

TUGAS AKHIR

PEMBUATAN INSTRUMEN SENSOR TEMPERATUR ALAT PENYULING LIMBAH PLASTIK PET (*POLYETHYLENE TEREPHTHALATE*) DAN PP (*POLYPROPYLENE*) MENJADI BENSIN

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

ARMANSYAH NASUTION
1907230169



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

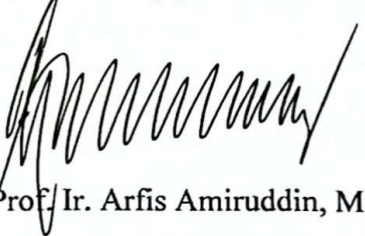
Nama : Armansyah Nasution
NPM : 1907230169
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pembuatan Instrument Sensor Temperatur Alat Penyuling
Limbah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) Dan PP
(*Polypropylene*) Menjadi Bensin
Bidang ilmu : Konstruksi Dan Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Juli 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Assoc. Prof. Ir. Arfis Amiruddin, M.Si

Dosen Penguji II



Arya Rudi Nasution, S.T., M.T

Dosen Penguji III



H. Muharnif M, S.T., M.Sc

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,



Chandra A Siregar, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Armansyah Nasution
Tempat /Tanggal Lahir : Bandung / 29 April 2001
NPM : 1907230169
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Pembuatan Instrument Sensor Temperatur Alat Penyuling Limbah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) Dan PP (*Polypropylene*) Menjadi Bensin”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Proposal Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Juli 2025

Saya yang menyatakan,



Armansyah Nasution

ABSTRAK

Permasalahan global yang hingga kini belum terselesaikan adalah volume sampah yang jumlahnya terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk. Saat ini, salah satu cara untuk mengatasi limbah plastik yaitu dengan mengkonversi limbah plastik menjadi minyak dengan cara pirolisis. pirolisis merupakan proses peruraian suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk menerapkan, mengukur dan membuat sensor temperatur alat penyuling limbah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan PP (*Polypropylene*) dengan manfaat memberikan gambaran tentang instrumen sensor dan suhu pada alat penyuling limbah plastik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan menggunakan temperatur 260°C memperoleh nilai densitas sebanyak 792 kg/m^3 . Nilai densitas ini menunjukkan bahwa nilai tersebut mendekati densitas minyak tanah (*kerosene*). Pada percobaan selanjutnya menggunakan temperatur 300°C memperoleh nilai densitas sebanyak 869 kg/m^3 , nilai densitas ini juga menunjukkan bahwa nilai tersebut menyerupai densitas minyak solar (*diesel*).

Kata kunci : sampah plastik, pirolisis, bensin, arduino, sensor

ABSTRACT

The global problem that has not been resolved until now is the volume of waste that continues to increase along with the increasing population. Currently, one way to overcome plastic waste is to convert plastic waste into oil by pyrolysis. Pyrolysis is the process of decomposing a material at high temperatures without air or with limited air. The purpose of this final project is to implement, measure and create a temperature sensor for a PET (Polyethylene Terephthalate) and PP (Polypropylene) plastic waste distiller with the benefit of providing an overview of the sensor and temperature instruments on the plastic waste distiller. Based on research conducted using a temperature of 260 °C, a density value of 792 kg / m³ was obtained. This density value shows that the value is close to the density of kerosene. In the next experiment using a temperature of 300 °C, a density value of 869 kg / m³ was obtained, this density value also shows that the value resembles the density of diesel oil.

Keyword : plastic waste, pyrolysis, gasoline, arduino, sensor.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pembuatan Instrument Sensor Temperatur Alat Penyuling Limbah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) Dan PP (*Polypropylene*) Menjadi Bensin” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak H. Muharnif M, S.T., M.Sc selaku Dosen Pembimbing dan Penguji III yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Assoc. Prof. Ir. Arfis Amiruddin, M.Si selaku dosen penguji I dan Bapak Arya Rudi, S.T., M.T selaku dosen penguji II yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar ST, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu teknik mesin kepada penulis.
6. Orang tua penulis: Amril Nasution dan Mimin, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Teman-teman angkatan 2019 yang selalu memberikan motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia Konstruksi Dan Manufaktur teknik mesin.

Medan, Juli 2025

Armansyah Nasution

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	3
1.3. Ruang lingkup	4
1.4. Tujuan	4
1.5. Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Sampah Plastik	5
2.2. Plastik	6
2.3. Jenis - Jenis Plastik	7
2.4. Sifat Termal Bahan Plastik	12
2.5. Pirolisis	13
2.5.1. Proses Pirolisis	14
2.5.2. Konversi Sampah Plastik Menjadi Bensin	15
2.6. Reaktor	15
2.6.1. Jenis-jenis Reaktor Pirolisis	16
2.7. Metode Pembakaran	20
2.8. Mikrokontroller	21
2.8.1. Arduino Uno	22
2.8.2. Arduino Integrated Development Environment (IDE)	23
2.8.3. <i>Thermocouple</i>	23
2.8.4. <i>Signal Conditioning</i>	24
2.8.5. <i>Liquid Crystal Display (LCD) 16x2</i>	25
2.9. Akurasi	26
BAB 3 METODOLOGI	27
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.1.1. Tempat	27
3.1.2. Waktu	27
3.2. Bahan dan Alat	29
3.2.1. Alat	29
3.3. Bagan Alir Penelitian	33

3.4. Rancangan Alat Penelitian	34
3.5. Prosedur Perancangan	36
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Hasil uji	37
4.1.1. Hasil Uji Mikrokontroller Arduino Uno	37
4.1.2. Hasil Uji sensor suhu MAX 6675 Thermocouple type K	39
4.1.3. Hasil Uji Modul LCD	40
4.2. Pembahasan	41
4.2.1. Kinerja <i>Thermocouple Type K</i>	41
4.2.2. Menganalisa <i>Thermocouple Type K</i>	41
4.2.3. Proses Pengambilan Data	41
4.2.4. Pengukuran Temperatur Pirolisis	42
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1. Kesimpulan	47
5.2. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	
LEMBAR ASISTENSI	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis Plastik, Kode Dan Penggunaanya	7
Tabel 2.2 Data Temperatur Transisi Dan Temperatur Lebur Plastik	13
Tabel 2.3 spesifikasi thermocouple type K	24
Tabel 3.1 Rencana Pelaksanaan Penelitian	28
Tabel 4.1 Temperatur Pirolisis Plastik Pada Tabung Reaktor 1	43
Tabel 4.2 Variasi Temperatur Terhadap Bahan Bakar Yang Dihasilkan	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Plastik jenis PET / PETE	9
Gambar 2.2 Plastik jenis HDPE / PE-HD	9
Gambar 2.3 Plastik jenis PVC / V	10
Gambar 2.4 Plastik jenis LDPE / PE-LD	10
Gambar 2.5 Plastik jenis PP	11
Gambar 2.6 Plastik jenis PS	11
Gambar 2.7 Plastik jenis <i>OTHER</i>	12
Gambar 2.8 Reaktor <i>fixed moving bed</i>	17
Gambar 2.9 Reaktor <i>bubbling fluidized bed</i>	17
Gambar 2.10 Reaktor <i>circulating fluidized bed</i>	18
Gambar 2.11 Reaktor <i>ultra-rapid pyrolyzer</i>	18
Gambar 2.12 Reaktor <i>rotating cone</i>	19
Gambar 2.13 Reaktor <i>ablative pyrolyzer</i>	19
Gambar 2.14 Reaktor <i>vacuum pyrolyzer</i>	20
Gambar 2.15 Board Arduino Uno R3	22
Gambar 2.16 Arduino <i>Integrated Development Environmental (IDE)</i>	23
Gambar 2.17 <i>Thermocouple</i>	24
Gambar 2.18 <i>signal conditioning</i> MAX 6675	25
Gambar 2.19 LCD 16 x 2	25
Gambar 3.1 Laptop	29
Gambar 3.2 Arduino Uno	29
Gambar 3.3 <i>Thermocouple</i> Tipe K	30
Gambar 3.4 Modul MAX 6675	30
Gambar 3.5 Kabel Jumper	31
Gambar 3.6 <i>Breadboard</i>	31
Gambar 3.7 PLX-DAQ (<i>Parallax Data Acquisitions</i>)	32
Gambar 3.8 Bagan Alir Penelitian	33
Gambar 3.9 Alat Pirolisis Sampah Plastik Kapasitas 3 Kg	34
Gambar 3.10 Skema Rangkaian Instrumen Sensor	35
Gambar 4.1 <i>Sketch</i> Uji Arduino Uno R3	38
Gambar 4.2 Hasil Uji Arduino Uno R3	38
Gambar 4.3 <i>Sketch</i> Uji Sensor Suhu Termokopel Type K	39
Gambar 4.4 Rangkaian Uji Sensor Suhu Termokopel TP-01	40
Gambar 4.5 rangkaian uji modul LCD 16x2	40
Gambar 4.6 menghubungkan Arduino ke laptop / PC	41
Gambar 4.7 menghubungkan sensor thermocouple	42
Gambar 4.8 mengamati perubahan temperatur	42
Gambar 4.9 temperatur tabung reaktor mencapai 150°C	43
Gambar 4.10 grafik pengukuran temperatur pada tabung 1	44
Gambar 4.11 temperatur tabung reaktor 260°C	44
Gambar 4.12 temperatur tabung reaktor 300°C	45
Gambar 4.13 grafik pengukuran temperatur pada tabung 2	46

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
Q_{Konv}	Laju Perpindahan Panas	kJ / det atau W
h	Koefisien perpindahan panas konveksi	$W / m^2 \cdot ^\circ C$
A	Luas bidang permukaan perpindahan panas	ft^2, m^2
ΔT	Perbedaan temperatur permukaan	K
$\dot{m}$	Laju aliran massa	Kg / s
ρ	Massa jenis	Kg / m^3
v	Kecepatan aliran	m / s
A	Luas penampang	m^2
Q	Debit aliran	m^3 / s
η_{fuel}	Efisiensi bahan bakar	$\%$
η	Efisiensi boiler	$\%$
Q_{steam}	Energi panas total yang diserap uap air	$kalori ; Joule$
Q_{fuel}	Energi panas hasil pembakaran bahan bakar	$kalori ; Joule$
h_g	Entalpi uap keluar boiler	$kcal / kg$
h_f	Entalpi uap masuk boiler	$kcal / kg$
q	Debit kebutuhan bahan bakar	Kg / jam
GCV	<i>Gross Calorific Value</i> atau nilai kalor spesifik bahan bakar	$kcal / kg$
m	Massa gas buang kering	kg / kg_{fuel}

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Permasalahan global yang hingga kini belum terselesaikan adalah volume sampah yang jumlahnya terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk (Syamsiro dkk, 2014). Sampah organik yang bersifat *bioderadable* dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan kompos (Guan dkk, 2009) dan plastik yang bersifat *nondegradable* umumnya dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan kerajinan (Obeid dkk., 2014). Selain itu, plastik dapat dikumpulkan dan dijual untuk diproses lebih lanjut oleh perusahaan daur ulang (Ermawati, 2011). Saat ini, salah satu cara untuk mengatasi limbah plastik yaitu dengan mengkonversi limbah plastik menjadi minyak dengan cara pirolisis. Menurut (Sumarni dan Purwanti, 2008) pirolisis merupakan proses peruraian suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas.

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermosetting* (Mujiarto, 2005). *Thermoplastic* adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan *thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan dipanaskan.

Sampah plastik merupakan jenis limbah anorganik yang sukar terurai dalam tanah dan membutuhkan waktu sebanyak 50-80 juta tahun untuk terurai (Wahyuni, 2018). Permasalahan sampah merupakan hal yang sangat membutuhkan perhatian dan penanganan khusus, karena sampah plastik menjadi permasalahan Nasional (Ariyanto, 2017). Jika dilihat dari aspek lingkungan sampah plastik yang dipadang bau dan mengandung berbagai macam penyakit (Elopere, 2016). Limbah plastik yang ada pada saat ini pada umumnya hanya dibuang (*lanffill*), dibakar atau didaur ulang (*recycle*). Sehingga proses tersebut belum menyelesaikan semua permasalahan limbah plastik (Hiola, 2017).

Permasalahan sampah plastik semakin bertambah di tempat pembuangan sampah, maka banyak upaya yang telah dilakukan untuk menguraikan bahan-bahan sampah plastik tersebut dan mengkonversikannya menjadi bahan bakar karena

melihat dari sifat penyusun sampah plastik yaitu berupa hidrokarbon. Metode penguraian rantai polimer yang sudah dikenal adalah pirolisis, gasifikasi, degradasi termal maupun katalitik (Rodiansono dkk, 2007).

Pirolisis adalah reaksi depolimerisasi dan pada suhu tinggi mengikuti mekanisme radikal bebas dan sangat cocok untuk senyawa yang memiliki derajat polimerisasi yang tinggi. Reaksi tersebut melalui tiga tahap yaitu tahapan memulai, perambatan, dan penghentian (Sabarodin & Dewanto, 1998). *Thermal Cracking* merupakan proses pirolisis dengan cara memanaskan polimer plastik tanpa oksigen. Hasil dari proses ini yaitu arang dari hasil pemanasan, lalu minyak sebagai hasil dari proses kondensasi gas, serta gas yang tidak bisa terkondensasi. Suhu yang digunakan pada proses ini pada 350 – 900 °C (Surono, 2013).

Proses pirolisis dapat dilakukan dengan dan tanpa katalis. Keuntungan pada pirolisis dengan katalis yaitu katalis menurunkan fraksi cair dan meningkatkan fraksi gas. Katalis yang pada proses pirolisis berfungsi untuk menurunkan temperatur reaksi, mempercepat reaksi, serta menghasilkan produk dengan karbon atom yang lebih spesifik dan hidrokarbon yang ringan (Patni, dkk, 2013).

Bahan plastik yang dapat diolah menjadi bahan baku pembuatan bahan bakar minyak yaitu *PolyStyrene* (PS), *PolyEthylene Terephthalate* (PET), *High Density PolyEthylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low Density PolyEthylene* (LDPE), dan *PolyPropylene* (PP). *Polystyrene* merupakan jenis plastik untuk bahan baku pembuatan mainan anak-anak, barang-barang elektronik, wadah makanan. *Polyethylene terephthalate* merupakan jenis plastik yang sering ditemukan yang digunakan sebagai bahan baku botol air mineral. *Low density polyethylene* digunakan untuk bahan baku kantong kresek dan *polypropylene* yang digunakan sebagai bahan gelas air mineral (Miandad dkk, 2016).

Perancangan, pembuatan dan uji kinerja reaktor pirolisis plastik untuk menghasilkan bahan bakar minyak telah dilakukan, Percobaan menggunakan reaktor sederhana telah dilakukan dalam skala industri kecil ataupun dalam lingkup komunitas akademik. Reaktor sederhana terbuat dari pelat baja tebal 1.2 mm menghasilkan sekitar 700-800 ml minyak dari setiap 1 kg plastik limbah. (Benny Hikmat Armadi, 2016).

Penelitian yang dilakukan oleh (Miftakhul, 2020) dengan menggunakan bahan plastik jenis PET menyatakan bahwa plastik PET mempengaruhi nilai massa jenis pada suhu 15°C . penggunaan plastik PET diperoleh nilai tertinggi yaitu 849,1 kg/m³ dan terendah 0,845 kg/l dengan rata-rata 0,847 kg/l dengan nilai titik nyala penggunaan plastik PET diperoleh nilai tertinggi yaitu 43,5°C dan terendah 43,3°C dengan rata-rata 43,4°C. Sementara itu penelitian yang dilakukan oleh (Priyatna, dkk, 2005) menyatakan bahwa Karakteristik fisika rata-rata bahan bakar minyak yang dihasilkan oleh plastik jenis PP (*polypropylene*) densitas 0,8021 gr/ml dan nilai kalor 10.256 kal/gr.

