi Motor Bipolar.....	17
<b>Gambar 2.6</b>	Modul Relay.....	18
<b>Gambar 2.7</b>	Mikrokontroler Atmega16.....	19
<b>Gambar 2.8</b>	LCD .....	24
<b>Gambar 2.9</b>	Karakteristik Output Instrumen Linier .....	26
<b>Gambar 2.10</b>	Grafik Non-Linieritas .....	27
<b>Gambar 2.11</b>	Penjelasan Akurasi dan Presisi (a) akurasi rendah, presisi rendah (b) akurasi rendah, presisi tinggi (c) akurasi tinggi presisi tinggi...	28
<b>Gambar 3.1</b>	<i>Flowchart</i> .....	37
<b>Gambar 3.2</b>	P&ID Pengendalian Temperatur .....	38
<b>Gambar 3.3</b>	Diagram Blok Pengendalian Temperatur .....	39
<b>Gambar 3.4</b>	Diagram blok rangkaian driver motor stepper	40
<b>Gambar 3.5</b>	Simulasi Motor Stepper .....	41
<b>Gambar 3.6</b>	Flowchart Integrasi .....	42
<b>Gambar 4.1</b>	Perancangan Hardware.....	45
<b>Gambar 4.2</b>	Tampilan LCD.....	46
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik Pembacaan Standar dan Pembacaan Alat.....	47
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik Perbandingan Pembacaan Suhu terhadap Tegangan .....	48
<b>Gambar 4.5</b>	Motor stepper empat-phase dengan kumparan center tap (Unipolar).....	55
<b>Gambar 4.6</b>	Respon Sistem Kendali dengan $K_p = 10$ .....	56
<b>Gambar 4.7</b>	Respon Sistem Kendali dengan $K_p = 6$ .....	57
<b>Gambar 4.8</b>	Respon Sistem Kendali dengan $K_p = 1.2$ .....	58

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Jenis-jenis Plastik, Kode dan Penggunaan .....	6
<b>Tabel 2.2</b>	Sifat Thermal Polymer.....	7
<b>Tabel 2.3</b>	Pergerakan Half Step.....	14
<b>Tabel 2.4</b>	Pergerakan Full Step.....	15
<b>Tabel 2.5</b>	Penjelasan Pin Pada Mikrokontroler Atmega16 ...	20
<b>Tabel 2.6</b>	Penjelasan Pin pada Mikrokontroler Atmega16....	20
<b>Tabel 2.7</b>	Penjelasan Pin Pada Port A.....	21
<b>Tabel 2.8</b>	Penjelasan Pin Pada Port B.....	22
<b>Tabel 2.9</b>	Penjelasan Pin Pada Port C.....	23
<b>Tabel 2.10</b>	Penjelasan Pin Pada Port D.....	23
<b>Tabel 4.1</b>	Data Pengujian Alat Ukur Temperatur .....	46
<b>Tabel 4.2</b>	Tabel Karakteristik Sensor .....	48
<b>Tabel 4.3</b>	Data Ketidakpastian Alat Ukur.....	51
<b>Tabel 4.4</b>	Tabel Kebenaran Pengendalian Motor Stepper.....	56

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Limbah plastik menyebabkan permasalahan yang umumnya hampir terjadi di setiap kota besar di Indonesia. Dampak yang ditimbulkan oleh limbah plastik jika diabaikan terus-menerus adalah menurunkan kesuburan tanah, air tanah di lingkungan menjadi tercemar dan mengganggu terserapnya air ke dalam tanah. Tidak seperti sampah yang ada pada umumnya, limbah plastik merupakan jenis sampah yang sukar diuraikan oleh tanah. Volume sampah plastik dari tahun ke tahun semakin bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan hal tersebut merupakan masalah yang harus ditanggulangi secepatnya agar tidak menimbulkan masalah serius di kemudian hari. Indonesia berada di peringkat kedua dunia penghasil sampah plastik ke laut yang mencapai sebesar 187,2 juta ton setelah Cina yang mencapai 262,9 juta ton [1].

Plastik merupakan bahan anorganik buatan yang tersusun dari bahan-bahan kimia yang berbahaya bagi lingkungan. Limbah plastik sulit untuk diuraikan secara alami. Untuk menguraikan limbah plastik membutuhkan waktu 80 tahun agar terdegradasi secara sempurna. Penggunaan bahan plastik tidak baik bagi lingkungan apabila digunakan tanpa menggunakan batasan tertentu. Sedangkan dalam kehidupan sehari-hari, penggunaan bahan plastik dapat ditemukan hampir pada seluruh aktivitas hidup manusia. Terdapat beberapa cara penanggulangan limbah plastik selain mengubur ataupun membakarnya, antara lain pengelolaan sampah yang berbasis masyarakat dengan konsep 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*). Keberhasilan konsep 3R dipengaruhi oleh perilaku dan peran serta masyarakat serta karakter sosial budaya dan sosial ekonomi dalam masyarakat [2].

Penggunaan metode pengelolaan limbah plastik yang telah dijelaskan diatas masih belum mampu mengurangi volume limbah plastik di Indonesia secara signifikan. Mengingat kandungan

energi yang tinggi dari bahan plastik, maka potensi pemanfaatannya sebagai salah satu sumber energi memiliki prospek yang cukup bagus di masa mendatang. Hal ini dapat diperoleh dua keuntungan sekaligus yaitu mengurangi masalah sampah plastik dan juga menghasilkan energi yang bisa digunakan untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional. Oleh karena itu, alat produksi bahan bakar minyak dari limbah plastik dengan menggunakan metode pemanasan pirolisis dan proses distilasi sehingga rantai karbon pada plastik dapat terurai[3]. Alat produksi bahan bakar minyak dari limbah plastik yang sekarang ada masih menggunakan sistem manual dengan menggunakan pencacah plastik, ruang pemanas sebagai sebagai penghasil uap, memiliki 2 tahap *condenser*, dan 2 *storage* [4].

Bagian terpenting pada proses produksi ini terletak pada *combustion chamber* sebagai sumber penghasil uap. *Combustion chamber* yang digunakan masih menggunakan teknologi konvensional sehingga tidak ada alat untuk memantau suhu yang ada di dalam *combustion chamber*. Sehingga dibuatlah sistem pengendalian temperature dengan menggunakan sensor Thermocouple tipe-K dan aktuator Solenoid Valve untuk menjaga nilai suhu tetap konstan pada 300°C dan terpantau sehingga kualitas hasil produksi bahan bakar minyak menjadi bagus [5].

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan diatas, maka rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah

1. Bagaimana merancang alat yang digunakan untuk produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) dari limbah plastik?
2. Bagaimana cara mengontrol *temperature* pada proses produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) dari limbah plastik?

## 1.3 Tujuan

Tujuan utama dari rancang bangun alat ini adalah untuk memenuhi mata kuliah tugas akhir sebagai syarat kelulusan dari



program studi diploma 3 teknik instrumentasi, serta untuk memberikan solusi pada rumusan masalah yaitu

1. Menghasilkan alat yang digunakan untuk produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) dari limbah plastik?
2. Menghasilkan alat yang digunakan untuk mengontrol *temperature* pada proses produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) dari limbah plastik.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Perlu diberikan beberapa batasan permasalahan agar pembahasan tidak meluas dan menyimpang dari tujuan. Adapun batasan permasalahan dari sistem yang dirancang ini yaitu

1. Proses *Cracking* tidak dibahas
2. Proses Destilasi tidak dibahas
3. Variabel yang dikendalikan adalah *temperature*.
4. Sensor yang digunakan adalah *Thermocouple Type K*.
5. Menggunakan Microcontroller Atmega 16 yang berfungsi sebagai kontroler.
6. Aktuator yang digunakan adalah *motor stepper*.

#### **1.5 Manfaat**

Manfaat yang didapatkan dalam mengerjakan tugas akhir ini mahasiswa atau penulis paham dan mengerti dalam merancang dan membangun suatu sistem mengenai pengendalian *temperature* pada proses produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) dari limbah plastik.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Plastik

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah Karbon dan Hidrogen yang merupakan turunan dari minyak bumi. Untuk membuat plastik, salah satu bahan baku yang sering digunakan adalah *Naphta*, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting*.

- *Thermoplastic* adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Contoh dari *thermoplastic* adalah *PolyPropilene* dan *nylon*
- *Thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan. Contoh dari plastik jenis ini adalah silikon dan epoksida

Thermoplastik adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya



**Gambar 2.1** Nomor Kode Plastik [6]

**Tabel 2.1** Jenis-jenis Plastik, Kode dan Penggunaan

No. Kode	Jenis Plastik	Penggunaan
1.	PET (polyethylene terephthalate)	Botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik
2.	HDPE (High-density Polyethylene)	Botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik
3.	PVC (Polyvinyl Chloride)	Pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dan botol sambal.
4.	LDPE (Low-density Polyethylene)	Kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya.
5.	PP (Polypropylene atau Polypropene)	Cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan margarine
6.	PS (Polystyrene)	Kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari styrofoam, dan tempat makan plastik transparan
7.	Other (O), jenis plastik lainnya selain dari no.1 hingga 6	Botol susu bayi, plastik kemasan, gallon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi, dan mainan lego

Sifat thermal dari berbagai jenis plastik sangat penting dalam proses pembuatan dan daur ulang plastik. Sifat-sifat thermal yang penting adalah titik lebur ( $T_m$ ), temperatur transisi ( $T_g$ ) dan temperatur dekomposisi. Temperatur transisi adalah kondisi plastik

mengalami perengganan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Temperatur lebur adalah temperatur di mana plastik mulai melunak dan berubah menjadi cair. Temperatur dekomposisi merupakan batasan dari proses pencairan. Jika suhu dinaikkan di atas temperatur lebur, plastik akan mudah mengalir dan struktur akan mengalami dekomposisi. Dekomposisi terjadi karena energi thermal melampaui energi yang mengikat rantai molekul. Secara umum polimer akan mengalami dekomposisi pada suhu di atas 1,5 kali dari temperatur transisinya[7].

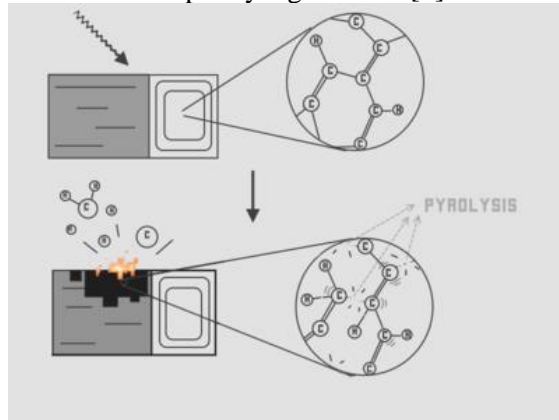
**Tabel 2.2** Sifat Thermal Polymer

Jenis Bahan	T <sub>m</sub> (°C)	T <sub>g</sub> (°C)	Temperature Kerja Maks. (°C)
PP	168	5	80
HDPE	134	-110	82
LDPE	330	-115	260
PA	260	50	100
PET	250	70	100

## 2.2 Proses Pirolisis

Pirolisis berasal dari dua kata yaitu pyro yang berarti panas dan lysis berarti penguraian atau degradasi, sehingga pirolisis berarti penguraian biomassa karena panas. Pirolisis atau devolatilisasi adalah proses dekomposisi suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Hasil dari proses pirolisis menghasilkan produk yang murni tanpa mengandung kandungan pengotor. Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230 °C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, dan volatile matters pada sampah akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan polyaromatic hydrocarbon. Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas (H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan CH<sub>4</sub>), tar (pyrolitic oil), dan arang. Parameter yang berpengaruh pada kecepatan reaksi pirolisis mempunyai hubungan yang sangat kompleks, sehingga model matematis persamaan kecepatan reaksi

pirolisis yang diformulasikan oleh setiap peneliti selalu menunjukkan rumusan empiris yang berbeda [8].



**Gambar 2.2** Proses Pirolisis

Proses pirolisis dapat dibagi menjadi beberapa fase dimana menjadi pedoman kesuksesan prosesnya.

1) Fase pengeringan.

Pada suhu 200 °C pengeringan fisik disertai produksi uap air, jika yang dimasukkan bahan biomasa yang basah maka perlu disertakan atau dimasukkan steam(uap air panas) ke dalam reaktor.

2) Fase pirolisis.

Pirolisis terjadi pada suhu 200 – 500 °C. struktur makromolekul pecah menjadi gas, komponen organik cair, karbon padat

Produk utama dari proses pirolisis adalah arang, gas atau produk minyak yang dapat digunakan sebagai feedstocks petrokimia, dan bahan karbon untuk berbagai aplikasi. Minyak dapat dipergunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi listrik melalui mesin pembakaran dalam atau internal combustion engine seperti motor bensin maupun motor diesel. Char atau arang merupakan sisa pirolisis yang dapat dipergunakan sebagai bahan bakar padat. Juga dapat dipergunakan sebagai bahan bakar pada proses pembakaran langsung melalui ataupun tanpa melalui proses

densifikasi. Sedangkan syngas dapat menghasilkan energi listrik melalui turbin gas.