Penelitian yang dilakukan oleh (Islami, dkk, 2019) menyatakan bahwa proses konversi sampah plastik jenis PP (*polypropylene*) menjadi bahan bakar cair dilakukan dengan metode perengkahan termal pada suhu 330°C mampu menghasilkan bahan bakar cair sebanyak 5070 ml. Hasil analisis GC-MS menunjukkan minyak plastik PP (*polypropylene*) memiliki rentang C7-C54. Hasil analisis nilai kalor menunjukkan bahan bakar cair hasil pirolisis memiliki nilai kalor lebih tinggi dibandingkan dengan premium yaitu 46,199 MJ/kg dan memiliki densitas 0,726 gr/mL.

Penelitian yang dilakukan oleh (Donaj. dkk, 2012) pada 75% LDPE, 30% HDPE dan 24% PP menggunakan *fluidized bed reactor* dengan suhu 650°C dan 730°C. Hasil tertinggi didapatkan pada suhu 650°C dengan hasil 48% minyak dengan kekentalan yang tinggi. Pada suhu 730 °C memperoleh 44% minyak dengan kekentalan yang rendah.

Dengan latar belakang ini, maka penelitian yang dilakukan sebagai tugas sarjana dengan judul: **“Pembuatan Instrumen Sensor Temperatur Alat Penyuling Limbah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) Dan PP (*Polypropylene*) Menjadi Bensin”**.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah, dapat di rumuskan masalahnya yaitu :

Bagaimana instrumen sensor temperatur alat penyuling limbah plastik PET (*polyethylene terephthalate*) dan PP (*polypropylene*) menjadi bensin.

1.3. Ruang Lingkup

Agar pembahasan tidak terjebak dalam pembahasan yang tidak perlu maka dibuat ruang lingkup yang meliputi :

1. Pembuatan instrumen sensor menggunakan Arduino IDE.
2. Instrumen pengukur suhu menggunakan module max 6675 + K thermocouple sensor.
3. Pengukuran temperatur direncanakan 330°C.
4. Kapasitas tabung pemanas reaktor pengolahan sampah plastik sebesar 3 Kg.

1.4. Tujuan

1. Untuk membuat sensor pengukur temperatur alat penyuling limbah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan PP (*Polypropylene*).
2. Untuk menerapkan penggunaan sensor alat penyuling limbah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan PP (*Polypropylene*).
3. Untuk mengukur temperatur reaktor alat penyuling limbah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan PP (*Polypropylene*).

1.5. Manfaat

1. Memberikan gambaran tentang instrumen sensor dan suhu pada alat penyuling limbah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan PP (*Polypropylene*).
2. Memberikan gambaran temperatur yang diperoleh dalam reaktor
3. Memberikan informasi kepada masyarakat tentang bagaimana proses mengolah sampah plastik agar bisa bermanfaat.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sampah Plastik

Sampah dapat diartikan sebagai barang-barang buangan atau kotoran seperti daun kering, kertas-kertas kotor, plastik, botol aqua dan lain sebagainya, atau bisa juga disebut barang yang tidak berharga. Sampah yang tidak dikelola dengan baik akan mencemari lingkungan dan sebagai sumber penyakit serta berpotensi mengakibatkan menurunnya produktifitas yang pada akhirnya akan menghambat laju pergerakan ekonomi masyarakat. Salah satunya sampah anorganik berdampak negatif terhadap lingkungan karena tidak dapat terurai dengan cepat dan dapat menurunkan kesuburan tanah (Lubis dkk, 2017).

Permasalahan sampah di Indonesia merupakan masalah yang belum terselesaikan hingga saat ini, Sementara itu dengan bertambahnya jumlah penduduk maka akan mengikuti pula bertambahnya volume timbunan sampah yang dihasilkan dari aktivitas manusia. Indonesia masuk dalam peringkat kedua dunia setelah Cina menghasilkan sampah plastik di perairan mencapai 187,2 juta ton. Hal itu berkaitan dengan data dari Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang menyebutkan bahwa plastik hasil dari 100 toko atau anggota Asosiasi Pengusaha Ritel Indonesia (APRINDO) dalam waktu 1 tahun saja, telah mencapai 10,95 juta lembar sampah kantong plastik. Jumlah itu ternyata setara dengan luasan 65,7 hektar kantong plastik (Jambeck, 2015).

Peningkatan yang cepat dalam produksi dan konsumsi plastik telah menyebabkan masalah serius terhadap plastik, sehingga para ahli menyebutnya *white pollution*, yaitu bagaimana pencemaran ini diakibatkan oleh polutan putih (asap) terutama dari kantong plastik, gelas plastik dan bahan plastik lainnya (David Plackett, 2003). Plastik banyak dipakai dalam kehidupan sehari-hari umumnya berupa polioefin (polietilen, polipropilen) karena mempunyai keunggulan-keunggulan seperti kuat, ringan dan stabil, namun sulit terombak oleh mikroorganisme dalam lingkungan sehingga menyebabkan masalah lingkungan yang serius (Gonzales-Gutierrez, 2010).

Plastik banyak digunakan untuk berbagai hal, diantaranya sebagai pembungkus makanan, alas makan dan minum, untuk keperluan sekolah, kantor, automotif dan berbagai sektor lainnya. karena memiliki banyak keunggulan antara lain: fleksibel, ekonomis, transparan, kuat, tidak mudah pecah, bentuk laminasi yang dapat dikombinasikan dengan bahan kemasan lain dan sebagian ada yang tahan panas dan stabil (Nurminah, 2002). Selain itu, untuk wadah utama biasanya diperlukan syarat-syarat tertentu bergantung pada jenis makanannya, misalnya melindungi makanan dari kontaminasi, melindungi kandungan air dan lemaknya, mencegah masuknya bau dan gas, melindungi makanan dari sinar matahari, tahan terhadap tekanan atau benturan dan transparan (Winarno, 1983).

Pemakaian plastik seperti *Polypropylene* (PP) merupakan komoditas industri termoplastik kedua terbesar di dunia setelah *Polyvinyl chloride* (PVC). PP lebih tahan panas, lebih kuat dan kokoh, dan lebih bening dari *Polyethylene* (PE) (Kumar dan Singh, 2011). Plastik adalah salah satu jenis makro molekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer) (Surono, 2013).

2.2. Plastik

Plastik adalah polimer rantai panjang atom yang mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang atau monomer. Bahan pembuat plastik pada mulanya adalah minyak dan gas sebagai sumber alami, tetapi di dalam perkembangannya bahan-bahan ini digantikan dengan bahan sintesis sehingga dapat diperoleh sifat-sifat plastik yang diinginkan dengan cara kopolimerisasi, laminasi dan ekstruksi (Syarief, 1989).

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu termoplastik dan termoseting. Termoplastik adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan termosetting adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan. Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, termoplastik adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor

untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya. Jenis-jenis plastik yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan minyak pirolisis antara lain polipropilena (PP), polietilena (PE/PET), polistirena (PS), *high density polyethylene* (HDPE). Jenis-jenis plastik dibedakan berdasarkan sifat termal yang sangat penting untuk pencairan plastik, sifat thermal yang dimaksud antara lain titik lebur, temperatur transisi (Tg) dan temperatur dekomposisi (Surono, 2013). Tabel 2.1 merupakan jenis-jenis plastik yang dapat didaur ulang dan penggunaannya.

Tabel 2.1 Jenis plastik, kode dan penggunaannya (Kurniawan, 2012).

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

2.3. Jenis-jenis Plastik

Peningkatan jumlah pemakaian energi dan peningkatan timbunan sampah plastik merupakan dua permasalahan besar yang muncul seiring semakin tingginya pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk. Konsumsi energi di berbagai sektor seperti transportasi, industri dan energi listrik rumah tangga tercatat terus meningkat dengan laju pertumbuhan rata-rata per tahun 5,2 %, sebaliknya cadangan energi nasional yang semakin menipis menimbulkan kekhawatiran akan krisis

energi di massa mendatang jika tidak ditemukan sumber-sumber energi yang baru (Mokhtar dkk, 2018).

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. *Thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan. Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, *thermoplastic* adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang (Landi dan Arijanto, 2017).

Jenis plastik dapat digolongkan berdasarkan sifat fisiknya, yaitu:

a. *Thermoplastic*

Thermoplastic merupakan jenis plastik yang bisa didaur ulang atau dicetak lagi atau dengan cara proses pemanasan ulang. Contoh: polietilen (PE), polistiren (PS), ABS dan polikarbonat (PC).

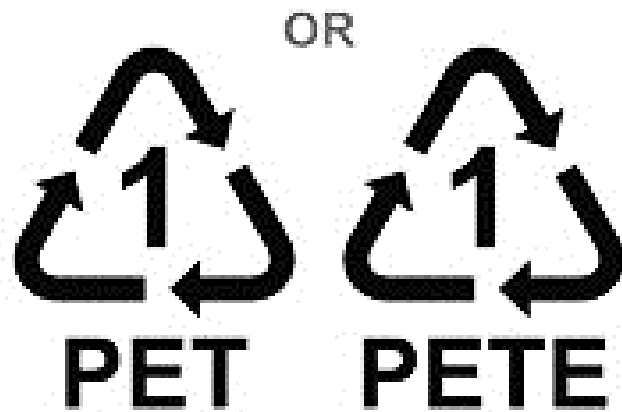
b. *Thermosetting*

Thermosetting merupakan jenis plastik yang tidak bisa didaur ulang atau dicetak lagi. Pemanasan ulang akan dapat menyebabkan kerusakan molekul-molekulnya, contoh resin epoksi, bakelit, resin melamin dan urea formaldehida.

Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, *thermoplastic* adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya. Nomor kode plastik akan tercantum pada produk-produk berbahan plastik seperti gambar berikut ini.

1. PET – *Polyethylene Terephthalate*

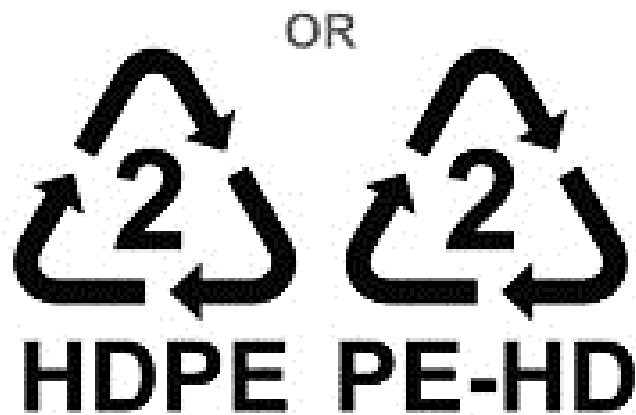
Mayoritas bahan plastik PET di dunia untuk serat sintetis (sekitar 60%), dalam pertekstilan PET biasa disebut dengan polyester (bahan dasar botol kemasan 30%). Botol jenis PET ini direkomendasikan hanya sekali pakai. Suhu pirolisis pada plastik jenis PET berlangsung efektif pada temperatur 700°C (Wicaksono, 2017) dan terdekomposisi pada temperatur 480°C. Jenis bahan plastik ini dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Plastik jenis PET / PETE (Unep, 2009)

2. HDPE – *High Density Polyethylene*

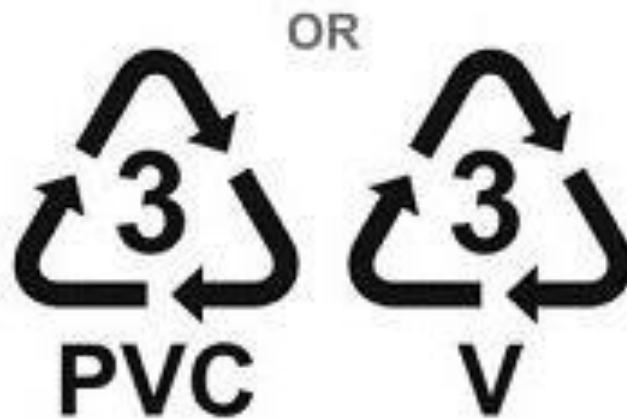
Umumnya, pada bagian bawah kemasan botol plastik, tertera logo daur ulang dengan angka 2 di tengahnya, serta tulisan HDPE (*high density polyethylene*) di bawah segitiga. Biasa dipakai untuk botol susu yang berwarna putih susu, galon air minum, dan lain-lain seperti yang terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Plastik jenis HDPE / PE-HD (Unep, 2009)

3. V – *Polyvinyl Chloride*

Tertera logo daur ulang (terkadang berwarna merah) dengan angka 3 di tengahnya, serta tulisan V — V itu berarti PVC (*polyvinyl chloride*), yaitu jenis plastik yang paling sulit didaur ulang. Plastik ini bisa ditemukan pada plastik pembungkus (*cling wrap*), dan botol- botol yang sulit di daur ulang seperti yang terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Plastik jenis PVC / V (Unep, 2009)

4. LDPE – *Low Density Polyethylene*

Plastik jenis ini biasanya tertera logo daur ulang dengan angka 4 di tengahnya, serta tulisan LDPE (*low density polyethylene*) yaitu plastik tipe cokelat (*thermoplastic* / dibuat dari minyak bumi), biasa dipakai untuk tempat makanan, plastik kemasan, dan botol-botol yang lembek. Barang berbahan LDPE ini sulit dihancurkan, tetapi tetap baik untuk tempat makanan karena sulit bereaksi secara kimiawi dengan makanan yang dikemas dengan bahan ini seperti yang terlihat pada gambar 2.4.

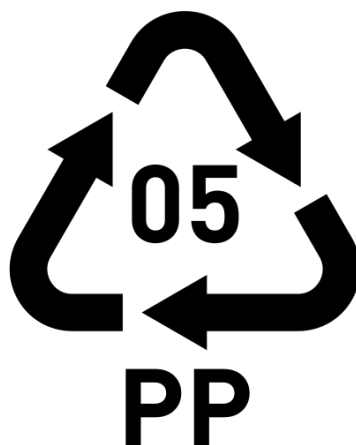


Gambar 2.4 Plastik jenis LDPE / PE-LD (Unep, 2009)

5. PP – *Polypropylene*

Tertera logo daur ulang dengan angka 5 di tengahnya, serta tulisan PP (*Polypropylene*) adalah pilihan terbaik untuk bahan plastik, terutama untuk yang

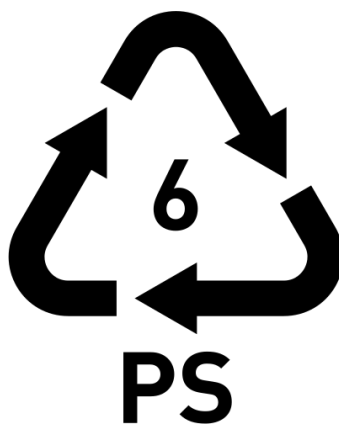
berhubungan dengan makanan dan minuman seperti tempat menyimpan makanan, botol minum dan terpenting botol minum untuk bayi. Polipropilen lebih kuat dan ringan dengan daya tembus uap yang rendah, ketahanan yang baik terhadap lemak, minyak, stabil terhadap suhu tinggi dan cukup mengkilap. Suhu pirolisis pada plastik jenis PP berlangsung efektif pada temperatur 330°C (Islami, 2019). seperti yang terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Plastik jenis PP (Unep, 2009)

6. PS – *Polystyrene*

Tertera logo daur ulang dengan angka 6 di tengahnya, serta tulisan PS (*polystyrene*) ditemukan tahun 1839, oleh Eduard Simon, seorang apoteker dari Jerman, secara tidak sengaja. Terdapat dua macam plastik jenis *polystyrene*, yaitu yang kaku dan lunak / berbentuk foam seperti yang terlihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Plastik jenis PS (Unep, 2009)

7. Other

Tertera logo daur ulang dengan angka 7 di tengahnya, serta tulisan *OTHER* Other (SAN / *styrene acrylonitrile*, ABS - *acrylonitrile butadiene styrene*, PC - *polycarbonate*, Nylon). Dapat ditemukan pada tempat makanan dan minuman seperti botol minum olahraga, alat-alat rumah tangga, peralatan makan bayi dan plastik kemasan. PC - *polycarbonate* dapat ditemukan pada botol susu bayi, gelas anak batita (*sippy cup*) seperti yang tertera pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Plastik jenis *OTHER* (Unep, 2009)

2.4. Sifat Termal Bahan Plastik

Pengetahuan 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 temperatur di mana plastik mengalami perenggaan struktur sehingga terjadi perubahan dari kondisi kaku menjadi lebih fleksibel. Di atas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume sehingga molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya. 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 (Surono, 2013).

Tabel 2.2 Data Temperatur Lebur Plastik (Landi, T., & Arijanto, A. 2017).

No.	Jenis Plastik	Tm (°C)	Tg (°C)	Temperatur Proses Maks (°C)
1	PP	168	5	80
2	HDPE	134	-110	82
3	LDPE	330	-110	260
4	PA	260	50	100
5	PET	250	70	100
6	ABS	-	110	85
7	PS	-	90	70
8	PMMA	-	100	85
9	PC	-	150	246
10	PVC	-	90	71

2.5. Pirolisis

Pirolisis atau devolatilisasi adalah proses fraksinasi material oleh suhu. 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 (H₂, CO, CO₂, H₂O, dan CH₄), 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 (Ramadhan. P dan Ali, 2012).

Proses pirolisis merupakan proses perengkahan plastik pada suhu tinggi dimulai pada temperatur sekitar 230°C. Perengkahan plastik pada suhu tinggi adalah proses paling sederhana untuk daur ulang plastik (Nurhayati dkk, 2018). Pirolisis merupakan proses pembakaran bahan organik dengan konsentrasi oksigen rendah. Pirolisis akan menghasilkan gas-gas (terutama CO, H₂ dan CH₄), arang, abu, dan material tak terbakar sebagai produk ikutan. (Hadi dkk, 2014). Parameter utama yang dapat mempengaruhi pirolisis adalah: kadar air, ukuran partikel, laju pemanasan, temperatur, bahan, komposisi bahan uji, laju nitrogen, waktu tinggal padatan, waktu tinggal volatil, dan tipe pirolisis. Proses pirolisis merupakan salah satu alternatif pengolahan sampah plastik yang dapat mengurangi berat dan volume yang dipandang cukup prospektif untuk dikembangkan (Wibowo, 2011).

2.5.1. Proses Pirolisis

Perengkahan plastik pada suhu tinggi adalah proses paling sederhana untuk daur ulang plastik. Pada senyawa yang berderajat polimerisasi tinggi, pirolisis merupakan reaksi depolimerisasi dan pada suhu tinggi mengikuti mekanisme radikal bebas. Reaksi ini melalui tiga tahap yaitu, tahap memulai, tahap perambatan dan tahap penghentian. Pada proses ini material polimer atau plastik dipanaskan pada suhu tinggi. Proses pemanasan ini menyebabkan struktur makro molekul dari plastik terurai menjadi molekul yang lebih kecil dan hidrokarbon rantai pendek terbentuk. Produk yang dihasilkan berupa fraksi gas, residu padat dan fraksi cair yang mengandung parafin, olefin, naphthan, dan aromatis. Hasil proses pirolisis ini dipengaruhi oleh jenis dan karakteristik bahan baku yang digunakan waktu dan suhu proses (Ramadhan. P dan Ali, 2012).

Pirolisis adalah proses perlakuan panas pada material biomasa yang dikonversi menjadi produk berupa cair (*bio-oil*), padat (*bio-coal*) dan gas (*syngas*) dalam suatu reaktor tanpa kehadiran oksigen di dalam reaktor. Panas yang diberikan yaitu mulai dari temperatur 250°C sampai dengan temperatur 1000°C. Temperatur adalah faktor yang paling penting untuk produk hasil pirolisis. Biasanya temperatur yang sering digunakan yaitu berkisar 300°C-600°C untuk produk dominan *liquid*.

Di sisi lain, untuk pemahaman dasar dari proses pirolisis, parameter kimia kinetik proses dekomposisi termal diperoleh oleh beberapa peneliti, dan persamaan kinetik berasal dari bentuk yang disederhanakan. Hal ini juga diketahui bahwa kayu terdiri dari tiga komposisi utama, selulosa, hemiselulosa, dan lignin, tetapi ada banyak komposisi kecil lainnya yang terkandung di dalam biomassa, seperti ekstraktif organik dan mineral. Persamaan kinetik diidentifikasi untuk masing-masing komposisi utama, tetapi rasio komposisi bervariasi antara satu kayu dengan kayu lainnya, dan persamaan kinetik komposisi minor tidak tersedia. Akibatnya, tidak ada persamaan kinetik yang unik yang dapat mengungkapkan proses pirolisis secara keseluruhan (Yusrizal dan Idris, 2016).

Proses pirolisis adalah proses mengkonversi sampah plastik menjadi bahan petrokimia dasar yang dapat digunakan menjadi bahan baku hidrokarbon atau bahan bakar (Naimah dan Aidha, 2017).

2.5.2. Konversi Sampah Plastik Menjadi Bensin

Bensin adalah salah satu jenis bahan bakar minyak yang dimaksudkan untuk kendaraan bermotor roda dua, tiga, dan empat. Secara sederhana, bensin tersusun dari hidrokarbon rantai lurus, mulai dari C7 (heptana) sampai dengan C11. Dengan kata lain, bensin terbuat dari molekul yang hanya terdiri dari hidrogen dan karbon yang terikat antara satu dengan yang lainnya sehingga membentuk rantai. Jika bensin dibakar pada kondisi ideal dengan oksigen berlimpah, maka akan dihasilkan CO₂, H₂O, dan energi panas. Setiap kg bensin mengandung 42.4 MJ.

Bensin dibuat dari minyak mentah, cairan berwarna hitam yang dipompa dari perut bumi dan biasa disebut dengan petroleum. Cairan ini mengandung hidrokarbon; atom-atom karbon dalam minyak mentah ini berhubungan satu dengan yang lainnya dengan cara membentuk rantai yang panjangnya yang berbeda-beda. Molekul hidrokarbon dengan panjang yang berbeda akan memiliki sifat yang berbeda pula. CH₄ (metana) merupakan molekul paling “ringan”; bertambahnya atom C dalam rantai tersebut akan membuatnya semakin “berat”. Empat molekul pertama hidrokarbon adalah metana, etana, propana, dan butana. Dalam temperatur dan tekanan kamar, keempatnya berwujud gas, dengan titik didih masing-masing -107, -67, -43 dan -18 derajat C. Berikutnya, dari C5 sampai dengan C18 berwujud cair, dan mulai dari C19 ke atas berwujud padat.

2.6. Reaktor

Reaktor adalah suatu alat proses tempat dimana terjadinya suatu reaksi berlangsung, baik itu reaksi kimia atau reaksi nuklir dan bukan secara fisika. Reaktor kimia adalah segala tempat terjadinya reaksi kimia, baik dalam ukuran kecil seperti tabung reaksi sampai ukuranyang besar seperti reaktor skala industri. Reaktor *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) beroperasi pada kondisi *steady*

state dan mudah dalam kontrol temperatur, tetapi waktu tinggal reaktan dalam reaktor ditentukan oleh laju alir dari umpan yang masuk atau keluar, maka waktu tinggal sangat terbatas sehingga sulit mencapai konversi reaktan per volume reaktor yang tinggi karena dibutuhkan reaktor dengan volume yang sangat besar (Raihan, 2018).

Secara umum reaktor dibagi menjadi dua jenis yaitu reaktor nuklir dan reaktor kimia. Reaktor nuklir adalah suatu alat untuk mengendalikan reaksi fisi berantai dan sekaligus menjaga kesinambungan reaksi fisi tersebut dan reaktor kimia adalah alat yang dirancang sebagai tempat terjadinya reaksi kimia untuk mengubah bahan baku menjadi produk. Pada pembuatan reaktor kimia harus memastikan bahwa reaksi menghasilkan efisiensi yang paling tinggi ke arah produk keluaran yang diinginkan, agar industri yang membuat reaktor dapat meminimalisir biaya operasional untuk memperoleh produk yang maksimal. Reaktor yang umumnya terdapat di industri adalah reaktor berpengaduk atau yang dikenal dengan CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*).

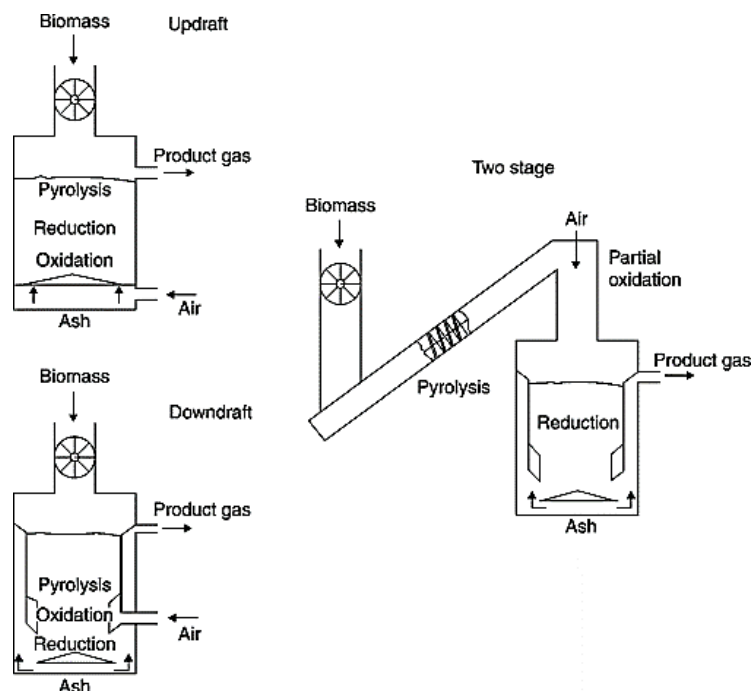
2.6.1. Jenis-jenis Reaktor Pirolisis

Perancangan suatu reaktor kimia harus mengutamakan efisiensi kinerja reaktor, sehingga didapatkan hasil produk dibandingkan masukan (input) yang besar dengan biaya yang minimum, baik itu biaya modal maupun operasi. Tentu saja faktor keselamatan pun tidak boleh dikesampingkan. Biaya operasi biasanya termasuk besarnya energi yang akan diberikan atau diambil, harga bahan baku, dan upah operator, dan lain-lain. Perubahan energi dalam suatu reaktor kimia bisa karena adanya suatu pemanasan atau pendinginan, penambahan atau pengurangan tekanan, gaya gesekan (pengaduk dan cairan). Adapun jenis-jenis reaktor pirolisis adalah sebagai berikut:

a. *Fixed or Moving bed*

Fixed or moving bed yang beroperasi pada reaktor tetap, keuntungan menggunakan reaktor ini adalah sederhana, lebih murah, teknologi yang sudah terbukti (*proven*), dan dapat menangani biomassa yang memiliki kandungan air dan mineral anorganik tinggi. Sedangkan kekurangan dari penggunaan reaktor ini adalah kandungan tar yang mencapai 10-20% berat

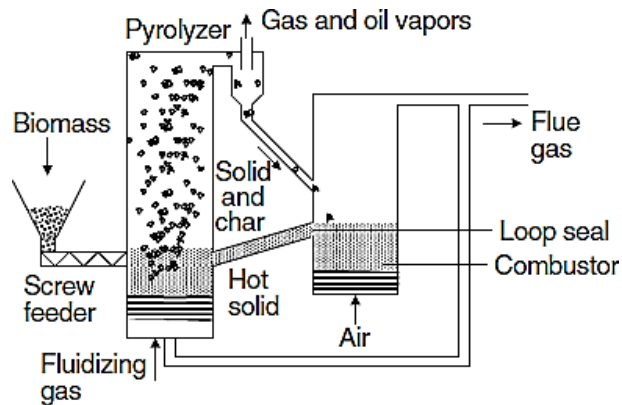
massa bahan uji, sehingga perlu dibersihkan sebelum menggunakan ke pengoperasian berikutnya seperti yang terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Reaktor *fixed moving bed* (Sentilkumar, 2015).

b. *Bubbling Fluidized Bed*

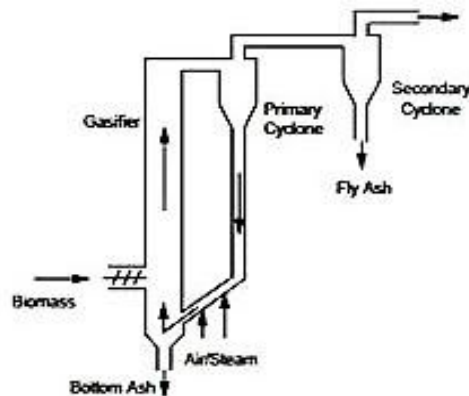
Reaktor yang bertipe *bubbling fluidized bed* merupakan salah satu reaktor paling baik. Reaktor ini dapat dioperasikan pada tekanan udara normal 1 (satu) atm dengan temperatur sedang 450°C, dan dapat menghasilkan *bio-oil* hingga 75% dari massa, tergantung dari biomassa yang digunakan sebagai sumber. Pada pirolisis ini menggunakan pasir silika sebagai fluidisasi karena pasir silika mempunyai titik lebur yang tinggi mencapai 1800°C maka sangat cocok untuk aplikasi gasifikasi *fluidized bed* seperti yang terlihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Reaktor *bubbling fluidized bed* (Basu, 2010).

c. *Circulating Fluidized Bed*

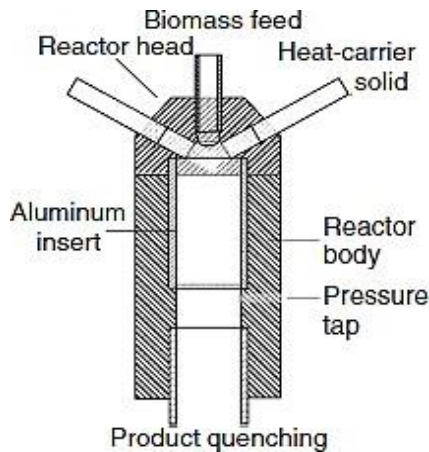
Circulating fluidized bed adalah reaktor dengan kerja seluruh padatan material terbawa aliran, selanjutnya material dipisahkan dari gas menggunakan *dusting equipment*. Keuntungan menggunakan reaktor ini adalah cocok untuk reaksi berjalan cepat, memperoleh konversi cukup tinggi, dan produksi tar yang rendah. Sedangkan kelemahan dari penggunaan reaktor jenis ini adalah terbentuknya *gradient* temperatur di arah aliran padatan, dan perpindahan panas tidak efisien seperti yang terlihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Reaktor *circulating fluidized bed* (Sentilkumar, 2015)

d. *Ultra Rapid Pyrolyzer*

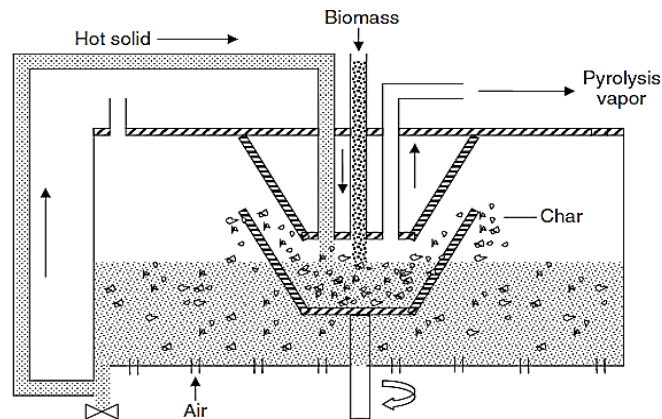
Ultra rapid pyrolyzer adalah reaktor dengan pemanasan yang tinggi mencapai 650°C , maka akan mendapatkan hasil 90% dari berat biomassa yang digunakan (Basu, 2010) seperti yang terlihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Reaktor *ultra-rapid pyrolyzer* (Basu, 2010)

e. *Rotating Cone*

Rotating cone adalah reaktor yang menggunakan pasir silika sebagai media pemanas, dan akan bercampur langsung dengan biomassa di dalam wadah. Oleh karena itu biomassa akan mengalami pemanasan yang cepat, sehingga abu yang dihasilkan dari biomassa akan jatuh yang diakibatkan oleh putaran dari wadah seperti yang terlihat pada gambar 2.12.