### 2.3 Kondensasi

Kondensasi adalah proses perubahan uap menjadi fasa cair yang terjadi apabila uap tersebut bersentuhan melalui permukaan kontak yang temperturnya lebih rendah daripada temperatur jenuh uap. Energi laten akan dlepas dan panas akan dipindahkan sehingga pada akhirnya terjadi perubahan fasa pada uap. Dengan kata lain, zat ini dalam bentuk gas karena molekul memiliki jumlah tinggi bergerak energi dan ketika mereka kehilangan energi, mereka memperlambat dan membentuk cairan. Gas dapat berubah menjadi cair dengan menurunkan temperturnya atau meningkatkan tekanan. Umumnya, pendekatan yang digunakan adalah dengan menurunkan temperatur, sedangkan dengan meningkatkan tekanan gas lebih mahal.

1. Kondensasi *Homogenous*

Kondensasi ini terjadi ketika uap didinginkan di bawah temperatur jenuhnya untuk menghasilkan droplet nucleation. Hal ini disebabkan oleh campuran dua aliran uap pada temperatur yang berbeda, pendinginan radiatif (memancar) pada campuran uap dan komponen uap yang tak terkondensasikan seperti pada pembentukan kabut (fog) di atmosfer, atau penurunan tekanan uap yang tiba-tiba.

2. Kondensasi *Heterogenous*

Droplet terbentuk dan muncul pada permukaan benda padat. Pendinginan uap yang cukup sangat dibutuhkan untuk memulai kondensasi ketika permukaannya halus dan kering. Kondensasi heterogen dapat memicu terjadinya jenis kondensasi *film* atau *dropwise*

3. Kondensasi *Dropwise*

Kondensasi ini terjadi ketika cairan kondensat jatuh membasahi permukaan dan membentuk lapisan (*film*). Kondensat membentuk butiran di sepanjang permukaan. Kondensasi butiran merupakan jenis perpindahan kalor

yang paling efisien karena laju perpindahan kalor kondensasinya jauh lebih besar dibandingkan kondensasi *film*. Akumulasi dari butiran pada permukaan dapat memicu terbentuknya lapisan cairan (*liquid film*)

#### 4. Kondensasi *Film*

Merupakan jenis kondensasi yang umum terjadi pada kebanyakan sistem. Kondensat, dalam bentuk butiran, membasahi permukaan dan jatuh bergabung membentuk lapisan cairan yang saling menyatu. Lapisan cairan mengalir sebagai akibat gravitasi, gesekan uap, dan lain-lain. Kondensasi *film* paling banyak terjadi pada aplikasi keteknikan. Aliran cairan kondensat akan memunculkan fenomena seperti aliran laminer, aliran gelombang (*wavy*), transisi laminer-turbulen, dan butiran yang jatuh pada permukaan lapisan cairan.

## 2.4 *Thermocouple*

*Thermocouple* merupakan sensor suhu yang memiliki prinsip kerja yaitu dengan merubah panas menjadi tegangan (*voltage*) kemudian perubahan nilai tegangan yang linier terhadap perubahan panas dikonversi menjadi nilai suhu sesuai dengan tabel *Thermocouple*. Besar nilai tegangan yang keluar dari *Thermocouple* bersatuan miliVolt (mV), sehingga dengan kecilnya tegangan yang keluar tersebut maka diperlukan sinyal kondisioning sebelum disambungkan dengan mikrkontroller Prinsip kerja sensor ini didasarkan pada efek seebeck yaitu menurut seorang fisikawan Estonia Thomas Johan Seebeck bahwa *thermocouple* adalah sebuah detektor suhu yang didalamnya terdiri dari dua buah jenis logam yang berbeda dimana kedua ujungn bahan logam yang berlainan tersebut akan menghasilkan beda potensial yang berubah-ubah yang dipengaruhi oleh perubahan temperatur lingkungannya. Keluaran kabel *Thermocouple* memiliki dua kutub yaitu kutub positif dan kutub negatif.





**Gambar 2.3** Tegangan Seebeck[9]

*National Institute of Standard and Technology* (NIST) mempublikasikan berbagai macam jenis *thermocouple* berdasarkan jangkauan ukurnya dalam beberapa tipe seperti berikut :

- Tipe K  
*Thermocouple* jenis ini digunakan untuk temperatur tinggi kisaran  $-200^{\circ}\text{C}$  hingga  $1200^{\circ}\text{C}$  dan paling banyak digunakan di pasaran.
- Tipe E  
Jenis ini memiliki output yang besar dan digunakan untuk *temperature* yang rendah.
- Tipe J  
Jenis ini memiliki rentang yang terbatas antara  $-40$  hingga  $7500^{\circ}\text{C}$ .
- Tipe N  
Jenis ini stabil dan tahanan yang tinggi terhadap oksidasi membuat tipe ini cocok untuk pengukuran suhu yang tinggi tanpa platinum. Dapat mengukur suhu diatas  $1200^{\circ}\text{C}$ .
- Tipe B  
Jenis ini cocok untuk mengukur suhu diatas  $1800^{\circ}\text{C}$ .
- Tipe R  
*Thermocouple* jenis ini cocok untuk mengukur suhu diatas  $1600^{\circ}\text{C}$ , namun jenis ini jarang dipakai karena harganya yang terlalu mahal.

- Tipe S  
Jenis ini cocok untuk mengukur suhu diatas 16000, dan memiliki harga yang mahal pula.
- Tipe T  
Jenis ini cocok untuk pengukuran antara -200 hingga 350°C.

Dalam pembuatan tugas akhir ini menggunakan *thermocouple* tipe K, dimana jenis ini memiliki karakteristik sebagai berikut :

- Terbuat dari bahan Chromel (Ni-Cr) dan Alumel (Ni-Al).
- Aktif pada suhu -200 sampai 1200°C.
- Sensitivitasnya pada 25°C adalah 40,6 $\mu$ V/°C

### 2.5 Stepper Motor Controlled Valve

Salah satu jenis *motor control valve* dc yang dikendalikan dengan pulsa-pulsa digital. *Prinsip* kerja motor stepper adalah bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit dimana motor stepper bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor stepper tersebut.



**Gambar 2.4** Stepper Motor Controlled Valve

*Stepping motor* memiliki beberapa keunggulan-keunggulan sebagai berikut:

- a. Mudah dikendalikan dengan putaran sinkron yang hanya tergantung pada denyut yang diterima.
- b. Memiliki sudut yang tepat pada setiap langkah tanpa adanya akumulasi kesalahan sudut.
- c. Memiliki respon memulai dan berhenti yang baik pada saat digunakan, dan dapat digunakan sebagai servo motor.
- d. Putaran sinkron pada kecepatan yang sangat rendah dapat dicapai selagi “*carriage*” dihubungkan langsung pada shaft *stepping motor*.
- e. Memiliki ketahanan yang tinggi karena masa pengoperasiannya tergantung pada ketahanan “*bearing*” dan tidak pada bagian yang menempel semisal sikat atau “*brush*”.
- f. Berbagai macam sudut dapat dicapai tergantung dari tipe motor.
- g. Memiliki torsi menahan di posisi yang diinginkan pada saat motor dalam keadaan diam.
- h. Tidak terdapat sisa arus yang mengalir meskipun putaran terhalang oleh kelebihan beban.
- i. Kecepatan putaran tidak dipengaruhi oleh pergantian beban, karenanya kecepatan dapat selalu terjaga secara simultan dengan denyut masuk.

Motor stepper bergerak per langkah, dimana setiap langkah mempunyai derajat pergerakan yang sama tergantung dari resolusi dari motor tersebut. Motor stepper yang mempunyai resolusi pergerakan yang kecil, pergerakannya lebih baik dibandingkan resolusi yang besar. Hal ini disebabkan karena pergerakan yang besar akan menghasilkan gerakan yang lebih kasar dibandingkan dengan motor yang memiliki resolusi kecil. Motor stepper dapat dikendalikan secara full step dan half step. Pengendalian secara half step lebih baik daripada pengendalian secara full step karena dengan pengendalian half step pergerakan dari motor lebih halus daripada menggunakan pengendalian dengan pengendalian full step.

Half step memiliki kelebihan yaitu putaran yang teliti, karena pergerakan rotor bergerak secara perlahan. Namun kelemahan dari

half step ini adalah putaran yang dihasilkan oleh motor stepper kurang bertenaga. Half Step adalah cara mengendalikan motorstepper sehingga menghasilkan pergerakan motor yang lebih halus. Karena pergerakan rotor dalam motor stepper yang bergerak dengan sudut sebesar  $\frac{1}{2}$  derajat dari besar sudut antara 2 buah kutub (coil) yang berdekatan, sehingga pergerakan yang dihasilkan lebih halus [10]. Untuk lebih jelas, konfigurasi motor stepper dengan pengendalian full step untuk setiap pergerakan motor adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.3** Pergerakan Half Step [10]

Step	Coil 4	Coil 3	Coil 2	Coil 1	Pergerakan Motor
1	1	0	0	0	
2	1	1	0	0	
3	0	1	0	0	
4	0	1	1	0	

Full step adalah cara mengendalikan motor stepper sehingga dihasilkan pergerakan motor namun tidak sehalus pergerakan half step. Hal ini disebabkan karena pergerakan rotor dalam motor stepper yang bergerak per 1 buah kutub (coil). Pergerakan Full Step digunakan untuk mendapatkan putaran dengan power yang cukup, sehingga jika motor stepper dipasangkan dengan valve yang cukup keras untuk memutar maka dapat menggunakan konfigurasi Full step ini. Pergerakan Full step memiliki kelemahan yaitu kurang teliti dalam putarannya. Untuk lebih jelas, konfigurasi motor stepper dengan pengendalian full step untuk setiap pergerakan motor adalah sebagai berikut :

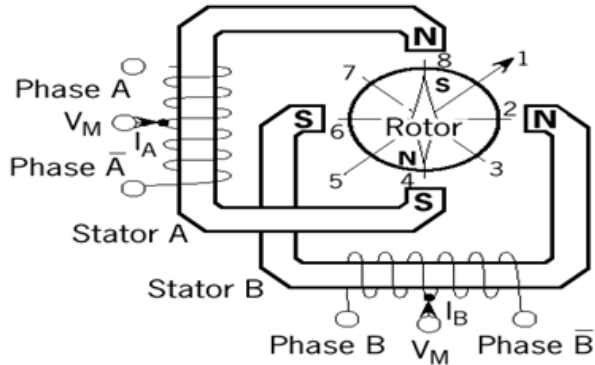
**Tabel 2.4** Pergerakan Full Step [10]

Step	Coil 4	Coil 3	Coil 2	Coil 1	Pergerakan Motor
1	1	0	0	0	
2	0	1	0	0	
3	0	0	1	0	
4	0	0	0	1	

Berdasarkan metode perancangan rangkain pengendalinya, motor stepper dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu motor stepper unipolar dan motor stepper bipolar.

### 2.5.1 Unipolar Stepper Motor

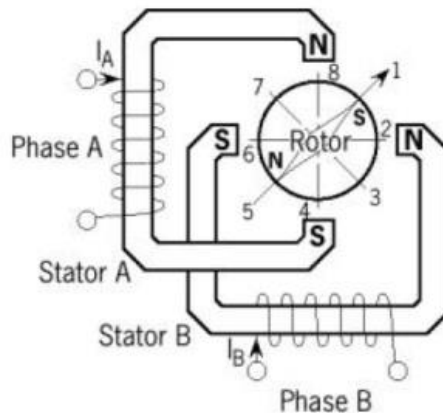
Rangkaian pengendali motor stepper unipolar lebih mudah dirancang karena hanya memerlukan satu switch / transistor setiap lilitannya. Untuk menjalankan dan menghentikan motor ini cukup dengan menerapkan pulsa digital yang hanya terdiri atas tegangan positif dan nol (ground) pada salah satu terminal lilitan (wound) motor sementara terminal lainnya dicatu dengan tegangan positif konstan (VM) pada bagian tengah (Center Tap) dari lilitan. Rangkaian motor unipolar ini dapat dicirikan dengan jumlah kabel keluaran dari motor stepper. Kabel yang berjumlah 6 menandakan motor stepper tersebut memiliki jenis unipolar. Keunggulan dari motor stepper unipolar ini adalah dapat diubah menjadi bentuk konfigurasi bipolar. Untuk merubah kedalam bentuk konfigurasi bipolar maka kabel bagian tengah tidak diperlukan. Kabel bagian tengah tersebut adalah (Center Tap)



**Gambar 2.4** Konfigurasi Motor Unipolar

### 2.5.2 Bipolar Stepper Motor

Untuk motor stepper dengan lilitan bipolar, diperlukan sinyal pulsa yang berubah-ubah dari positif ke negatif dan sebaliknya. Jadi pada setiap terminal lilitan (A & B) harus dihubungkan dengan sinyal yang mengayun dari positif ke negatif dan sebaliknya. Driver motor yang digunakan untuk kendali motor stepper tipe bipolar adalah harus dapat membalikkan tegangan. Sehingga 4 kabel dalam motor stepper tersebut dapat berganti arah arus yang sesuai dengan gerak motor. Karena itu dibutuhkan rangkaian pengendali yang agak lebih kompleks daripada rangkaian pengendali untuk motor unipolar. Motor stepper bipolar memiliki keunggulan tersendiri dibandingkan dengan motor stepper unipolar dalam hal torsi yang lebih besar untuk ukuran yang sama. Motor stepper bipolar dapat dicirikan dengan motor yang memiliki keluaran 4 kabel. Motor stepper bipolar dalam rangkaian motor tidak memiliki center tap yang berfungsi sebagai ground dalam arus DC. Untuk lebih jelas dalam memahami rangkaian konfigurasi motor stepper bipolar dapat dilihat pada gambar 2.5



**Gambar 2.5** Konfigurasi Motor Bipolar

## 2.6 Modul Relay

*Relay* adalah saklar (*switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen elektromekanikal yang terdiri dari 2 bagian utama yakni electromagnet (*coil*) dan mekanikal (seperangkat kontak saklar). *Relay* menggunakan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar, sehingga dengan arus listrik yang kecil dapat menghantarkan listrik yang bertegangan tinggi. Sebagai contoh, dengan *relay* yang menggunakan electromagnet 5V DC dan 50 mA mampu menggerakkan *armature relay* (berfungsi sebagai saklar) untuk menghantarkan listrik 220V AC dan 2A[11]. Relay digunakan untuk kendali otomatis dengan sistem ON atau OFF. Sehingga dengan adanya relay, maka arus yang dapat diputus dengan otomatis sesuai dengan perintah dari controller.