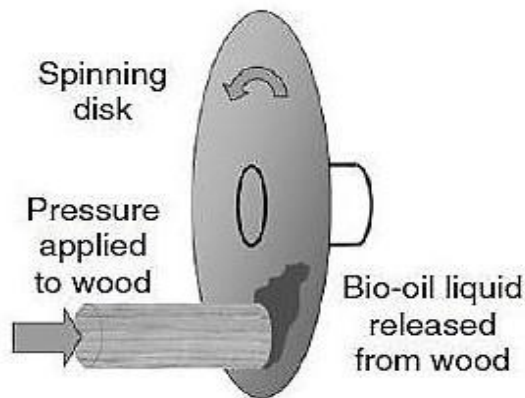


Gambar 2.12 Reaktor *rotating cone* (Basu, 2010)

f. *Ablative Pyrolyzer*

Ablative pyrolyzer adalah reaktor yang melibatkan tekanan tinggi antara partikel biomassa dan plat putar sebagai media pemanas. Hal ini memungkinkan perpindahan panas tanpa hambatan dari dinding ke biomassa yang menyebabkan produk cair dari biomassa meleleh keluar dari biomassa. Akibat dari transfer panas yang tinggi maka waktu yang dibutuhkan untuk

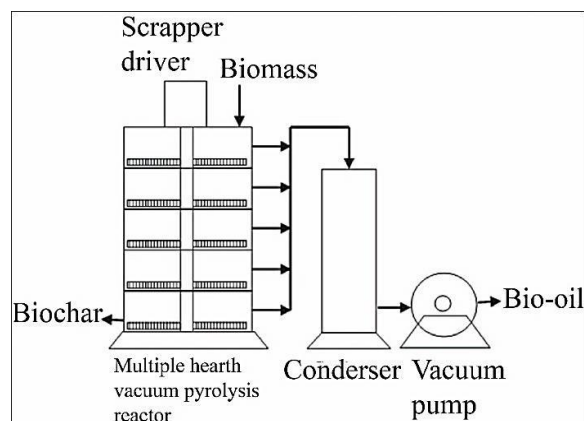
proses pirolisis akan lebih cepat dengan hasil produk gas yang sedikit dan hasil cairan sebanyak 80% seperti yang terlihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Reaktor *ablative pyrolyzer* (Basu, 2010)

g. *Vacuum Pyrolyzer*

Vacuum pyrolyzer adalah reaktor yang terdiri dari beberapa tingkatan, tingkatan paling atas bersuhu 200°C dan tingkatan paling bawah bersuhu 400°C. Biomassa dimasukkan ke bagian atas dan akan mengalami pengeringan selama biomassa turun ke bawah sehingga menjadi arang. Pemanasan yang lambat akan meningkatkan jumlah arang dan menghasilkan cairan yang banyak, hal ini disebabkan karena reaktor yang tekanannya kurang dari 1 atm akan disedot oleh vacuum sehingga kalor dan cairan dipaksa keluar dari reaktor (Brown, 2015) seperti yang terlihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Reaktor *vacuum pyrolyzer* (Basu, 2010)

2.7. Metode Pembakaran

Untuk mengolah biomassa menjadi energi dapat dilakukan dengan berbagai cara salah satunya yaitu pembakaran pirolisis. Pembakaran pada pirolisis berbeda dengan pembakaran pada umumnya yang memerlukan udara sebagai unsur utama untuk pembakaran sempurna. Pada pembakaran pirolisis udara tidak diperlukan udara, karena keberadaan udara akan mengakibatkan bahan bakar padat terbakar sempurna menjadi abu sehingga tidak menghasilkan arang, dan pembakaran pirolisis juga menghasilkan *bio-oil* atau asap cair. Pirolisis merupakan salah satu teknologi termokimia untuk mengubah biomassa menjadi energi dan produk kimia yang terdiri dari *bio-oil* cair, *biochar* padat, dan gas pirolitik dan tergantung pada tingkat pemanasan dan waktu tinggal. Beberapa cara pembakaran pirolisis yang dapat dilakukan yaitu :

1. Pembakaran Langsung yaitu semua bahan baku biomassa yang digunakan yang juga sebagai bahan bakarnya dimasukkan ke dalam reaktor kemudian dibakar, setelah terbakar lalu ditutup. Pembakaran ini menghasilkan jumlah udara yang banyak sehingga efisiensi pembakarannya kurang tapi waktu pembakarannya lebih cepat karena terjadi pembakaran sempurna sehingga hasil produk cenderung asap cair akan lebih banyak jika dibanding dengan *bio-arangnya*.
2. Pembakaran LPG, yaitu semua bahan baku biomassa di dalam reaktor dan tertutup rapat, kemudian dibakar dari bawah dengan menggunakan bahan bakar LPG. Pembakaran ini menghasilkan campuran kaya dimana udara sangat sedikit. Api pembakaran yang kontinyu dan stabil sehingga waktu pembakaran sedikit lebih lama. Produk yang dihasilkan cenderung lebih banyak *bio-arang* dibandingkan asap cairnya.
3. Pembakaran Biomassa, yaitu bahan baku biomassa di dalam reaktor dan tertutup dengan rapat, kemudian dibakar dari bawah dengan menggunakan bahan bakar biomassa juga sebagai sumber panasnya. Api pembakaran yang dihasilkan kurang stabil sehingga waktu pembakaran tidak bisa diprediksi dan hasil produk juga tidak bisa diukur antara *bioarang* dan asap cairnya. Bahan bakar yang diperlukan bias lebih banyak.

2.8. Mikrokontroller

Mikrokontroller adalah suatu IC dengan kepadatan yang sangat tinggi. Semua bagian diperlukan untuk suatu kontroler sudah dikemas dalam keping, biasanya terdiri dari CPU (*Central Processing Unit*), RAM (*Random Access Memory*), EEPROM / EPROM / PROM / ROM, I/O, *Serial & Parallel*, *Timer*, *Interrupt Controller*.

Berdasarkan definisi diatas dapat disimpulkan bahwa mikrokontroller adalah suatu IC yang didesain atau dibentuk dengan kepadatan yang sangat tinggi, dimana semua bagian yang diperlukan suatu kontroler sudah dikemas dalam satu keping, biasanya terdiri dari CPU (*CentralProcessing Unit*), RAM (*Random Access Memory*), EEPROM / EPROM / PROM / ROM, I/O, *Serial & Parallel*, *Timer*, *Interrupt Controller* dan berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik serta umumnya dapat menyimpan program didalamnya.

2.8.1. Arduino Uno

Arduino merupakan *platform* yang terdiri atas *software* dan *hardware*. *Hardware* Arduino dapat dikatakan sama dengan mikrokontroler pada umumnya, hanya pada arduino ditambahkan penamaan pin agar mudah diingat. *Software* Arduino merupakan *software* gratis yang berfungsi untuk membuat dan memasukkan program ke dalam Arduino (Sulaiman, 2012).

Berdasarkan definisi diatas dapat disimpulkan bahwa arduino merupakan kit elektronik atau papan rangkaian elektronik yang didalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah *chip* mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel serta *software* pemrograman yang *open source*.

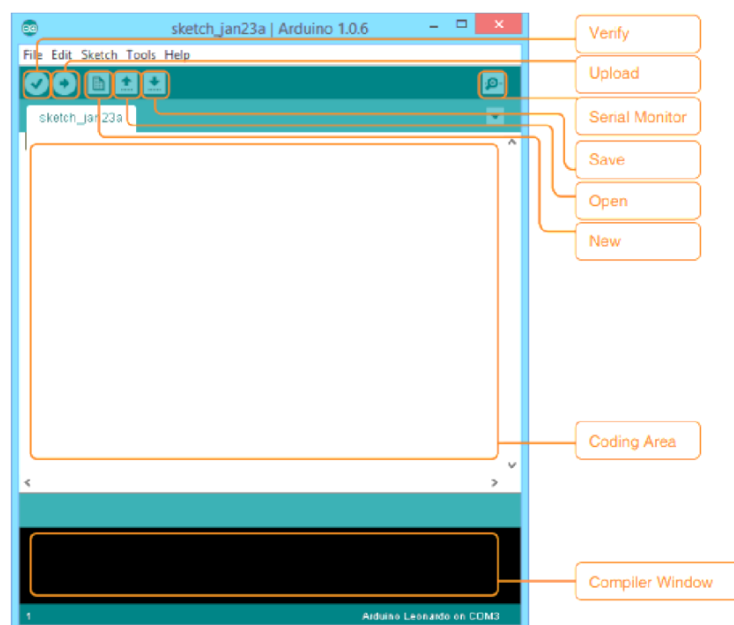
Arduino Uno memiliki SRAM sebesar 2KB, EEPROM sebesar 1KB, dan dilengkapi *Flash Memory* sebesar 32KB. SRAM (*Static Random Access Memory*) digunakan sebagai memori kerja selama sketch dijalankan. Memori inilah yang digunakan untuk menyimpan variabel. EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*) adalah memori yang digunakan untuk menyimpan data secara permanen. *Flash Memory* digunakan untuk menyimpan sketch (program) Bentuk arduino seperti yang terlihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Board Arduino Uno R3

2.8.2. Arduino Integrated Development Environment (IDE)

Arduino Integrated Development Environment atau yang lebih dikenal dengan sebutan *Arduino IDE*, adalah suatu media yang digunakan untuk memprogram *board* Arduino sesuai dengan perintah yang diberikan. *Coding* program yang digunakan pada Arduino biasa disebut dengan “*Sketch*” dan menghasilkan file dengan ekstensi *ino* seperti yang terlihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 *Arduino Integrated Development Environmental (IDE)*

2.8.3. Thermocouple

Termokopel (*Thermocouple*) adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek *Thermo - electric*.

Prinsip kerja termokopel cukup mudah dan sederhana. Pada dasarnya termokopel hanya terdiri dari dua kawat logam konduktor yang berbeda jenis dan digabungkan ujungnya. Satu jenis logam konduktor yang terdapat pada termokopel akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan (tetap) sedangkan yang satunya lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas seperti yang terlihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 *Thermocouple* (Sidik, F., dkk. 2022)

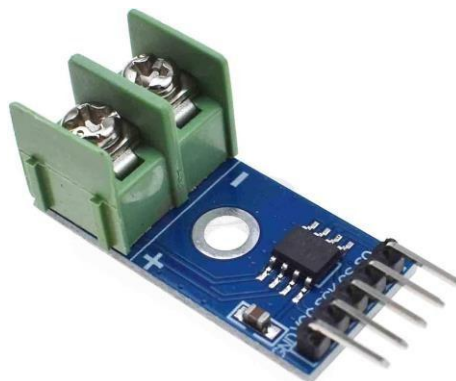
Pada penelitian pembuatan instrumen sensor alat penyuling limbah plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) Dan PP (*Polypropylene*) Menjadi Bahan Bakar Minyak Berkapasitas 3 Kg ini menggunakan dua buah *thermocouple* type K yang diletakkan pada reaktor dan kondensor. Penggunaan *thermocouple* type K untuk mengukur suhu dalam tabung reaktor.

Tabel 2.3 spesifikasi *thermocouple* type K (Sidik, F., Armila, A., & Arief, R. K. 2022)

SPESIFIKASI	RANGE
<i>Working voltage</i>	DC5V
<i>Operating Current</i>	50mA
<i>The Temperature Measuring Range</i>	-200°C - 1300 °C
<i>The Temperature Measurement Accuracy</i>	± 1.5 °C
<i>The Temperature Resolution</i>	0.25 °C

2.8.4. Signal Conditioning

Rangkaian *signal conditioning* adalah suatu rangkaian pengkondisian sinyal yang dapat merubah suatu sinyal menjadi sinyal lain yang dikehendaki. *Signal conditioning* yang digunakan adalah dengan menggunakan MAX6675. Fungsi dari termokopel adalah untuk mengetahui perbedaan temperatur di bagian ujung dari dua bagian metal yang berbeda dan disatukan. Termokopel tipe *hot junction* dapat mengukur mulai dari 0°C sampai + 1023,75°C. MAX6675 memiliki bagian ujung cold end yang hanya dapat mengukur -20°C sampai +85°C. Pada saat bagian *cold end* MAX6675 mengalami fluktuasi suhu maka MAX6675 akan tetap dapat mengukur secara akurat perbedaan temperatur pada bagian yang lain. MAX6675 dapat melakukan koreksi atas perubahan pada temperatur *ambient* dengan kompensasi *cold-junction* seperti yang terlihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 *Signal Conditioning* MAX 6675 (Hidayat, A. J., dkk. 2022)

2.8.5. Software PLX-DAQ

Untuk pengakuisisi data dari mikrokontroler Arduino ke *excel* membutuhkan *software* PLX-DAQ. Dengan menggunakan *software* PLX-DAQ dapat menghasilkan data dan grafik pengukuran secara *real time* yang sudah di rancang pemrogramannya di Arduino. *Software* PLX-DAQ ini juga dapat terintegrasi dengan *Microsoft Excel* (Fachri, dkk., 2015). Parallax Data Acquisition (DAQ) dapat menjadi solusi untuk mengumpulkan informasi data atau menganalisis pengukuran menggunakan transduser, komputer, dan

sensor yang dapat dilakukan dari berbagai sumber masukan sinyal (Chen, L., Kim, Y., & Bae, Y. 2017).

Program PLX-DAQ digunakan sebagai *interface* antara mikrokontroler dengan *spreadsheet Excel* untuk membaca sel atau menulis pada *Excel* dengan cepat. Program akuisisi ini dapat membaca parameter eksperimental karakteristik pada arduino dan dapat menghasilkan *output* yang memadai tanpa mengkompilasi ulang seluruh kode program. *Setting* program PLX-DAQ ditunjukkan pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 Program PLX-DAQ untuk komunikasi *interface* (González-Arjona, D., et al. 2013)

Program PLX-DAQ terdiri atas Control, posisi port dari Arduino yang digunakan dan Baud COM port serial yang digunakan oleh Arduino. Tingkat transmisi dapat dipilih dalam rentang 1 ms - 0,08 ms (9600-128000 baud). Komputer yang digunakan harus sangat cepat dalam mendukung akuisisi data real time. Program digunakan untuk hubungan antarmuka, maka dapat langsung memantau performansi panel surya dengan sampel tegangan dan arus kira-kira setiap 1 menit saat dilakukan penelitian. Untuk demikian, menampilkan grafik akan meningkatkan proses waktu.

2.8.6. *Liquid Crystal Display (LCD) 16x2*

Liquid cristal display adalah modul tampilan yang mempunyai konsumsi daya yang relatif rendah dan terdapat sebuah *controller CMOS* didalamnya.

Controller tersebut sebagai pembangkit ROM/RAM dan display data RAM. Bentuk LCD dapat dilihat pada gambar 2.19. Semua fungsi tampilan dikontrol oleh suatu instruksi modul LCD dapat dengan mudah interface dengan MPU (Suhirman, S. 2009).



Gambar 2.20 LCD 16 x 2 (Suhirman, S. 2009)

Dalam sistem monitoring keluaran sensor konduktifitas LCD yang digunakan adalah M1632 dengan konfigurasi 16 karakter dan 2 baris dengan setiap karakter dibentuk oleh 8 baris pixel. Fungsi dari setiap kaki yang ada pada komponen ini adalah :

- Kaki 1 (GND), kaki ini berhubungan dengan tegangan 5 V yang merupakan tegangan untuk sumber daya.
- Kaki 2 (VCC), kaki ini berhubungan dengan tegangan 0 volt dan modul LCD.
- Kaki 3 (VEE/VLCD), tegangan pengatur kontras LCD, kaki ini terhubung pada V5. Kontras mencapai nilai maksimum pada saat kondisi kaki ini pada tegangan 0 volt.
- Kaki 4 (RS), *register Select*, kaki pemilih *register* yang akan diakses. Untuk akses ke *register* data, logika dari kaki ini adalah 1 dan untuk akses ke *register* perintah, logika dari kaki ini adalah 0.

Kaki 5 (R/W), logika 1 pada kaki ini menunjukkan bahwa modul LCD sedang pada mode pembacaan dan logika 0 menunjukkan bahwa modul LCD sedang pada mode penulisan. Untuk aplikasi yang tidak memerlukan :

- pembacaan data pada modul LCD, kaki ini dapat dihubungkan langsung ke *ground*.
- Kaki 6 (E), *Enable clock* LCD, kaki ini mengaktifkan *clock* LCD. Logika 1 pada kaki ini diberikan pada saat penulisan atau pembacaan data

- Kaki 7-14 (D0-D7), data bus, kedelapan kaki modul LCD ini adalah bagian dimana aliran data sebanyak 4 bit atau 8 bit mengalir saat proses penulisan maupun pembacaan data.
- Kaki 15 (Anoda), berfungsi untuk tegangan positif dari *backlight* modul LCD sekitar 4,5 volt.
- Kaki 16 (Kanoda), tegangan negatif *backlight* modul LCD sebesar 0 volt.

2.9. Akurasi

Akurasi adalah kemampuan dari alat ukur untuk memberikan indikasi pendekatan terhadap harga sebenarnya dari obyek yang diukur. Akurasi didefinisikan sebagai pendekatan antara nilai yang terbaca dari alat ukur dengan nilai sebenarnya. Dalam eksperimen, nilai sebenarnya yang tidak pernah diketahui sehingga diganti dengan suatu nilai standar (Malcolm, 1985).

Berdasarkan data karakteristik awal akan dilakukan kalibrasi untuk meningkatkan akurasi sensor mengacu ke data kalibratornya yaitu DS18B20. Metode matematika sederhana dipilih untuk meningkatkan akurasi sensor termokopel tipe K dan MAX6675 sehingga metode ini dapat digunakan oleh semua orang.

Fluktuasi sensor dapat diminimalisir dengan melakukan perata-rataan maupun filtering. Dengan melakukan perata-rataan maupun filtering fluktuasi data akan mengecil sehingga distribusi penyebaran data akan berada dalam range yang telah ditentukan. Tiap empat data yang dihasilkan masing-masing sensor akan dirata-rata sehingga frekuensi data hasil perata-rataan mempunyai jumlah $\frac{1}{4}$ data asli. Proses filtering data yang sudah dirata-rata berbasiskan resolusi sensor yang hanya dapat menampilkan data dengan besar perubahan 0.25°C (Integrated, M. 2011).

Nilai akurasi dapat ditingkatkan dengan melakukan fitting atau tranlasi (penambahan atau pengurangan) antara nilai yang ditunjukkan oleh sensor ke nilai yang ditunjukkan oleh kalibrator. Hal ini dapat dilakukan karena kedua jenis sensor menunjukkan irama yang sama selama pengukuran karakteristik awal 24 jam. Proses meningkatkan akurasi dimulai dengan merata-rata nilai keempat sensor termokopel tipe K dan MAX6675 yang tiap datanya sudah ditingkatkan presisinya

melalui proses rata-rata dan filter. Setelah keempat sensor termokopel tipe K dan MAX6675 menunjukkan satu nilai yang sama karena telah dirata-rata kemudian dilakukan perhitungan delta antara data hasil rata-rata dengan data kalibrasinya. Setelah selisih tiap waktu telah didapatkan kemudian dilakukan rata-rata untuk mendapatkan satu nilai penambah atau pengurang yang berfungsi sebagai faktor koreksi sensor.

BAB 3

METODOLOGI

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1. Tempat

Tempat pelaksanaan dan pembuatan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Proses Produksi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jalan Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan.

3.1.2. Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu di mulai tanggal di sah kannya usulan judul penelitian oleh Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan akan di kerjakan selama kurang lebih 6 bulan sampai dinyatakan selesai.

Tabel 3.1 Rencana Pelaksanaan Penelitian

No.	Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul	■					
2	Studi Literatur	■					
3	Pembuatan Alat		■				
4	Penyelesaian Penulisan			■	■	■	
5	Seminar Hasil					■	
6	Sidang						■

3.2. Bahan dan Alat

3.2.1. Alat

1. Laptop

Laptop digunakan untuk melakukan pengamatan data sensor suhu alat penyuling limbah plastik. Adapun laptop yang digunakan dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada gambar 3.1.

- AMD A4-9120 Radeon R3, 4 Compute Core 2C+2G 2.20GHz
- Memory RAM 4 GB
- Sistem Operasi Windows 10 64-bit



Gambar 3.1 Laptop

2. Arduino Uno

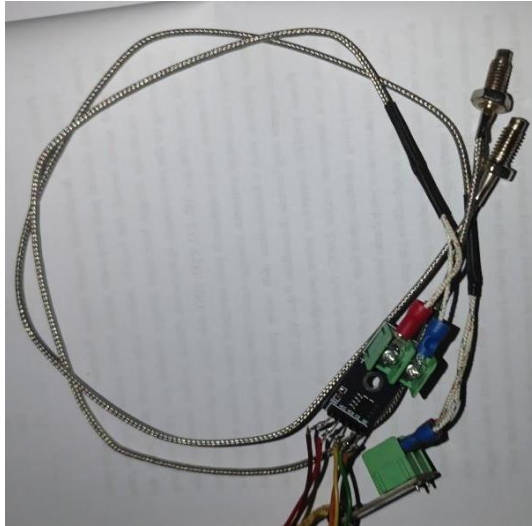
Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat *opensource* dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. *Hardware* memiliki prosesor Atmega 328 dan softwarenya memiliki bahasa pemrograman sendiri. Bahasa yang dipakai dalam Arduino Adalah bahasa C yang disederhanakan dengan bantuan pustaka-pustaka (libraries) Arduino seperti yang terlihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Arduino Uno

3. *Thermocouple* Tipe K

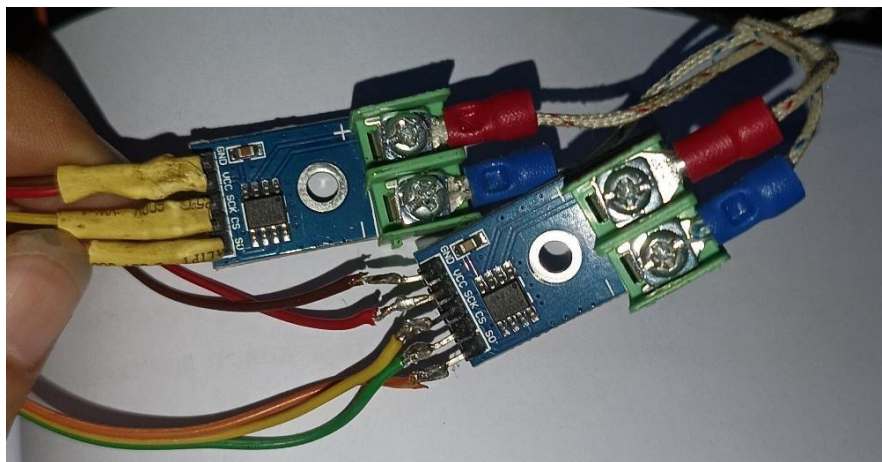
Thermocouple tipe K pada penelitian ini digunakan untuk mengontrol suhu dalam tabung reaktor agar terkontrol dan tetap konstan seperti yang terlihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Thermocouple* Tipe K

4. Modul MAX 6675

Modul MAX 6675 dibentuk dari kompensasi cold-junction yang outputnya digitalisasi dari sinyal termokopel tipe-K. data output memiliki resolusi 12-bit dan mendukung komunikasi SPI mikrokontroller secara umum. Data dapat dibaca dengan mengkonversi hasil pembacaan 12-bit data seperti yang terlihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Modul MAX 6675

5. Kabel *Jumper*

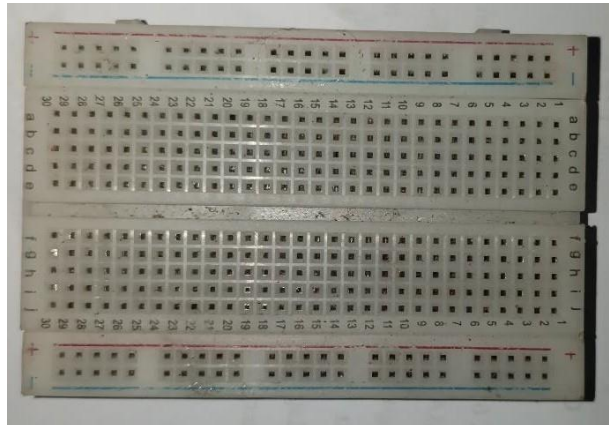
Kabel jumper adalah kabel elektrik yang memiliki pin konektor di setiap ujungnya dan memungkinkan untuk menghubungkan dua komponen yang melibatkan arduino tanpa melakukan solder. Intinya kegunaan kabel jumper ini adalah sebagai konduktor listrik untuk menyambungkan rangkaian listrik seperti yang terlihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Kabel Jumper

6. *Breadboard*

Breadboard pada penelitian ini digunakan sebagai konduktor listrik tempat melekatkan kabel jumper atau header pin male agar arus listrik dari komponen satu ke komponen lainnya bisa saling terdistribusi seperti yang terlihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Breadboard*

7. *Lcd Display 16 x 2*

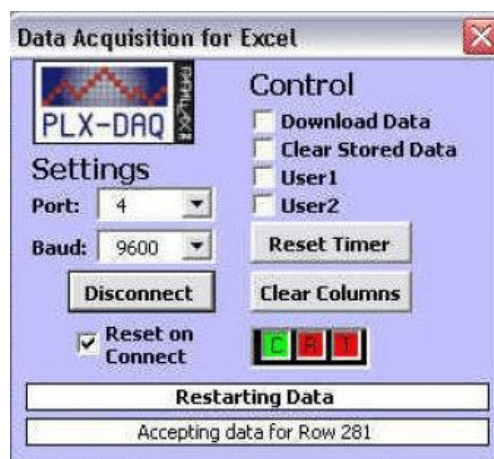
Lcd pada penelitian ini digunakan sebagai layar yang akan menampilkan hasil pengukuran temperatur pada tabung reaktor dan kondensor seperi yang terlihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Lcd Display 16 x 2

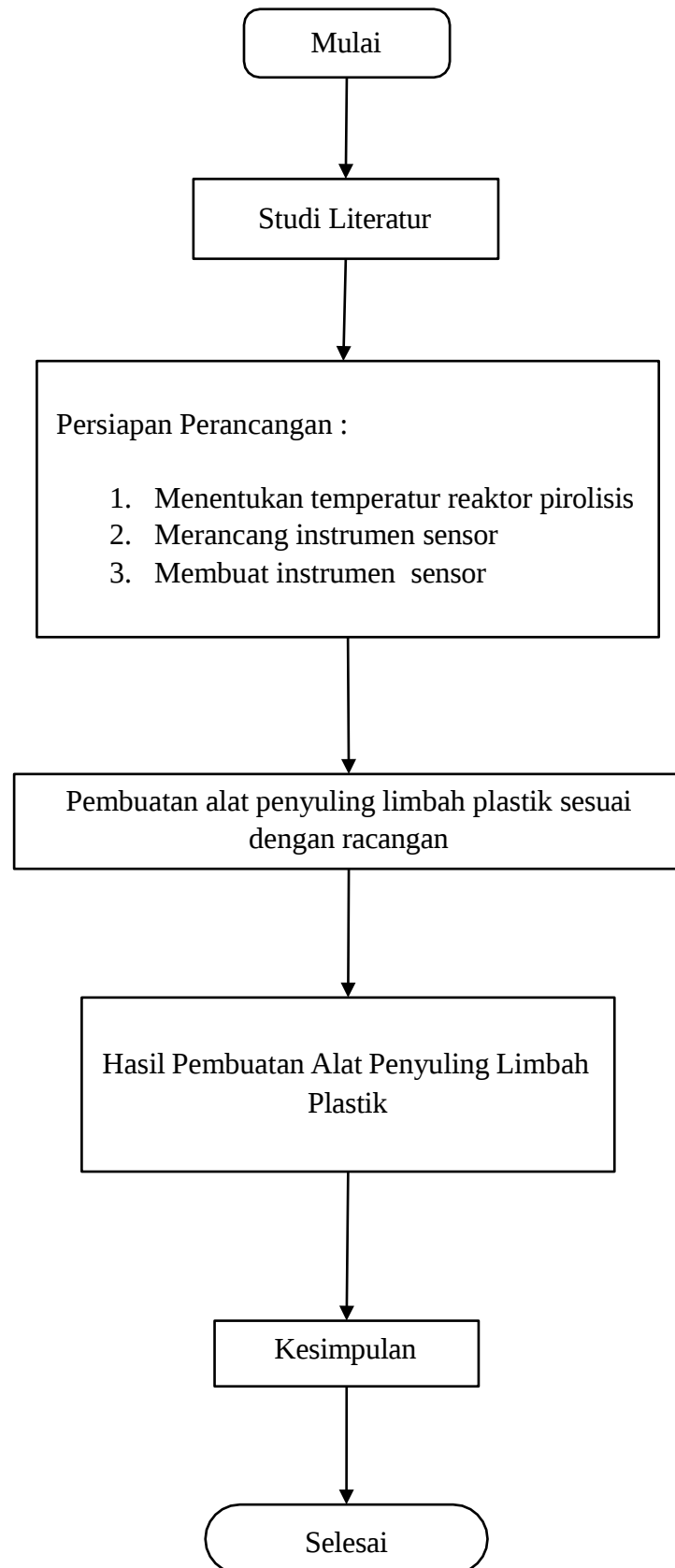
8. Software PLX-DAQ

Software PLX-DAQ (*Parallax Data Acquisitions*) adalah *add-on* dari data akusisi mikrokontroler *parallax* untuk *Microsoft Excel*. Setiap mikrokontroler yang dihubungkan ke sensor dan port serial PC dapat mengirim data langsung ke *Excel* dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 PLX-DAQ (*Parallax Data Acquisitions*)