**Gambar 2.6** Modul Relay

## **2.7 Mikrokontroler Atmega16**

Mikrokontroler merupakan keseluruhan sistem komputer yang dikemas menjadi sebuah chip dimana di dalamnya sudah terdapat Mikroprosesor, I/O, Memori bahkan ADC, berbeda dengan Mikroprosesor yang berfungsi sebagai pemroses data [8]. Mikrokontroler AVR (*Alf and Vegard's Risc processor*) memiliki arsitektur 8 bit, dimana semua instruksi dikemas dalam kode 16-bit dan sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus *clock* atau dikenal dengan teknologi RISC (*Reduced Instruction Set Computing*). Secara umum, AVR dapat dikelompokkan ke dalam 4 kelas, yaitu keluarga AT90Sxx, keluarga ATmega dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing adalah kapasitas memori, *peripheral* dan fungsinya [11] Dari segi arsitektur dan instruksi yang digunakan, mereka bisa dikatakan hampir sama.





**Gambar 2.7** Mikrokontroler Atmega16[11]

**Mikrokontroler ATmega16** merupakan salah satu *varian* atau jenis dari keluarga mikrokontroler 8-bit AVR (*Advanced RISC Architecture*). Beberapa fitur yang dimiliki Mikrokontroler ATmega 16 adalah memiliki memori *In-System Self-Programmable Flash* 8K Bytes, 512 Bytes EEPROM, dan 512 Bytes Internal SRAM. *Mikrokontroler ATmega16* memiliki 2 8-bit Timer/Counter, RTC (*Real Time Counter*), 4 PWM channel, 8-channel 10-bit ADC, 1 programable serial USART, master/slave SPI serial interface, dan memiliki 32 programmable I/O. Sedangkan untuk power, ATmega 16 dapat dicatu menggunakan tegangan 2.7 – 5.5V (untuk ATmega16A) dan 4.5 – 5.5V (untuk ATmega16) dengan frekuensi clock maksimum adalah 16MHz[11].

- **Konfigurasi Pin Atmega16**

Mikrokontroler AVR Atmega memiliki 40 pin dengan 32 pin diantaranya digunakan sebagai *port* paralel. Satu *port* paralel terdiri dari 8 pin, sehingga jumlah *port* pada mikrokontroler adalah 4 *port* yaitu *port* A, *port* B, *port* C dan *port* D. Sebagai contoh adalah *port* A memiliki pin antara *port* A.0 sampai dengan *port* A.7

demikian selanjutnya untuk *port B*, *port C*, *port D*. Berikut ini adalah tabel penjelasan mengenai pin yang terjadi terdapat pada mikrokontroler Atmega16.

**Tabel 2.5** Penjelasan Pin Pada Mikrokontroler Atmega16

VCC	Tegangan Suplai (5 volt)
GND	Ground
RESET	Input reset level rendah, pada pin ini selama lebih dari panjang pulsa minimum akan menghasilkan reset walaupun clock sedang berjalan. RST pada pin 9 merupakan reset dari AVR. Jika pada pin ini diberi masukan low selama minimal 2 machine cycle maka sistem akan di-reset.
XTAL1	Input penguat osilator inverting dan input pada rangkaian operasi clock internal
XTAL2	Output dari penguat osilator inverting

**Tabel 2.6** Penjelasan Pin pada Mikrokontroler Atmega16

AVCC	Pin tegangan suplai untuk <i>port A</i> dan ADC. Pin ini harus dihubungkan ke VCC walaupun ADC tidak digunakan, maka pin ini harus dihubungkan ke VCC melalui low pass filter.
AREF	Pin referensi tegangan analog untuk ADC
AGND	Pin untuk analog ground. Hubungkan kaki ini ke GND, kecuali jika board memiliki analog ground yang terpisah.

- **Penjelasan Port Atmega16**

Berikut ini adalah penjelasan dari pin mikrokontroler Atmega16 menurut *port*-nya masing-masing :

- a. *Port A*

Pin 33 sampai dengan pin 40 merupakan pin dari *port A*. Merupakan 8 bit directional *port I/O*. Setiap pin-nya dapat

menyediakan internal *pull-up resistor* (dapat diatur per bit). Output buffer *port A* dapat memberi arus 20 mA dan dapat mengendalikan display LED secara langsung. Data *direction Register port A* (DDRA) harus di setting terlebih dahulu sebelum *port A* digunakan. Bit-bit DDRA diisi 0 jika ingin memfungsikan pin-pin *port A* yang disesuaikan sebagai input atau diisi 1 jika sebagai output. Selain itu, pin-pin pada *port A* juga memiliki fungsi-fungsi alternatif khusus seperti yang dilihat dalam tabel 2.3

**Tabel 2.7** Penjelasan Pin Pada *Port A*

Pin	Keterangan
PinA 7	ADC7 (ADC Input Channel 7)
PinA 6	ADC6 (ADC Input Channel 6)
PinA 5	ADC5 (ADC Input Channel 5)
PinA 4	ADC4 (ADC Input Channel 4)
PinA 3	ADC3 (ADC Input Channel 3)
PinA 2	ADC2 (ADC Input Channel 2)
PinA 1	ADC1 (ADC Input Channel 1)
PinA 0	ADC0 (ADC Input Channel 0)

b. *Port B*

Pin 1 sampai dengan pin 8 merupakan pin dari *port B*. Merupakan 8 bit directional *port I/O*. Setiap pin-nya dapat menyediakan internal pull-up resistor (dapat diatur per bit). Output buffer *port B* dapat memberi arus 20 mA dan dapat mengendalikan display LED secara langsung. Data *direction register port B* (DDRB) harus di setting terlebih dahulu sebelum *port B* digunakan. Bit-bit DDRB diisi 0 jika ingin memfungsikan pin-pin pada *port B* yang disesuaikan sebagai input atau diisi 1 jika sebagai output. Selain itu, pin-pin pada *port B* juga memiliki fungsi-fungsi alternatif khusus seperti yang dapat terlihat dalam tabel.

**Tabel 2.8** Penjelasan Pin Pada *Port B*

Pin	Keterangan
PinB7	SCK (SPI Bus Serial Clock)
PinB6	MISO (SPI Bus Master Input/Slave Output)
PinB5	MOSI (SPI Bus Master Output/Slave Output)
PinB4	SS (SPI Slave Select Input)
PinB3	AIN1 (Analog Comparator Negative Input) OCC (Timer/Counter Output Compare Match Output)
PinB2	AIN0 (Analog Comparator Positive Input) INT2 (External Interrupt2 Input)
PinB1	T1 (Timer/Counter1 External Counter Input)
PinB0	T0 (Timer/Counter0 External Counter Input) XCK (USART External Clock)

c. *Port C*

Pin 22 sampai dengan pin 29 merupakan pin dari *port C*. *Port C* sendiri merupakan *port* input atau output. Setiap pin-nya dapat menyediakan internal pull-up resistor (dapat diatur per bit). Output buffer *port C* dapat memberi arus 20 mA dan dapat mengendalikan display LED secara langsung. Data Direction Register *port C* (DDRC) harus di setting terlebih dahulu sebelum *port C* digunakan. Bit-bit DDRC diisi 0 jika ingin memfungsikan pin-pin *port C* yang disesuaikan sebagai input, atau diisi 1 jika sebagai output. Selain itu, pin-pin *port D* juga memiliki fungsi-fungsi alternatif khusus seperti yang dapat dilihat dalam tabel 2.5.

**Tabel 2.9** Penjelasan Pin Pada *Port C*

Pin	Keterangan
PinC7	TOSC2 (Timer Oscillator Pin 2)
PinC6	TOSC1 (Timer Oscillator Pin 1)
PinC1	SDA (Two Wire Serial Bus Data Input/Output Line)
PinC0	SCL (Two Wire Serial Bus Clock Line)

d. *Port D*

Pin 14 sampai dengan pin 20 merupakan pin dari *port D*. Merupakan 8 bit directional *port I/O*. Setiap pin-nya dapat menyediakan internal pull-up resistor (dapat diatur per bit). Output buffer *port D* dapat memberi arus 20 mA dan dapat mengendalikan display LED secara langsung. Data Direction Register *port D* (DDRD) harus di setting terlebih dahulu sebelum *port D* digunakan. Bit-bit DDRD diisi 0 jika ingin memfungsikan pin-pin *port D* yang disesuaikan sebagai input, atau diisi 1 jika sebagai output. Selain itu, pin-pin pada *port D* juga memiliki fungsi-fungsi alternatif khusus seperti yang dapat dilihat dalam tabel 2.6[8].

**Tabel 2.1** Penjelasan Pin Pada *Port D*

Pin	Keterangan
PinD0	RDX (UART input line)
PinD1	TDX (UART output line)
PinD2	INT0 (external interrupt 0 input)
PinD3	INT1 (external interrupt 1 input)
PinD4	OC1B (Timer/counter1 output compareB match output)
PinD5	OC1A (Timer/counter1 output compareA match output)
PinD6	ICP (Timer/Counter1 input capture pin)
PinD7	OC2 (Timer.Counter2 output compare match output)

## 2.8 LCD

*Display* elektronik adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik. LCD (*Liquid Cristal Display*) adalah salah satu jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS *logic* yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. Di dalam LCD ini memiliki beberapa pin data, pengatur kecerahan layar atau kontras layar, serta pengendali catu daya.



**Gambar 2.8** LCD (*Liquid Cristal Display*)

## 2.9 Karakteristik Alat Ukur

Setiap instrumen ukur pasti mempunyai karakteristik yang melekat padanya. Terdapat dua karakteristik instrumen ukur yang digunakan yaitu karakteristik statik dan karakteristik dinamik.

### 2.9.1 Karakteristik Statik

Karakteristik statis instrumen merupakan hubungan antara output sebuah elemen (instrumen) dengan inputnya ketika inputnya konstan maupun berubah perlahan. Karakteristik statis tidak bergantung pada waktu. Yang termasuk dalam karakteristik statis adalah range, linieritas, sensitivitas, resolusi, akurasi, presisi, toleransi[12].

a. Range

Range adalah nilai minimum hingga maksimum suatu elemen. Range terdiri dari range input dan range output. Misalnya termocouple mempunyai range input  $0^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$  dan output range 5-20 mV.

b. Span

Span merupakan selisih nilai maksimum dengan nilai minimum. Span terdiri dari span input dan span output. Contoh, *thermocouple* yang mempunyai range input  $0^{\circ}\text{C}-250^{\circ}\text{C}$  dan range output 5-20 mV span inputnya  $250^{\circ}\text{C}$ , span outputnya 15 mV.

c. Linieritas

Pengukuran dapat dikatakan ideal saat hubungan antara input pengukuran (nilai sesungguhnya) dengan output pengukuran (nilai yang ditunjukkan oleh alat) berbanding lurus. Linieritas merupakan hubungan nilai input dan output alat ukur ketika terletak paada garis lurus. Garis lurus ideal merupakan garis yang menghubungkan titik minimum input/output dengan titik maksimum input/output. Berikut merupakan persamaannya :

$$O_{ideal} = KI + a \dots\dots\dots (2.1)$$

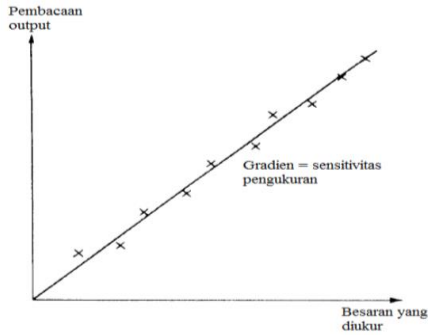
Dengan K adalah kemiringan garis, dapat diketahui melalui persamaan:

$$K = \frac{O_{max}-O_{min}}{I_{max}-I_{min}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dan a adalah pembuat nol (*zero bias*), dapat dihitung dengan persamaan:

$$a = O_{min} - KI_{min} \dots\dots\dots (2.3)$$

Berikut merupakan grafik karakteristik statis linier suatu instrumen



**Gambar 2.9** Karakteristik Output Instrumen Linier[12]

d. Non-linieritas

Dalam beberapa keadaan, bahwa dari persamaan linieritas muncul garis yang tidak lurus yang biasa disebut *non-linier* atau tidak linier. Didalam fungsi garis yang tidak linier ini menunjukkan perbedaan antara hasil pembacaan *actual* / nyata dengan garis lurus idealnya. Dengan persamaan sebagai berikut :

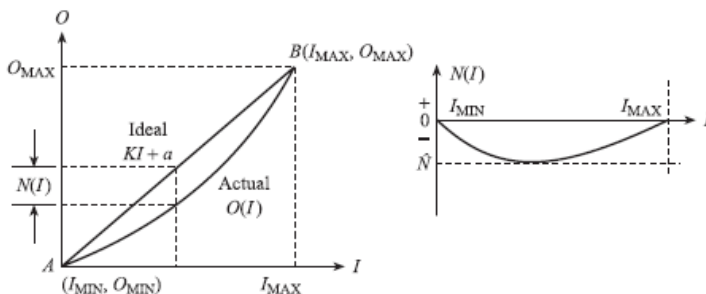
$$N(I) = O(I) - (KI + a) \dots\dots\dots (2.4)$$

$$O(I) = KI + a + N(I) \dots\dots\dots (2.5)$$

Sedangkan untuk persamaan dalam bentuk prosentase dari defleksi skala penuh, sebagai berikut:



Prosentase maksimum Nonlinieritas dari defleksi skala =  $\frac{N}{O_{max}-O_{min}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.6)$



**Gambar 2.10** Grafik Non-Linieritas[12]

e. Sensitivitas

Sensitivitas diartikan seberapa peka sebuah sensor terhadap besaran yang diukur. Sensitivitas juga bisa diartikan sebagai perubahan output alat dibandingkan perubahan input dalam satu satuan. Sebagai contoh timbangan dengan kapasitas 700g mempunyai sensitivitas 1 mg. Ini berarti timbangan dapat digunakan untuk mengukur hingga 700g dengan perubahan terkecil yang dapat terbaca sebesar 1 mg.

$$Sensitivitas = \frac{\Delta O}{\Delta t} \dots \dots \dots (2.7)$$

f. Resolusi

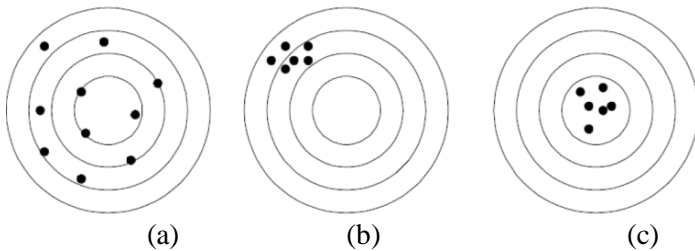
Resolusi merupakan perubahan terbesar dari input yang dapat terjadi tanpa adanya perubahan pada output. Suatu alat ukur dapat dikatakan mempunyai resolusi tinggi saat mampu mengukur dengan ketelitian yang lebih kecil. Misalkan, alat ukur yang mampu mengukur perubahan dalam mV mempunyai resolusi yang lebih tinggi dibanding alat ukur yang mengukur perubahan dalam skala volt.

g. Akurasi

Akurasi merupakan ketepatan alat ukur untuk memberikan nilai pengukuran yang mendekati nilai sebenarnya. Karena pada eksperimen nilai sebenarnya tidak pernah diketahui oleh sebab itu diganti dengan suatu nilai standar yang diakui secara konvensional. Contohnya termometer dengan skala  $0^{\circ}$ - $150^{\circ}\text{C}$  mempunyai akurasi  $1^{\circ}\text{C}$ , ini berarti jika termometer menunjukkan nilai  $80^{\circ}\text{C}$  maka nilai sebenarnya adalah  $79^{\circ}\text{C}$ - $81^{\circ}\text{C}$ .

h. Presisi

Presisi adalah kemampuan instrument/elemen untuk menampilkan nilai yang sama pada pengukuran berulang singkat.



**Gambar 2.11** Penjelasan Akurasi dan Presisi (a) akurasi rendah, presisi rendah (b) akurasi rendah, presisi tinggi (c) akurasi tinggi presisi tinggi[12]

### 2.9.2 Karakteristik Dinamik

Karakteristik dinamis suatu alat ukur merupakan hubungan masukan-keluaran yang dinyatakan dalam persamaan differensial sebagai fungsi waktu. Karakteristik utamanya adalah kecepatan dalam tanggapan dan kecermatan. Kecepatan tanggapan terhadap perubahan kuantitas yang diukur. Keterlambatan dalam pengukuran yang berkaitan dengan kecepatan tanggapan adalah perlambatan atau penundaan tanggapan suatu alat ukur terhadap perubahan kontinuitas yang diukur. Perlambatan demikian merupakan karakteristik yang tidak dikehendaki. Kecermatan

adalah tingkat yang memberikan gambar apakah alat ukur menunjukkan perubahan peubah yang diukur tanpa kesalahan dinamis. Kesalahan dinamis adalah perbedaan antara kuantitas nilai sebenarnya yang berubah menurut waktu, dan nilai yang ditunjukkan alat ukur jika diasumsikan tidak ada kesalahan statis. Waktu mati (*dead time*) yang berkaitan dengan retardasi dalam pengukuran kesenjangan hanya mengubah tanggapan alat ukur sepanjang skala waktu dan menyebabkan kesalahan dinamis. Secara umum, kesenjangan pengukuran jenis ini sangat kecil dapat dinyatakan dalam sepersekian detik. Waktu mati disebabkan oleh daerah mati (*dead zone*) dalam alat ukur oleh gesekan awal atau pengaruh yang serupa.

Persamaan differensial karakteristik dinamis secara umum dinyatakan dalam rumus berikut :

$$a_n \frac{d^n e_0}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} e_0}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{d}{dt} e_0 + a_0 e_0 = b_m \frac{d^m}{dt^m} e_1 + b_{m-1} \frac{d^{m-1}}{dt^{m-1}} e_1 + \dots + b_1 \frac{d}{dt} e_1 + b_0 e_1 \dots \quad (2.8)$$

Dimana :

$E_0$  = keluaran

$E_1$  = masukan

Dan a dan b adalah tetapan-tetapan yang berkaitan dengan kombinasi parameter fisik sistem.

### 2.9.2.1 Macam-macam Karakteristik Dinamik

Karakteristik dinamis berdasarkan koefisien waktunya, dibedakan menjadi beberapa macam antara lain

a. Orde Nol

Karakteristik dinamis alat ukur orde nol mengasumsikan bahwa kecuali  $a_0$  dan  $b_0$  semua nilai a dan b persamaan differensial umum linier, sama dengan nol disebut alat ukur urutan nol. Sehingga persamaan umum menjadi persamaan aljabar sederhana.

$$A_0 e_0 = b_0 e_1 \dots \dots \dots \quad (2.9)$$

Sebenarnya tidak diperlukan dua tetapan  $a_0$  dan  $b_0$  dan dengan demikian kepekaan statis atau keadaan mantap didefinisikan sebagai berikut :

$$e_0 = \frac{b_0}{a_0} e_1 = K e_1 \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana

$$K = \frac{b_0}{a_0} \text{Kepekaan statis} \dots\dots\dots (2.11)$$

Karena persamaan  $e_0 = k e_1$  merupakan persamaan aljabar, maka tidak boleh tidak,  $e_1$  dapat berubah menurut waktu dan keluaran alat ukur mengikuti secara sempurna tanpa penyimpangan atau kesenjangan waktu. Jadi alat ukur urutan nol memperhatikan penampilan dinamis yang ideal atau sempurna. Potensiometer pengukur perpindahan merupakan satu contoh praktis. Namun bila orang memeriksa sistem ini secara kritis ternyata ia bukan benar-benar alat ukur urutan nol[12].

b. Orde satu

Alat ukur yang mengikuti persamaan sederhana model matematika kecuali  $a_1$ ,  $a_0$  dan  $b_0$  semua  $a$  dan  $b$  sama dengan nol disebut alat ukur orde pertama[12]. Persamaan differensial umum linier menjadi

$$a_1 \frac{de_0}{dt} + a_0 e_0 = b_0 e_1 \dots\dots\dots (2.12)$$

Persamaan ini juga dapat diubah menjadi

$$\frac{a_1}{a_0} \frac{de_0}{dt} + e_0 = \frac{b_0}{a_0} e_1 \text{ atau } (\tau D + 1)e_0 = K (2.13)$$

Fungsi pindah operasionalnya adalah

$$\frac{e_0}{e_1} = \frac{K}{\tau D + 1} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana  $K = \frac{b_0}{a_0} = \text{kepekaan statis} \dots\dots\dots (2.14)$

Dan  $\tau = \frac{a_1}{a_0} = \text{tetapan waktu} \dots\dots\dots (2.15)$

c. Orde dua

Sistem orde dua adalah suatu sistem yang outputnya  $y(t)$  sebagai hasil dari penyelesaian suatu persamaan differensial linier orde kedua[14]. Model matematis sistem orde dua dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\tau^2 \frac{d^2y}{dt^2} + 2\tau r \frac{dy}{dt} + y = K_p f(t) \dots \dots \dots (2.16)$$

Dengan,

$\tau$  = konstanta waktu sistem orde dua

$f$  = faktor redaman / damping factor

$K_p$  = gain statik, steady state gain

*Transformasi laplace* dari persamaan differensial linier orde dua diatas, akan menghasilkan fungsi transfer baku untuk sistem orde dua sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{\bar{y}(s)}{\bar{f}(s)} = \frac{K_p}{\tau^2 s^2 + 2 \tau s + 1} \dots \dots \dots (2.17)$$

Kebanyakan sistem orde dua atau lebih tinggi yang diasumsi dalam suatu proses kimia adalah proses-proses multikapasitas atau merupakan akibat dari penambahan sistem pengendali (*controller*) pada proses tersebut.

### 2.9.2.2 Analisis Ketidakpastian

Ketidakpastian adalah nilai ukur sebaran kelayakan yang dapat dihubungkan dengan nilai terukurnya. Dimana di dalam nilai sebaran tersebut terdapat nilai rentang yang menunjukkan nilai sebenarnya[12]. Klasifikasi ketidakpastian, antara lain :

- Tipe A : nilai ketidakpastian yang dilihat dari analisis pengukuran statistik.  
Di dalam tipe ini dilakukan pengukuran hingga n kali, dimana dari pengukuran tersebut akan mendapatkan nilai

rata-rata, standar deviasi, dan data keterulangan. Dimana rumus umum ketidakpastian tipe A sebagai berikut :

$$U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana :

$\sigma$  = Standart deviasi koreksi

n = Jumlah data

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}{n-1} \dots \dots \dots (2.19)$$

$$U_{a2} = \frac{\sqrt{SSR}}{\sqrt{n-2}} \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana :

SSR (*Sum Square Residual*) =  $\sum$ SR (*Square Residual*)

SR =  $R^2$  (*Residu*)..... (2.21)

Yi (Nilai koreksi) =  $t_i - x_i$ ..... (2.22)

$Y_{reg} = a + (b \times t_i)$ ..... (2.23)

$a = \bar{y}_i + (b \times \bar{t}_i)$ ..... (2.24)

$b = \frac{n \cdot \sum t_i y_i - \sum y \cdot \sum t_i}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}$ ;..... (2.25)

Dimana :

$t_i$  = Pembacaan standar

$x_i$  = Pembacaan alat

$y_i$  = Nilai koreksi

- Tipe B : nilai ketidakpastian yang tidak dilihat dari analisis pengukuran statik dari analisis pengukuran statistik (*ISO GUM B 2.15; VIM 3.5* dalam KAN DP.01.23). Berikut merupakan rumus umum dari ketidakpastian tipe B :

$$U_{b1} = \frac{\frac{1}{2}x \text{ resolusi}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$U_{b2} = \frac{a}{k} \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana :

$U_{B1}$  = Nilai ketidakpastian resolusi

$U_{B2}$  = Nilai ketidakpastian dari alat standar/kalibrator

- **Ketidakpastian Baku Gabungan**

Ketidakpastian baku gabungan disimbolkan dengan  $U_c$ , dimana nilai ketidakpastian yang digunakan untuk mewakili nilai estimasi standar deviasi dari hasil pengukuran. Nilai ketidakpastian baku gabungan didapat dari menggabungkan nilai-nilai ketidakpastian baku dari setiap taksiran masukan (hukum propagasi ketidakpastian) (*ISO GUM B 2.15; VIM 3.5 dalam KAN DP.01.23*).

Berikut merupakan rumus umum ketidakpastian baku gabungan

$$U_c = \sqrt{U_{A1}^2 + U_{A2}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2 \dots} \quad (2.27)$$

Dimana :

$U_c$  = Nilai ketidakpastian kombinasi

$U_{A1}$  = Nilai ketidakpastian hasil pengukuran

$U_{A2}$  = Nilai ketidakpastian regresi

$U_{B1}$  = Nilai ketidakpastian resolusi

$U_{B2}$  = Nilai ketidakpastian kalibrator

- **Derajat Kebebasan Aktif**

Derajat kebebasan efektif ini berfungsi sebagai pemilihan faktor pengali untuk distribusi *Student's T* serta sebagai penunjuk perkiraan kehandalan ketidakpastian (*ISO GUM B 2.15; VIM 3.5 dalam KAN*

DP.01.23). Derajat kebebasan disimbolkan dengan  $v$ , dengan rumus sebagai berikut :

$$V = n-1 \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana :

$n$  = Jumlah data

Sedangkan untuk derajat kebebasan efektif merupakan estimasi dari derajat kebebasan ketidakpastian baku gabungan yang dirumuskan sebagai berikut (rumus *Welch-Setterthwaite*).