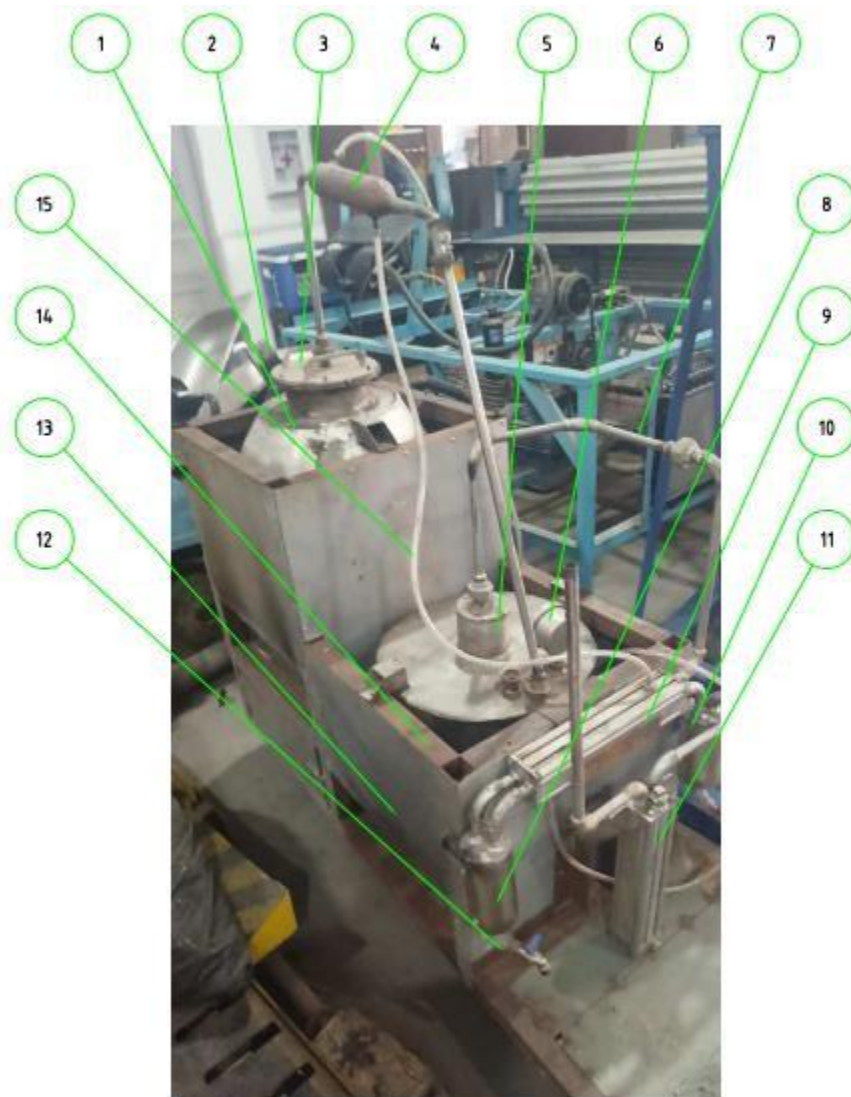
3.3. Bagan Aliran Penelitian



Gambar 3.9 Bagan Alir Penelitian

3.4. Rancangan Alat Penelitian

a. Alat Pirolisis Sampah Plastik Kapasitas 3 Kg



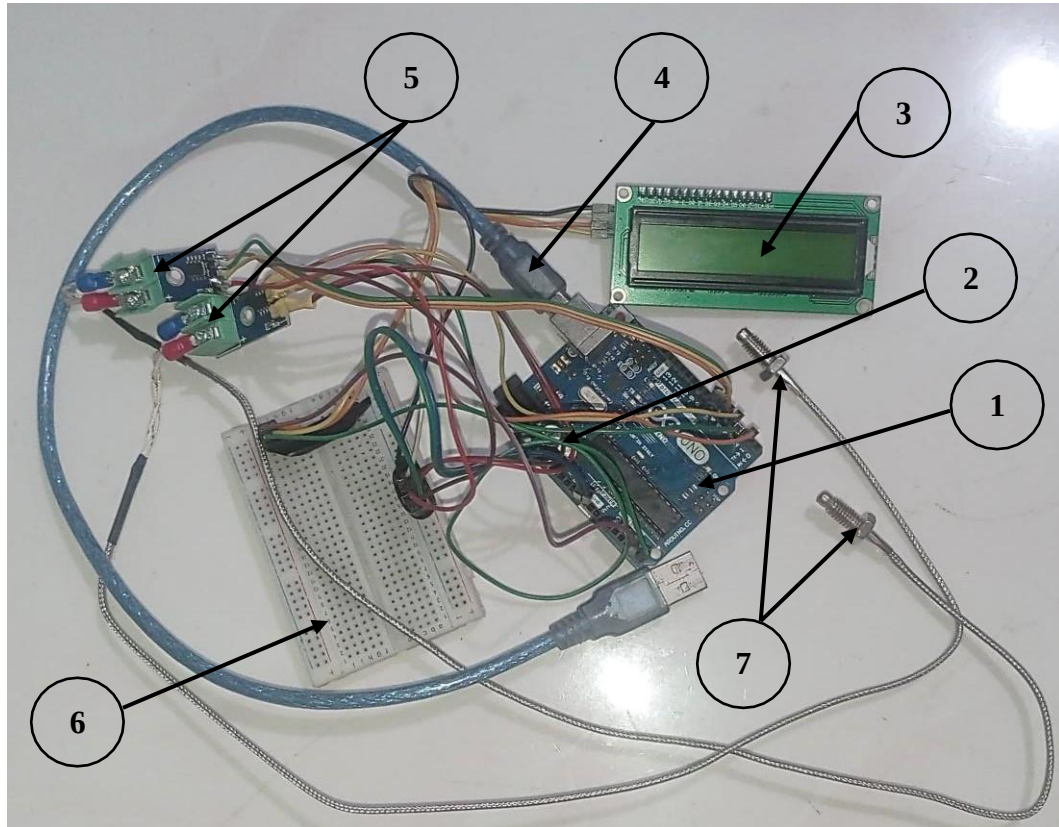
Gambar 3.9 Alat Pirolisis Sampah Plastik Kapasitas 3 Kg

Keterangan Gambar :

- | | | | |
|---|-----------------------|----|------------------------|
| 1 | Tabung Reaktor 1 | 9 | Kondensor 2 |
| 2 | <i>Pressure Gauge</i> | 10 | <i>Gasoline Tank</i> |
| 3 | Tutup Tabung Reaktor | 11 | <i>Gas Metane Tank</i> |
| 4 | Kondensor 1 | 12 | Kran Air |
| 5 | Tabung Reaktor 2 | 13 | <i>Cover Frame</i> |
| 6 | Bimetal Thermometer | 14 | <i>Frame</i> |
| 7 | <i>Pipe (Pipa)</i> | 15 | <i>Selang</i> |
| 8 | Diesel Tank | | |

b. Skema Rancangan Instrumen Sensor

Rancangan instrumen ini menggunakan 4 sensor *thermocouple* sebagai alat untuk mengukur temperatur dalam tabung reaktor dan kondensor secara *real time*.

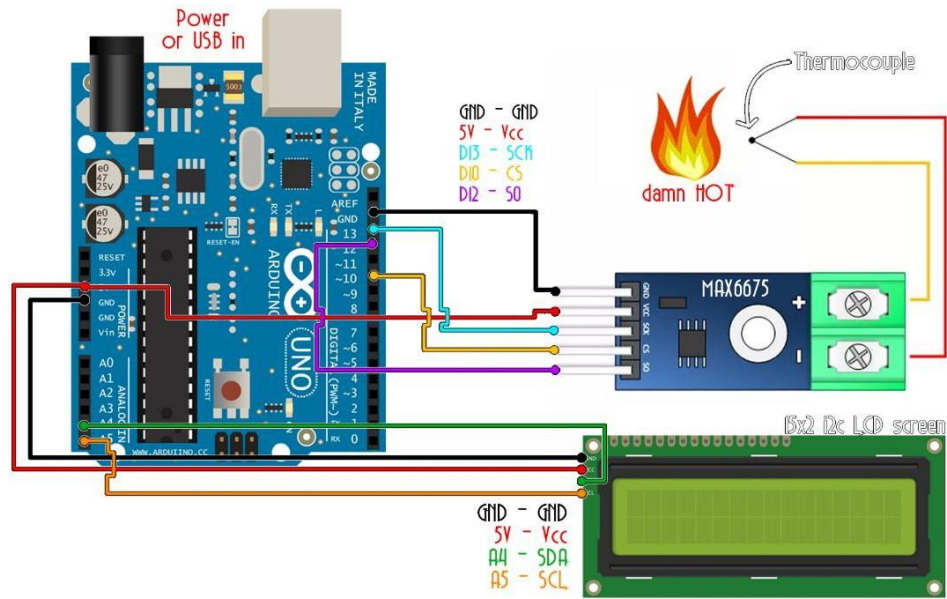


Gambar 3.10 Skema Rangkaian Instrumen Sensor

Keterangan Gambar :

1. Arduino
2. Kabel Jumper
3. Lcd 16x2
4. Kabel *Connect To* PC
5. MAX 6675
6. BreadBoard
7. *Thermocouple* Type K

c. Schematic Rangkaian Thermocouple Arduino



Gambar 3.11 Schematic Rangkaian

3.5. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memasukkan bahan plastik jenis PP (*Polypropylene*) dan PET (*Polyethylene Terephthalate*) kedalam reaktor.
2. Menyalakan pembakaran menggunakan burner dan mengatur bukaan katup untuk mengatur besarnya pembakaran.
3. Menyalakan pompa yang akan mengalirkan air kedalam kondensor sebagai pendingin hasil pembakaran limbah plastik didalam reaktor.
4. Menggunakan Arduino uno sebagai mikrokontroler yang akan mengatur sensor *thermocouple* dalam membaca temperatur, perangkat ini dipilih karena memiliki sistem yang terbuka (*open-source*) yang memungkinkan pengguna untuk membuat proyek interaktif.
5. Mengukur temperatur pembakaran didalam reaktor menggunakan *thermocouple* tipe K. Sensor ini bekerja berdasarkan efek termoelektrik, yaitu perbedaan tegangan yang dihasilkan ketika dua jenis logam berbeda disatukan dan mengalami perbedaan suhu.
6. Mengontrol dan mengamati temperatur didalam tabung reaktor secara berkala hingga temperatur dalam tabung mencapai 330°C. Pengontrolan data temperatur menggunakan *software* PLX-DAQ yang terkoneksi dengan arduino selaku perangkat yang memberikan sinyal hasil pengukuran kepada *software* tersebut.
7. Mengolah data yang diperoleh dari *software* PLX-DAQ dari hasil pengukuran *thermocouple*. Data yang diperoleh dari pengukuran arduino secara otomatis berupa file ms.excel yang nantinya akan di olah menjadi grafik.
8. Membuat grafik hasil pengamatan dan pengujian temperatur dalam tabung reaktor.
9. Selesai.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan diuraikan dan dijelaskan hasil analisa serta hasil pengujian dari penelitian tugas akhir yang telah dilaksanakan. Tujuan pengujian adalah untuk mengetahui kebenaran dari rangkaian dan mengetahui kondisi tiap komponen yang akan digunakan. Pengujian ini sangat vital, karena bila ada salah satu komponen yang tak bekerja dengan baik sesuai dengan fungsi dan tugasnya, dapat diketahui lebih awal sehingga lebih memudahkan dalam menganalisa masalah.

Hasil pengujian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai rujukan dalam menganalisa rangkaian agar dapat mengetahui lebih pasti seandainya ditemukan adanya kesalahan dan kelemahan pada tiap-tiap komponen. Pengujian dilakukan meliputi *hardware* dan *software*. Diharapkan dari pengujian ini didapatkan sebuah sistem yang dapat menjalankan rancangan alat yang berjalan dengan baik dan optimal.

4.1. Hasil Uji

4.1.1. Hasil Uji Mikrokontroller Arduino Uno

Pengujian sistem Arduino Uno R3 dilakukan dengan memprogram blink lampu LED yang terintegrasi pada board Arduino Uno R3 yang terhubung dengan pin 13 (digital pin). Pengujian sistem Arduino Uno R3 bertujuan untuk memastikan bahwa mikrokontroller yang digunakan dalam penelitian ini tidak dalam kondisi rusak. Sehingga program yang akan di upload pada mikrokontroller dapat bekerja seperti yang diharapkan.

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan Arduino Uno R3 ke laptop menggunakan komunikasi serial dengan menggunakan kabel USB board. Kemudian buka aplikasi Arduino IDE dan buka sketch yang telah dibuat dan akan di upload ke *board* Arduino, dilanjutkan dengan mengupload *sketch*. Adapun bentuk program yang digunakan untuk menguji sistem Arduino Uno R3 dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Sketch Uji Arduino Uno R3



Gambar 4.2 Hasil Uji Arduino Uno R3

Pada gambar diatas dapat dianalisa bahwa pada bagian void setup() berfungsi untuk pengaturan awal program. Variabel awal diatur sebagai keluaran dengan perintah pinMode (LED_BUILTIN, OUTPUT). Pada bagian program void loop() berfungsi untuk melakukan pengulangan program yang ada di dalamnya. Dengan memberikan perintah digitalWrite (LED_BUILTIN, HIGH) maka LED yang tersedia pada Arduino Mega 2560 Rev 3 akan menyala. Program delay (1000) setelah digitalWrite (LED_BUILTIN, HIGH) memberikan waktu pada LED yang tersedia pada Arduino Mega 2560 Rev 3 untuk menyala selama 1000 ms dan dilanjutkan program selanjutnya. Program berikutnya digitalWrite (LED_BUILTIN, LOW) maka LED yang tersedia pada Arduino Mega 2560 Rev 3 akan mati. Program delay (1000) setelah digitalWrite (LED_BUILTIN, LOW)

memberikan waktu pada LED yang tersedia pada Arduino Mega 2560 Rev 3 untuk mati selama 1000 ms dan akan diulang dari awal program void loop().

4.1.2. Hasil Uji sensor suhu MAX 6675 *Thermocouple* type K

Pengujian sensor suhu Max6675 K-Type Termokopel TP-01 dilakukan dengan menempatkan sensor yang akan digunakan dan sensor pembanding pada satu tempat yang sama dan berdekatan. Pengujian sensor suhu Max6675 K-Type Termokopel TP-01 bertujuan untuk mengetahui kepresisian sensor yang akan digunakan.

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan kedua sensor suhu Max6675 K-Type Termokopel TP-01 ke Arduino Mega 2560 Rev 3. Kemudian hubungkan Arduino Mega 2560 Rev 3 ke laptop menggunakan komunikasi serial dengan menggunakan kabel USB board. Kemudian buka aplikasi Arduino IDE dan buka sketch yang akan di upload dilanjutkan dengan meng upload sketch. Taruh sensor yang akan digunakan dan sensor pembanding didalam sebuah tempat dengan harapan agar tidak adanya intervensi dari luar.

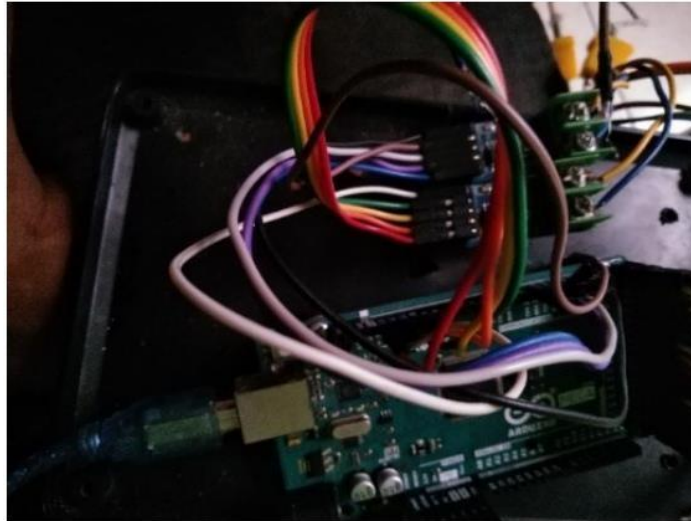
Adapun bentuk program yang digunakan untuk menguji sensor suhu Max6675 K-Type Termokopel TP-01 dapat dilihat pada gambar 4.3.



```
#include <UFTF.h>
#include <max6675.h>
extern uint8_t BigFont[];
extern uint8_t SmallFont[];
extern uint8_t ComicSansMS_96[];
UFTF myGLCD (ITDB32WC,38,39,40,41);
int thermoCS1 = 8;
int thermoCLE1 = 9;
int thermoSO1 = 10;
int thermoCS2 = 14;
int thermoCLE2 = 15;
int thermoSO2 = 16;
float T;
float T0;
int vccpin = 11;
int vccpin2 = 17;
int gndpin1 = 18;
int gndpin2 = 12;
int vccpin2 = 20;
int gndpin2 = 21;
MAX6675 thermocouple1(thermoCLE1, thermoCS1, thermoSO1);
MAX6675 thermocouple2(thermoCLE2, thermoCS2, thermoSO2);

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  pinMode(vccpin, OUTPUT); digitalWrite(vccpin, HIGH);
  pinMode(vccpin2, OUTPUT); digitalWrite(vccpin2, HIGH);
  pinMode(gndpin1, OUTPUT); digitalWrite(gndpin1, LOW);
  pinMode(gndpin2, OUTPUT); digitalWrite(gndpin2, LOW);
}
```

Gambar 4.3 Sketch Uji Sensor Suhu Termokopel Type K

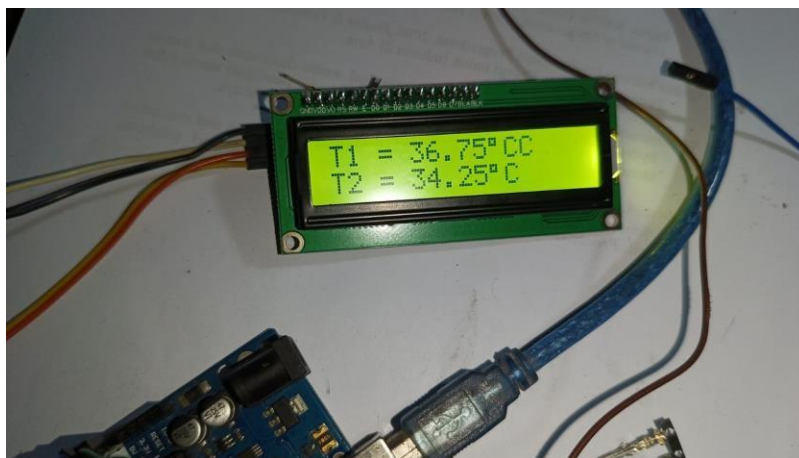


Gambar 4.4 Rangkaian Uji Sensor Suhu Termokopel Type K

4.1.3. Hasil Uji Modul LCD

Pengujian Lcd 16x2 Shield dilakukan dengan memasukkan program yang dibuat ke mikrokontroller. Pengujian modul LCD bertujuan untuk mengetahui apakah modul LCD dapat tekoneksi dengan Arduino Uno R3 dan dapat beroperasi dengan baik sesuai dengan tampilan yang dibuat dalam program dan dapat digunakan.