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / v_i} \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana :

$V_{eff}$  = Derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian kombinasi

$v_i$  = Derajat kebebasan dari komponen ketidakpastian ke- $i$

$U_i$  = Hasil ketidakpastian tipe A dan B

Setelah ditentukan nilai derajat kebebasan efektif, maka dapat dilanjutkan dengan menghitung nilai faktor cakupan sesuai dengan tingkat kepercayaan yang diinginkan, dimana faktor cakupan ( $k$ ) didapat dari tabel *T-students*

- **Ketidakpastian Diperluas,  $U_{exp}$**

Ketidakpastian diperluas merupakan akhir nilai ketidakpastian dengan tingkat kepercayaan. Tingkat kepercayaan tingkat keyakinan mengenai daerah nilai sebenarnya pada suatu pengukuran[12]



$$U_{\text{exp}} = k \times U_c \dots\dots\dots (2.30)$$

Dimana :

k = Faktor cakupan

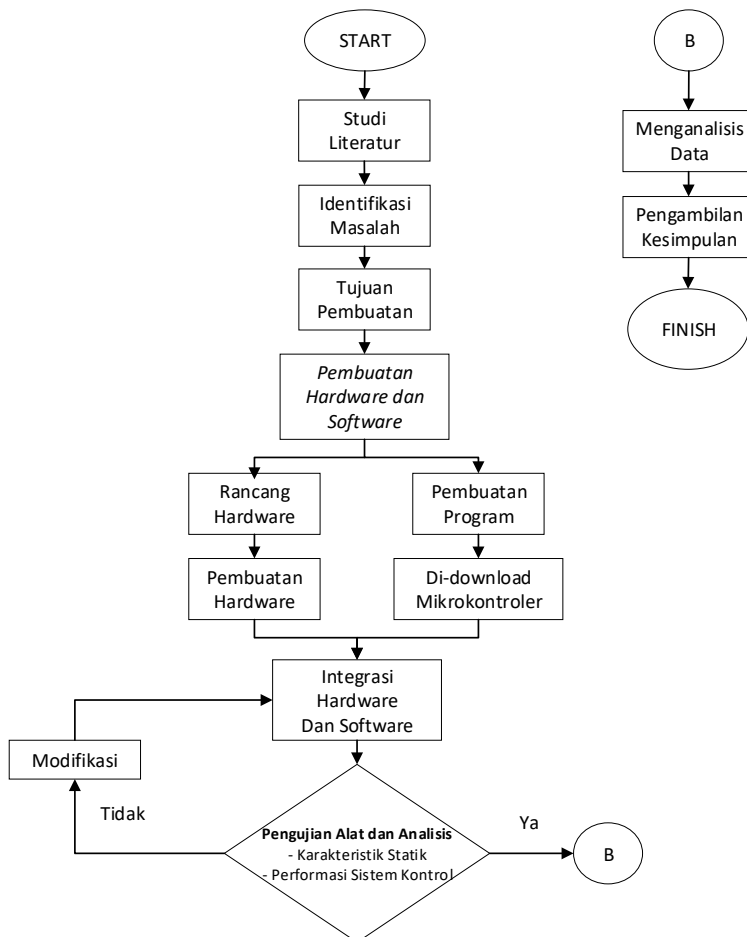
$U_c$  = Nilai ketidakpastian kombinasi

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

### 3.1 Diagram Alir (*Flowchart*)

Langkah-langkah perancangan alat ini digambarkan dalam *flowchart* penelitian yang dapat dilihat pada gambar berikut ini :



**Gambar 3.1** *Flowchart*

### 3.2 Metodologi Penelitian

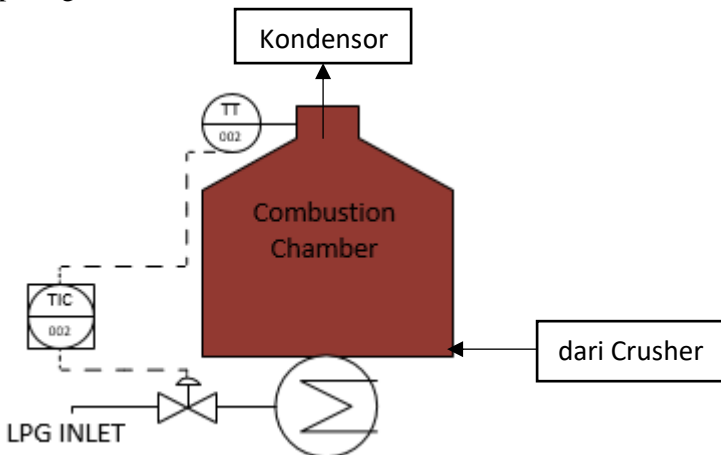
Berikut adalah metodologi penelitian dari pembuatan tugas akhir tentang kontrol *temperature combustion chamber* pada pengolah bahan bakar minyak dari limbah plastik berdasarkan *flowchart* yang sudah direncanakan adalah sebagai berikut :

#### 3.2.1 Studi Literatur

Mempelajari literatur dari penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya mengenai pembuatan sistem kontrol *temperature*. Selain mempelajari mengenai sistem kontrol, juga dilakukan pencarian mengenai elemen-elemen pendukung sistem kontrol tersebut seperti sensor dan aktuator sehingga literatur yang dipelajari meliputi datasheet sensor, aktuator dan mikrokontroler.

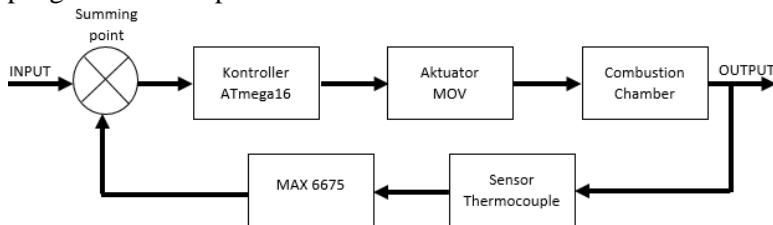
#### 3.2.2 Perancangan Sistem

Pada perancangan alat pengubah limbah plastik menjadi bahan bakar minyak, diletakkan komponen aktuator yaitu *Motor Operated Valve (MOV)* pada selang gas LPG dan Sensor *Thermocouple Type K* diletakkan pada combustion chamber sesuai pada gambar dibawah ini :



**Gambar 3.2** P&ID Pengendalian Temperatur

Pada perancangan dan pembuatan hardware serta software terdapat beberapa tahap yaitu pembuatan rangkain Thermocoupler Type K dengan modul MAX6675, kemudian memasukkan program ke dalam chip ATmega16 serta menghubungkan dengan MOV sebagai aktuator. Sehingga dapat dibuat diagram blok sistem pengendalian temperature ini. Berikut merupakan diagram blok pengendalian temperature



**Gambar 3.4** Diagram Blok Pengendalian Temperatur

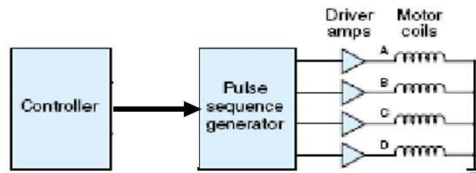
Pada gambar 3.4 input yang dimasukkan adalah nilai *set point* yang berjenis data digital. Selanjutnya pada *summing point* dilakukan penjumlahan antara nilai *set point* dengan nilai dari *max6675* yang bersumber dari sensor *thermocouple* dan didapatkan nilai *error*. Nilai *error* tersebut akan dikirim menuju kontroler *ATmega16* untuk diolah dengan algoritma Proporsional dan selanjutnya sinyal kontrol berupa sinyal digital dikirim menuju *MOV* dan valve melakukan aksi buka tutup sesuai dengan sinyal kontrol. *MOV* akan mengatur laju alir gas dari *lpg* menuju kompor untuk mengatur besar kecilnya api agar sesuai dengan *set point*. Panas yang ada di dalam *combustion chamber* di sensing oleh sensor *thermocouple* dan hasil pembacaan sensor berupa besaran tegangan miliVolt dikirimkan menuju *MAX6675* sebagai sinyal kondisioning yang merubah besaran tegangan menjadi sinyal digital yang membawa informasi suhu untuk selanjutnya dibandingkan dengan nilai *set point*

a. Perancangan dan pembuatan alat (Hardware)

Alat pengendali temperature ini menggunakan sensor thermocouple tipe K. Sensor ini berfungsi untuk mensensing berapa suhu yang ada di dalam tangki pemanasan.

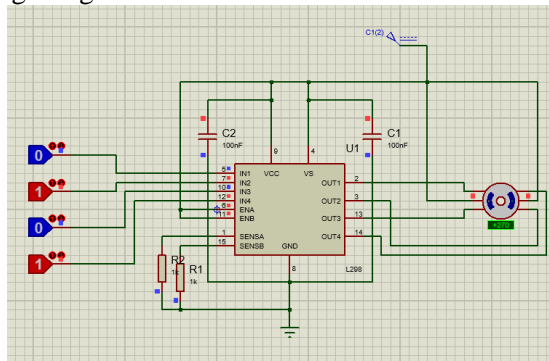
Sensor thermocouple ini masih berupa analog. Agar dapat dibaca oleh mikrokontroller perlu adanya rangkaian pengkondisian sinyal dimana pada alat ini menggunakan modul MAX6675. MAX6675 bukan saja mendigitalisasi sinyal analog dari termokopel tipe-K, sirkuit terpadu di dalamnya juga melakukan kompensasi "persimpangan dingin" (*cold-junction*) untuk akurasi terbaik. Yang dimaksud *cold-junction-compensation* adalah fungsi IC ini untuk mendeteksi fluktuasi suhu lingkungan (*ambience temperature*) pada ujung dingin (*cold-end*) — suhu yang dideteksi oleh sensor suhu internal MAX6675, dapat berkisar antara  $-20^{\circ}\text{C}$  hingga  $+85^{\circ}\text{C}$  — sehingga dapat mengoreksi pembacaan suhu pada ujung panas (*hot-end*) yang merupakan suhu yang terbaca pada *probe* (hingga  $+1024^{\circ}\text{C}$ , dalam kit ini maksimum suhu dibatasi oleh *probe's temperature rating* sebesar  $+800^{\circ}\text{C}$ ). Mengakses data dari MAX6675 dapat dilakukan dari mikrokontroler melalui protokol SPI (*Serial Peripheral Interface*). Data yang dilaporkan beresolusi  $0,25^{\circ}\text{C}$  dengan lebar data 12 bit (0~4095).

Perancangan motor stepper dibutuhkan rangkaian driver motor stepper untuk memberikan energi (*energizing*) pada pasangan-pasangan kumparan lebih besar dari kemampuan I/O port, terdapat dimana rangkaian ini berisi 4 rangkaian yang diparalel. Setiap 1 rangkaian dihubungkan ke masing – masing kutub kumparan pada motor stepper. Motor stepper pada plant ini dipasang pada gate valve yang berguna sebagai aktuator pengendalian flow.



**Gambar 3.4** Diagram blok rangkaian driver motor stepper

Rangkaian pada Gambar 3.9 ini pada dasarnya hanya merupakan rangkaian switching arus yang mengalir lilitan pada motor stepper. Urutan pemberian data pada motor stepper ini dapat mengontrol arah putaran dari motor stepper ini. Penambahan kecepatan pada motor stepper dapat dilakukan dengan cara meningkatkan frekuensi pemberian data pada rangkaian switching arus. Rangkaian driver motor stepper ini nantinya terhubung langsung dengan lilitan pada motor, rangkaian power supply, dan rangkaian mikrokontroler yang pada akhirnya menentukan kapan lilitan yang diinginkan dalam kondisi off atau on.

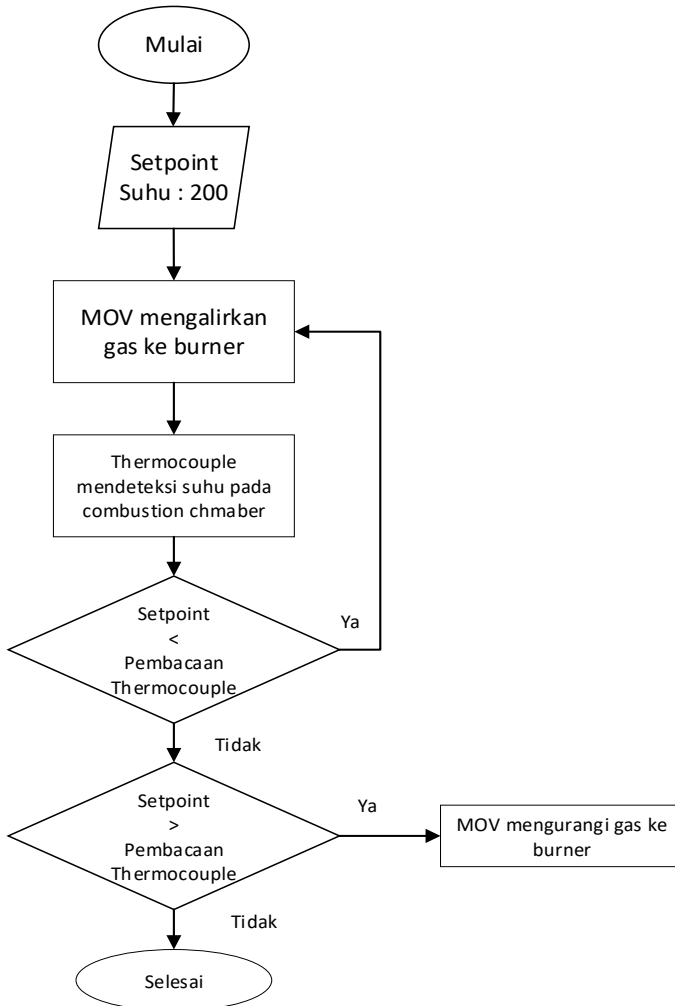


**Gambar 3.5** Simulasi Motor Stepper

Pada mode operasi full step, kedua kumparan pada motor stepper dibangkitkan dengan 2 sinyal seperti pada Gambar 3.9. Apabila sinyal ini dibagi untuk setiap pulsa clock maka terdapat 4 fase yang setiap fasenya akan menghasilkan rotasi motor sebesar  $1,8^\circ$ . Mode operasi full step merupakan mode operasi yang menggerakkan rotor pada nilai sudut tertentu dalam satu buah sinyal clock yang diinputkan. Ketika dilihat dari segi respon, full step memiliki respon yang cepat. Hal ini dikarenakan nilai pwm yang digunakan yaitu hanya 0 dan 255 sehingga untuk melakukan rotasi sebesar  $360^\circ$  membutuhkan 200 step ( $360^\circ / 1,8^\circ$  (spesifikasi pada motor stepper)). Pada metode full step ini untuk menempuh sudut  $1,8^\circ$  hanya melakukan 1 kali step.

### 3.2.3 Integrasi Sensor, Mikrokontroler dan Aktuator

Integrasi sensor, mikrokontroler, dan aktuator dapat digambarkan dalam algoritma sebagai berikut :



**Gambar 3.6** Flowchart Integrasi



### **3.2.4 Pengujian Alat**

Pada *combustion chamber* terjadi proses pirolisis dengan metode pemanasan dari luar yaitu menggunakan burner atau kompor sebagai sumber panasnya. Saat plastik yang telah di *crusher* masuk kedalam *combustion chamber* maka dilakukan proses pemanasan yaitu dengan setpoint sebesar 200°C maka MOV sebagai aktuator akan membuka dan gas LPG akan mengalir ke kompor kemudian kompor menyala. Sensor *Thermocouple* yang terpasang di dalam *combustion chamber* mendeteksi perubahan suhu yang ada. Jika suhu kurang dari 200°C maka MOV akan membuka sehingga api pada kompor akan membesar. saat suhu melebihi 200°C maka MOV akan melakukan gerak menutup sehingga api akan mengecil.

### **3.2.5 Analisis Data**

Analisis data yang dilakukan yaitu dengan mengambil data pembacaan sensor suhu kemudian hasil data pembacaan suhu tersebut akan dibuat grafik untuk mengambil kesimpulan performansi kontrol yang telah dibuat.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Data

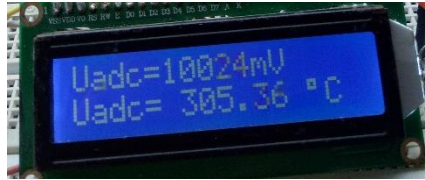
#### 4.1.1 Hasil Rancang Bangun

Berikut ini merupakan hasil perancangan sistem pengendalian temperatur *combustion chamber* pada mini plant produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) dari limbah plastik yang telah dibuat seperti pada gambar 4.1



**Gambar 4.1** Perancangan Hardware

Kompur diletakkan di dasar *combustion chamber* yang berfungsi sebagai sumber panas dan pemasangan sensor *thermocouple* diletakkan pada *thermowell* yang telah ada pada *combustion chamber* yang berfungsi untuk mendeteksi perubahan nilai temperatur yang berada pada ruang bagian dalam *combustion chamber*.



**Gambar 4.2** Tampilan LCD

Gambar 4.2 menunjukkan nilai temperatur terukur pada *combustion chamber* yang ditampilkan pada LCD 16x2 saat *mini plant* produksi Bahan Bakar Minyak (BBM) dari limbah plastik dijalankan.

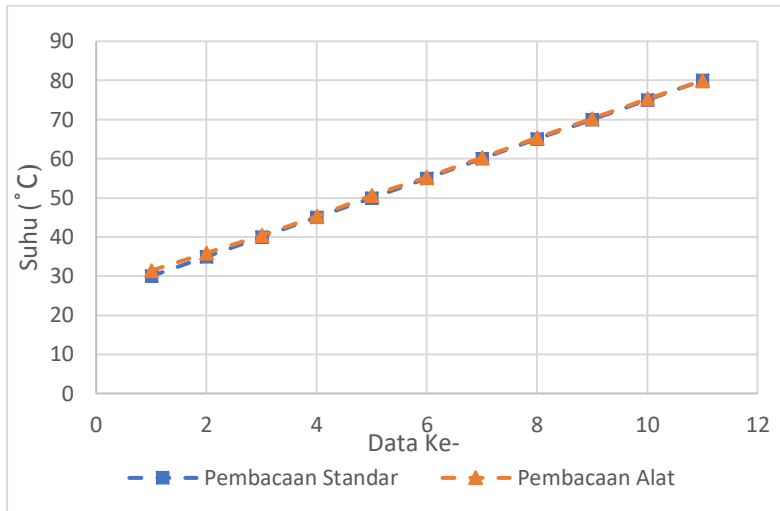
#### 4.1.2 Pengujian Sensor *Thermocouple* Tipe K

Pengujian sensor temperatur dilakukan pada rentang 30-80 °C. Pada setiap suhu, diambil data sebanyak 5 kali. Alat standar yang digunakan sebagai pembanding adalah Rotronic TP22 Thermo Palm yang telah terstandarisasi secara tertelusur. Berikut ini data yang diperoleh dari pengujian

**Tabel 4.1** Data Pengujian Alat Ukur Temperatur

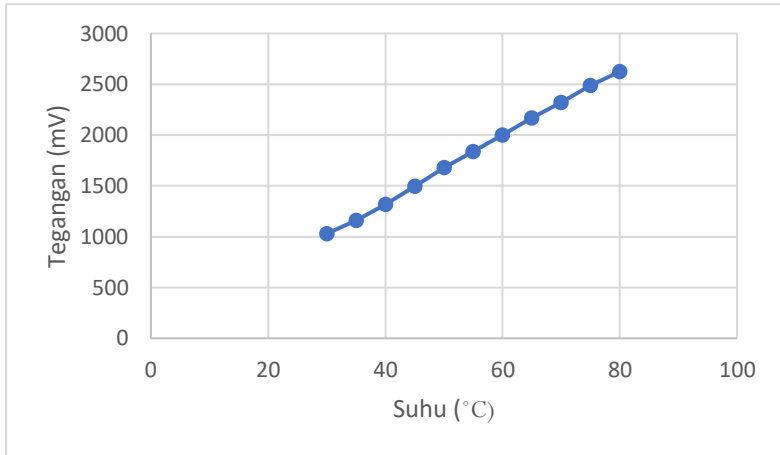
No	Pembacaan Standar	Pembacaan Alat	Error
1.	30	31.41	-1.41
2.	35	35.88	-0.88
3.	40	40.44	-0.44
4.	45	45.27	-0.27
5.	50	50.62	-0.62
6.	55	55.24	-0.24
7.	60	60.25	-0.25
8.	65	65.28	-0.28
9.	70	70.24	-0.24
10.	75	75.29	-0.29
11.	80	79.92	0.08

Berdasarkan data pada tabel 4.1 maka dapat dibuat grafik perbandingan antara pembacaan standar dengan pembacaan alat seperti pada gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Grafik Pembacaan Standar dan Pembacaan Alat

Dari gambar 4.3 dapat disimpulkan bahwa pembacaan alat hampir mendekati pembacaan standar dengan keterangan garis berwarna biru menunjukkan pembacaan standar dan garis warna kuning menunjukkan pembacaan alat. Selain pembacaan suhu dalam satuan  $^{\circ}\text{C}$  juga diperoleh pembacaan suhu dalam satuan tegangan yang dihasilkan oleh pembacaan alat yaitu dalam satuan milivolt (mV) dan pembacaan suhu dalam tegangan dibuat grafik seperti pada gambar 4.4



**Gambar 4.4** Grafik Perbandingan Pembacaan suhu dengan Tegangan

Dari grafik pada gambar 4.4 dapat disimpulkan bahwa pembacaan suhu dengan tegangan memiliki hubungan grafik yang linier dan didapatkan data mengenai karakteristik sensor berikut.

**Tabel 4.2** Tabel Karakteristik Sensor

No.	Pembacaan Standar	Pembacaan Alat		H(i)	Non Linieritas
		Naik	Turun		
1.	30	31.41	30.66	0.75	-0.6569
2.	35	35.88	35.17	0.70	-0.1505
3.	40	40.44	40.20	0.23	0.2659
4.	45	45.27	45.01	0.25	0.4123
5.	50	50.62	49.72	0.9	0.0387
6.	55	55.24	54.33	0.91	0.3951
7.	60	60.25	59.32	0.93	0.3615
8.	65	65.28	64.33	0.94	0.3080
9.	70	70.24	69.29	0.94	0.3244
10.	75	75.29	74.8	0.49	0.2508
11.	80	79.92	79.4	0.52	0.5972

Berikut karakteristik pengujian berdasarkan tabel 4.2 :

a. Range

Range yang digunakan adalah 30 - 80°C

b. Span

Span sebesar 50°C

c. Non-linearitas

$$(N(I)) = O(I) - (KI + a)$$

Non-linearitas maksimum per unit

$$= \frac{N}{O_{max} - O_{min}} \times 100\%$$

Dimana :

$$K = 0,995$$

$$a \text{ (zero bias)} = O_{min} - KI_{min}$$

$$a = 31,34 - (0,998 \times 30,46)$$

$$a = 0,894$$

$$N \text{ (Non Linieritas Maksimum)} = 0.6569$$

sehingga :

Non-linearitas maksimum per unit

$$= \frac{0.6569}{79,92 - 31,34} \times 100\% = 1,3\%$$

d. Sensitivitas

Nilai sensitivitas sensor dapat menjelaskan kemampuan sensor untuk membaca perubahan input yang diberikan.

$$\text{Sensitivitas} = 41 \mu V/^\circ C$$

e. Resolusi

$$0,01^\circ C$$

f. Akurasi

$$\text{Akurasi} = \left(1 - \frac{Y_n - X_n}{Y_n}\right) \times 100$$

$$\text{Akurasi} = \left(1 - \frac{55 - 55,44}{55}\right) \times 100$$

$$= (1 + 0.008) \times 100$$

$$= 0,992 \times 100 = 99,2\%$$

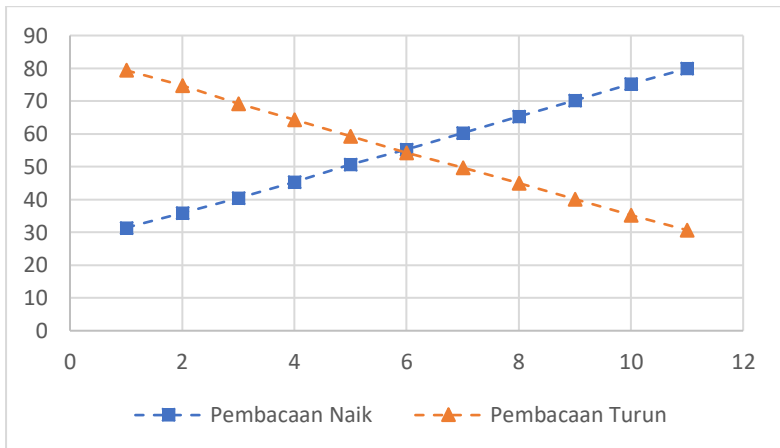
g. Histerisis

$$\hat{H} = H(I)max$$

$$\%H = \frac{\hat{H}}{Omax - Omin} \times 100\%$$

$$\%H = \frac{0,94}{85,27 - 31.41} \times 100\%$$

$$\%H = 0,0193 \times 100\% = 1,93\%$$



**Gambar 4.5** Grafik Histerisis Pembacaan Thermocouple tipe K

Berdasarkan pada gambar 4.5 dapat diperoleh kesimpulan bahwa histerisis yang terjadi sebesar 1,93% terjadi pada pembacaan 70°C. Setelah karakteristik statik alat ukur Thermocouple tipe K diketahui maka langkah selanjutnya yaitu dilakukan kalibrasi atau kegiatan membandingkan alat ukur Thermocouple tipe K dengan alat ukur yang standar yaitu Rotronic TP22 Thermopalm. Berikut hasil data yang diinterpretasikan dalam bentuk tabel untuk mencari ketidakpastian alat ukur



**Tabel 4.3** Data Ketidakpastian Alat Ukur

No.	Standar	Pembacaan	Y	Y <sub>reg</sub>	R	SSR
1.	30	31.41	-1.41	-0.876	-0.534	0.231
2.	35	35.88	-0.88	-0.794	-0.086	0.002
3.	40	40.44	-0.44	-0.712	0.272	0.086
4.	45	45.27	-0.27	-0.630	0.360	0.134
5.	50	50.62	-0.62	-0.549	-0.071	0.007
6.	55	55.24	-0.24	-0.467	0.227	0.040
7.	60	60.25	-0.25	-0.385	0.135	0.008
8.	65	65.28	-0.28	-0.303	0.023	0.001
9.	70	70.24	-0.24	-0.221	-0.019	0.009
10.	75	75.29	-0.29	-0.140	-0.150	0.058
11.	80	79.92	0.08	-0.058	0.138	0.001
Jumlah	605		-4.84			0.578
Rata-rata	55		-0.44			

Berikut adalah perhitungan mengenai ketidakpastian alat ukur (U<sub>a</sub>) berdasarkan data pada tabel 4.3

$$Y_{reg} = a + (b \times t_i)$$

$$a = \bar{y}_i - (b \times \bar{t}_i)$$

$y_i$  = Nilai koreksi,

$$b = \frac{n \cdot \sum t_i y_i - \sum y_i \cdot \sum t_i}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2};$$

$t_i$  = Pemb. standar,

$n$  = Jumlah data

$Y_i$  (Nilai koreksi) = Pemb. standar ( $t_i$ ) – Pemb. alat ( $x_i$ )

$$b = \frac{(10 \times (-235.35)) - (-5.11 \times 690)}{(10 \times 43250) - (690)^2}$$

$$b = 0.005724632$$

Sehingga nilai :

$$a = -0.44 - (0.005724632 \times 55)$$

$$a = -0.754854772$$

Jadi, persamaan regresi menjadi

$$Y_{reg} = -0.754854772 + (0.005724632x \text{ ti})$$

- Nilai ketidakpastian tipe A

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}}{n - 1}$$

Dimana :

$$\sigma = \mathbf{0.403782}$$

Sehingga nilai ketidakpastian tipe A adalah :

$$U_{a1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$U_{a1} = \frac{\mathbf{0.403782}}{\sqrt{\mathbf{11}}} = \mathbf{0.121745}$$

Sedangkan nilai ketidakpastian regresi  $U_{a2}$  adalah

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{SSR}{n - 2}}$$

Dimana :

SSR (*Sum Square Residual*) =  $\Sigma$ SR(*Square Residual*)

SR =  $R^2$  (*Residu*)

$$SSR = 0,578$$

sehingga

$$U_{a2} = \sqrt{\frac{\mathbf{0,587}}{\mathbf{10}}} = \mathbf{0.253394}$$

- Nilai ketidakpastian tipe B

Pada ketidakpastian tipe B ini terdapat 2 parameter ketidakpastian, yaitu ketidakpastian Resolusi ( $U_{B1}$ ) dan ketidakpastian alat standar *termometer* ( $U_{B2}$ ). Berikut ini adalah perhitungan ketidakpastian tipe B :

$$U_{B1} = \frac{\frac{1}{2} \times \text{Resolusi}}{\sqrt{3}} = \frac{\frac{1}{2} \times 0,01}{\sqrt{3}} = 0,002$$

$$U_{B2} = \frac{a}{k},$$

dikarenakan pada alat standar terdapat sertifikat kalibrasinya maka nilai a (ketidakpastian sertifikat kalibrasi) dianggap mendekati 0, dan nilai faktor cakupan dianggap 2,0. Sehingga hasil :  $U_{B2} = 0$

- Nilai ketidakpastian kombinasi  $U_c$  :

$$U_c = \sqrt{U_{A1}^2 + U_{A2}^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2}$$

$$U_c = \sqrt{0,1217^2 + 0,2533^2 + 0,002^2 + 0^2}$$

$$U_c = 0,2811$$

Dengan kondisi V atau derajat kebebasan dari kedua tipe ketidakpastian, sebagai berikut :

$V = n-1$ , sehingga :

$V1 = 10$ ;  $V2 = 10$ ;  $V3 = \infty$ ;  $V4 = \infty$  (berdasarkan table T)

Dengan nilai  $V_{eff}$  (Nilai derajat kebebasan efektif) sebagai berikut :

$$V_{eff} = \frac{(U_c)^4}{\sum (U_i)^4 / V_i}$$

$$V_{eff} = \frac{(0,2881)^4}{(0,1217)^4/10 + (0,2533)^4/10 + (0,002)^4/\infty + (0,00)^4/\infty}$$

$V_{eff} = 15,15$ , sehingga jika dibulatkan menjadi 15,15 dimana pada table *T-student* menghasilkan nilai  $k$  (faktor koreksi) sebesar 2,13

Oleh karena itu, hasil nilai ketidakpastian diperluang sebesar :

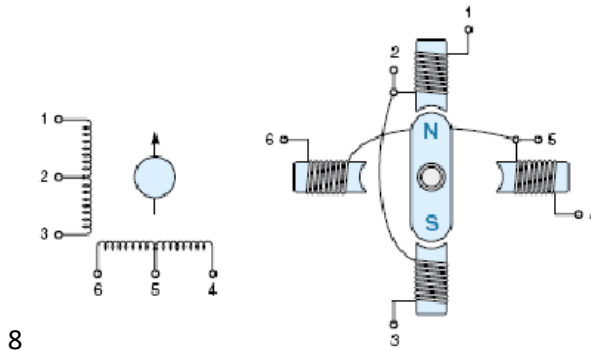
$$U_{exp} = k \times U_c$$

$$U_{exp} = 2,13 \times 0,2811 = 0,598$$

Sehingga berdasarkan perhitungan ketidakpastian diperluas diatas, menghasilkan nilai ketidakpastian alat sebesar  $\pm 0,598$  dengan tingkat kepercayaan 95% dari tabel *T-Student*. Nilai ketidakpastian tersebut akan menjadi acuan untuk pembacaan alat ukur selama alat ukur tersebut digunakan.

## 4.2 Pengendalian MOV menggunakan Driver Motor Stepper Unipolar

Motor Operated Valve (MOV) yang digunakan sebagai aktuator memiliki menggunakan penggerak Motor Stepper dengan konfigurasi unipolar yang di *couple* dengan kran *valve*. Driver motor yang digunakan untuk menggerakkan MOV adalah L298N dengan keluaran TTL. Driver motor akan mensuplai tegangan dan arus pada motor stepper serta menghasilkan pulsa-pulsa yang akan menggerakkan motor stepper untuk bergerak ke arah kanan ataupun sebaliknya.



8

**Gambar 4.5** Motor stepper empat-phase dengan kumparan *center tap* (Unipolar)

Motor stepper konfigurasi unipolar sering digunakan daripada motor stepper konfigurasi bipolar karena rangkaian motor stepper unipolar lebih mudah dan driver motor tidak perlu membalik arus untuk memutar rotor. Motor stepper unipolar memiliki empat kutub dan *center tap* yang berfungsi sebagai *common return* atau arus balik. Cara kerja motor stepper unipolar yaitu dengan mengalirkan arus pada masing-masing kumparan sehingga memicu rotor untuk bergerak sesuai medan magnet yang dihasilkan oleh masing-masing kutub. Untuk putaran searah jarum jam (Clock Wise) yang menggunakan konfigurasi sesuai pada gambar 4.5 maka urutan arus yang diberikan pada kutub yaitu kutub 1 – 4 - 3 - 2. Selanjutnya untuk menghasilkan putaran berlawanan jarum jam (Counter Clock Wise) maka urutan arus yang diberikan pada kutub yaitu 1 – 6 - 3 – 4. Penggunaan nama unipolar didasarkan oleh jalannya arus yang searah untuk memutar rotor sehingga dapat menghasilkan putaran. Berikut tabel yang menjelaskan urutan pembangkit kutub untuk menghasilkan medan magnet sehingga rotor dapat berputar searah jarum jam maupun berlawanan jarum jam.

**Tabel 4.4** Tabel Kebenaran Pengendalian Motor Stepper

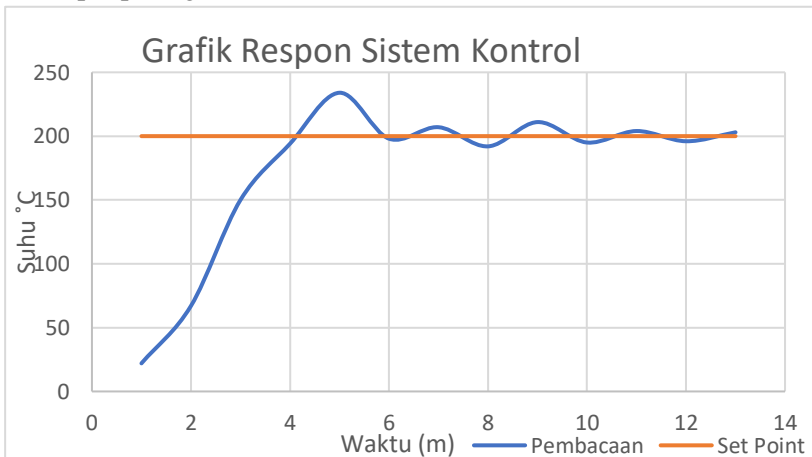
Kutub (Searah Jarum Jam)				Kutub ( Berlawanan Jarum Jam )			
1	4	3	6	1	4	3	6
1	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	1	0	0
0	0	0	1	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	0	1	0
Dst.				Dst.			

#### 4.2.1 Validasi Putaran MOV

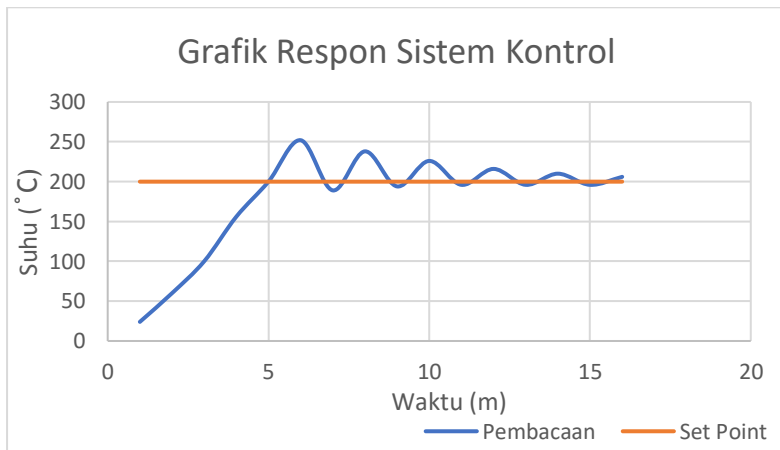
Putaran valve 0 - 100% = 5,25 putaran sehingga 5,25 Putaran x 360 Derajat = 1890 derajat. 1 Step Motor = 1,8 Derajat dan hasil akhir adalah  $1890/1,8 = 1050$  Step

#### 4.3 Respon Sistem

Hasil respon sistem pada sistem pengendalian temperature terdapat pada gambar 4.6

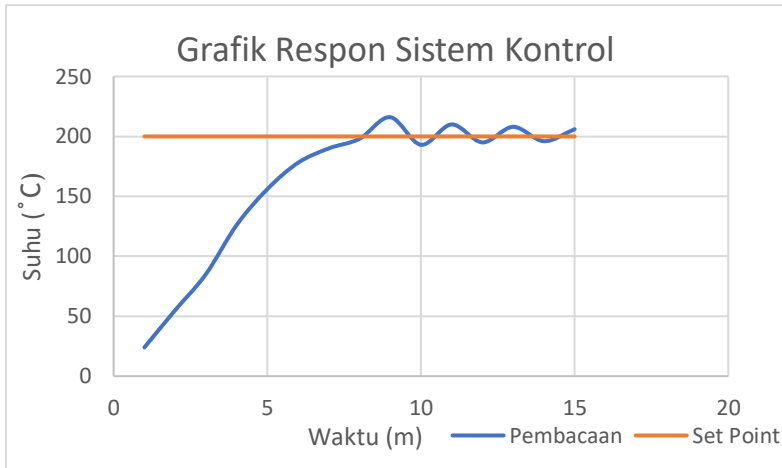
**Gambar 4.6** Respon Sistem Kendali dengan  $K_p = 10$

Berdasarkan gambar 4.6 setpoint yang digunakan sebesar  $200^{\circ}\text{C}$  dengan  $K_p$  sebesar 10 dan dapat disimpulkan bahwa overshoot yang terjadi sebesar  $234^{\circ}\text{C}$  atau memiliki selisih sebesar  $34^{\circ}\text{C}$  dari nilai setpoint, *Rise time* sebesar 4 menit, *time peak* pada menit ke 5 dan *settling time* sebesar 4 menit. dan untuk respon sistem selanjutnya menuju ke *steady state* dengan *error steady state* sebesar 2%. Percobaan selanjutnya adalah membuat nilai  $K_p$  menjadi 6 dan diperoleh hasil seperti pada gambar 4.7



**Gambar 4.7** Respon Sistem Kendali dengan  $K_p = 6$

Berdasarkan gambar 4.7 setpoint yang digunakan sebesar  $200^{\circ}\text{C}$  dengan  $K_p$  sebesar 10 dan dapat disimpulkan bahwa overshoot yang terjadi sebesar  $250^{\circ}\text{C}$  atau memiliki selisih sebesar  $50^{\circ}\text{C}$  dari nilai setpoint, *Rise time* sebesar 5 menit, *time peak* pada menit ke 6 dan *settling time* sebesar 6 menit. dan untuk respon sistem selanjutnya menuju ke *steady state* dengan *error steady state* sebesar 5%. Percobaan selanjutnya adalah membuat nilai  $K_p$  menjadi 1,2 dan diperoleh hasil seperti pada gambar 4.7



**Gambar 4.8** Respon Sistem Kendali dengan  $K_p = 1.2$

Berdasarkan gambar 4.8 setpoint yang digunakan sebesar  $200^{\circ}\text{C}$  dengan  $K_p$  sebesar 1,2 dan dapat disimpulkan bahwa overshoot yang terjadi sebesar  $216^{\circ}\text{C}$  atau memiliki selisih sebesar  $16^{\circ}\text{C}$  dari nilai setpoint, *Rise time* sebesar 8 menit, *time peak* pada menit ke 9 dan *settling time* sebesar 6 menit. dan untuk respon sistem selanjutnya menuju ke *steady state* dengan *error steady state* sebesar  $200+6$  dan  $200-4$

#### 4.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan untuk membuat sistem pengendalian temperatur pada *combustion chamber* diawali dengan melakukan validasi sensor temperatur. Sensor yang digunakan adalah Thermocouple tipe K dan sensor tersebut dibandingkan dengan Rotronic Palm TP22 sehingga diperoleh ketidakpastian diperluas sebesar  $0,598^{\circ}\text{C}$ . Untuk kontroler yang digunakan adalah Atmega16 dan aktuator yang digunakan adalah Motor Stepper. Motor Stepper digunakan untuk mengedalikan laju gas LPG untuk mengatur besar kecil api pada kompor. Rangkaian sensor dihubungkan dengan Atmega16 dan selanjutnya dihubungkan dengan aktuator.



Setelah rangkaian pengendalian berhasil dirangkai selanjutnya adalah melakukan uji respon sistem untuk mendapatkan grafik respon sistem. Uji coba dilakukan untuk mendapatkan respon sistem pengendalian temperature terbaik dan hasil yang mendekati nilai set point adalah dengan menggunakan nilai  $K_p$  sebesar 1,2 dapat disimpulkan bahwa overshoot yang terjadi sebesar  $216^{\circ}\text{C}$  atau memiliki selisih sebesar  $16^{\circ}\text{C}$  dari nilai setpoint, *Rise time* sebesar 8 menit, *time peak* pada menit ke 9 dan *settling time* sebesar 6 menit. dan untuk respon sistem selanjutnya menuju ke *steady state* dengan *error steady state* sebesar 3%.

Hasil respon sistem tersebut sudah baik karena pemanasan pirolisis menunjukkan kecederungan baik karena tidak terpengaruh oleh overshoot pengendalian.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan rancang bangun dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

- a. Penggunaan jenis plastik PolyPropylene (PP) akan mendapatkan Bahan Bakar Minyak dengan kadar oktane sebesar 95
- b. Hasil pembacaan sensor temperatur memiliki nilai akurasi yang baik yaitu sebesar 99,2% , histerisis yang masih dibawah ambang batas yaitu sebesar 1,92%
- c. Nilai Kp yang cocok untuk sistem pengendalian temperatur adalah 1,2 dan menghasilkan overshoot sebesar 16 °C serta error steady state sebesar 3% dengan *rise time* sebesar 9 menit dan *settling time* sebesar 6 menit

#### **5.2 Saran**

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya agar hasil yang dicapai dapat memenuhi harapan, antara lain:

- a. Bahan Bakar Minyak (BBM) dengan kualitas baik dapat diperoleh, jika plant tidak terdapat kebocoran dalam proses produksi
- b. Agar pengendalian temperature berjalan dengan baik, sebaiknya valve harus dipastikan dalam posisi *fully closed* sebelum plant akan di nyalakan.
- c. Sambungan antara *screw* dengan *Combustion Chamber* harus dibuat rapat untuk memperoleh hasil produksi yang baik.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## Daftar Pustaka

- [1] Garib Alla Mohamed M. , Ahmed I. Ahmed & Babiker K. Abdalla, 2014 “CONVERSION OF PLASTIC WASTE TO LIQUID FUEL “, *International Journal of Technical Research and Applications*, vol 2, no 3, hh 29-31
- [2] Satulhaniah, 2013, makalah pengolahan limbah plastik, academia.edu, diakses pada tanggal; 10 November 2017, [http://www.academia.edu/10310521/MAKALAH\\_PENGOLAHAN\\_LIMBAH](http://www.academia.edu/10310521/MAKALAH_PENGOLAHAN_LIMBAH)
- [3] N. Miskolcz, J. Sója & E. Tulok, 2017, ‘Thermo-catalytic two-step pyrolysis of real waste plastics from end of life vehicle’, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 128, no. 1, hh. 1-12
- [4] W.Tri Handoko, 2012, *Sejarah alat pengolah limbah plastik menjadi bahan bakar*, triPOD – 4M, diakses pada tanggal 10 November 2017
- [5] Endang, Mukhtar G, Abed N & F.X. Angga S, 2016, ‘Pengolahan Sampah Plastik dengan Metoda Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak’, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, Vol.1, no,1,hh. 1-7
- [6] UNEP (United Nations Environment Programme), 2009, *Converting Waste Plastics Into a Resource*, Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology Centre, Osaka/Shiga
- [7] Budiyanoro, C. (2010) *Thermoplastik dalam Industri*, Teknik Media, Surakarta

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

- [8]Triana, N.,W. dan Rochimoellah,M, 2002, “Model Kinetika Reaksi Heterogen pada Pirolisis”,Prosiding Rekayasa Kimia dan Proses, ISSN 1411-4216, B-16, UNDIP.
- [9]Anonim. 2014. Suhu.[ Diakses 15 Februari 2017 <http://id.wikipedia.org/wiki/Suhu>]
- [10] Anonim. 2016. Brushless DC motor control using PLC School of Engineering, University of Western Sydney
- [11]Winoto, Ardi. (2008). *Mikrokontroler AVR ATmega 8/32/16/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR*. Bandung : Informatika
- [12]Modul Praktikum Sistem Pengukuran dan Kalibrasi Laboratorium Pengukuran Fisis, Teknik Fisika, FTI-ITS

## LAMPIRAN A (*Listing Code pada Program CVAVR*)

```
while (1)
{
    sensor();

    if
    ((perhitungan_liter==1)&&(cycle>=66)){liter=liter+0.08;cycle=0;}

    if (result >= 400)
    {PORTA.3 = 1;
        // led emergency
    }
    else
    {
        PORTA.3 = 0;
    }

    sprintf(buff,"Suhu=%4u.%u
%cC",result/40,(result%40),0xDF);
    //sprintf(buff,"Suhu=%3d",target_valve);
    lcd_gotoxy(0,0);
    lcd_puts(buff);
    valve_open=stepcount/(maxstep/100);
    lcd_gotoxy(0,1);
    lcd_putsf("open=");
    sprintf(temp,"%3d",valve_open);
    lcd_gotoxy(5,1);
    lcd_puts(temp);
    //lcd_gotoxy(12,1);
    //sprintf(buff,"%5.1f g", data_load_cell);
    //lcd_puts(buff);
    //delay_ms(10);
    p++;
    if (p>=9) p=1;
```



```

    moving_stepper(p);

//Kendali Arah Stepper
    if (target_valve>=valve_open+5)direct=2;
    else if (target_valve<=valve_open-5)direct=1;
    else if
((target_valve<=valve_open+4)&&(target_valve>=valve_o
pen-4))direct=0;
    //program setpoint valve
    awalerror=deltaH; // 15
    deltaH=200-(result/40); // 14
    derivative= deltaH-awalerror;
    target_valve=(Kp * deltaH)
    if (target_valve>=99){target_valve=100;}
    else if(target_valve<=1){target_valve=0;}

if(data_load_cell>=300 && state != 9){
    state = state + 1;
}

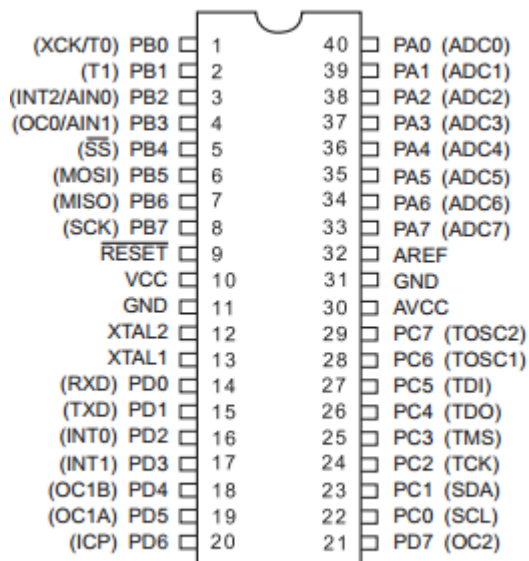
if(state == 9){
    kondisi = 1;
}

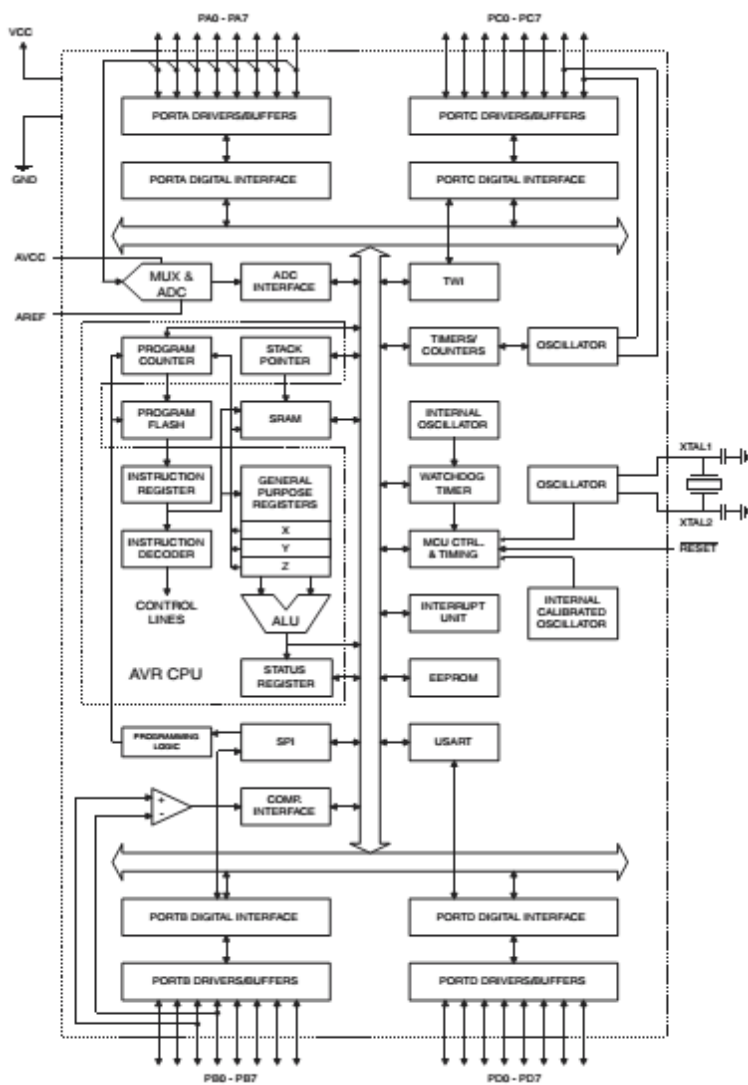
delay_ms(200);
lcd_clear();
}
}

```

## LAMPIRAN B (Data Sheet Atmega16)

### PDIP





## LAMPIRAN C (Data Sheet Thermocouple)



[Home](#) | [Thermocouple Types](#) | [Type K Thermocouple](#)

### QUICK LINKS:

- ▶ [Type J Thermocouple](#)
- ▶ [Type K Thermocouple](#)
- ▶ [Type T Thermocouple](#)
- ▶ [Type N Thermocouple](#)
- ▶ [Type E Thermocouple](#)
- ▶ [Type B Thermocouple](#)
- ▶ [Type R Thermocouple](#)
- ▶ [Type S Thermocouple](#)

### ◆ Type K Thermocouple

**Type K Thermocouple (Nickel-Chromium / Nickel-Alumel):** The type K is the most common type of thermocouple. It's inexpensive, accurate, reliable, and has a wide temperature range. The type K is commonly found in nuclear applications because of its relative radiation hardness. Maximum continuous temperature is around 1,100C.

#### Type K Temperature Range:

- Thermocouple grade wire, -454 to 2,300F (-270 to 1260C)
- Extension wire, 32 to 392F (0 to 200C)

#### Type K Accuracy (whichever is greater):

- Standard:  $\pm 2.2C$  or  $\pm .75\%$
- Special Limits of Error:  $\pm 1.1C$  or 0.4%

Type K Thermocouple Grade Wire



Type K Extension Grade Wire



## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Madiun, 2 September 1996. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Saat ini penulis tinggal di Jalan Ardi Manis I/15 Madiun. Pada tahun 2004 penulis menyelesaikan pendidikan di TK Al- Hidayah Manisrejo 1 Madiun. Tahun 2009 lulus dari SDN 05 Madiun Lor. Tahun 2012 lulus dari SMPN 1 Madiun dan tahun 2015 dari SMAN 2 Madiun. Penulis diterima di Departemen Teknik Instrumentasi Fakultas Vokasi ITS.

Penulis aktif sebagai asisten laboratorium Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol Divisi *Maintenance and Equipment*. Penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN TEMPERATURE COMBUSTION CHAMBER PADA MINI PLANT ALAT PRODUKSI BAHAN BAKAR MINYAK (BBM) DARI LIMBAH PLASTIK”**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran , atau pertanyaan mengenai tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalaui email [wandasantoso002@gmail.com](mailto:wandasantoso002@gmail.com)