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan Lcd 16x2 Shield Arduino Uno R3 yang telah terpasang dengan Arduino Uno R3 ke laptop menggunakan komunikasi serial dengan menggunakan kabel USB board. Kemudian buka aplikasi Arduino IDE dan buka sketch yang akan di upload dilanjutkan dengan meng upload sketch seperti yang terlihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 rangkaian uji modul LCD 16x2

4.2. Pembahasan

4.2.1. Kinerja *Thermocouple Type K*

Thermocouple type K yang digunakan di dalam tabung reaktor dan kondensor merupakan salah satu jenis sensor suhu yang mampu mendeteksi suhu ruangan 50°C s/d 800°C , *thermocouple type K* ini memiliki respon yang cepat terhadap perubahan suhu ruang pembakaran tabung reaktor pirolisis sampah plastik.

4.2.2. Menganalisa *Thermocouple Type K*

Thermocouple type k ini bekerja dengan cukup sederhana, *thermocouple type k* ini terdiri dari dua kawat konduktor yang terbuat dari dua logam berbeda jenis yang akan digabungkan di ujungnya. Logam konduktor atau *nickel choromium thermocouple type k* berfungsi sebagai pendeteksi suhu panas.

4.2.3. Proses Pengambilan Data

1. Pengambilan data temperatur dalam tabung reaktor dan kondensor dilakukan dengan tahapan menghubungkan Arduino ke laptop atau Pc seperti yang terlihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 menghubungkan Arduino ke laptop / PC

2. Menghubungkan sensor *thermocouple* ke modul arduino seperti yang terlihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 menghubungkan sensor *thermocouple*

3. Mengamati perubahan temperatur yang terjadi didalam tabung reaktor dan kondensor pada software data akuisisi PLX-Daq seperti yang terlihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 mengamati perubahan temperatur

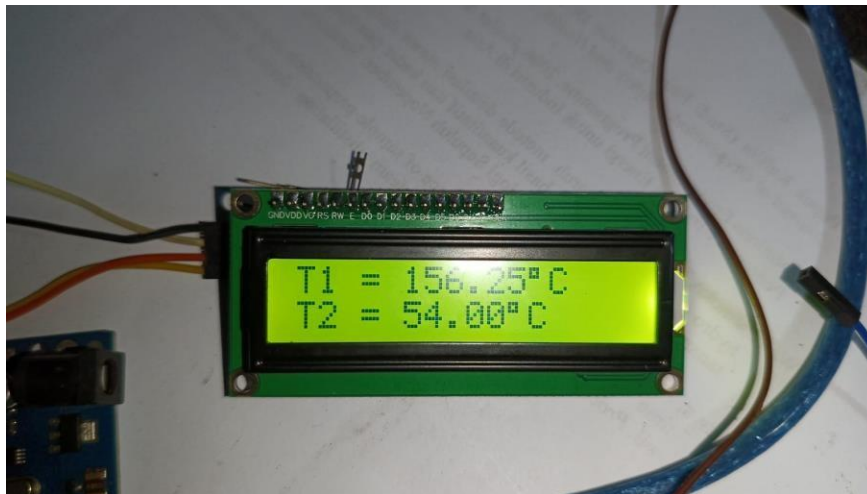
4. Menyimpan semua data hasil pengamatan dan menuangkan hasil tersebut dalam bentuk grafik.

4.2.4. Pengukuran Temperatur Pirolisis

a. Pada tabung reaktor 1

Pada percobaan 1 dan 2 dilakukan proses pirolisis dalam tabung reaktor 1 dengan temperatur 300°C lalu menahan temperatur tersebut selama 60 menit dengan batas maximal temperatur 330°C. Temperatur

tersebut sudah melewati titik lebur plastik jenis PP (*Polypropylene*) yaitu 168°C sesuai dengan tabel 2.2. Plastik yang sudah melebur akan dapat menguap dikarenakan temperatur nya sudah melewati titik lebur plastik tersebut, uap yang dihasilkan plastik tersebut akan terkondensasi menjadi fase cair dengan adanya kondensor 1, lalu akan langsung menuju ke dalam tabung reaktor 2. Pada gambar 4.9 terlihat bahwa temperatur pada tabung reaktor 1 telah berhasil mencapai temperatur 150°C sedangkan pada tabung kondensor temperatur yang terdeteksi pada temperatur 54°C.



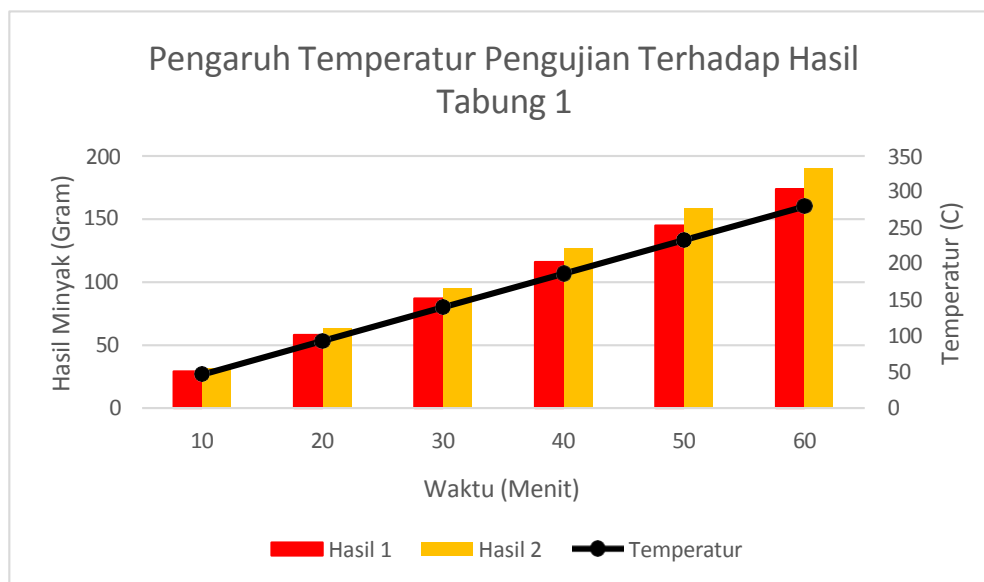
Gambar 4.9 temperatur tabung reaktor mencapai 150°C

Tabel 4.1 Temperatur Pirolisis Plastik Pada Tabung Reaktor 1

Percobaan	Plastik (gr)	Temperatur Reaktor 1 (°C)	Masa Tahan Temperatur (Menit)	Plastik Terolah (g)	Sisa Plastik Terolah (g)
1	3000	38 - 330	60	304	2696
2	3000	38 - 330	60	332	2668

Berdasarkan tabel 4.1, percobaan yang dilakukan pada tabung reaktor 1 menggunakan plastik jenis PP (*Polyethylene*) dan PET (*Polyethylene Terephthalate*). Pada masing-masing percobaan 1 dan 2 plastik yang dimasukkan ke dalam reaktor 1 sebanyak 3000 gram. Pada percobaan 1, plastik PP (*Polyethylene*) mendapatkan hasil plastik yang terolah sebanyak 304 gram dan pada percobaan 2, plastik jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) mendapatkan hasil plastik yang teolah sebanyak 332 gram. Selisih hasil pengujian 1 dan 2 yang dilakukan terhadap plastik jenis PP (*Polyethylene*) dan PET (*Polyethylene Terephthalate*) dikarenakan adanya

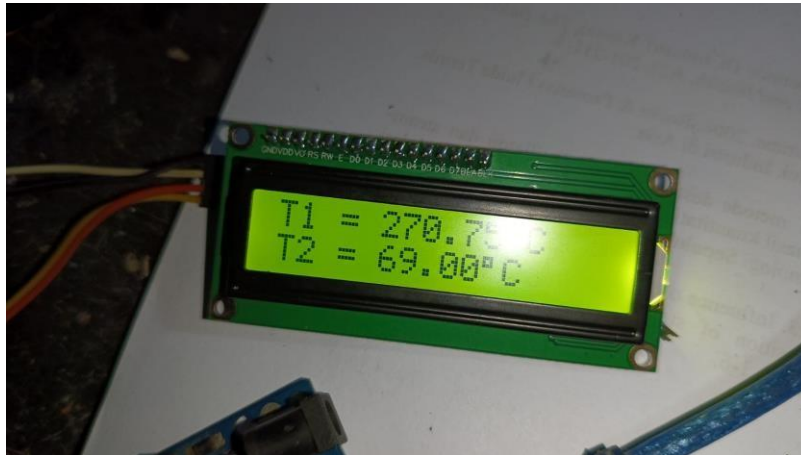
perbedaan massa jens dari kedua jenis plastik tersebut. Adapun pengukuran yang dilakukan menggunakan instrumen sensor suhu menggunakan Arduino dan *thermocouple* type K dengan rentang pengukuran waktu dilakukan secara real time dengan pengolahan data waktu setiap 10 menit dituangkan dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 grafik pengukuran temperatur pada tabung 1

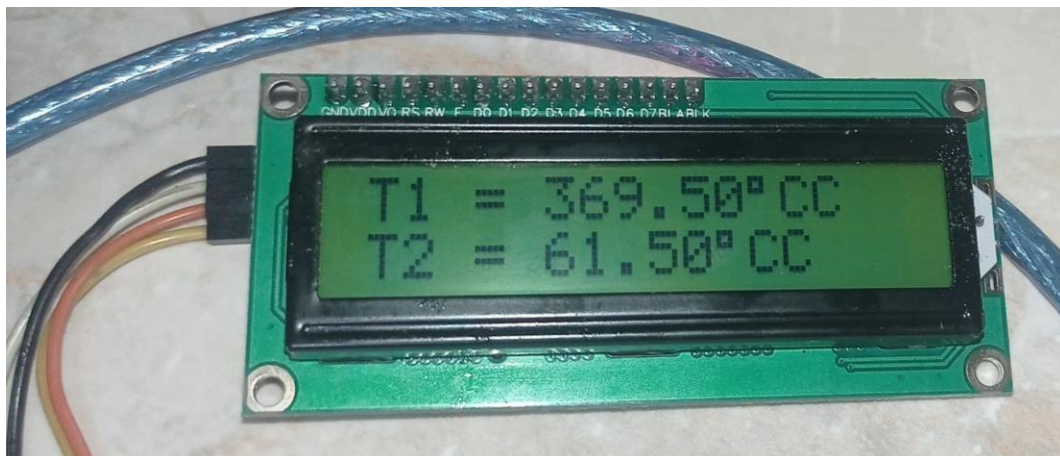
b. Pada tabung reaktor 2

Setelah plastik dilakukan pirolisis menggunakan tabung reaktor 1, proses akan langsung dilanjutkan menggunakan tabung reaktor 2 setelah kompor di pindahkan ke sisi bawah tabung reaktor 2. Proses di reaktor 2 ini akan menggunakan dua variasi temperatur yang berbeda, variasi temperatur ini mengacu pada temperatur titik didih minyak. Temperatur yang digunakan pada percobaan 1 yaitu 260°C pada tabung kondensor terlihat temperatur yang di dapatkan sebesar 70°C, dimana temperatur tersebut mengacu pada rentang titik didih minyak tanah seperti yang terlihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 temperatur tabung reaktor 260°C

Sedangkan pada percobaan 2 temperatur yang digunakan yaitu 300°C yang juga mengacu pada rentang titik didih minyak solar. Sensor temperatur menunjukkan bahwa tabung reaktor 2 telah mencapai temperatur 300°C tabung reaktor 2 pada percobaan 2 seperti yang terlihat pada gambar 4.12.



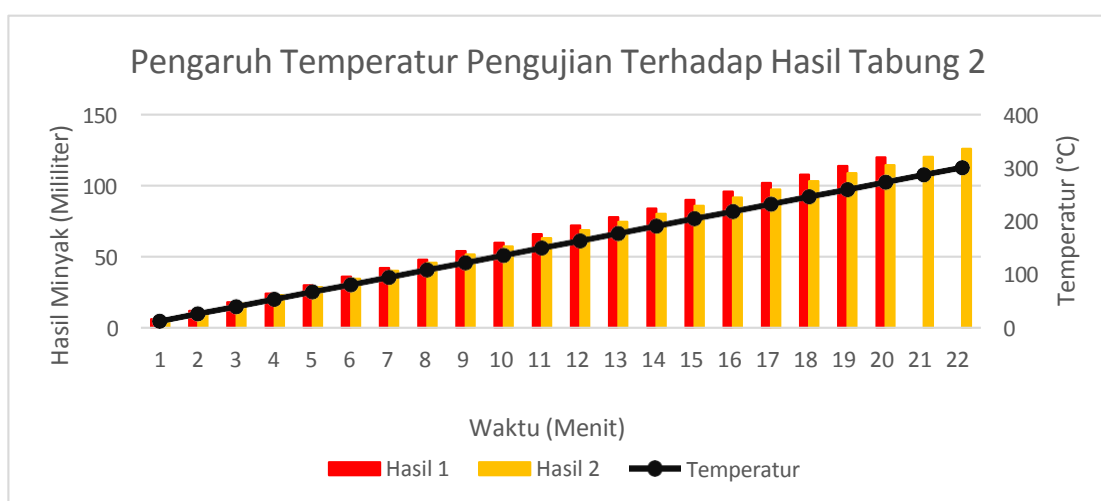
Gambar 4.12 temperatur tabung reaktor 300°C

Tabel 4.2 Variasi Temperatur Terhadap Bahan Bakar Yang Dihasilkan

Percobaan	Temperatur (°C)	Jumlah Minyak (ml)	Waktu Perolehan Minyak (menit)	Densitas (kg / m ³)
1	260	114	19	792
2	300	126	22	869

Berdasarkan tabel 4.2, telah dilakukan 2 kali percobaan pada tabung reaktor 2. Percobaan 1 menggunakan temperatur 260°C yang mengacu pada rentang temperatur minyak tanah menghasilkan minyak sebanyak 114 ml dengan perolehan

waktu sampai minyak berhenti mengalir tercatat 19 menit, dan mendapatkan nilai densitas sebesar 792 kg/m³. Sedangkan pada percobaan 2 menggunakan temperatur 300°C yang mengacu pada rentang temperatur minyak solar menghasilkan minyak sebanyak 126 ml dengan perolehan waktu sampai minyak berhenti mengalir tercatat 22 menit, dan mendapatkan nilai densitas sebesar 869 kg/m³. Waktu perolehan minyak tersebut mulai dihitung saat api dinyalakan pada tabung reaktor 2. Hasil dari pengujian kondensat pada tabung reaktor 2 dilakukan pengukuran menggunakan instrumen sensor suhu menggunakan Arduino dan *thermocouple* type K dituangkan dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada gambar 4.13.



Gambar 4.13 grafik pengukuran temperatur pada tabung 2

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembuatan instrumen sensor alat penyuling limbah plastik PET (*polyethylene terephthalate*) dan PP (*polypropylene*) menjadi bahan bakar minyak) berkapasitas 3 kg dapat di ambil kesimpulan bahwa :

1. Kinerja *thermocouple type K*

Pembuatan instrumen ini bertujuan untuk mengukur temperatur di dalam reaktor maupun kondensor secara *real time*. *Thermocouple type K* yang digunakan di dalam alat penyuling limbah plastik adalah salah satu jenis sensor suhu yang mampu mendeteksi suhu ruangan 50°C s/d 600°C, *Thermocouple Type K* ini memiliki respon yang cepat terhadap perubahan suhu tabung reaktor alat penyuling limbah plastik.

2. Pengukuran temperatur dalam tabung reaktor dan kondensor menggunakan *thermocouple* dan arduino dinyatakan berhasil dengan pengukuran temperatur yang dilakukan mencapai suhu 400°C.

3. Percobaan pada tabung reaktor 1

Percobaan 1 dan 2 pada tabung reaktor 1 penggunaan limbah plastik sebanyak 3000 gram. Temperatur yang digunakan ada percobaan 1 dan 2 sebesar 160°C selama 60 menit. Pada percobaan 1 didapatkan hasil minyak mentah (*crude oil*) yang terolah 304 gram dan pada percobaan 2 diperoleh minyak mentah (*crude oil*) 332 gram.

Berdasarkan percobaan 1 dan 2 yang telah dilakukan, maka hasil yang didapatkan berupa sisa plastik yang terolah, plastik yang terolah dan jumlah minyak. Adapun nilai densitas yang diketahui pada tabel 8, nilai densitas tersebut diperoleh dari pengujian minyak yang dihasilkan pada penelitian ini. Pada percobaan 1 menggunakan temperatur 260°C memperoleh nilai densitas sebanyak 792 kg / m³ . Nilai densitas ini menunjukkan bahwa nilai tersebut mendekati densitas minyak tanah (*kerosene*).

Pada percobaan 2 menggunakan temperatur 300°C memperoleh nilai densitas sebanyak 869 kg/m³, nilai densitas ini juga menunjukkan bahwa nilai tersebut menyerupai densitas minyak solar (*diesel*).

5.2. Saran

Berdasarkan hasil perancangan yang dilakukan didapatkan beberapa saran sebagai berikut :

1. Kapasitas alat ditingkatkan untuk menunjang produksi pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar cair.
2. Jenis plastik yang digunakan sebagai bahan baku sebaiknya dibuat bervariasi untuk mendapatkan kandungan bahan bakar cair yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Asmudi, 2010. Analisa Unjuk Kerja Boiler Terhadap Penurunan Daya Pada Pltu Pt. Indonesia Power Ubp Perak. Jurnal Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan, ITS Surabaya.
- Bora, M. K., & Nakkeeran, S. 2014. Performance analysis from the efficiency estimation of coal fired boiler. *International Journal of Advanced Research*, 2(5), 561-574.
- Bruijn & L. Mulwijk. 1982. Ketel Uap. Jakarta : Bhratara Kara Aksara.
- Dalimunthe, D. 2006. Konservasi Energi di Kilang Gas Alam Cair/LNG Melalui Peningkatan Efisiensi Pembakaran pada Boiler. *Jurnal Teknologi Proses*, 5(2).
- Dinata, Yuwono Marta, 2015. “Arduino Itu Sangatlah Mudah. Panduan Lengkap Membuat Desain Elektro yang Inovatif”, Jakarta.
- Djokostyardjo, M. J. 1999. Ketel Uap. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Fachri, M. R., Sara, I. D., & Away, Y. 2015. Pemantauan parameter panel surya berbasis arduino secara real time. *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, 11(4), 123-128.
- Fitra Ardiansyah, T. 2018. Pengaruh Tekanan Ketel Uap (Boiler) Terhadap Rendemen Pada Penyulingan Minyak Pala. *ETD Unsyiah*.
- Fitriawan, D. 2010. Studi pengelolaan limbah padat dan limbah cair PT X-Pasuruan sebagai upaya penerapan proses produksi bersih. *Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Ghritlahre, H., & Singh, T. P. 2014. Effect of excess air on 30 TPH AFBC boiler on dry flue gas losses and its efficiency. *International Journal of Research in Advent Technology*, 2(6), 19-23.
- González-Arjona, D., Roldán González, E., López-Pérez, G., & Domínguez Pérez, M. M. 2013. An Improved Galvanostat for the Characterization of Commercial Electrochemical Cells. *J. Lab. Chem. Educ*, 1, 11-18.
- Guenther, E. 1987. Minyak Atsiri. Jilid 1, penerjemah Ketaren S. *Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta*.
- Gunawan, T., & Cordova, H. 2010. Desain AFRC (Air To Fuel Ratio Control) Berbasis Optimasi Kandungan O₂ Pada Gas Buang di PT. Pertamina Refinery Unit IV Cilacap Dengan Menggunakan Sistem Fuzzy. Jurnal Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh November

- Hasibuan, H. C., & Napitupulu, F. H. 2013. Analisa Pemakaian Bahan Bakar Dengan Melakukan Pengujian Nilai Kalor Terhadap Performasi Ketel Uap Tipe Pipa Air Dengan Kapasitas Uap 60 Ton/Jam. *Jam. e-Dinamis*, 4(4).
- Hendri, Suhengki, dan P. Ramadhan. 2017. Analisa Efisiensi Dengan Metode Heat Loss Sebelum dan Sesudah Overhaul PT. Indonesia Powe UBP PLTU Lontar Unit 3. Dalam *Jurnal Power Plant*, Vol. 4, No.4. Hal. 218 – 277
- Hidayat, A. J., Marzuki, I., & Wicaksono, I. 2022. Rancang bangun pengendali temperature berbasis Arduino Uno pada ketel uap di pabrik gula Wonolangan. *Journal of Industrial System Engineering*, 1(1), 17-22.
- Hidayat, A. R., & Basyirun, B. 2020. Pengaruh jenis oli bekas sebagai bahan bakar kompor pengecoran logam terhadap waktu konsumsi dan suhu maksimal pada pembakaran. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 5(2), 103-108.
- Holman, J. P. 2008. *Heat Transfer (Si Units) Sie*. Tata McGraw-Hill Education.
- Huda, I. M. 2014. *Pengaruh daya microwave-assisted Hydrodistillation terhadap kebutuhan energi Ekstraksi dan rendemen minyak nilam* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Indriyani, I. 2017. Analisis Efisiensi Alat Penyulingan Minyak Nilam (Patchouly Oil) Dengan Proses Kapasitas Kering 30 Kg Per Jam. *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, 2(2), 155-170.
- Isfaroiny, R. 2005. Peningkatan kadar patchouli alcohol pada minyak nilam (Pogostemon cablin Benth) dengan metode distilasi fraksinasi vakum. *Berkala Penelitian Hayati*, 10(2), 123-127.
- Intregated, M. 2011. Cold-junction compensated thermocouple-to-digital converter. *MAX31855 Data sheet*.
- Ketaren, S. 1986. Pengantar teknologi minyak dan lemak pangan.
- Krismawati, A. 2005. Nilam dan Potensi pengembangannya Kalteng jadikan komoditas rintisan. *Tabloid Sinar Tani. Kalimantan*.
- Landi, T., & Arijanto, A. 2017. Perancangan Dan Uji Alat Pengolah Sampah Plastik Jenis Ldpe (Low Density Polyethylene) Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(1), 1-8.
- Lutony, T. L., & Rahmayati, Y. 1994. Produksi dan perdagangan minyak atsiri. *Penebar Swadaya, Jakarta*, 148.
- Malek, M. 2004. *Power Boiler Design, Inspection, and Repair: Per ASME Boiler and Pressure: Per ASME Boiler and Pressure*. McGraw-Hill Prof Med/Tech.

- Maulana, A. S., Turmizi, T., & Hamdani, H. 2018. Rancang Bangun Alat Distilasi Untuk Penyulingan Minyak Nilam. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 2(2), 73-75.
- Mopozova, B. Arduino Integrated Development Environment.
- Mukhtar, T. 2020. Analisis Kualitas Dan Biaya Distilasi Minyak Nilam Dari Ketel Drum Bekas Dan Dari Ketel Stainless Steel Di Kabupaten Aceh Selatan. *ETD Unsyiah*.
- Muzaki, I., & Mursadin, A. 2019. Analisis Efisiensi Boiler Dengan Metode Input–Output Di Pt. Japfa Comfeed Indonesia Tbk. Unit Banjarmasin. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 4(1), 37-46.
- Noviyanto, I. D. 2014. Thermal efficiency improvement through fuel gas rate and excess oxygen control.
- Nugroho, I. 2023. *Rancang Bangun Ketel Penyulingan Untuk Memproduksi Minyak Atsiri* (Doctoral dissertation, Universitas Diponegoro).
- Nurhasanah, R., & Firdaus, O. 2016. Perbandingan Efisiensi Boiler Awal Operasi Dan Setelah Overhaul Terakhir Di Unit 5 Pltu Suralaya. *JURNAL POWERPLANT*, 4(1), 44-48.
- Nurmalita. 2012. Analisa Efisiensi Energi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Energi Alamraya Semesta Di Kabupaten Nagan Raya Nangroe Aceh Darussalam. Skripsi.
- Oland, C. B. 2002. *Guide to low-emission boiler and combustion equipment selection*. Oak Ridge, TN, USA: The Laboratory.
- Prasojo, A. B., Hakim, L., & Rijanto, A. 2020. Analisis Efisiensi Boiler Hamada dengan Direct dan Indirect Method di PT Dayasa Aria Prima. *Majamecha*, 2(2), 103-112.
- Pravitasaria, Y., Malino, M. B. A., & Maraa, M. N. 2017. Analisis efisiensi boiler menggunakan metode langsung. *Prisma fisika*, 5(1).
- Pribadi, D. 2022. Pengaruh Pertukaran Suhu Kondensor Pada Alat Penyulingan Minyak Atsiri Kapasitas 5 Kilogram. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]*, 2(1).
- Sastrohamidjojo, H. 2021. *Kimia minyak atsiri*. UGM Press. Yogyakarta.
- Sidik, F., Armila, A., & Arief, R. K. 2022. Rancang Bangun Tungku Reheating Portable Untuk Proses Forging Pada Laboratorium Teknologi Material. *TeknoSains: Jurnal Sains, Teknologi dan Informatika*, 9(1).

- Sufiyanto, S. 2011. Penyulingan Minyak Nilam dengan Ketel Sistem Ganda yang Memanfaatkan Sisa Panas Gas Buang Pembakaran. *Proton: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Mesin*, 3(1), 523508.
- Sugiharto, A. 2016. Tinjauan Teknis Pengoperasian Dan Pemeliharaan Boiler. *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 6(2).
- Sugiharto, A. 2020. Perhitungan Efisiensi Boiler Dengan Metode Secara Langsung pada Boiler Pipa Api. *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 10(2), 51-57.
- Suhirman, S. 2009. Aplikasi Teknologi Pemurnian Untuk Meningkatkan Mutu Minyak Nilam. *Perkembangan Teknologi TRO*, 21(1), 15-21.
- Sutikno, D., Soenoko, R., Pratikto, P., Putra, F., & Cahyo, P. M. N. 2011. Study On Pressure Distribution In The Blade Passage Of The Francis Turbine. *Rekayasa Mesin*, 2(2), 154-158.
- Sulaiman, A. 2012. Mikrokontroller bagi Pemula hingga Mahir. *ARDUINO. Balai Elektronika*.
- Syahputra, M. R., & Sulaksmono, M. 2014. Kelengkapan Pemenuhan Syarat Operator Ketel Uap Dengan Upaya Pengoperasian Dan Pemeliharaan Di Pt Pupuk Kaltim (Studi Pada Operator Di Industri Kimia). *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 3(2), 201-211.
- United Nations Environment Programme. 2006. Boiler & Pemanas Fluida Termis. Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia.
- Wandiatmoko, T. 2009. Pengaruh metode destilasi steam distillation dan steam-hydro distillation terhadap hasil kuantitatif dan kadar panchouli alcohol dari tanaman nilam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Yahya, A., & Yunus, R. M. 2013. Influence of sample preparation and extraction time on chemical composition of steam distillation derived patchouli oil. *Procedia Engineering*, 53, 1-6.

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK Mesin
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2024 – 2025**

Peserta seminar

Nama : Armansyah Nasution

NPM : 1907230169

Judul Tugas Akhir : Pembuatan Instrument Sensor Temperatur Alat Penyuling Limbah Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) Dan PP (Polypropylene) Menjadi Bensin

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing – I	: H.Muharnif ST.M.Sc	:	.....
Pembanding – I	: Assoc.Prof. Ir. Arfis Amiruddin, M.Si	:	.....
Pembanding – II	: Arya Rudi Nst ST.MT	:	.....
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1807230045	MASUKMA BUDI WARTO	.....
2	2007230123	Rahmad Iqbal Saputra	.....
3	2007230031	YENNY SUHADA	.....
4	1907230151	Dwi Rutila Atmaja	.....
5	1807230088	Arif Priadi	.....
6	1807230076	REZA AL-QOORI	.....
7	1907230169	ARMANSYAH NASUTION	.....
8	2107230169 P	ALFIRA FARADHILA	.....
9			
10			

Medan 18 Dzulhijjah 1446 H
14 Juni 2025 M

Ketua Prodi. T. Mesin

.....

Chandra A Siregar ST.MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Armansyah Nasution
NPM : 1907230169
Judul Tugas Akhir : Pembuatan Instrument Sensor Temperatur Alat Penyuling Limbah Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) Dan PP (Polypropylene) Menjadi Bensin

Dosen Pembimbing – I : Assoc.Prof. Ir. Arfis Amiruddin, M.Si
Dosen Pembimbing – II : Arya Rudi Nst ST.MT
Dosen Pembimbing – I : H.Muharnif ST.M.Sc

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
Sinkronisasi hasil penelitian dgn Kain
Hasil M / 8 km
Pembuatan Gambar
3. Harus mengikuti seminar kembali

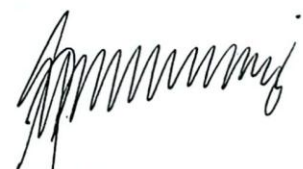
Perbaikan :

Medan 18 Dzulhijjah 1446 H
14 Juni 2025 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembimbing- 1


Chandra A Siregar ST.MT


Assoc.Prof. Ir. Arfis Amiruddin, M.Si

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Armansyah Nasution
NPM : 1907230169
Judul Tugas Akhir : Pembuatan Instrument Sensor Temperatur Alat Penyuling Limbah Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) Dan PP (Polypropylene) Menjadi Bensin

Dosen Pembimbing – I : Assoc.Prof. Ir. Arfis Amiruddin, M.Si
Dosen Pembimbing – II : Arya Rudi Nst ST.MT
Dosen Pembimbing – I : H.Muharnif ST.M.Sc

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
 - Hasil dari BAB 4 dilakukan di Berikan keterangan
 - Narasi pada Gambarnya
 - Ada Hasil yang masih belum bisa di terima dengan baik.
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....
.....

Medan 18 Dzulhijjah 1446 H
14 Juni 2025 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembimbing- II



Chandra A Siregar, ST, MT



Arya Rudi Nst ST.MT

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Pembuatan Instrument Sensor Temperatur Alat Penyuling Limbah Plastik
PET (Polyethylene Terephthalate) Dan PP (Polypropylene) Menjadi Bensin

Nama : Armansyah Nasution
NPM : 1907230169

Dosen Pembimbing : H. Muharnif M, S.T., M.Sc

No.	Hari / Tanggal	Kegiatan	Paraf
		Revisi judul Skripsi	f
		penambahan reaktor arduino uno	f
		skema Rangkaian instrumen sensor	f
		rancangan alat penelitian.	f
		Rangkaian uji LCD 16x2	f
		gambar temperatur tabung reaktor	f
		Att semesta Hasil	f

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : Armansyah Nasution
NPM : 1907230169
Tempat/Tanggal Lahir : Bandung / 29 April 2001
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Status Perkawinan : Belum Kawin
Alamat : Perdagangan
Kecamatan : Kuta I Nagori Bandar
Kabupaten : Simalungun
Provinsi : Sumatera Utara
Nomor Hp : 0852 1912 2196
E-mail : armanboy169@gmail.com
Nama Orang Tua
Ayah : Amril Nasution
Ibu : Mimin

PENDIDIKAN FORMAL

2007-2013 : SD Negeri 091619 Perdagangan
2013-2016 : MTS Negeri Bandar
2016-2019 : SMA Negeri I Bandar
2019-2025 : S1 Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara