

TUGAS AKHIR

PERANCANGAN KONDENSOR PADA MESIN PIROLISIS PENGUBAH LIMBAH PLASTIK PADAT PP MENJADI LIMBAH CAIR

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

Disusun Oleh:

PUJA DEVA ADITYA
2007230081



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Puja Deva Aditya
NPM : 2007230081
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Perancangan Kondensor Pada Mesin
Pirólisis Pengubah Limbah Plastik Padat
PP Menjadi Limbah Cair
Bidang ilmu : Konstruksi Manufaktur

Telah berhasil dipertabankan dihadapan 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, 10 September 2024

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



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

Dosen Penguji II



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

Dosen Penguji III



Arya Rudi Nasution, ST.,M.T.

Program Studi Teknik Mesin
Ketua



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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama lengkap : Puja Deva Aditya
NPM : 2007230081
Tempat / Tanggal lahir : Purbalingga, 17 Maret 2002
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul:

“PERANCANGAN KONDENSOR PADA MESIN PIROLISIS PENGUBAH LIMBAH PLASTIK PADAT PP MENJADI LIMBAH CAIR”

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 hakikatnya bukan merupakan karya tulis 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 / keserjanaan 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, 10 september 2024



Puja Deva Aditya

ABSTRAK

Peningkatan sampah plastik di Indonesia, Indonesia menjadi penyumbang kedua terbesar sampah plastik dunia, menimbulkan tantangan besar karena plastik seperti *Polypropylene* (PP) memerlukan waktu sekitar 30 tahun untuk terurai. Pembuangan sampah plastik dengan metode tradisional seperti *landfill* atau pembakaran tidak efektif dan menimbulkan polusi lingkungan. Untuk mengatasi ini, penelitian ini bertujuan merancang kondensor dalam mesin pirolisis yang mengubah sampah plastik padat menjadi limbah cair yang lebih bermanfaat dan ramah lingkungan. Menggunakan *SolidWorks* 2020, kondensor dengan sistem pendingin air sirkulasi dan alur spiral dikembangkan dan diuji untuk meningkatkan efisiensi konversi plastik menjadi cairan melalui proses pirolisis. Hasilnya diharapkan dapat menjadi alternatif penanganan sampah plastik dan meningkatkan nilai ekonomi limbah plastik dengan metode yang lebih sederhana dan efektif. Penelitian ini bertujuan merancang dan mensimulasikan kondensor untuk mesin pirolisis dengan kapasitas 1 kg, untuk meningkatkan efektivitas konversi limbah plastik padat menjadi limbah cair. Desain kondensor menggunakan *SolidWorks* 2020 melibatkan pembuatan tabung kondensor dan spiral internal, dengan fitur-fitur utama seperti *boss-extrude* dan *helix/spiral*. Selain melakukan perancangan, penelitian ini juga mensimulasikan *thermal* pada rancangan, simulasi *thermal* menunjukkan suhu maksimum 19,05°C di bagian atas kondensor dan suhu minimum 17,06°C di bagian bawah, menandakan distribusi suhu yang merata dan stabil. Perancangan penelitian ini juga melakukan *flow simulation* menunjukkan perubahan suhu fluida dari panas saat masuk menjadi dingin saat keluar, mengindikasikan efektivitas proses kondensasi. Efektivitas kondensor dihitung sebesar 85%, mengindikasikan kemampuan kondensor dalam mengubah uap panas menjadi cairan dengan efisiensi tinggi. Penelitian ini menunjukkan bahwa desain kondensor yang dikembangkan dapat meningkatkan kinerja mesin pirolisis secara signifikan.

Kata Kunci: Pirolisis, Kondensor, Desain *Solidworks*, Simulasi *Thermal*, Efektivitas Kondensor, *Flow Simulation*

ABSTRACT

The increase in plastic waste in Indonesia, the second-largest contributor of plastic waste globally, presents a significant challenge as plastics like Polypropylene (PP) can take up to 30 years to decompose. Disposal methods such as landfilling or incineration are ineffective and contribute to environmental pollution. To address this issue, this research aims to design a condenser in a pyrolysis machine that converts solid plastic waste into more useful and environmentally friendly liquid waste. Utilizing SolidWorks 2020, a condenser with a circulating water cooling system and spiral coil design is developed and tested to enhance the efficiency of converting plastic into liquid through the pyrolysis process. The results are expected to provide an alternative solution for plastic waste management and increase the economic value of plastic waste through a more straightforward and effective method. This study aims to design and simulate a condenser for a 1 kg capacity pyrolysis machine to enhance the efficiency of converting solid plastic waste into liquid waste. The condenser design, created using SolidWorks 2020, includes the fabrication of the condenser tube and internal spiral, utilizing key features such as boss-extrude and helix/spiral. In addition to the design process, this research also simulates the thermal aspects of the design, thermal simulation reveals a maximum temperature of 19.05°C at the top of the condenser and a minimum temperature of 17.06°C at the bottom, indicating a stable and uniform temperature distribution. This research design also involves conducting flow simulation demonstrates a significant temperature change of the fluid from hot upon entry to cold upon exit, indicating effective condensation. The condenser's effectiveness is calculated at 85%, reflecting its high efficiency in converting hot vapor into liquid. This research demonstrates that the developed condenser design can significantly improve the performance of the pyrolysis machine.

Keywords: *Pyrolysis, Condenser, SolidWorks Design, Thermal Simulation, Condenser Efficiency, Flow Simulation*

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 Tugas Akhir ini dengan judul “Perancangan Kondensator Pada Mesin Pirolisis Pengubah Limbah Plastik Padat PP Menjadi Limbah Cair”. Sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU).

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

1. Bapak Arya Rudi Nasution, S.T.,M.T. Dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan arahan dan bimbingan dalam proses penelitian hingga penyelesaian laporan tugas akhir.
2. Bapak Chandra A Siregar ,S.T,M.T. dan Bapak Ahmad Marabdi Siregar,S.T,M.T. Ketua dan Sekertaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan banyak nasehat dan bimbingan dalam penyelesaian proposal penelitian penulis.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar ,S.T., M.T., Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah mendukung seluruh aktifitas akademik mahasiswa/I di Fakultas Teknik.
4. Bapak/Ibu seluruh Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ke teknik mesin kepada penulis.
5. Orang tua penulis, Pujo Trianto dan Puji Astuti, yang selalu memberikan doa serta dukungan yang tiada henti kepada penulis demi kesuksesan serta keberhasilan penulis dalam perkuliahan.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah membantu penulis dalam proses administrasi selama proses perkuliahan.
7. Sahabat-sahabat penulis: Muhammad Diyo Bakti, Hardiansyah, Rahmad Iqbal, dan teman-teman kelas B1 Pagi lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Tugas Akhir Penelitian 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 Tugas Akhir Penelitian ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 10 September 2024

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Puja Deva Aditya', written over a horizontal line.

Puja Deva Aditya

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	4
1.3. Ruang lingkup	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Perancangan	6
2.1.1. Pengertian Perancangan	6
2.1.2. <i>Software Solidwork</i>	6
2.2. Pirolisis	10
2.2.1. Pengertian Pirolisis	10
2.2.2. Jenis-Jenis Pirolisis	11
2.3. Plastik	12
2.3.1. Pengertian Plastik	12
2.3.2. Jenis-Jenis Plastik	13
2.3.3. Sifat Termal Plastik	15
2.3.4. Pengolahan Sampah Plastik	16
2.4. Baja Stainless Steels	19
2.4.1. Pengertian Baja Stainless Steels	19
2.4.2. Kegunaan Baja Stainless Steels	19
2.4.3. Kelebihan Baja Stainless Steels	20
2.4.4. Kekurangan Baja Stainless Steels	20
2.4.5. Baja Stainless Steels tipe 316	20
2.5. Kondensor	21
2.5.1. Pengertian Kondensor	21
2.5.2. Pengaruh Media Pendingin Kondensor	23
2.5.3. Pipa Kondensor	24
2.5.4. Efektivitas Kondensor	24
BAB 3 METODE PENELITIAN	
3.1. Tempat dan Waktu	26
3.1.1. Tempat Penelitian	26
3.1.2. Waktu Penelitian	26
3.2. Bahan dan Alat	27

3.2.1. Bahan Penelitian	27
3.2.2. Alat Yang Digunakan	27
3.3. Bagan Alir Penelitian	33
3.4. Desain Alat Penelitian	34
3.5. Prosedur Perancangan	34
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Pembuatan Desain Kondensor	39
4.1.1 Desain Sistem Pendinginan Air	45
4.2 Pembahasan	47
4.2.1 Pembahasan Kinerja Thermal	47
4.2.2 Hasil Thermal Simulation	48
4.2.3 Hasil Flow Simulation	53
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	
Lampiran 1. Hasil Penelitian (jika ada)	
Lampiran 2. Gambar Teknik (jika ada)	
Lampiran 3. Lembar Asistensi	
Lampiran 4. SK Pembimbing	
Lampiran 5. Berita Acara Seminar Hasil Penelitian	
Lampiran 6. Daftar Riwayat Hidup	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sejarah solidworks (Rio Prasetyo, 2016)	7
Tabel 2.2 <i>Assembly</i> pada <i>solidworks</i> (Rio Prasetyo, 2016)	9
Tabel 2.3 Fitur <i>surfaces</i> (Rio Prasetyo, 2016)	9
Tabel 2.4 Jumlah produk dari reaksi pirolisis dan gasifikasi (Situmorang, 2022)	12
Tabel 2.5 Jenis-jenis plastik (J. Wahyudi et al., 2018)	15
Tabel 2.6 Data temperatur transisi dan temperatur lebur plastik (Lara, 2022)	16
Tabel 2.7 Komposisi kimia <i>stainless steel</i> 316 (H. Putra, 2019)	21
Tabel 3.1 Waktu kegiatan penelitian	26
Tabel 4.2 Parameter mesin pirolisis	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tampilan dari <i>solidworks</i>	7
Gambar 2.2 <i>stainless steel</i>	21
Gambar 2.3 Kondensor	22
Gambar 3.1. Kertas	27
Gambar 3.2 Es batu	27
Gambar 3.3 PC/computer	28
Gambar 3.4 Tampilan software solidwork	28
Gambar 3.5 <i>Mouse</i>	29
Gambar 3.6 <i>Thermometer</i> digital	29
Gambar 3.7 <i>Thermometer</i> digital	30
Gambar 3.8 Pompa Air	30
Gambar 3.9 Adaptor	31
Gambar 3.10 Selang Air	31
Gambar 3.11 Gelas Ukur	32
Gambar 3.12 Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 3.13 Desain kondensor dengan pipa spiral	34
Gambar 3.14 Tampilan awal PC/komputer	34
Gambar 3.15 Membuka <i>software solidwork</i>	35
Gambar 3.16 Proses masuk aplikasi <i>solidwork</i>	35
Gambar 3.17 Tampilan awal <i>solidwork</i>	35
Gambar 3.18 Membuat dokumen baru	36
Gambar 3.19 Pemilihan <i>part</i>	36
Gambar 3.20 Tampilan menu awal	36
Gambar 3.21 Pemilihan sudut pandang	37
Gambar 3.22 Memulai mendesain alat	37
Gambar 3.23 Perbandingan Alat	38
Gambar 4.1 Menentukan Sudut Pandang	39
Gambar 4.2 Membuat Sketch	40
Gambar 4.3 Menentukan Dimensi	40
Gambar 4.4 Boss-Extrude Sketch	41
Gambar 4.5 Membuat Sketch Untuk Selang Air	41
Gambar 4.6 Hasil Desain Kondensor	42
Gambar 4.7 Menentukan Sudut Pandang	42
Gambar 4.8 Membuat Sketch & Menentukan Dimensi	43
Gambar 4.9 Membuat Helix/Spiral	43
Gambar 4.10 Membuat Sketch & Menentukan Dimensi	44
Gambar 4.11 Membuat Spiral Menggunakan Fitur Sweep	44
Gambar 4.12 Hasil Desain Spiral	45
Gambar 4.13 Hasil Desain Spiral Didalam Kondensor	45
Gambar 4.14 Desain Sistem Pendinginan	46
Gambar 4.15 Hasil Tanpa Sirkulasi & Hasil Dengan Sirkulasi	47
Gambar 4.16 Model 3D Yang Akan Disimulasi	49
Gambar 4.17 Spesifikasi material	49
Gambar 4.18 Suhu pada objek	50
Gambar 4.19. Hasil simulasi <i>thermal</i> menggunakan material AISI 316 <i>stainless steel</i>	51
Gambar 4.20 Model 3D <i>flow simulation</i>	53

Gambar 4.21 <i>Create lids</i>	54
Gambar 4.22 <i>Wizard parameter</i>	54
Gambar 4.23 <i>Wizard fluids</i>	55
Gambar 4.24 <i>Boundary condition</i>	55
Gambar 4.25 <i>Global goals</i>	56
Gambar 4.26 <i>Cut plot</i>	56
Gambar 4.27 <i>Run project</i>	57
Gambar 4.28 <i>Hasil run project</i>	57
Gambar 4.29 <i>Hasil flow trajectories</i>	58
Gambar 4.30 <i>Hasil flow simulation (temperature)</i>	58

DAFTAR NOTASI

$$(\varepsilon) = \frac{T_{uap\ masuk} - T_{uap\ keluar}}{T_{uap\ masuk} - T_{c,masuk}} \quad (2.1)$$

$$V = \pi \times r^2 \times t \quad (2.2)$$

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan kuantitas sampah kota merupakan konsekuensi logis dari perkembangan penggunaan plastik untuk keperluan rumah tangga berdampak pada peningkatan timbunan sampah plastik. Indonesia menjadi nomor dua penyumbang sampah plastik dunia yang mengotori samudra. Setiap tahunnya Indonesia menyumbang sekitar 1.29 juta metrik ton. Dari itu dibawah Republik Rakyat Tiongkok yang menyumbangkan sekitar 3.53 juta metrik ton per tahunnya. Pada kenyataannya sampah botol plastik jenis *Polypropylene* (PP) baru akan terurai sekitar 30 tahun. Bisa dibayangkan berapa limbah plastik padat yang akan bertambah setiap tahunnya jika tidak dilakukan pencegahan dini. Penanganannya tidak bisa dilakukan dengan metode *landfill* atau *open dump*. Pemusnahan sampah plastik dengan cara pembakaran (*incineration*), kurang efektif dan beresiko sebab dengan pembakaran munculnya polutan dari emisi gas buang (CO_2 , CO , NO_x , dan SO_x) dan beberapa partikulat pencemar lainnya sehingga diperlukan cara pengolahan lain untuk mengolah sampah plastik. (Wicaksono & Ariyanto, 2017)

Plastik merupakan bahan yang umum digunakan dalam kehidupan kita sehari-hari. Plastik memiliki kelebihan yaitu tahan lama, ringan, transparan, tahan air dan harganya terjangkau, itulah sebabnya banyak orang yang menggunakan plastik sebagai bahan pengemas makanan atau untuk keperluan lainnya. Masifnya penggunaan plastik dalam kehidupan sehari-hari tentunya akan berdampak pada lingkungan. Sampah plastik jika tidak ditangani dengan baik dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan.

Pembuangan limbah plastik padat juga umum terjadi di Indonesia. Jika limbah plastik padat dibuang ke air, maka akan menyebabkan pencemaran air dan banjir. Jika limbah plastik padat dibuang di bawah tanah, butuh jutaan tahun agar bisa terurai. Hingga saat ini, pengolahan limbah plastik dilakukan melalui *open dumping landfill* atau sistem pengolahan sampah terbuka. Pembuangan limbah plastik padat oleh Tempat Pembuangan Akhir (TPA) terbuka akan menyebabkan

pencemaran lingkungan, terutama pencemaran tanah dan air. Sistem ini akan berbahaya jika dilakukan terus menerus. (Iverson & Dervan, n.d.)

Plastik adalah bahan yang terbuat dari *nafta*, yang merupakan hasil dari penyulingan minyak bumi. Plastik memiliki sifat ikatan kimia yang sangat kuat, sehingga banyak bahan yang digunakan dalam masyarakat berasal dari plastik. Namun, plastik tidak dapat terurai secara alami (*non biodegradable*), Terdapat 6 jenis plastik berdasarkan jenis produknya, yaitu *Polyethylene Terephthalate* (PET), *High Density Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), *Polystyrene* (PS), dan *Other*. Berdasarkan sifatnya, plastik dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori, yakni *thermoplastic* dan *thermosetting*. *Thermoplastic* merupakan jenis bahan plastik yang dapat didaur ulang dan dibentuk menjadi material lain melalui pemanasan. Beberapa contoh *thermoplastic* termasuk *Polyethylene*, *Polypropylene*, *Nylon*, dan *Polycarbonate*. Di sisi lain, *thermosetting* adalah jenis plastik yang, setelah diproses menjadi material tertentu, tidak dapat dilelehkan kembali atau didaur ulang untuk membuat produk lain. Contoh plastik yang masuk dalam kategori *thermosetting* meliputi *Phenol formaldehyde*, *Urea Formaldehyde*, dan *Melamine Formaldehyde*. (Lara, 2022)

Berdasarkan permasalahan ini perlu dilakukan perancangan suatu alat atau perangkat untuk merubah limbah plastik padat menjadi limbah cair yang lebih bermanfaat dan tidak menciptakan kerusakan lingkungan dan memahami proses pengolahan limbah plastik padat menggunakan alat destilasi sederhana melalui proses pirolisis. Destilasi merupakan suatu teknik pemisahan bahan kimia dengan memanfaatkan perbedaan *volatilitas* atau kecepatan menguap suatu zat. Dalam proses penyulingan, campuran zat dipanaskan hingga menguap, kemudian uap tersebut dikondensasikan kembali menjadi bentuk cairan. Zat dengan titik didih yang lebih rendah akan menguap terlebih dahulu. Metode ini termasuk dalam kategori unit operasi kimia yang melibatkan perpindahan massa. Penggunaan proses ini didasarkan pada prinsip bahwa dalam suatu larutan, setiap komponen akan menguap pada suhu didihnya masing-masing. (Sebagai & Satu, 2023)

Mengkonversi limbah plastik padat menjadi limbah cair dilakukan dengan metode pirolisis. Pirolisis merupakan proses peruraian suatu bahan pada

temperatur tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Proses penguraian ini menggunakan suhu yang tinggi serta tekanan yang rendah. Suhu dan tekanan yang digunakan dapat mencapai 8000°C dan 700kpa, pirolisis merupakan proses degradasi secara termal dari bahan berbasis karbon melalui penggunaan sumber panas eksternal yang tidak langsung. Pirolisis adalah proses daur ulang tersier dan memiliki kemampuan untuk menyediakan tiga produk akhir: gas, minyak, dan arang yang semuanya dapat dimanfaatkan lebih lanjut.

Proses pirolisis adalah termasuk *thermal cracking*, yaitu dengan cara memanaskan bahan polimer tanpa oksigen. Proses ini biasanya dilakukan pada temperatur antara 350°C sampai 900°C. Dari proses ini akan dihasilkan arang, minyak dari kondensasi gas seperti *parafin*, *isoparafin*, *olefin*, *naphthene* dan *aromatik*, serta gas yang memang tidak bisa terkondensasi. (Wajdi et al., 2020). Pirolisis merupakan proses yang dilakukan menggunakan sebuah alat yang terdiri dari dua komponen utama yaitu tabung reaktor yang berfungsi sebagai tempat berlangsungnya proses pemanasan, dan tabung kondensor yang berfungsi sebagai pendingin yang akan mengubah gas hasil pemanasan limbah plastik padat menjadi limbah cair.

Distilasi pengolahan sampah plastik padat menjadi limbah cair menggunakan kondensor bertingkat dan pendingin yang bersirkulasi. Hasil penelitian peralatan distilasi telah dapat menghasilkan kondensat berupa limbah cair yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut, karena pembakaran sampah plastik padat menjadi limbah cair yang dihasilkan belum teridentifikasi secara kimiawi, penelitian memanfaatkan sampah plastik padat menjadi limbah cair dengan pendinginan kondensor alur spiral dan sistem pendinginan yang bersirkulasi, dibandingkan seperti pada penelitian sebelumnya yang menggunakan metode destilasi tanpa menggunakan sistem sirkulasi pada tabung kondensor antara tabung kondensor dengan tabung penampung air sehingga kurang efektif dalam menjaga suhu kondensor agar tetap dingin, hal ini dapat mempengaruhi hasil kondensasi sehingga hasil yang didapatkan dari berat limbah plastik sebanyak 1kg hanya dapat menghasilkan limbah cair sebanyak 340ml. (B. P. Putra et al., 2022)

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui cara kerja kondensor dalam mengubah limbah plastik padat menjadi cair pada mesin pirolisis yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut dan untuk mengetahui efektifitas dari perancangan kondensor.

bahan pembuatan kondensor alur spiral yang lebih sederhana dibandingkan dengan peneliti-peneliti sebelumnya, sehingga manfaat dari penelitian ini yaitu mengubah limbah plastik padat menjadi cair yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut, mengurangi limbah sampah plastik, sebagai sarana alternatif untuk penanganan masalah sampah plastik pada lingkungan, meningkatkan nilai ekonomi dari sampah plastik dan terciptanya peralatan kondensor alur spiral yang lebih sederhana untuk proses kondensasi proses pirolisis sampah plastik. (Batutah et al.,2021)

Oleh karena itu , maka melakukan penelitian perbandingan alat pirolisis dimana menggunakan metode air kondensor yang mengalir (bersirkulasi) untuk efektifitas yang lebih baik. Sehubungan dengan uraian diatas, maka untuk mengembangkan alat pirolisis sebagai karya ilmiah yang dituangkan dalam bentuk skripsi dengan judul **“Perancangan Kondensor Pada Mesin Pirolisis Pengubah Limbah Plastik Padat PP Menjadi Limbah Cair”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian adalah : bagaimana menentukan desain kondensor pada alat pengubah limbah plastik padat menjadi cair, menganalisa hasil pembuatan untuk mengetahui efektifitas kondensor berpendingin air tipe spiral dalam mengubah sampah plastik menjadi limbah cair.

1.3. Ruang Lingkup

Merancang kondensor sebagai alat untuk memproses sampah plastik menjadi limbah cair.

1. Pengembangan dan mendesain kondensor yang efektif dengan aplikasi *solidwork* 2020.
2. Pengembangan sistem pendinginan air pada tabung kondensor dengan sistem sirkulasi.
3. Pengujian hasil desain melalui simulasi pada aplikasi *solidwork* 2020.

1.4. Tujuan

Berdasarkan latar belakang, maka penelitian ini bertujuan untuk mendesain kondensor pada alat pengubah sampah plastik padat menjadi limbah cair yang dapat

dimanfaatkan lebih lanjut.

1. Pengembangan dan mendesain kondensor yang efektif dengan aplikasi *solidwork* 2020.
2. Pengembangan sistem pendinginan air pada tabung kondensor dengan sistem sirkulasi.
3. Pengujian hasil desain melalui simulasi pada aplikasi *solidwork* 2020.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Terciptanya limbah cair hasil dari pembakaran metode pirolisis sampah plastik padat yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut dan tidak menciptakan kerusakan lingkungan.
2. Sebagai sarana alternatif untuk penanganan masalah sampah plastik pada lingkungan, dan meningkatkan nilai ekonomis dari sampah plastik.
3. Terciptanya desain kondensor berpendingin air tipe spiral untuk proses kondensasi pada proses pirolisis sampah plastik.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perancangan

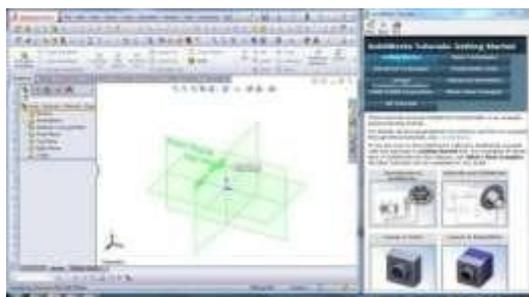
2.1.1 Pengertian Perancangan

Perancangan atau desain adalah suatu proses yang terfokus pada merencanakan, menciptakan, atau mengatur suatu objek, sistem, atau proses dengan tujuan mencapai hasil tertentu. Dalam langkah-langkah perancangan, melibatkan aktivitas seperti pemikiran kreatif, analisis mendalam, dan pengambilan keputusan strategis untuk menciptakan sesuatu yang dapat memenuhi kebutuhan atau mencapai tujuan yang diinginkan. Tahapan utama dalam proses perancangan mencakup analisis, konseptualisasi ide, pembuatan *prototipe*, dan *implementasi*. Fokus utama dari perancangan adalah menciptakan solusi atau produk yang tidak hanya efektif dan efisien, tetapi juga sesuai dengan kebutuhan atau tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya.

2.1.2 *Software Solidwork*

Solidworks adalah sebuah program *computer-aided design (CAD) 3D* yang menggunakan *platform Windows*. *Software* ini dikembangkan oleh *Solidworks Corporation*, yang merupakan anak perusahaan dari *Dassault System, S.A*. *Solidworks* menyediakan *feature-based parametric, solid modeling* dan bergerak pada pemodelan 3D. *Software* ini juga mampu menganalisis produk untuk mengetahui kekuatan produk seperti *force, torque, temperature*, dan *safety factor*.

Sebagai *software CAD*, *solidworks* dipercaya sebagai perangkat lunak untuk membantu proses mendesain suatu benda atau alat dengan mudah. Di Indonesia sendiri terdapat banyak perusahaan manufaktur yang mengimplementasikan perangkat lunak *solidworks*. Keunggulan *solidworks* dari *software CAD* lain adalah mampu menyediakan sketsa 2D yang dapat di-*upgrade* menjadi bentuk 3D. Selain itu pemakaiannya pun mudah karena memang dirancang khusus untuk mendesain benda sederhana maupun yang rumit sekalipun. Inilah yang membuat *solidworks* menjadi populer dan menggeser ketenaran *software cad* lainnya. (Rio Prasetyo, 2016)



Gambar 2.1 Tampilan dari *solidworks*

Solidworks digunakan banyak orang untuk membantu desain benda kerja sederhana hingga kompleks. *Solidworks* banyak digunakan untuk mendesain roda gigi, mesin mobil, dan lain-lain. Bagi mahasiswa yang sedang menempuh pendidikan di jurusan teknik, *solidworks* merupakan *software* yang sangat cocok untuk dipelajari dan penggunaannya lebih mudah dibandingkan *software* CAD yang lebih dulu hadir.

Sejarah *Solidworks* perangkat lunak CAD 3D yang banyak digunakan dalam industri manufaktur, konstruksi, dan rekayasa. *Solidworks* pertama kali diluncurkan pada tahun 1995 oleh *Solidworks Corporation*. *Solidworks Corporation* didirikan oleh Jon Hirschtick pada tahun 1993 di Concord, Massachusetts. *Solidworks* kemudian diakuisisi oleh Dassault Systèmes pada tahun 1997 dengan harga sekitar 310 juta dolar. Dassault Systèmes adalah perusahaan perangkat lunak Prancis yang fokus pada solusi desain dan manajemen siklus hidup produk. Akuisisi ini membuat *Solidworks* menjadi bagian dari Grup Dassault Systèmes.

Tabel 2.1 Sejarah *solidworks* (Rio Prasetyo, 2016)

Tahun	Versi <i>Solidworks</i>
1995	<i>Solidworks</i> 95
1997	<i>Solidworks</i> 97
1998	<i>Solidworks</i> 98
2011	<i>Solidworks</i> 2011

Pada tahun 2010, *Solidworks* merilis versi *solidworks* 2011 yang menawarkan berbagai perbaikan dan fitur baru yang lebih baik dalam melakukan desain, simulasi, dan dokumentasi. *Solidworks* terus mengalami perkembangan dan menjadi pilihan utama bagi para insinyur dan rancang bangun di seluruh dunia. Seiring perkembangannya, *solidworks* terus mengembangkan teknologi

yang memungkinkan para penggunanya untuk merancang dan mendesain produk dengan lebih cepat dan efisien. *Solidworks* telah membantu banyak perusahaan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas mereka dalam proses desain dan manufaktur. Untuk mengoperasikan *solidworks* dengan efektif, anda perlu memahami cara menggunakan alat dan fitur yang tersedia. Berikut ini adalah tips dan trik tentang cara menggunakan *solidworks* secara efektif:

Langkah-langkah cara menggunakan *solidworks* :

1. Buka *solidworks*, kemudian pilih “*Part*” untuk membuat file *part* baru
2. Pilih jenis ukuran *part* yang diinginkan
3. Gunakan “*Sketch*” untuk membuat gambar kontur *part*
4. Gunakan “*Features*” untuk menambahkan bentuk dan ukiran pada *part*
5. Gunakan “*Resources*” untuk menambahkan bahan dan tekstur pada *part*
6. Simpan file *part* anda dan gunakan “*Assembly*” untuk membuat *assembly part* tersebut bersamaan dengan *parts* yang lain

Tips menggunakan *solidworks* agar lebih efektif dalam menggunakan *solidworks*, perhatikan tips berikut:

1. Gunakan *keyboard shortcuts* untuk menghemat waktu dalam mengakses fitur-fitur penting
2. Simpan *part* anda dengan nama yang berarti dan sistematis sehingga memudahkan untuk mencari dan setelah disusun anda bisa membuat folder *differential* sesuai dengan versi *part*
3. Gunakan “*Templates*” untuk memudahkan dalam membuat *part*, *assembly*, dan *drawing* baru
4. Gunakan “*Simulation*” untuk menguji performa *part* dan meningkatkan kekuatan dari *part* tersebut

Cara membuat *assembly* pada *solidworks* untuk membuat *assembly part* pada *solidworks*, ikuti langkah-langkah berikut:

1. Pilih “*Assembly*” pada menu *solidworks* dan pilih jenis *template* yang diinginkan
2. Pilih *part* yang akan digunakan pada *assembly* dan *drag*-kan pada tempat yang diinginkan

3. Gunakan “*Mate*” untuk mengunci posisi *part* yang sudah ditempatkan pada *assembly*
4. Gunakan “*Assembly Feature*” untuk menambahkan fitur-fitur pada *assembly*
5. Aktifkan “*Exploded View*” untuk melihat cara *part-part* tersebut terhubung

Daftar Shortcuts pada *solidworks keyboard* terlihat pada tabel 2.2 shortcuts adalah cara yang efektif untuk menghemat waktu dalam menggunakan *solidworks*. Berikut ini daftar beberapa *shortcut* yang sering digunakan:

Tabel 2.2. *Assembly* pada *solidworks* (Rio Prasetyo, 2016)

Shortcut	Deskripsi
Ctrl + N	Membuat file <i>part</i> baru
Ctrl + W	Menutup file <i>part</i> yang sedang dibuka
Ctrl + Q	Force rebuild <i>part</i>
Ctrl + E	Menampilkan fitur yang tersembunyi pada <i>part</i>
Ctrl + J	Mengaktifkan <i>command</i> “ <i>Convert Entities</i> ”

Terdapat beberapa fitur *surfaces* terbaru dalam *solidworks* seperti:

1. *Boundary Surface*: fitur ini dapat membantu pengguna membuat permukaan yang simetris dengan objek.
2. *Lofted Surface*: fitur ini memungkinkan pengguna membuat permukaan yang kompleks dari dua atau lebih garis.
3. *Sweep Surface*: fitur ini memudahkan pengguna untuk membuat permukaan melengkung yang dihasilkan dari edaran atau irisan.

Untuk memaksimalkan penggunaan fitur *surfaces* tersebut, *solidworks* juga telah menyediakan tabel referensi yang berguna untuk membantu pengguna memilih alat untuk setiap permukaan yang perlu dibuat terlihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3. Fitur *surfaces* (Rio Prasetyo, 2016)

Jenis Permukaan	Alat yang Digunakan
Permukaan <i>Silinder</i>	<i>Extrude, Revolve</i>
Permukaan <i>Sphere</i>	<i>Extrude, Thicken</i>
Permukaan <i>Oval</i>	<i>Extrude, Loft</i>

2.2. Pirolisis

2.2.1. Pengertian Pirolisis

Pirolisis berasal dari kata *pyro* (*fire/api*) dan *lyo* (*loosening/pelepasan*) untuk dekomposisi termal dari suatu bahan organik. Pirolisis merupakan suatu bentuk penguraian/perengkahan (*cracking*) bahan organik secara kimia melalui pemanasan tanpa atau dengan sedikit oksigen. 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.

Proses pirolisis melibatkan berbagai reaksi seperti dikomposisi, oksidasi, polimerisasi, dan kondensasi. Reaksi-reaksi yang terjadi selama pirolisis: pelepasan uap air yang ditandai belum adanya emisi *CO* dalam gas pembakaran terjadi pada suhu 300°C senyawa yang paling dominan 1,6-*anhyro-beta-d- glucopyranos* (20,88%), proses dekomposisi *hemiselulosa* dan *selulosa*, terjadi pada suhu 400°C senyawa yang paling dominan adalah *asam astetat* (53,95%), senyawa *asam astetat* pada suhu ini juga tertinggi dari pada suhu lainnya. Pada suhu 500°C dan 600°C senyawa yang paling dominan masih *asam astetat*, 50,11% pada suhu 500°C dan 38,23% pada suhu 600%.(Mustaqim, 2019)

Pirolisis adalah suatu proses termokimia di mana material organik atau sintetis didekomposisi pada suhu tinggi dalam kondisi tanpa oksigen, dengantujuan menghasilkan bahan bakar. Proses pirolisis melibatkan tiga mekanisme dekomposisi yang terjadi secara bersamaan. Mekanisme pertama adalah pemotongan rantai polimer menjadi rantai yang lebih pendek. Mekanisme kedua terjadi pada ujung rantai, di mana molekul-molekul kecil dan rantai panjangpolimer terbentuk. Mekanisme ketiga melibatkan pemisahan rantai polimer, yang menghasilkan molekul-molekul kecil. Produk utama dari dekomposisi termal plastik melalui pirolisis adalah minyak yang dapat digunakan sebagai bahan bakar konvensional (Yasa & Siregar, 2023).

Pirolisis secara umum didefinisikan sebagai pembakaran atau pemanasan terkontrol sebuah bahan tanpa adanya oksigen. Dalam pirolisis plastik, struktur makromolekul polimer hancur menjadi molekul kecil atau oligomer dan terkadang menjadi unit monomer. Menjadi lebih kecil yang ditargetkan rantai hidro-karbon,

misalnya, bahan bakar cair. Karena pirolisis pada dasarnya adalah termal proses degradasi, penting untuk memahami efek dari mencampur bahan pakan yang memiliki titik leleh yang berbeda, pada setiap prosesnya. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi efisiensi proses pirolisis adalah tekanan, jenis reaktor, suhu, waktu tinggal dan mekanisme pendinginan. (Chiwara dkk, 2017)

Pirolisis sering disebut juga sebagai termolisis, secara definisi adalah proses terhadap suatu materi dengan menambahkan aksi temperature yang tinggi tanpa kehadiran udara (khususnya oksigen). Istilah lain dari pirolisis adalah *destructive distillation* atau destilasi kering, dimana merupakan proses penguraian yang tidak teratur dari bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar, dan pada umumnya pirolisis dipengaruhi oleh waktu, kadar air bahan, suhu, dan ukuran bahan.

2.2.2. Jenis-Jenis Pirolisis

Pirolisis merupakan suatu metoda dekomposisi bahan kimia organik maupun non-organik melalui proses pemanasan dengan tanpa atau sedikit oksigen atau zat reagen lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Pirolisis dilakukan dengan kasus hanya menyisakan senyawa karbon sebagai residu disebut karbonisasi. Metode pirolisis sendiri dapat diterapkan dalam penggunaan untuk menghasilkan suatu senyawa yang dapat dijadikan sebagai sumber bahan bakar berupa cairan. Mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak termasuk daur ulang tersier. Merubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak dapat dilakukan dengan proses *cracking* (perekahan). *Cracking* adalah proses memecah rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. (Nofendri & Haryanto, 2021)

Proses pirolisis dikategorikan menjadi 4 tipe yaitu:

1. Pirolisis lambat (*slow pyrolysis*).

Pirolisis lambat dari biomasa dilakukan pada laju pemanasan kurang dari 100K/menit, Pirolisis yang dilakukan pada pemanasan rata-rata lambat (5-7 K/menit). Pirolisis ini menghasilkan cairan yang sedikit sedangkan gas dan arang lebih banyak dihasilkan terlihat pada tabel 2.4 . (Ridhuan et al., 2019)

Tabel 2.4 Jumlah produk dari reaksi pirolisis dan gasifikasi(Situmorang, 2022)

Kondisi	—	Produk		
		Minyak	Padatan	Gas
Pirolisis cepat (laju pemanasan >100K/min)		75%	12%	13%
Pirolisis lambat (laju pemanasan <100K/min)		30%	45%	35%
Gasifikasi		5%	10%	85%

2. Pirolisis cepat (*fast pyrolysis*).

Pirolisis ini dilakukan pada lama pemanasan 0,5-2 detik, suhu 400-600°C dan proses pemadaman yang cepat pada akhir proses. Pemadaman yang cepat sangat penting untuk memperoleh produk dengan berat molekul tinggi sebelum akhirnya terkonversi menjadi senyawa gas yang memiliki berat molekul rendah. Dengan cara ini dapat dihasilkan produk minyak pirolisis hingga 75% lebih tinggi dibandingkan dengan pirolisis konvensional. (Ridhuan et al., 2019)

3. Pirolisis Kilat (*flash pyrolysis*).

Proses pirolisis ini berlangsung hanya beberapa detik saja dengan pemanasan yang sangat tinggi. *Flash pyrolysis* pada biomassa membutuhkan pemanasan yang cepat dan ukuran partikel yang kecil sekitar 105 - 250 µm. *Fast* pirolisis merupakan proses pirolisis pada suhu 425-600°C dengan laju pemanasan yang cepat (300-500°C/menit) dimana produk utama adalah liquid dominan dan gas. (Ridhuan et al., 2019)

4. *Terofaksi*

Terofaksi merupakan proses pirolisis pada temperatur 200-300°C dengan laju pemanasan yang lambat (5-7°C/menit) dimana produk utama yang dihasilkan adalah padatan yang kaya akan karbon. (Situmorang, 2022)

2.3. Plastik

2.3.1. Pengertian Plastik

Plastik merupakan bagian kehidupan sehari-hari manusia. Dalam dua dasawarsa terakhir, kemasan plastik telah merebut pangsa pasar kemasan dunia, menggantikan kemasan kaleng dan gelas. Kemasan plastik sudah mendominasi industri makanan di Indonesia dan kemasan luwes (*fleksibel*) menempati porsi 80%. Jumlah plastik yang digunakan untuk mengemas, menyimpan dan membungkus

makanan mencapai 53%, sedangkan kemasan kaku sudah mulai banyak digunakan untuk minuman.

Barang-barang berbahan dasar plastik tersebut merupakan bahan polimer sintesis yang sulit terdegradasi di alam. Butuh ratusan tahun agar dapat terurai di alam. Peningkatan penggunaan barang-barang berbahan dasar plastik berbanding lurus terhadap limbah plastik yang dihasilkan, yang akhirnya bermuara pada rusaknya keseimbangan alam. Banyak cara yang dapat dilakukan untuk menjaga kelestarian lingkungan dari bahaya limbah plastik seperti mengurangi penggunaan kantong plastik dengan menggunakan keranjang belanja, mendaur ulang limbah plastik menjadi barang yang mempunyai nilai ekonomi dan juga menggunakan dan mensosialisasikan penggunaan plastik yang bersifat *biodegradable*. (Nasution, 2015)

Plastik adalah salah satu bahan yang sering ditemui di hampir setiap barang rumah tangga, seperti botol minum, lotion, sabun dan sampo, alat makan, kantong pembungkus, pipa, sikat gigi, botol oli, dan lain-lain. Hal tersebut dikarenakan plastik merupakan produk serbaguna, ringan, *fleksibel*, tahankelembaman, kuat, dan relatif murah. Dengan berbagai kemudahan tersebut, semakin banyak produk plastik yang dihasilkan dan digunakan di berbagai Negara, salah satunya Indonesia. Menurut Kemenperin (2013), Indonesia tercatat sebagai Negara pengguna plastik kedua terbesar di dunia dengan konsumsi yang diproyeksikan mencapai 1,9 juta ton hingga semester I-2013 yang kemudian meningkat sekitar 22,58% pada semester yang sama tahun lalu sebanyak 1,55 juta ton.

Konsumsi plastik yang besar ini dapat menghasilkan limbah plastik, yang apabila tidak dilakukan pengelolaan yang seimbang dengan produksi dan penggunaan plastik, maka akan menumpuk dan menjadi sampah. Sampah plastik yang menumpuk dapat menyebabkan permasalahan lingkungan mapupun kesehatan, karena plastik bersifat *non biodegradable* (sulit terdegradasi) oleh lingkungan. (Amalia Ardianti, 2019)

2.3.2. Jenis-Jenis Plastik

Plastik merupakan salah satu limbah yang sangat sulit terurai, oleh karena itu ada beberapa metode untuk mengubah limbah plastik menjadi barang yang

mempunyai nilai ekonomi dan juga mengurangi limbah plastik yang bersifat *biodegradable*. Salah satu jenis sampah yang menjadi perhatian adalah sampah plastik. Kontribusi sampah plastik terhadap total produksi sampah nasional mencapai 15% dengan pertumbuhan rata-rata mencapai 14,7% per tahun dan menempatkan sampah plastik sebagai kontributor terbesar kedua setelah sampah organik.

Persentase kontribusi sampah plastik di Indonesia tidak jauh berbeda dengan Malaysia (14%) dan Thailand (16%) namun lebih rendah dibandingkan Singapura (27,3%), Namun secara riil, produksi sampah plastik di Indonesia sangat besar sebab secara total produksi sampah Indonesia mencapai 189 kilo ton/hari jauh lebih besar dibandingkan dengan negara-negara di Asia Tenggara. Hal ini disebabkan jumlah penduduk Indonesia yang lebih besar dibandingkan dengan jumlah penduduk negara-negara di Asia Tenggara. Salah satu alternatif penanganan sampah plastik adalah dengan melakukan proses daur ulang (*recycle*). Pirolisis sampah plastik merupakan salah satu bentuk proses daur ulang dengan mengubah plastik menjadi bahan bakar. Selain bermanfaat untuk mengurangi jumlah sampah plastik, pirolisis sampah plastik juga bermanfaat untuk menyediakan bahan bakar dengan nilai energi yang cukup tinggi. (J. Wahyudi et al., 2018)

Menurut Syarief et al (1988), berdasarkan ketahanan plastik terhadap perubahan suhu, maka plastik dibagi menjadi dua jenis yang sering kita jumpai dan kita pakai, yaitu:

1. *Thermoplastic*

Jenis plastik ini meleleh pada suhu tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu, bersifat reversible (dapat kembali ke bentuk semula atau mengeras bila di dinginkan). Contoh: *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), *Polyethylene Terephthalate* (PET), *Poliviniclorida* (PVC), *Polistirena* (PS).

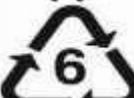
2. *Thermoset* atau *thermodursisabel*

Jenis plastik ini tidak dapat mengikuti perubahan suhu (tidak *reversible*) sehingga bila pengerasan telah terjadi maka bahan tidak dapat dilunakkan kembali. pemanasan dengan suhu tinggi tidak akan

melunakkan jenis plastik ini melainkan akan membentuk arang dan terurai. karena sifat *thermoset* yang demikian maka bahan ini banyak digunakan sebagai tutup ketel. (Okatama, 2017)

Berdasarkan jenis produknya, terdapat 6 jenis plastik terlihat pada tabel 2.5 yaitu: *Polyethylene Terephthalate* (PET), *High Density Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), *Polystyrene* (PS). Karakteristik jenis plastik, karakteristik dari jenis jenis plastik diatas juga terdapat kode yang mempunyai arti dan maksud tertentu yang dibuat oleh langsung dari tempat produksi plastik-plastik tersebut diolah dan dibuat oleh para perusahaan plastik (J. Wahyudi et al., 2018)

Tabel 2.5. Jenis-jenis plastik (J. Wahyudi et al., 2018)

Kode	Tipe Plastik	Beberapa Penggunaan Plastik
	PET Atau PETE	Botol minuman ringan dan air mineral, bahan pengisi kantong tidur dan serat tekstil.
	HDEP	Kantong belanja, kantong <i>freezer</i> , botol susu dan krim, botol sampo dan pembersih
	PVC Atau V	Botol juice, kotak pupuk, pipa saluran
	LDPE	Kotak <i>ice cream</i> , kantong sampah, lembar plastic hitam
	PP	Kotak <i>ice cream</i> , kantong kentang goreng, sedotan, kotak makanan
	PS	Kotak yoghurt, plastik meja, cangkir minuman panas, wadah makanan siapsaji, baki kemasan
	OTHER	Botol minum olahraga, <i>acrylic</i> dan <i>nylon</i>

2.3.3. Sifat Termal Plastik

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

Temperatur transisi merupakan temperatur pada plastik yang mengalami perenggangan struktur, sehingga terjadi pergantian kondisi dari kaku menjadi fleksibel. Diatas titik lebur, plastik mengalami pembesaran volume, akibatnya molekul bergerak lebih bebas yang ditandai dengan peningkatan kelenturannya.

Temperatur Lebur merupakan temperatur dimana plastik mulai melunak dan berubah menjadi cair. Temperatur Dekomposisi adalah batasan dari proses pencairan, jika suhu ditingkatkan diatas temperatur lebur, plastik dapat mudah mengalir dan struktur dapat mengalami dekomposisi. Dekomposisi terjadi dikarenakan energi thermal melewati energi yang mengikat rantai molekul. Biasanya polimer dapat mengalami dekomposisi pada suhu diatas 1,5 kali dari temperatur transisinya, dari penjelasan diatas maka terdapat data yang dimasukkan didalam terlihat pada tabel 2.6 tentang temperatur transisi dan temperatur lebur plastik yaitu:

Tabel 2.6. Data temperatur transisi dan temperatur lebur plastik (Lara, 2022)

Jenis Bahan	Tm (°C)	Tg (°C)	Temperatur Kerja maks (°C)
PP	168	5	80
HDPE	134	-110	82
LDPE	330	-115	260
PA	260	50	100
PET	250	70	100
ABS	-	110	85
PS	-	90	70
PMMA	-	100	85
PC	-	150	246
PVC	-	90	71

2.3.4. Pengolahan Sampah Plastik

Pemanfaatan sampah sebagai sumber energi alternatif merupakan salah satu solusi inovatif dalam rangka mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil. Sebagai negara dengan populasi yang besar dan laju *urbanisasi* yang tinggi, Indonesia menghadapi masalah pengelolaan sampah yang kompleks dan meningkat setiap tahunnya. Diperkirakan bahwa tingkat pertumbuhan sampah perkotaan mencapai 7-10% per tahun. Tujuan dari pengelolaan sampah bukan hanya untuk mengurangi dampak lingkungan yang merugikan, tetapi juga untuk memanfaatkan potensi energi terbarukan yang ada dalam sampah.

Pemanfaatan sampah sebagai sumber energi alternatif memiliki potensi besar dalam mengatasi dua masalah utama, yaitu krisis energi dan pengelolaan sampah

harinya dapat menjadi sumber energi yang signifikan jika dikelola dengan baik.

Selain itu, penggunaan sampah sebagai bahan bakar alternatif juga dapat mengurangi pencemaran lingkungan yang dihasilkan dari pembakaran sampah di tempat pembuangan akhir atau pembakaran sampah ilegal. (Rakhmah et al., 2023)

Proses pengolahan sampah plastik melibatkan beberapa kegiatan dan prosedur yang bertujuan untuk mengoptimalkan penanganan sampah plastik baik dari aspek lingkungan maupun ekonomi. Tujuan utama pembuangan sampah plastik terhadap lingkungan, seperti pencemaran udara, air. Pengelolaan sampah plastik melibatkan serangkaian langkah untuk mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan. Berikut adalah beberapa metode umum dalam pengolahan sampah plastik:

1. Pemilahan Sampah:

Pemilahan sampah merupakan langkah penting dalam pengelolaan limbah. Di tingkat rumah tangga, pemisahan antara sampah plastik, *organik*, dan non-plastik adalah praktek yang diadopsi untuk memfasilitasi proses daur ulang. Masyarakat diharapkan untuk memisahkan sampah plastik dari jenis sampah lainnya agar dapat dengan mudah diidentifikasi dan diproses secara efisien. Selain itu, di pusat daur ulang, tempat khusus telah disediakan untuk menempatkan sampah plastik, memastikan bahwa proses pengumpulan dan pemilahan dapat berlangsung efektif, mendukung upaya daur ulang, dan mengurangi dampak negatif plastik terhadap lingkungan daur ulang: Langkah berikutnya dalam rangkaian pengolahan sampah plastik melibatkan dua proses utama, yaitu pemrosesan dan peleburan. Pada tahap pemrosesan, sampah plastik mengalami proses pencucian dan penghancuran untuk menghasilkan serpihan kecil. Langkah ini bertujuan untuk membersihkan dan mempersiapkan sampah plastik sebelum masuk ke tahap selanjutnya. Selanjutnya, proses peleburan dilakukan, di mana serpihan plastik dilebur menjadi bahan baku plastik cair. Bahan ini dapat digunakan kembali dalam pembuatan produk baru, menciptakan siklus penggunaan plastik yang lebih berkelanjutan dan mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan.

2. *Recovery* dan Pemanfaatan Energi:

Mengadopsi teknologi terbaru, pemanfaatan sampah plastik menjadi sumber energi menjadi suatu inovasi yang signifikan. Dengan menggunakan metode ini, sampah plastik dapat diubah menjadi energi melalui proses pembakaran, menghasilkan daya listrik atau bahan bakar alternatif. Pendekatan ini menunjukkan upaya untuk mengatasi masalah sampah plastik sekaligus menghasilkan sumber energi yang dapat digunakan, menyediakan solusi berkelanjutan yang menggabungkan manfaat lingkungan dan kebutuhan energi.

3. Penggantian Plastik Sekali Pakai:

Upaya untuk mengurangi dampak negatif plastik terhadap lingkungan dilibatkan dalam serangkaian tindakan, termasuk mendorong penggunaan produk plastik yang dapat digunakan kembali atau bersifat ramah lingkungan. Selain itu, strategi ini juga mencakup penyampaian edukasi kepada masyarakat mengenai dampak yang dihasilkan oleh penggunaan plastik sekali pakai dan memperkenalkan alternatif yang lebih berkelanjutan. Dalam kerangka kampanye kesadaran lingkungan, langkah-langkah ini diarahkan untuk meningkatkan pemahaman masyarakat tentang pentingnya memilih produk dan praktik konsumsi yang mendukung lingkungan. Dengan harapan bahwa kesadaran ini akan mendorong perubahan perilaku, masyarakat diharapkan dapat berkontribusi secara positif dalam upaya pengurangan sampah plastik secara keseluruhan.

4. Inovasi Material:

Memanfaatkan bahan plastik yang dapat terurai secara alami atau memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah menjadi prioritas utama dalam upaya mengatasi permasalahan limbah plastik. Pendekatan ini menekankan pada pencarian solusi berkelanjutan untuk mengurangi beban lingkungan yang ditimbulkan oleh plastik *konvensional*. Proses penelitian dan pengembangan terus dilakukan guna menciptakan jenis bahan plastik baru yang dapat terurai dengan lebih cepat dan efektif di lingkungan alamnya. Tujuan utamanya adalah mengurangi jejak karbon dan meminimalkan

dampak negatif terhadap ekosistem. Melalui adopsi inovasi ini, diharapkan dapat menghasilkan perubahan positif dengan mengurangi masalah sampah plastik dan mendukung transisi menuju penggunaan bahan plastik yang lebih ramah lingkungan secara menyeluruh.

2.4 Baja *Stainless Steels*

2.4.1. Pengertian Baja *Stainless Steel*

Stainless steel merupakan salah satu jenis dari baja paduan tinggi. *Stainless steel* mempunyai kandungan unsur krom minimal 10% untuk mendapatkan sifat tahan korosi. Unsur tambahan yang lain pada baja *stainless steel* adalah *Ni, Mo, Al, Cu, Ti, C*, dan *Nb*. Baja *Stainless steel* dibagi ke dalam 5 kelompok, yaitu : *austenitik, feritik, martensitik, dupleks*, dan pengerasan *presipitasi*. Kelompok *austenitik* merupakan baja *stainless steel* dengan kandungan utama 16-26% *Cr*, 6-22% *Ni*, dengan sedikit unsur *C*. Baja *stainless steel* jenis ini masuk dalam kelompok seri 200 dan seri 300, antara lain tipe AISI 201, 202, 205, 301, 302, 304, 304L, 316, 321, dan 347. Austenitik bersifat non magnetik, tidak dapat dikeraskan dengan *heat treatment*, dan mudah di las. (Yunaidi, 2016)

Baja *Stainless steel* memiliki sifat yang tidak mudah terkena korosi sebagaimana logam baja yang lainnya, *stainless steel* terlihat berbeda dengan baja biasa dari kandungan kromnya, baja karbon akan terkena korosi ketika ditaruh pada udara yang lembab, baja paduan SS 304 merupakan jenis baja yang tahan karat dan juga memiliki titik leleh yang tinggi. Oleh karena itu saya memilih *stainless steel* tipe 304 menjadi bahan yang akan digunakan untuk membuat kondensor pada mesin pirolisis yang akan diteliti.

2.4.2. Kegunaan Baja *Stainless Steel*

Baja *stainless steel* juga merupakan bahan yang sangat serbaguna sehingga benar-benar bisa di gunakan selama bertahun – tahun. Produk *stainless steel* juga memiliki umur jauh lebih lama di bandingkan produk yang terbuat dari bahan lain. Misalnya konstruksi pagar rumah yang terbuat dari *stainless steel* pasti lebih baik dibandingkan pagar rumah yang terbuat dari besi biasa. Baja *Stainless steel* di buat dengan menggunakan lapisan *kromium* dengan jumlah minimum yang di gunakan adalah 10,5%. *kromium* berguna untuk meningkatkan ketahanan dari

korosi dengan cara membentuk lapisan *oksida kromium* pada baja. (Randy Septiawan, 2018)

2.4.3. Kelebihan Baja *Stainless Steel*

Baja *stainless steel* merupakan bahan logam yang tahan terhadap korosi yang tinggi, yang memungkinkan untuk digunakan dalam lingkungan sehari-hari, baja *stainless steel* mempunyai sifat yang tahan panas yang memungkinkan untuk mempertahankan kekuatan pada temperatur tinggi. Baja *stainless steel* juga mudah untuk dibentuk dan sering digunakan didalam industri. Baja *stainless steel* juga bahan yang paling murah jika dibandingkan dengan logam lainnya, dan mempunyai nilai yang jangka panjang untuk digunakan.

2.4.4. Kekurangan Baja *Stainless steel*

Baja *Stainless steel* tinggi biaya awal, terutama ketika logam *alternative* yang di pertimbangkan kesulitan dalam fabrikasi, ketika mencoba untuk membuat Baja *stainless steel* tanpa menggunakan mesin teknologi tinggi dan teknik yang tepat, dapat menjadi logam sulit untuk di tangani. hal ini ini sering dapat menghasilkan limbah mahal karena kegagalan dalam proses pembuatan baja *stainless steel* (Randy Septiawan, 2018)

2.4.5. Baja *Stainless Steel* tipe 316

Baja tipe 316 ini adalah jenis baja yang tahan terhadap karat, baja tipe 316 mempunyai kandungan *austenitic kromium-nikel* yang mengandung *molybdenum* , yang merupakan termasuk jenis baja yang memiliki ketahanan karat yang cukup baik, khususnya ketahanan terhadap korosi lubang yang biasanya terjadi akibat adanya kontaminasi dengan larutan *klorida*. Pada gambar 2.2 terlihat gambar *stainless steel* 316 dan pada tabel 2.7 dibawah ini merupakan komposisi unsur kimia *stainless steel* 316 (H. Putra, 2019).

Tabel 2.7 Komposisi kimia *stainless steel* 316

Composition	Type 316%	Type 316L%
Carbon	0.08 max	0.03 max
Manganese	2.00 max	2.00 max
Phosphorus	0.045 max	0.045 max
Sulfur	0.030 max	0.030 max
Silicon	0.75 max	0.75 max
Chromium	16.00 – 18.00 max	16.00 – 18.00 max
Nickel	10.00 – 14.00 max	10.00 – 14.00 max
Molybdenum	2.00 – 3.00	2.00 – 3.00
Nitrogen	0.10 max	0.10 max
Iron	Balance	Balance



Gambar 2.2 *stainless steel* 316

2.5. Kondensor

2.5.1. Pengertian Kondensor

Kondensor yakni alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang berfungsi sebagai media terjadinya proses kondensasi. Proses kondensasi di dalam kondensor terjadi dengan cara penurunan temperatur dari salah satu fluida kerjanya. Di dalam kondensor terjadi proses pemindahan panas dari uap yang berperan sebagai fluida panas dan air yang berperan sebagai fluida dingin. Kondensasi ini yakni proses yang terjadi ketika uap jenuh bersentuhan dengan suatu permukaan yang suhunya lebih

rendah Dalam proses kondensasi terjadi proses pelepasan kalor dari suatu sistem yang menyebabkan terjadinya uap (*vapor*) berubah menjadi cair (*Liquid*). (E. Wahyudi et al., 2012)

Destilasi adalah suatu proses penting dalam industri kimia yang digunakan untuk memisahkan campuran zat berdasarkan perbedaan titik didihnya, pada proses destilasi, bahan yang akan dipisahkan dipanaskan hingga mencapai titik didihnya dalam suatu bejana tertutup. Panas yang diberikan menyebabkan zat tersebut menguap dan berubah menjadi uap. Setelah berubah menjadi uap, uap tersebut kemudian didinginkan kembali menggunakan kondensor sehingga berubah menjadi cairan kembali. Proses ini melibatkan perpindahan panas yang terjadi pada tabung kondensor.

Kondensor adalah perpindahan panas secara *konveksi*. *Konveksi* adalah salah satu mode perpindahan panas dimana panas ditransfer melalui pergerakan fluida, dalam hal ini adalah medium pendingin yang mengalir di sekitar tabung kondensor. Kondensor adalah komponen pendingin yang memiliki peran penting dalam meningkatkan *efisiensi* mesin pendingin. Dalam proses kondensasi, panas dilepaskan dari sistem dan uap berubah menjadi cairan. Dengan memanfaatkan perbedaan suhu antara uap dan permukaan kondensor, panas yang terkandung dalam uap dapat ditransfer ke medium pendingin. Kondensor bertugas mengubah uap panas menjadi cairan dingin dengan cara mentransfer panas yang terkandung dalam uap ke medium pendingin, yang umumnya berupa udara atau air. Proses ini membantu menghilangkan panas berlebih dari sistem dan mendinginkan cairan yang dihasilkan. Sebagai alat penukar panas, kondensor memiliki peran penting dalam memfasilitasi proses kondensasi. Kondensor menyediakan permukaan yang luas untuk berinteraksi dengan uap, sehingga panas dapat ditransfer secara efisien dan uap dapat berubah menjadi cairan terlihat pada gambar 2.3 rancangan kondensor yang akan dibuat. (Karo Karo et al., 2023)



Gambar 2.3 Kondensor

2.5.2. Pengaruh Media Pendingin Kondensor

Media pendingin pada kondensor mempengaruhi hasil akhir yang didapatkan dalam proses kondensasi yang terjadi didalam kondensor, terdapat beberapa media pendingin yang dapat membantu proses kondensasi pada tabung kondensor yaitu adalah :

1. Kondensor Berpendingin Air (*Water Cooled Condenser*)

Kondensor jenis ini digunakan pada system yang berskala besar untuk keperluan komersil di lokasi yang mudah memperoleh air bersih. Kondensor jenis ini menjadi pilihan yang ekonomis bila terdapat suplai air bersih mudah dan murah. Pada umumnya kondensor seperti ini berbentuk tabung yang di dalamnya berisi pipa (*tubes*) tempat mengalirnya air pendingin.

2. Kondensor Berpendingin Udara (*Air Cooled Condenser*)

Kondensor yang menggunakan udara sebagai *cooling* mediumnya biasanya digunakan pada sistem berskala rendah dan sedang dengan kapasitas hingga 20 ton *refrigerasi*. *Air Cooled Condenser* merupakan peralatan AC (*Air Conditioner*) standard untuk keperluan rumah tinggal (*residential*) atau digunakan di suatu lokasi di mana pengadaan air bersih susah diperoleh atau mahal. Untuk melayani kebutuhan kapasitas yang lebih besar biasanya digunakan *multiple air colled condenser*. Udara sebagai pendingin kondensor dapat mengalir secara alamiah atau dialiri paksa oleh *fan*. Kulkas pada umumnya menggunakan kondensor berpendingin udara secara alamiah (konveksi natural) yang umum disebut sebagai kondensor statis.

3. Kondensor Berpendingin Campuran Udara dan Air (*Evaporative Condensor*)

Kondensor jenis ini merupakan kombinasi dari kondensor berpendingin udara dan kondensor berpendingin air. Koil kondensor ini diletakkan berdekatan dengan media pendinginnya yang berupa udara tekan dan air yang disemprotkan melalui suatu lubang *nozzle*. (Ridhuan & Juniawan, 2014)

Selain terdapat berbagai macam media pendingin kondensor juga terdapat pemindahan panas dan proses kondensasi didalam kondensor melalui dua cara, yaitu:

1. Proses Dengan Bantuan Air

Air digunakan untuk membantu mengambil panas dari *refrigerant* uap.

Refrigerant uap yang mengalir dalam kondensor disimpan dalam suatu tempat atau air dilewatkan pada kondensor yang berisi *refrigerant* uap. Air masuk mempunyai temperatur lebih rendah dibandingkan dengan temperatur *refrigerant* uap. Panas dari *refrigerant* uap dipindahkan ke air melalui dinding kondensor. Air tersebut membawa panas dari wadah melalui saluran keluar. Jika medium pendingin yang digunakan air, kelebihanannya adalah air mempunyai sifat membawa dan memindahkan panas yang jauh lebih baik dari udara.

2. Proses Dengan Bantuan Udara

Udara digunakan untuk membuang panas dari *refrigerant* uap melalui permukaan kondensor. Udara dihembuskan dengan menggunakan kipas ke permukaan kondensor. Karena udara lebih dingin dari *refrigerant* uap maka terjadi perpindahan panas dari *refrigerant* uap ke udara bebas melalui permukaan kondensor. (Damanik, 2020)

2.5.3. Pipa Kondensor

Pipa kondensor merupakan bagian terpenting pada alat pirolisis yang terletak didalam kondensor, karena pada kondensor terjadi perubahan fasa dari gas menjadi cair, pipa kondensor adalah pipa yang digunakan sebagai tempat terjadinya proses pengembunan berlangsung didalam kondensor. Jenis pipa yang digunakan pada alat pirolisis ini adalah jenis pipa tembaga. (Akhir et al., 2024)

2.5.4. Efektivitas Kondensor

Efektivitas kondensor adalah ukuran seberapa baik kondensor dalam menukar panas antara fluida kerja dan media pendingin. Kondensor bekerja dengan menghilangkan panas uap hasil pembakaran dari reaktor berubah menjadi cair, efektivitas kondensor biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase idealnya mendekati 1 atau 100%, dalam pengujian biasanya efektivitas kondensor dibawah 1 atau 100% karena adanya kehilangan panas dan ketidaksempurnaan dalam proses, dan faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas meliputi suhu, tekanan dan juga desain kondensor serta sistem pendinginan dari kondensor. (Karo Karo et al., 2023).

1. Suhu

Efektivitas kondensor meningkat dengan semakin besar perbedaan suhu

antara uap yang masuk dengan media pendingin, karena semakin besar perbedaan suhu maka semakin cepat dan efisien panas dapat ditransfer.

2. Tekanan

Tekanan suhu pada reaktor sangat berpengaruh pada efektivitas kondensor dalam mengubah limbah plastik padat menjadi limbah cair, dikarenakan semakin tinggi tekanan suhu pada reaktor maka uap yang dikondensasikan menjadi limbah cair lebih banyak.

3. Desain Kondensor

Jenis dan desain kondensor mempengaruhi efektivitas dari kondensor, desain yang meningkatkan area kontak antara uap panas dan media pendingin akan lebih membuat kondensasi menjadi efektif.

4. Sistem Pendinginan

Sistem pendingin sangat berpengaruh terhadap efektivitas kondensor, karena semakin baik sistem pendingin yang digunakan maka hasil dari kondensasi yang terjadi didalam spiral pada tabung kondensor menjadi lebih efektif. (Karo Karo et al., 2023)

Maka untuk menghitung efektivitas kondensor dapat kita hitung melalui rumus sebagai berikut:

- Menghitung efektivitas kondensor

$$(\varepsilon) = \frac{T_{uap\ masuk} - T_{uap\ keluar}}{T_{uap\ masuk} - T_{c,masuk}} \quad (2.1)$$

Dimana:

ε : Efektivitas (%)

$T_{uap\ masuk}$: Suhu uap masuk (°C)

$T_{uap\ keluar}$: Suhu uap keluar (cairan pirolisis) (°C)

$T_{c,masuk}$: Suhu masuk air (°C) (Iverson & Dervan, n.d.)

- Menghitung volume tabung kondensor

$$V = \pi \times r^2 \times t \quad (2.2)$$

Dimana:

V = volume tabung

$\pi = 3,14$ (22/7)

r = jari-jari tabung

t = tinggi tabung

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

3.1.1. Tempat Penelitian

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

3.1.2. Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan selama 9 bulan dengan beberapa kegiatan seperti yang di tunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Waktu kegiatan penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Pengajuan Judul	■								
2.	Studi Literatur	■	■							
3.	Bimbingan Laporan		■	■	■					
4.	Perbaikan Laporan		■	■	■	■				
5.	Penyelesaian Laporan			■	■	■	■			
6.	Seminar Proposal				■	■	■			
7.	Pembuatan alat					■	■	■		
8.	Pengujian alat						■	■	■	
9.	Bimbingan laporan							■	■	■
10.	Penyelesaian laporan								■	■
11.	Seminar Hasil									■

3.2. Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam perancangan kondensor terlihat pada gambar 3.1 dan 3.2 seperti berikut :

1. Kertas

Kertas digunakan untuk melihat hasil print gambar yang sudah dikerjakan melalui *software solidworks*



Gambar 3.1. Kertas

2. Es Batu

Es batu digunakan untuk membantu mendinginkan pipa spiral yang ada didalam tabung kondensor.



Gambar 3.2 Es batu

3.2.2. Alat yang digunakan

1. PC/Komputer

PC/komputer digunakan sebagai media untuk mengedit dan membuat perancangan alat dari aplikasi *solidworks* ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 PC/komputer

Spesifikasi komputer yang digunakan:

Prosesor windows 10 pro 64 bit

Prosesor intel xeon 3.50GHz

Memori 8Gb RAM

2. *Software Solidwork*

Software solidworks terlihat pada gambar 3.4 digunakan sebagai alat media penghantar untuk mendesain alat yang akan digunakan sesuai dengan kebutuhan



Gambar 3.4 Tampilan *software solidwork*

3. *Mouse*

Mouse dapat dilihat pada gambar 3.5 digunakan untuk memudahkan dalam mendesain gambar alat yang akan digunakan, pada aplikasi *solidwork*.



Gambar 3.5 *Mouse*

4. *Thermometer Digital*

Thermometer digital digunakan untuk mengukur suhu air pada tabung kondensor terlihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Thermometer* digital

Spesifikasi *thermometer* digital yang digunakan:

Ukuran temperature (°C): -50°C sampai 70°C, resolusi 0,1°C

Tegangan Operasi: 1,5v, 1bh baterai kancing

Dimensi: 48mm x 28,6mm

Dimensi Layar (LCD): 46mm x 27mm

5. *Thermometer Digital*

Thermometer digital terlihat pada gambar 3.7 ini digunakan untuk mengukur suhu cairan yang keluar dari kondensor



Gambar 3.7 *Thermometer* digital

Spesifikasi *thermometer* digital yang digunakan:

Ukuran temperature ($^{\circ}\text{C}$ & $^{\circ}\text{F}$)

resolusi $0,1^{\circ}\text{C}$

6. Pompa Air

Pompa air terlihat pada gambar 3.8 digunakan untuk mensirkulasikan air dari tabung penampung air kedalam tabung kondensor



Gambar 3.8 Pompa Air

Spesifikasi pompa air yang digunakan:

Ampere: 5,0ampere

Water flow: 5,5LPM

Volt: 12volt DC

Max pressure: 160psi

7. Adaptor

Adaptor terlihat pada gambar 3.9 digunakan untuk mengubah tegangan listrik tipe arus bolak balik dengan nilai yang tinggi menjadi tegangan listrik tipe arus searah dengan nilai yang rendah agar dapat menggerakkan pompa air.



Gambar 3.9 Adaptor

Spesifikasi adaptor yang digunakan:

Input voltage: AC 100-240V

Input voltage frequency: 50/60Hz

Output voltage: DC 12V +/-5%

Efficiency: >85%

8. Selang Air

Selang air terlihat pada gambar 3.10 digunakan untuk aliran air atau penghubung dari tempat penampungan air ke kondensor agar air dingin dapat bersirkulasi dengan terus menerus.



Gambar 3.10 Selang Air

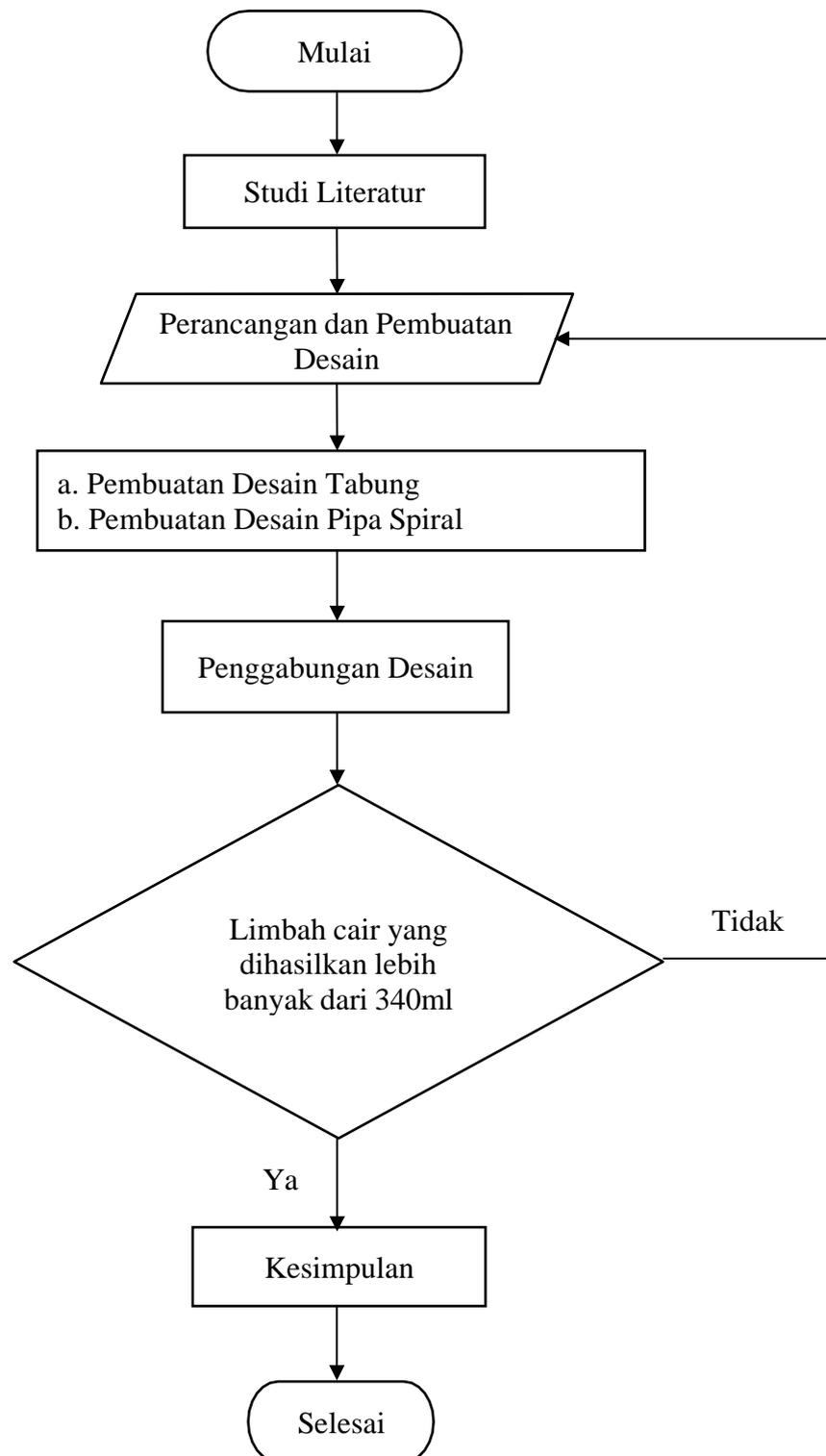
9. Gelas Ukur

Gelas ukur terlihat pada gambar 3.11 digunakan untuk mengukur berapa ml limbah cair yang dihasilkan dari proses pembakaran mesin pirolisis.



Gambar 3.11 Gelas Ukur

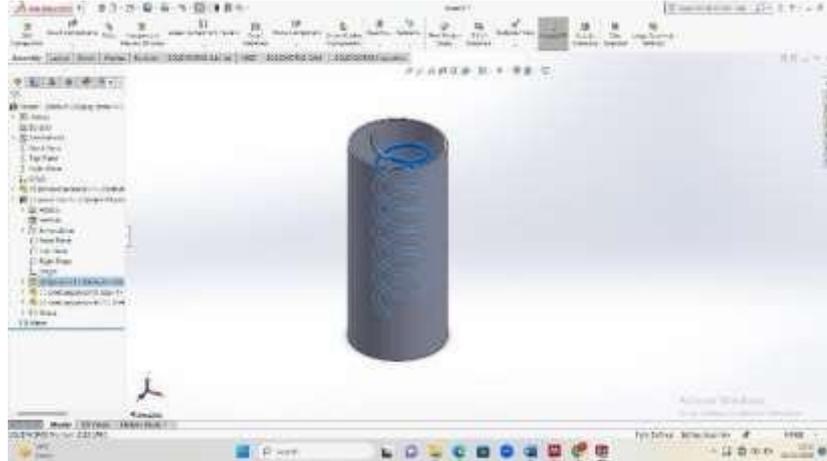
3.3. Bagan Alir Penelian



Gambar 3.12 Diagram Alir Penelitian

3.4. Desain Alat Penelitian

Saya menggunakan bahan baja *stainless steels* pada tabung kondensor dan untuk pipa spiral kami menggunakan pipa tembaga ukuran diameter 80 mm terlihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Desain kondensor dengan pipa spiral

3.5. Prosedur Perancangan

Prosedur perancangan menggunakan aplikasi *solidworks* dapat melibatkan beberapa langkah umum dalam pembuatan desain. Berikut adalah panduan umum untuk perancangan menggunakan *Solidworks*:

1. Hidupkan terlebih dahulu komputer yang akan kita gunakan dengan menekan tombol power pada cpu seperti pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Tampilan awal PC/komputer

2. Membuka aplikasi solidworks dengan cara klik kiri dua kali pada ikon software solidworks terlihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Membuka *software solidwork*

3. Tampilan proses masuk ke aplikasi *solidwork* terlihat pada gambar 3.16



Gambar 3.16 Proses masuk aplikasi *solidwork*

4. Setelah itu akan muncul tampilan utama pada aplikasi *solidwork* terlihat pada gambar 3.17



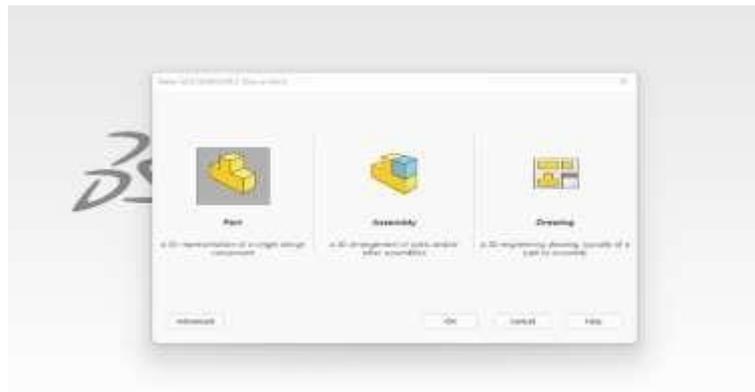
Gambar 3.17 Tampilan awal *solidwork*

5. Klik file pada sudut kiri atas untuk membuat dokumen baru, dengan memilih “new” seperti terlihat pada gambar 3.18



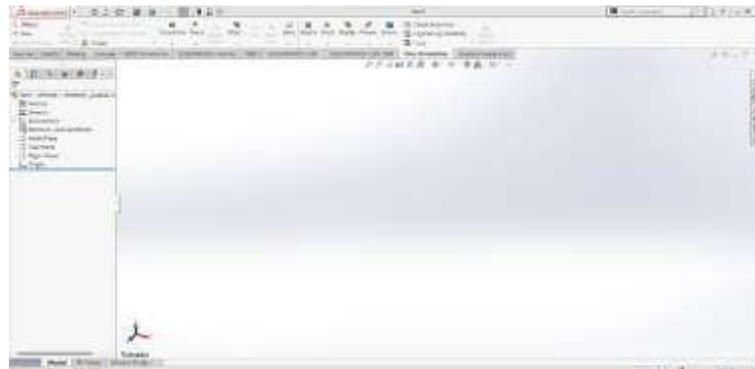
Gambar 3.18 Membuat dokumen baru

6. Kemudian pemilihan untuk pembuatan perancangan alat dengan memilih “part” seperti terlihat pada gambar 3.19



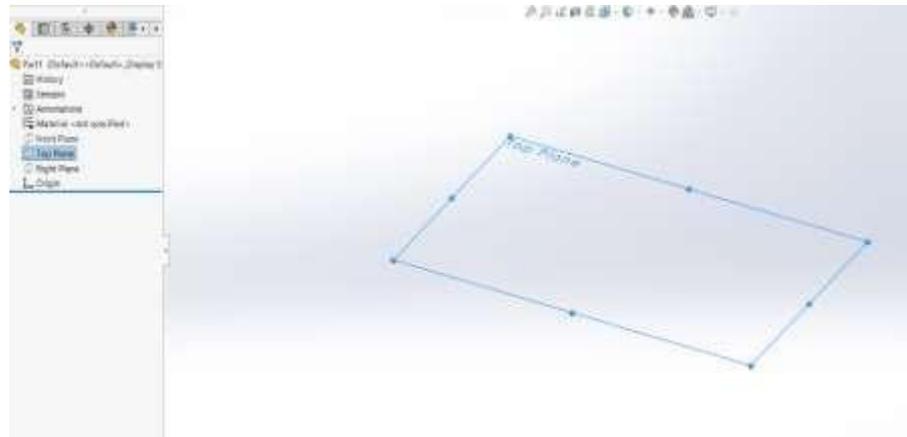
Gambar 3.19 Pemilihan part

7. Selanjutnya akan muncul tampilan menu awal *solidwork* seperti terlihat pada gambar 3.20



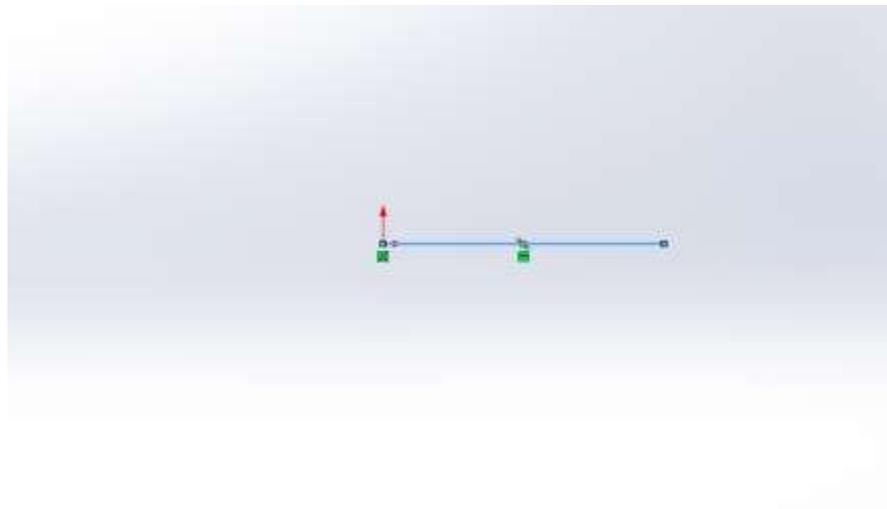
Gambar 3.20 Tampilan menu awal

8. Pemilihan sudut pandang sesuai kebutuhan perancangan alat yang akan Digambar seperti terlihat pada gambar 3.21



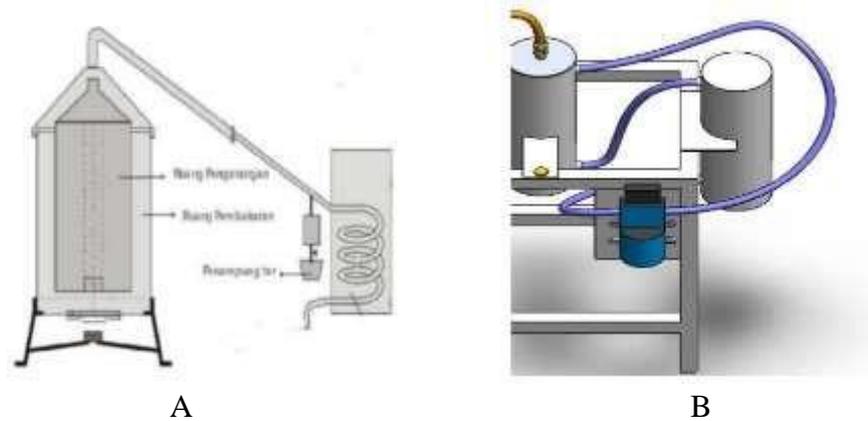
Gambar 3.21 Pemilihan sudut pandang

9. Memulai membuat desain yang di butuhkan sesuai perancangan seperti terlihat pada gambar 3.22.



Gambar 3.22 Memulai mendesain alat

Perbandingan desain kondensor alat pengubah uap menjadi cairan:



Gambar 3.23 Perbandingan Alat

Pada gambar A desain kondensor yang digunakan pada penelitian sebelumnya tidak menggunakan sistem sirkulasi pada proses kondensasi, sedangkan pada gambar B desain yang akan digunakan pada penelitian ini kondensor menggunakan metode pendinginan sistem sirkulasi yang dapat bekerja lebih efektif dalam mengubah uap panas menjadi cairan dan juga menjaga suhu didalam tabung kondensor agar tetap dingin. (B. P. Putra et al., 2022)

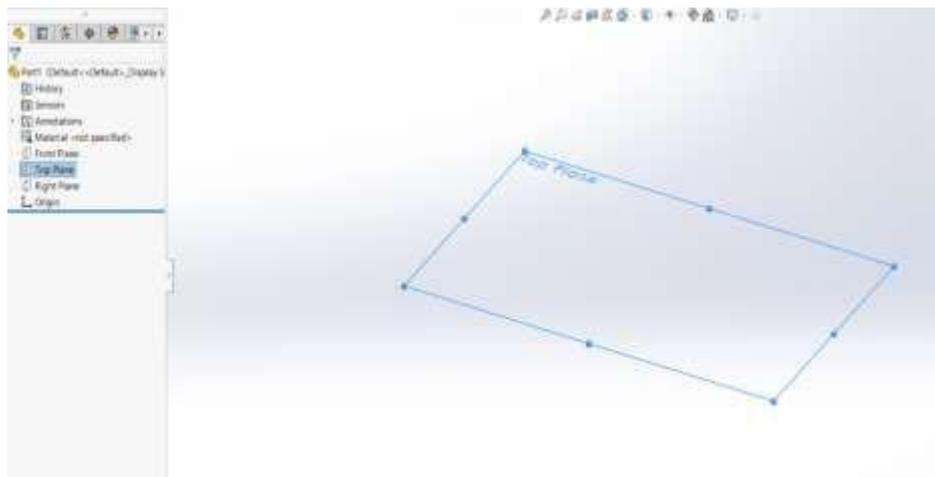
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pembuatan Desain Kondensor

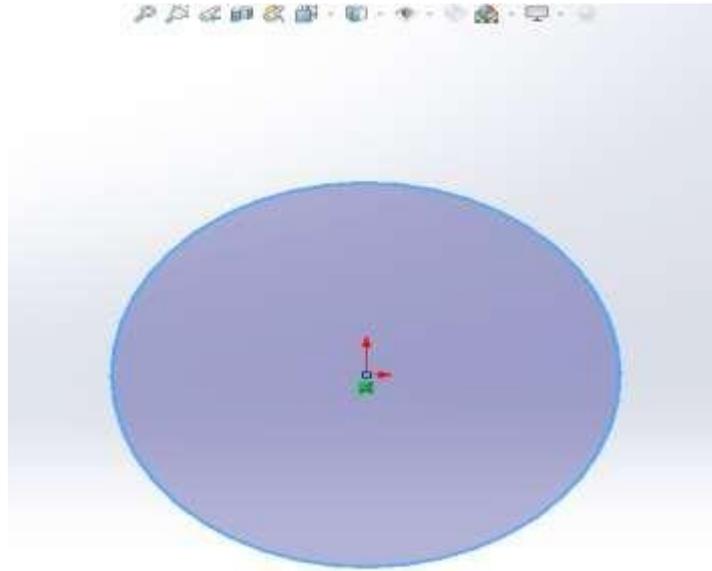
Desain kondensor dibuat dengan menggunakan aplikasi *solidworks* tahun 2020. Desain kondensor ini dibuat untuk mengubah uap dari hasil pembakaran dalam tabung reaktor berkapasitas 1kg, desain kondensor ini dikembangkan sebagai solusi untuk menggantikan kondensor dalam penelitian yang sudah ada, serta bertujuan untuk meningkatkan efektivitas dari mesin pirolisis yang digunakan untuk mengubah limbah plastik padat menjadi limbah cair yang dapat dikembangkan lagi menjadi bahan bakar melalui proses penyulingan dan juga masuk kedalam *labiratorium* untuk mengidentifikasi dan menyatakan termasuk kedalam minyak apa yang sesuai dengan kadar dan komposisi yang didapatkan. Desain ini secara spesifik terstruktur dalam 2 sub rakitan, meliputi sub-rakitan tabung kondensor dan sub-rakitan spiral. Dengan demikian, perangkat ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap efisiensi proses mesin pirolisis.

Berikut adalah Langkah-langkah dan hasil desain dari kondensor dan juga spiral mesin pirolisis berkapasitas 1kg. Pada awal desain saya menentukan sudut pandang, sudut pandang yang saya pilih adalah sudut pandang bagian atas dimana sudut pandang sangat berpengaruh saat proses *assembly* antara spiral dan juga kondensor seperti terlihat pada gambar 4.1.



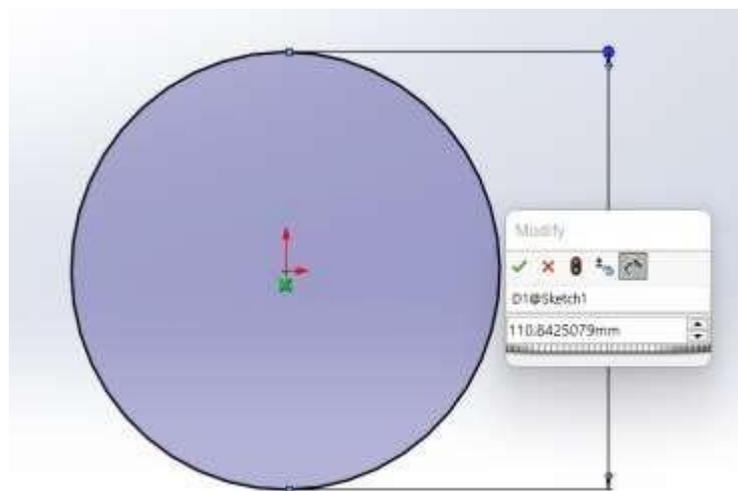
Gambar 4.1 Menentukan Sudut Pandang

Selanjutnya lanjut membuat *sketch* dalam pembuatan tabung kondensor agar sesuai dengan bentuk yang akan dibuat seperti terlihat pada gambar 4.2



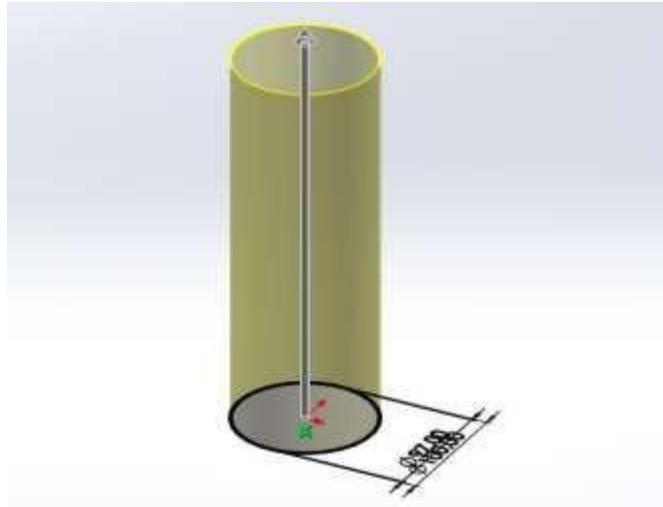
Gambar 4.2 Membuat Sketch

Setelah selesai membuat *sketch* yang akan digunakan lalu menentukan ukuran tabung desain kondensor dengan memilih fitur dimension pada aplikasi *solidworks* seperti terlihat pada gambar 4.3



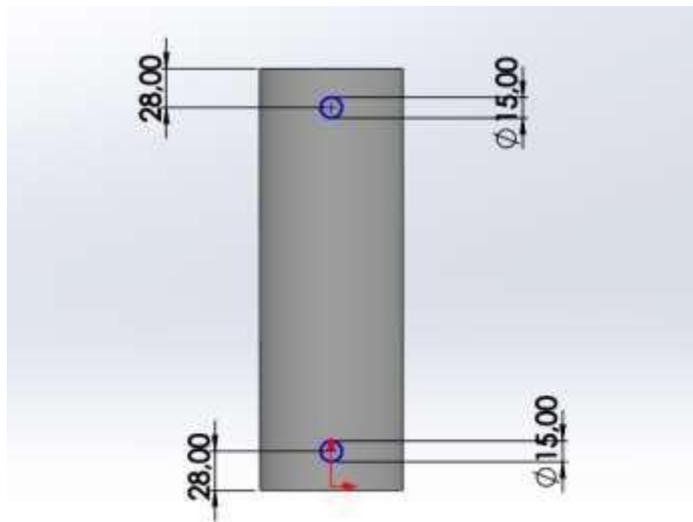
Gambar 4.3 Menentukan Dimensi

Masuk ke langkah selanjutnya yaitu memilih fitur boss-extrude dimana fitur ini membuat *sketch* yang telah didesain terbentuk menjadi sebuah tabung seperti terlihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Boss-Extrude Sketch

Setelah tabung kondensor terbentuk, lalu saya memilih sudut pandang kembali pada part kondensor, sudut pandang yang saya pilih yaitu sudut pandang right plane (bagian kanan), kemudian saya kembali membuat sketch untuk membuat lubang pada bagian kondensor tempat selang air untuk sirkulasi pada mesin pirolisis seperti terlihat pada gambar 4.5.



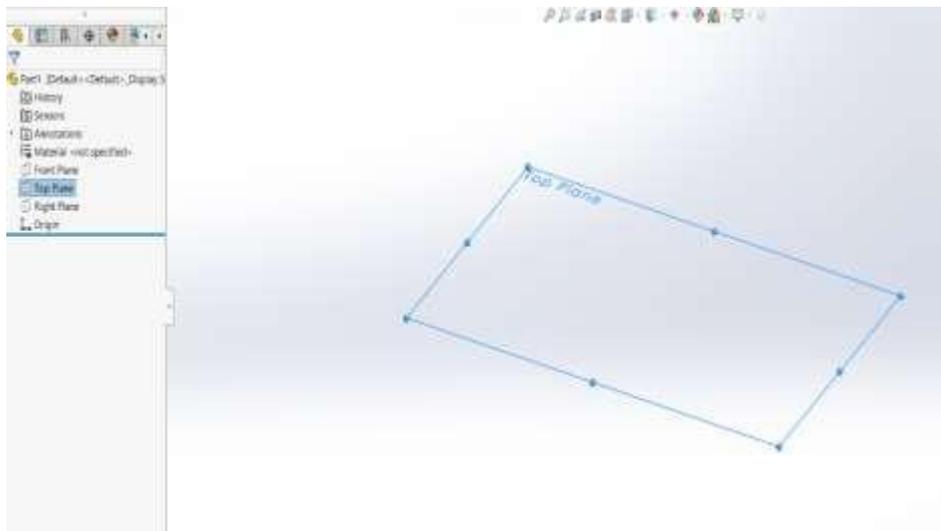
Gambar 4.5 Membuat Sketch Untuk Selang Air

Setelah langkah-langkah diatas dilakukan maka terbentuklah tabung kondensor dengan lubang disebelah kanan untuk selang air yang akan digunakan pada mesin pirolisis seperti terlihat pada gambar 4.6.



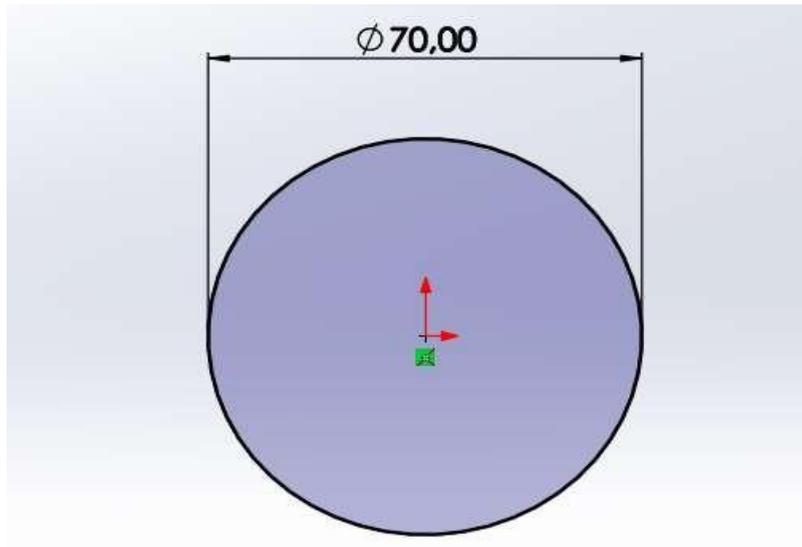
Gambar 4.6 Hasil Desain Kondensor

Kemudian saya menentukan sudut pandang kembali untuk mendesain spiral yang akan dimasukkan ke dalam tabung kondensor yang berfungsi untuk mengubah uap panas hasil pembakaran menjadi limbah cair seperti terlihat pada gambar 4.7.



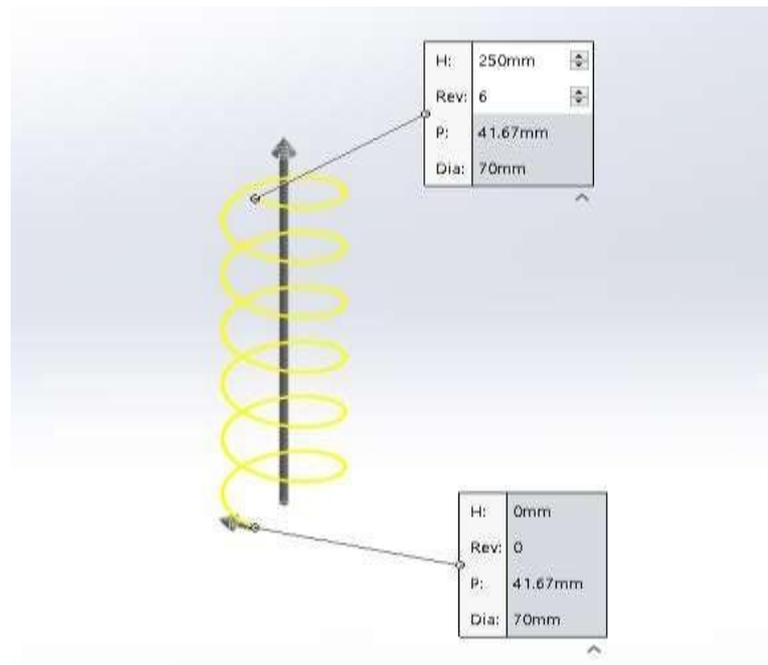
Gambar 4.7 Menentukan Sudut Pandang

Langkah selanjutnya yaitu membuat *sketch* sesuai dengan bentuk yang akan didesain setelah selesai membuat *sketch* yang didesain *sketch* diberikan dimensi atau ukuran sesuai dengan desain yang telah dirancang seperti terlihat pada gambar 4.8.



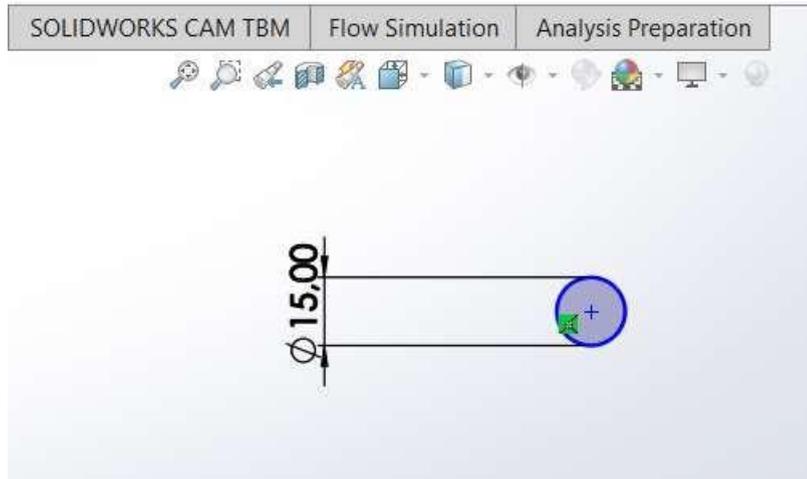
Gambar 4.8 Membuat *Sketch* & Menentukan Dimensi

Setelah membuat sketch dan memberikan dimensi, kemudian pilih fitur *helix/spiral* pada aplikasi *solidworks* untuk membuat sketch lingkaran yang telah didesain menjadi lilitan spiral, didalam fitur *helix/spiral* kita menentukan tinggi spiral dan banyaknya lilitan yang akan dibuat menjadi spiral seperti terlihat pada gambar 4.9.



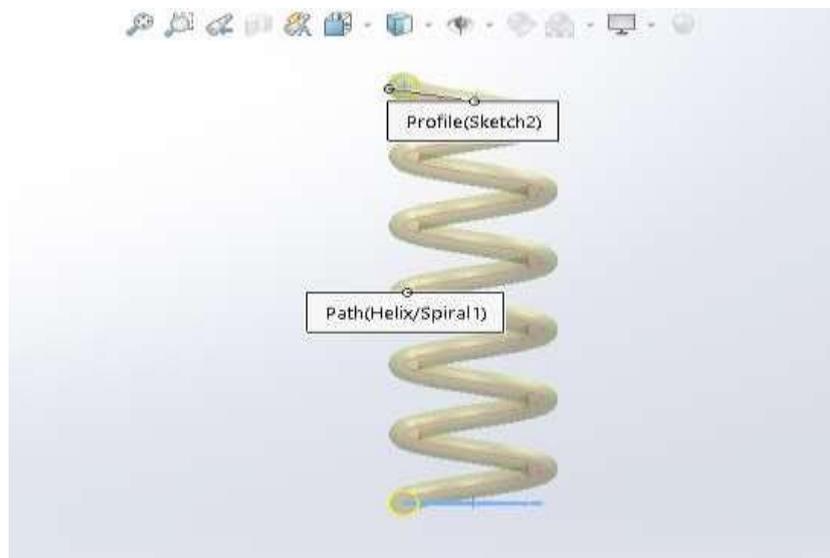
Gambar 4.9 Membuat Helix/Spiral

Kemudian lanjut membuat *sketch* dan memberikan ukuran kembali pada bagian ujung helix/spiral yang bertujuan untuk membuat besar lilitan tabung spiral seperti terlihat pada gambar 4.10



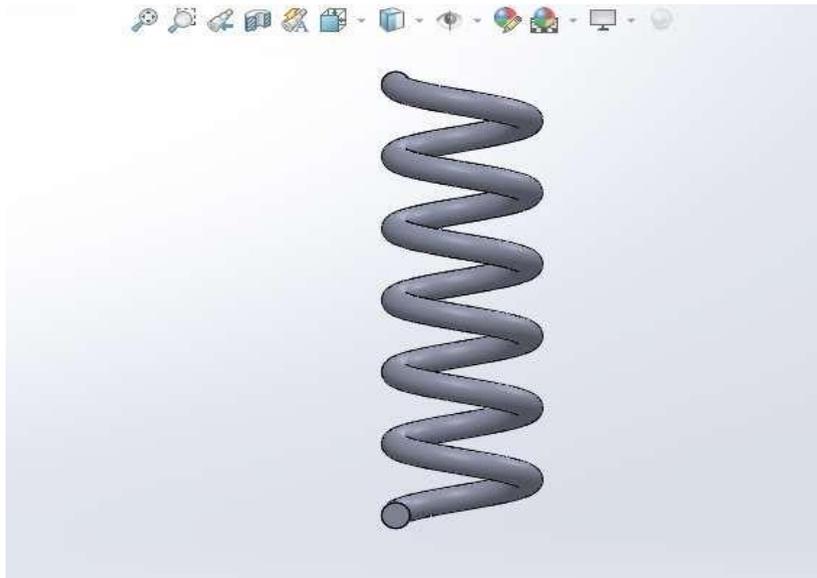
Gambar 4.10 Membuat *Sketch* & Menentukan Dimensi

Setelah selesai membuat *sketch* dan memberikan ukuran, lalu pilih fitur *sweep* untuk membuat desain spiral menjadi bentuk sempurna spiral dengan cara memilih bagian yang akan dibuat menjadi spiral seperti terlihat pada gambar 4.11.



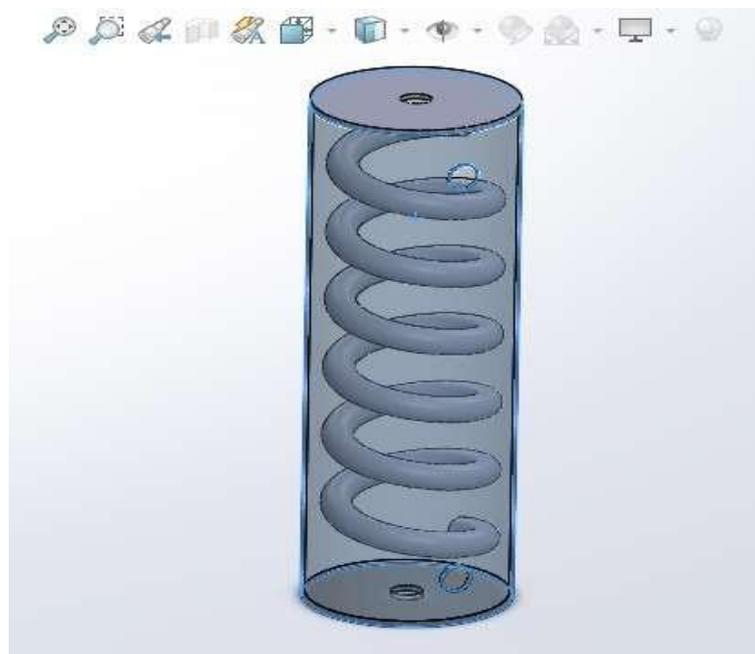
Gambar 4.11 Membuat Spiral Menggunakan Fitur *Sweep*

Kemudian setelah langkah-langkah telah selesai didesain maka berikut merupakan hasil desain spiral yang telah selesai yang akan dimasukan atau diassembley dengan kondensor, dimana spiral berada didalam tabung kondensor seperti terlihat pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Hasil Desain Spiral

Berikut merupakan hasil dari *assembly* antara desain spiral yang sudah jadi dengan desain kondensor yang akan digunakan pada penelitian mesin pirolisis berkapasitas 1kg seperti terlihat pada gambar 4.13.

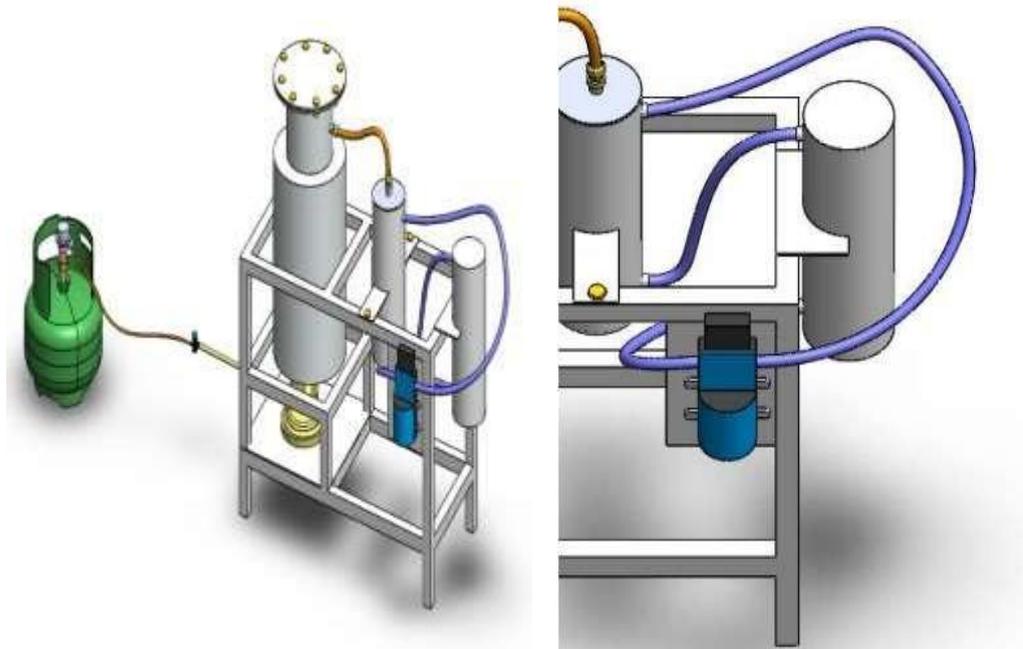


Gambar 4.13 Hasil Desain Spiral Didalam Kondensor

4.1.1 Desain Sistem Pendinginan Air

Desain pendinginan air pada mesin pirolisis ini menggunakan sistem sirkulasi seperti terlihat pada gambar 4.14, dimana pompa air berfungsi untuk membantu proses sirkulasi air didalam tabung kondensor, kemudian terdapat tabung

penampung air es disebelah kanan guna mendinginkan atau mengganti air yang bersuhu panas didalam kondensor agar didinginkan kembali pada tabung penampung air es, dimana proses sirkulasi tersebut dapat membantu mempercepat proses kondensasi pada lilitan spiral yang berada dalam tabung kondensor mesin pirolisis dan menjaga agar suhu pada tabung kondensor tetap dingin sehingga hasil yang didapatkan dari 1kg plastik padat dapat menghasilkan limbah cair sebanyak 794ml lebih banyak dibandingkan alat sebelumnya. Sedangkan dalam penelitian sebelumnya sistem pendinginan tanpa menggunakan sirkulasi mengakibatkan suhu pada tabung kondensor kurang terjaga sehingga dari 1kg plastk padat hanya dapat menghasilkan limbah cair 340ml seperti terlihat pada gambar 4.15. Didalam penelitian saya, saya hanya berfokus pada kondensor



Gambar 4.14 Desain Keseluruhan & Desain Sistem Pendinginan

A. Tanpa Sirkulasi 340ml



B. Dengan Sirkulasi 794ml



Gambar 4.15 Hasil Tanpa Sirkulasi & Hasil Dengan Sirkulasi

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pembahasan Kinerja *Thermal*

Kinerja *thermal* mengacu pada efisiensi atau kemampuan suatu sistem atau komponen untuk mengelola dan mengendalikan panas, kinerja termal sangat penting dalam berbagai aplikasi mulai dari desain bangunan, mesin dan juga perangkat elektronik. Setelah melakukan uji coba maka kinerja termal yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini:

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam proses pengambilan data:

1. Sebelum proses pengujian dimulai isi penampung air dengan air dan juga es batu untuk membantu proses kondensasi didalam tabung kondensor
2. Saat pembakaran pirolisis dimulai hidupkan pompa air yang membantu sirkulasi air dari tabung penampung air menuju kondensor
3. Sebelum melakukan pembukaan dalam *valve* lakukan pengambilan data suhu atas dan suhu bawah kondensor kemudian catat.
4. sebelum melakukan pembukaan siapkan wadah untuk menampung cairan pirolisis yang keluar dari tabung kondensor.
5. setelah menampung limbah cair yang keluar kemudian ukur suhu limbah cair menggunakan *thermometer* digital.
6. Ulangi langkah-langkah pada poin 3 sampai 5 hingga proses pembakaran pirolisis selesai

7. Setelah pengujian selesai jumlahkan cairan yang keluar pada setiap sesi pembukaan lalu catat hasil limbah cair tersebut

Tabel 4.2 Parameter mesin pirolisis

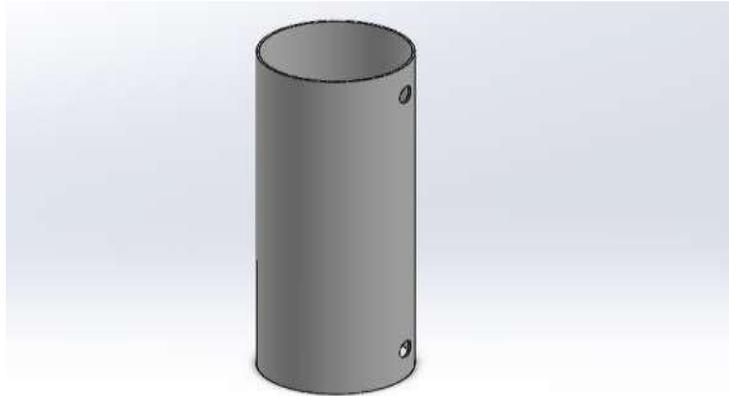
No.	Waktu (Jam)		Suhu Kondensor (°C)		Jumlah Hasil (ml)
	Mulai	Stop	Atas	Bawah	
1.	14.28	14.52	17.6	16.1	30
2.	14.53	15.00	19.5	18.4	40
3.	15.02	15.07	21.0	19.3	20
4.	15.10	15.16	27.8	20.8	20
5.	15.24	15.39	15.3	13.2	70
6.	15.42	15.53	14.7	13.9	89
7.	15.55	16.07	17.6	16.81	80
8.	16.09	16.22	23.0	21.9	90
9.	16.23	16.32	8.1	7.8	90
10.	16.33	16.42	14.1	11.1	100
11.	16.43	16.50	20.1	14.5	70
12.	16.52	17.00	17.9	17.1	80
13.	17.01	17.20	24.1	23.3	10
14.	17.21	17.32	25.9	24.7	5
Rata-rata			19,05	17,06	
Jumlah hasil					794

4.2.2 Hasil *Thermal Simulation*

Simulasi *thermal* merupakan proses pemodelan dan analisis untuk memahami bagaimana panas berpindah atau didistribusikan dari tempat pembakaran yaitu reaktor dan dipindahkan melalui tempat pendingin kondensor, simulasi ini dilakukan untuk memastikan apakah perpindahan panas beroperasi dengan aman didalam kondensor, simulasi *thermal* dilakukan melalui beberapa langkah:

1. Menentukan Model 3D

Menetapkan model 3D yang akan disimulasikan terlihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.16 Model 3D Yang Akan Disimulasi

2. Menentukan Material Desain

Memberikan jenis material pada desain yang akan disimulasi agar hasil simulasi sesuai dengan yang kita lakukan saat uji coba secara langsung seperti terlihat pada gambar 4.17.

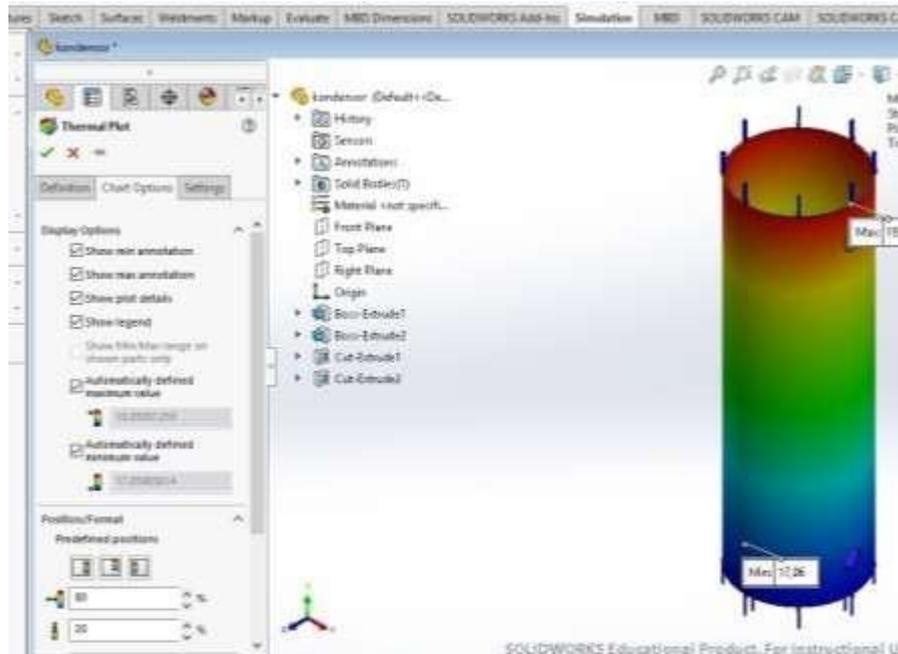
Material Properties for AISI 316 Stainless Steel Sheet (SS):

Property	Value	Units
Elastic Modulus	192999.9974	N/mm ²
Poisson's Ratio	0.27	N/A
Shear Modulus		N/mm ²
Mass Density	8000.000133	kg/m ³
Tensile Strength	580.0000006	N/mm ²
Compressive Strength		N/mm ²
Yield Strength	172.3689323	N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient	1.6e-05	/K
Thermal Conductivity	16.3	W/(m-K)
Specific Heat	500	J/(kg-K)
Material Damping Ratio		N/A

Gambar 4.17 Spesifikasi material

3. Memberikan Suhu Pada Objek

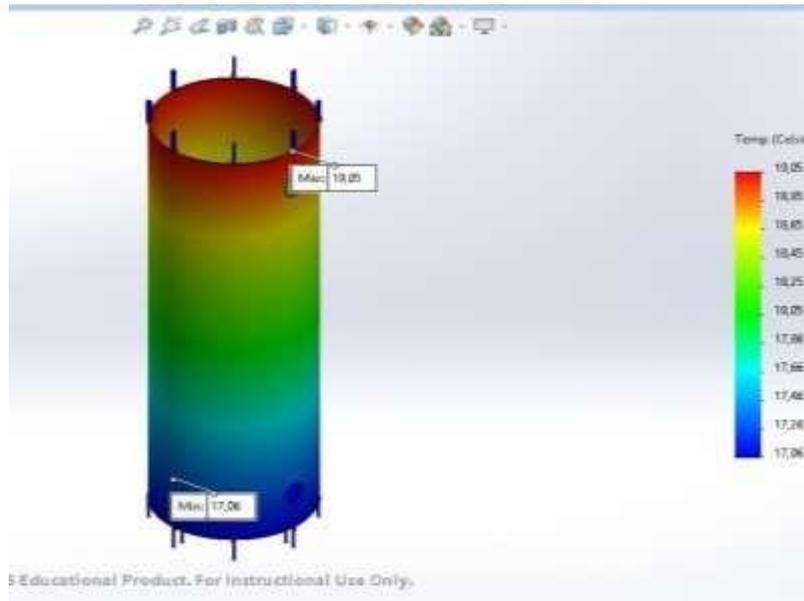
Objek yang akan disimulasi diberikan suhu, pada daerah atas bagian kondensor diberikan suhu sebesar $19,05^{\circ}\text{C}$ dan pada bagian bawah suhu kondensor sebesar $17,06^{\circ}\text{C}$ ini dilakukan agar objek dapat melakukan perpindahan panas secara efektif dapat dilihat pada gambar 4.18.



Gambar 4.18 Suhu pada objek

4. Hasil Simulasi *Thermal*

Maka didapatkan hasil dari simulasi *thermal* pada kondensor yaitu suhu maksimal berada pada bagian atas kondensor sebesar $19,05^{\circ}\text{C}$ dan suhu terendah berada pada bagian bawah kondensor sebesar $17,06^{\circ}\text{C}$ sehingga didapatkan suhu rata rata pada tabung kondensor yang digunakan sebesar $18,05^{\circ}\text{C}$ dapat dilihat pada gambar 4.19



Gambar 4.19. Hasil simulasi *thermal* menggunakan material
AISI 316 *steinless steel*

Dapat kita lihat pada gambar 4.19 maka jumlah volume tabung pada kondensor dapat dihitung menggunakan rumus yang telah dijabarkan pada bab 2:

- Menghitung volume tabung kondensor

$$V = \pi \times r^2 \times t$$

$$V = 3,14 \times 50^2 \times 303$$

$$V = 2.378.550mm^3$$

$$V = 2.378,55cm^3$$

Setelah dihitung volume tabung kondensor adalah sebanyak $2.378,55cm^3$. menunjukkan analisis distribusi suhu pada sebuah silinder menggunakan perangkat lunak simulasi, seperti *solidworks*. Warna pada silinder menggambarkan variasi suhu, di mana warna merah mewakili suhu tertinggi dan warna biru mewakili suhu terendah. Gradien warna dari merah ke hijau, kemudian ke biru, menunjukkan distribusi suhu yang bertahap sepanjang silinder. Berdasarkan analisis, suhu maksimum sebesar $19,05^{\circ}C$ terletak di bagian atas silinder, sedangkan suhu minimum sebesar $17,06^{\circ}C$ terdapat di bagian bawah. Perbedaan ini menunjukkan adanya gradien suhu yang stabil dari atas ke bawah, yang mengindikasikan bahwa panas mungkin diterapkan di bagian atas atau terjadi pendinginan di bagian bawah

silinder. Selain itu, distribusi suhu yang relatif merata di sekitar dinding silinder mengindikasikan bahwa material memiliki sifat termal yang homogen atau pengaruh termal eksternal berlangsung secara seragam.

Pada suhu terendah yaitu 17.06°C berada pada bagian bawah kondensor mulai dari ketinggian 0 sampai 78 mm dari jumlah tinggi tabung kondensor untuk melihat ketinggian kita menggunakan *measure* untuk menghitung volume kondensor pada suhu terendah dapat menggunakan rumus:

$$V = \pi \times r^2 \times t$$

$$V = 3,14 \times 50^2 \times 78$$

$$V = 612,300mm^3$$

$$V = 612,3cm^3$$

Kemudian pada tabung kondensor berwarna hijau menunjukkan suhu 17,66°C sampai 18,45°C berada pada bagian tengah kondensor mulai dari 78 sampai 250 mm dari jumlah tinggi tabung kondensor maka volume tabung kondensor pada bagian tengah dapat dihitung pada rumus:

$$V = \pi \times r^2 \times t$$

$$V = 3,14 \times 50^2 \times 175$$

$$V = 1.375,75mm^3$$

$$V = 1.375,75cm^3$$

Selanjutnya pada tabung kondensor berwarna merah menunjukkan suhu 18,65°C sampai 19,05°C berada pada bagian tengah kondensor mulai dari 250 sampai 300 mm dari jumlah tinggi tabung kondensor maka volume tabung kondensor pada bagian tengah dapat dihitung pada rumus:

$$V = \pi \times r^2 \times t$$

$$V = 3,14 \times 50^2 \times 50$$

$$V = 392,500mm^3$$

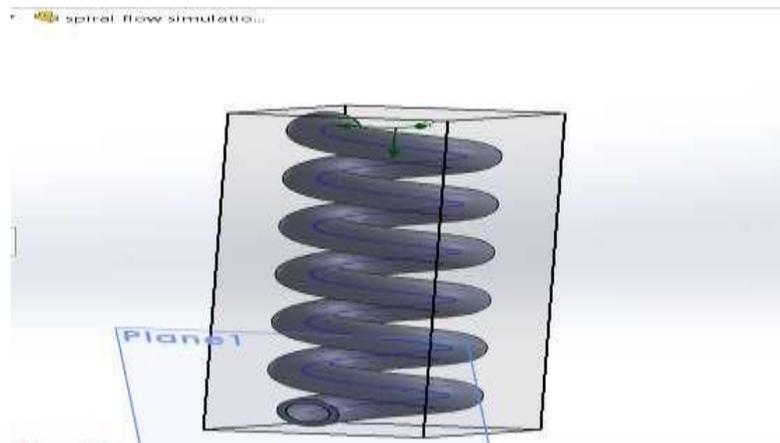
$$V = 392,5cm^3$$

4.2.3 Hasil *Flow Simulation*

Flow simulation pada *solidworks* adalah simulasi yang digunakan untuk melakukan analisis dinamika fluida komputasi (*Computational Fluid Dynamics* atau CFD) langsung didalam aplikasi *solidworks*. *Flow simulation* mempermudah saya untuk mensimulasikan aliran fluida yang terjadi pada pipa spiral yang terdapat pada tabung kondensor, perpindahan panas, dan interaksi fluida-struktur dalam model 3D yang saya desain. Dengan *solidworks flow simulation*, saya dapat melakukan analisis aliran fluida yang kompleks sehingga dapat mempercepat proses simulasi dan pengembangan produk. *Flow simulation* dilakukan dalam beberapa langkah-langkah:

1. Menentukan Model 3D

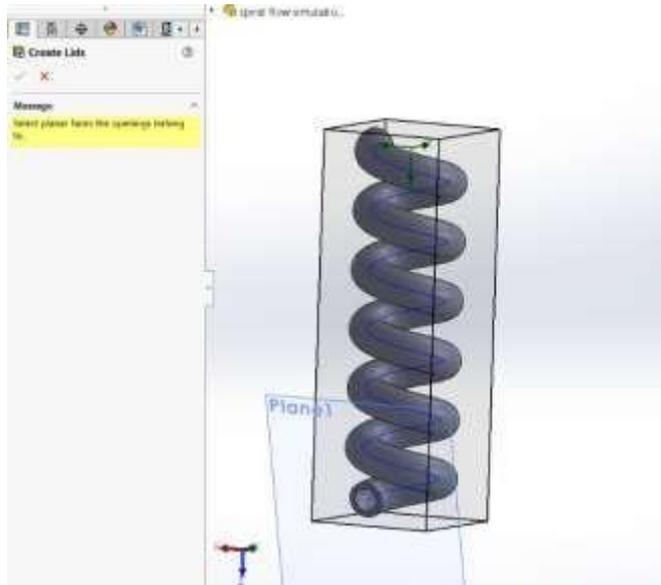
Menentukan model 3D yang akan disimulasikan dapat dilihat pada gambar 4.20



Gambar 4.20 Model 3D *flow simulation*

2. *Create Lids*

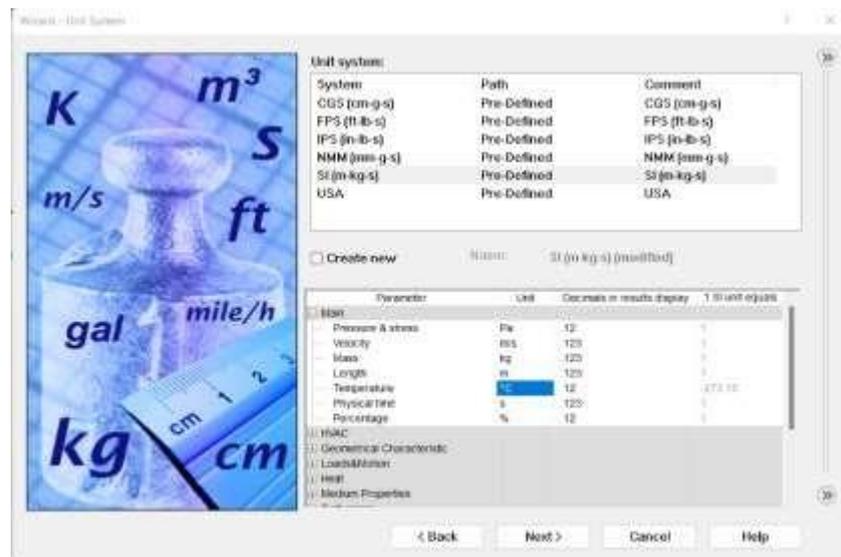
Create lids digunakan untuk menentukan setiap ujung spiral pada spiral untuk dimasukan fluida yang akan disimulasi. Dengan cara mengklik ujung spiral bagian atas dan bawah seperti terlihat pada gambar 4.21



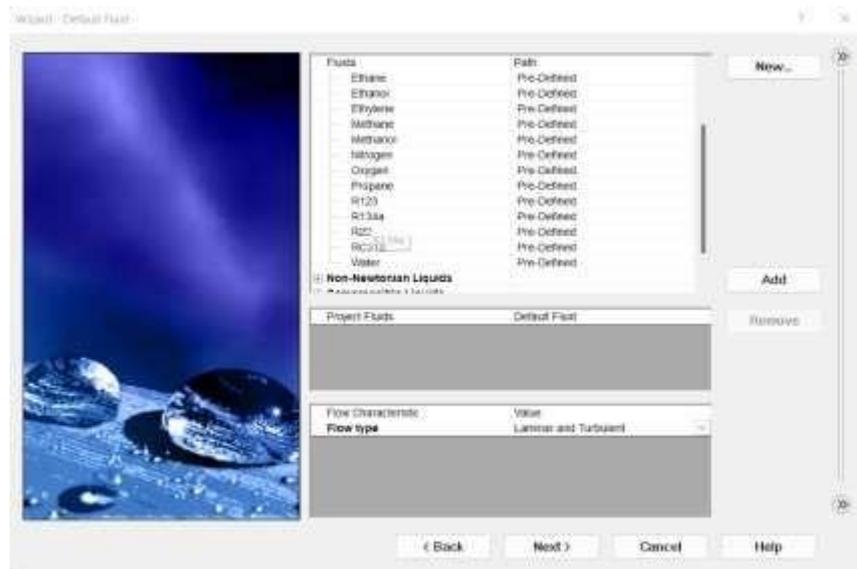
Gambar 4.21 *Create lids*

3. Fitur *Wizard*

Wizard digunakan untuk menentukan suhu dan jenis fluida yang akan disimulasikan. Dengan cara klik fitur *wizard* lalu pilih jenis temperatur °C dan lalu pilih *next* dan pilih jenis fluida yang akan disimulasikan setelah semua yang ada difitur *wizard* kita pilih finish dapat dilihat pada gambar 4.22 dan 4.23.



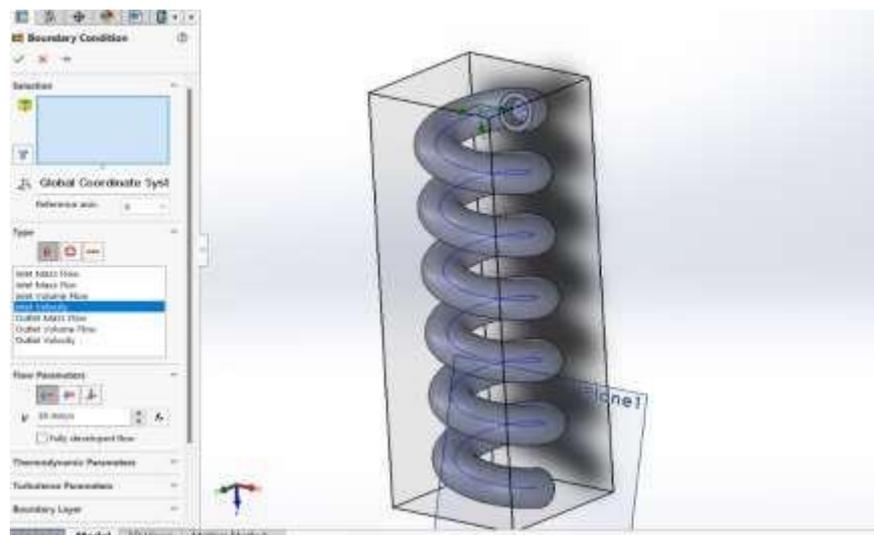
Gambar 4.22 *Wizard* parameter



Gambar 4.23 Wizard fluids

4. Boundary Condition

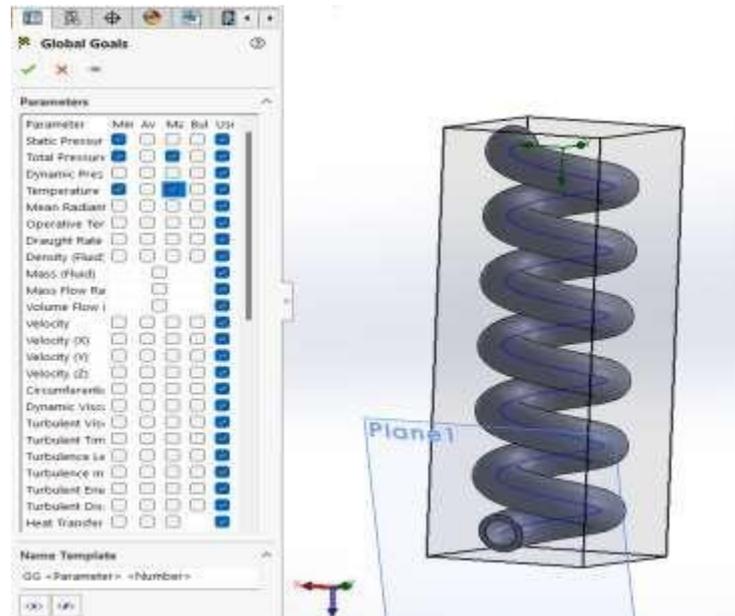
Fitur *boundary condition* digunakan untuk menentukan bagian awal masuk dan keluarnya fluida. Dengan cara memilih setiap ujung spiral yang akan dilakukan simulasi seperti terlihat pada gambar 4.24.



Gambar 4.24 Boundary condition

5. Goals

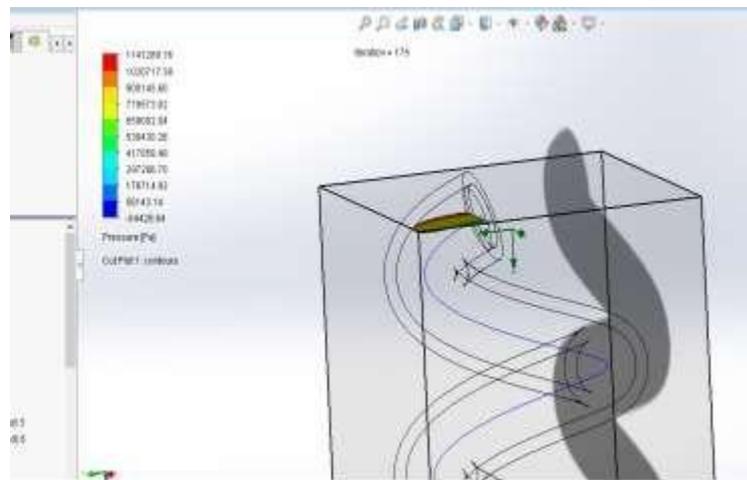
Fitur *goals* digunakan untuk menampilkan apa saja yang akan ditampilkan saat simulasi telah selesai seperti temperature dan tekanan pada spiral yang diisi dengan fluida. Dengan cara klik *goals* kemudian klik kanan lalu pilih *insert global goals* lalu pilih apa saja yang ingin ditampilkan seperti terlihat pada gambar 4.25.



Gambar 4.25 Global goals

6. Result (Cut Plot)

Klik tanda + disebelah kiri pada result lalu pilih cut plot didalam *cut plot* tentukan kemana arah fluida akan mengalir. Dengan cara klik *front plane* agar arah fluida mengalir dari atas ujung fluida sampai kebawah ujung spiral seperti terlihat pada gambar 4.26.

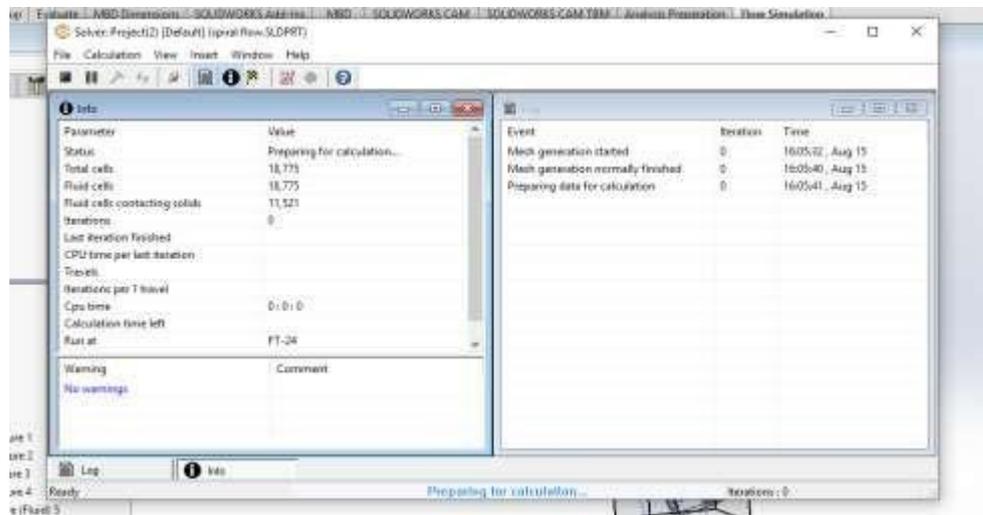


Gambar 4.26 Cut plot

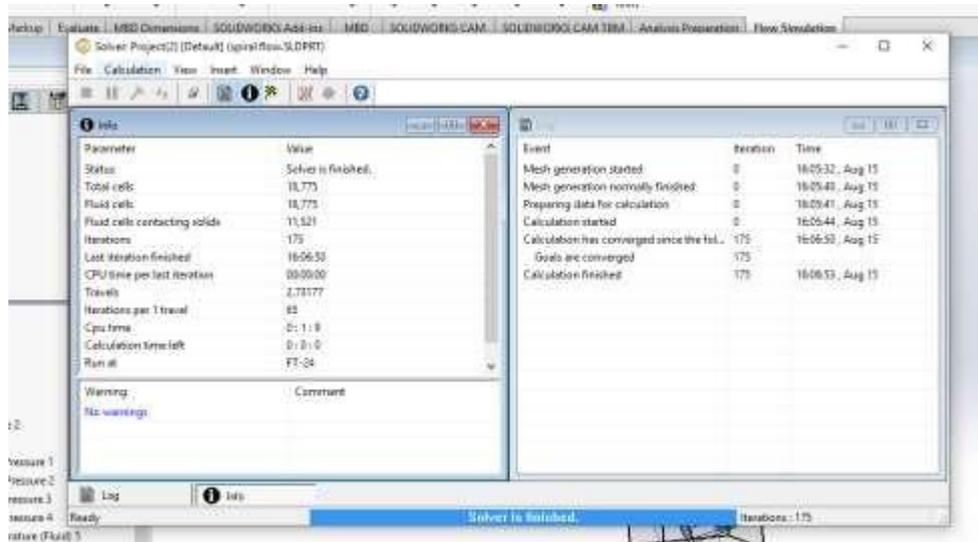
7. Flow Trajectories

Flow Trajectories digunakan untuk memilih lintasan aliran dari fluida yang akan disimulasikan. Dengan cara memilih ujung spiral bagian bawah lalu pilih ceklis, kemudian kita jalankan dengan cara mengklik fitur run

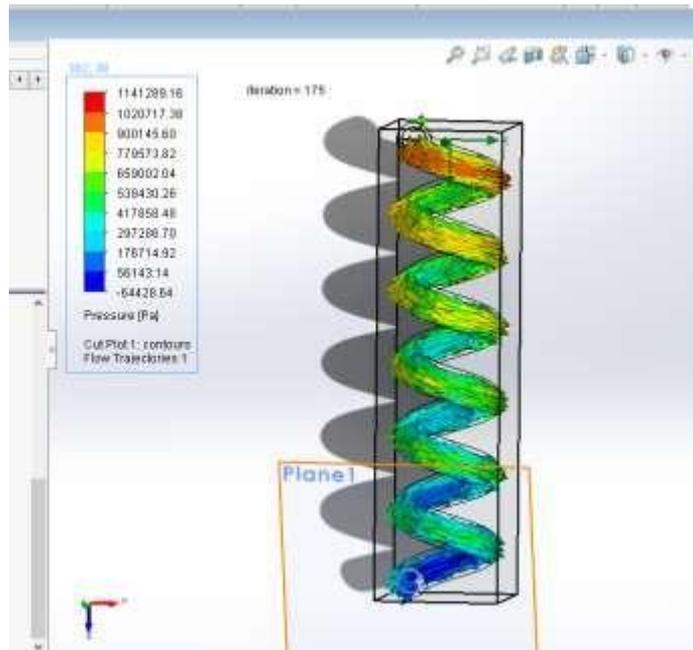
pada solidworks untuk melihat hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.27, 4.28 dan 4.29.



Gambar 4.27 Run project

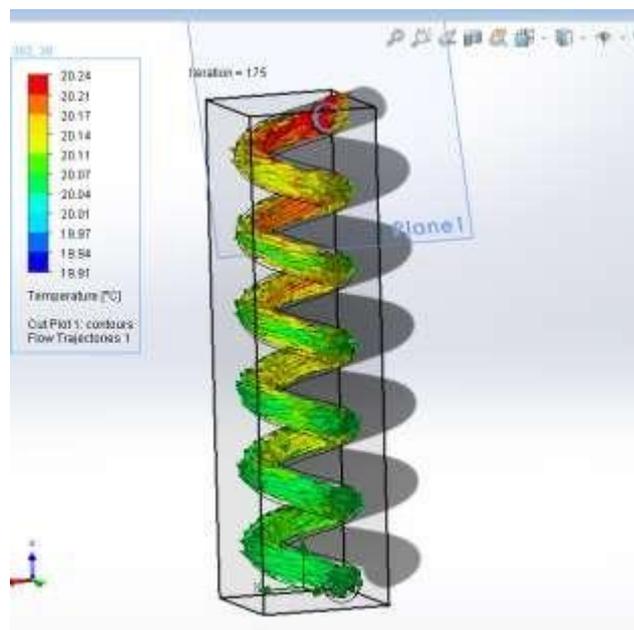


Gambar 4.28 Hasil run project



Gambar 4.29 Hasil flow trajectories

Setelah semua langkah-langkah telah dilakukan maka hasil dari simulasi telah didapatkan seperti terlihat pada gambar 4.30, untuk menampilkan hasil simulasi dengan cara mengklik bagian kanan pada *mouse* lalu pilih *play* untuk melihat *flow simulation* yang telah dibuat



Gambar 4.30 Hasil flow simulation (temperature)

Hasil *flow simulation* pada *temperature* didapatkan suhu yang berbeda pada awal masuk *fluida* hingga keluarnya *fluida*, dapat dilihat pada gambar 4.28. dimana pada masuk suhu berwarna merah menunjukkan suhu panas setelah terjadi kondensasi air pada tabung kondensor sehingga spiral mengalami kondensasi suhu menjadi lebih dingin sehingga dapat menghasilkan cairan pirolisis yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut.

Maka cara kerja kondensor secara spesifik yaitu kondensor bekerja dengan mengubah uap panas yang masuk melalui perantara pipa penghubung lalu masuk kedalam lilitan spiral didalam kondensor menjadi cairan, dengan cara melepaskan panas menuju medium pendingin air.

Efektivitas kondensor dapat diketahui melalui perhitungan dengan rumus yang dijabarkan pada bab 2 yaitu dengan cara :

$$(\varepsilon) = \frac{T_{uap\ masuk} - T_{uap\ keluar}}{T_{uap\ masuk} - T_{c,masuk}}$$

$$(\varepsilon) = \frac{174^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}}{174^{\circ}\text{C} - 18^{\circ}\text{C}}$$

$$(\varepsilon) = \frac{134^{\circ}\text{C}}{156^{\circ}\text{C}} = 0,85$$

Berdasarkan perhitungan efektivitas kondensor yang telah dilakukan, diperoleh nilai efektivitas sebesar 0,85 atau 85%. Ini berarti kondensor yang dirancang memiliki kemampuan yang sangat baik dalam mengubah uap panas menjadi cairan dengan efektivitas 85%. Nilai ini menunjukkan bahwa kondensor berhasil melepaskan panas dari uap dengan efektif, sehingga uap yang masuk dengan suhu tinggi dapat didinginkan hingga mencapai suhu yang jauh lebih rendah saat keluar dari kondensor.

Efektivitas sebesar 85% mengindikasikan bahwa desain kondensor ini bekerja dengan sangat efektif, mendekati kinerja maksimal yang dapat dicapai oleh sistem kondensasi pada mesin pirolisis. Dengan demikian, kondensor ini dapat dianggap sebagai solusi yang sangat efektif dalam meningkatkan kinerja mesin pirolisis yang dapat mengubah plastik padat menjadi cair.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Penelitian ini berhasil merancang dan mensimulasikan sebuah kondensor yang digunakan dalam mesin pirolisis berkapasitas 1 kg dapat menghasilkan limbah cair lebih banyak sebanyak 794ml dibandingkan alat sebelumnya sebanyak 340ml, dengan tujuan untuk meningkatkan efektivitas konversi limbah plastik padat menjadi limbah cair. Desain kondensor dibuat menggunakan aplikasi *SolidWorks*, yang terdiri dari dua sub-rakitan utama: tabung kondensor dan spiral internal. Proses perancangan melibatkan berbagai langkah, termasuk penentuan sudut pandang, pembuatan sketch, penentuan dimensi, dan penggunaan fitur seperti boss-extrude, helix/spiral, serta sweep untuk membentuk komponen utama kondensor.
2. Dari hasil simulasi thermal dan aliran fluida, ditemukan bahwa suhu maksimum sebesar $19,05^{\circ}\text{C}$ berada di bagian atas kondensor, sementara suhu minimum sebesar $17,06^{\circ}\text{C}$ terdapat di bagian bawah. Gradien suhu ini menunjukkan penurunan suhu panas yang tidak signifikan sepanjang kondensor, dengan distribusi suhu yang merata di sekitar dinding tabung. Selain itu, simulasi aliran fluida (Flow Simulation) menunjukkan perubahan suhu yang signifikan pada fluida dari panas saat masuk hingga dingin saat keluar, menggambarkan proses kondensasi yang efektif.
3. Efektivitas kondensor yang dihitung sebesar 85% menunjukkan bahwa desain ini sangat efektif dalam mengubah uap panas menjadi cairan. Kondensor yang dirancang mampu melepaskan panas dengan baik, sehingga uap yang masuk dapat didinginkan hingga suhu rendah saat keluar. Dengan demikian, kondensor ini terbukti sebagai solusi yang efektif dan efisien untuk meningkatkan kinerja mesin pirolisis dalam konversi limbah plastik menjadi bahan bakar cair.

5.2 Saran

Meskipun desain spiral yang digunakan telah menunjukkan hasil yang memuaskan, optimasi lebih lanjut tetap diperlukan untuk meningkatkan laju perpindahan panas, yang berpotensi meningkatkan efektivitas keseluruhan sistem. Selain itu, pengembangan desain kondensor untuk aplikasi dengan kapasitas yang lebih besar juga patut dipertimbangkan, sehingga teknologi ini dapat diterapkan pada skala industri yang lebih luas. Meskipun material *stainless steel* AISI 316 telah terbukti efektif, eksplorasi terhadap material lain dengan konduktivitas termal yang lebih tinggi atau ketahanan korosi yang lebih baik juga disarankan untuk meningkatkan durabilitas dan kinerja kondensor di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

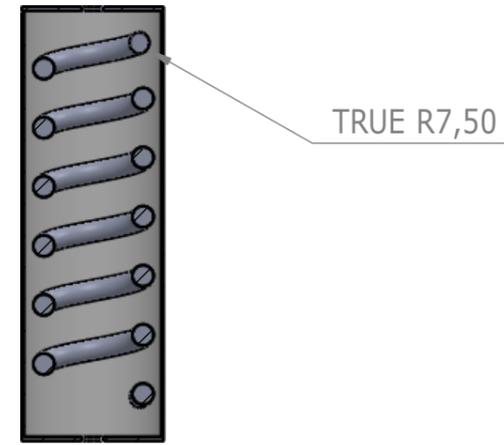
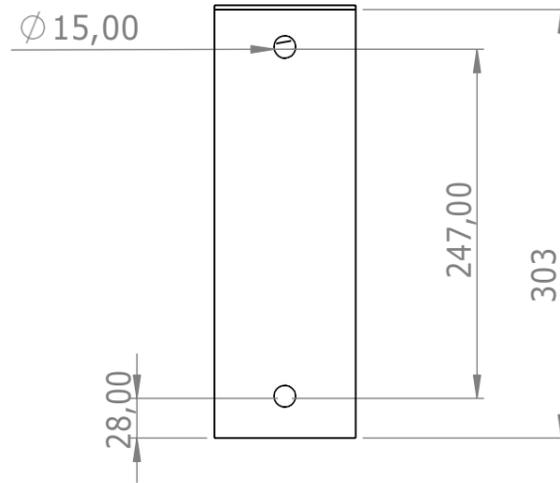
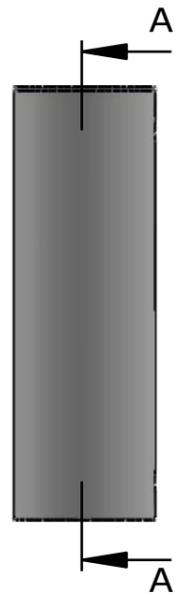
- Amalia Ardianti, D. (2019). Rancang Bangun Alat Pengkonversi Sampah Plastik Menggunakan Metode Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak dalam Upaya Penanganan Masalah Lingkungan. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 3(2), 91–96. <https://doi.org/10.24198/jiif.v3i2.23152>
- Batutah, M. A., Arifin, D., Poniman, P., & Solikin, S. (2021). Perancangan Spiral Kondensor untuk Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Proses Pirolisis. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 6(2), 174–183. <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v6i2.2686>
- Damanik, H. (2020). Perancangan dan Pembuatan Alat Pirolisis Skala Rumah Tangga Menggunakan Limbah Tempurung Kelapa. *Tugas Akhir Universitas Islam Riau*, 1–63.
- Iverson, B. L., & Dervan, P. B. (n.d.). *No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析* Title. 7823–7830.
- Karo Karo, S. F., Dariantio, D., & Idris, M. (2023). Jurnal Ilmiah Teknik Mesin dan Industri (JITMI) Analisis Efektivitas Perpindahan Panas Kondensor pada Proses Destilasi Daun Serai Wangi Analysis of the Effectiveness of Heat Transfer in the Condenser of Lemongrass Distillation Process. *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika Dan Elektro (JITEK)*, 2(1), 31–40. <https://doi.org/10.31289/jitmi.v2i1.1951>
- Lara. (2022). No Title, 8.5.2017, האר העינים. הכי קשה לראות את מה שבאמת לנגד העינים.
ץ
2003–2005. www.aging-us.com
- Mustaqim. (2019). *Pengaruh Air Pendingin Kondensor Terhadap Proses Pengembunan Pada Alat Pirolisis*.
- Nasution, R. S. (2015). Berbagai Cara Penanggulangan Limbah Plastik. *Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology*, 1(1), 97–104. <https://jurnal.ar-raniry.ac.id/index.php/elkawnie/article/view/522>
- Nofendri, Y., & Haryanto, A. (2021). Perancangan Alat Pirolisis Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 6(1), 1–11. <https://doi.org/10.52447/jktm.v6i1.4454>
- Okatama, I. (2017). Analisa Peleburan Limbah Plastik Jenis Polyethylene

- Terphtalate (Pet) Menjadi Biji Plastik Melalui Pengujian Alat Pelebur Plastik. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(3), 20. <https://doi.org/10.22441/jtm.v5i3.1213>
- Rakhmah, A. A., Ramadhan, D., & Zahراسيwi, R. F. (2023). *Pemanfaatan Potensi Sampah Sebagai Sumber Energi*. 1(4).
- Randy Septiawan, dan. (2018). Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi Analisa Pengujian Lelah Material Stainless Steel 304 Dengan Menggunakan Rotary Bending Fatigue Machine. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 1(1), 64–73. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>
- Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. (2019). Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(1), 69–78. <https://doi.org/10.24127/trb.v8i1.924>
- Ridhuan, K., & Juniawan, I. G. A. (2014). Pengaruh Media Pendingin Air Pada Kondensor Terhadap Kemampuan Kerja Mesin Pendingin. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 3(2), 1–6. <https://doi.org/10.24127/trb.v3i2.11>
- Santoso, K. A. (2019). Analisa Pengaruh Laju Korosi Plat Baja ST 40 dan Stainless Steel 304 terhadap Larutan Asam Sulfat. *Majamecha*, 1(1), 24–35. <https://doi.org/10.36815/majamecha.v1i1.365>
- Sebagai, D., & Satu, S. (2023). *Rancang Bangun Alat Destilasi Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Melalui Proses Pirolisis Tugas Akhir*.
- Situmorang, R. (2022). Prosedur Perakitan Alat Pirolisis Sampah Plastik Dengan Reaktor Ganda. In *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]* (Vol. 2). <http://jurnalmahasiswa.umsu.ac.id/index.php/jimt/article/view/1521>
- Suhendi Syafei, N. (2020). Analisa Penyebab Kegagalan Pengelasan Logam Stainless Steel (SA 213T2) dengan (SS 304 H). *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 4(2), 140–154. <https://doi.org/10.24198/jiif.v4i2.27173>
- Wahyudi, E., Saputra, E., Teknik, F., Riau, U., Kimia, J. T., Teknik, F., & Riau, U. (2012). *Bahan Bakar Minyak Dengan Metode Perengkahan*. 6(2).
- Wahyudi, J., Prayitno, H. T., Astuti, A. D., Perencanaan, B., Daerah, P., & Pati, K. (2018). *Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan baku pembuatan*

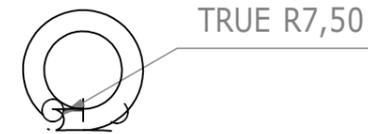
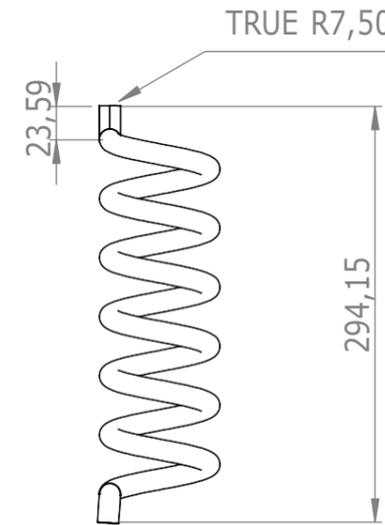
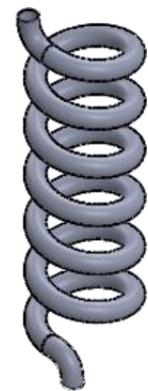
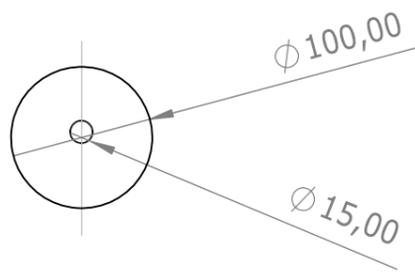
bahan bakar alternatif the utilization of plastic waste as raw material for producing alternative fuel. XIV(1), 58–67.

- Wajdi, B., Sapiruddin, S., Novianti, B., & Zahara, L. (2020). Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak (BBM) Dengan Metode Pirolisis Sebagai Energi Alternatif. *Kappa Journal*, 4(1), 100–112. <https://doi.org/10.29408/kpj.v4i1.2156>
- Wicaksono, M. A., & Arijanto. (2017). Pengolahan Sampah Plastik Jenis Pet(Polyethylene Perephthalathe) Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(1), 9–15. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/16921>
- Yunaidi. (2016). Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST) Perbandingan Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah dan Stainless Steel Seri 201, 304, dan 430 Dalam Media Nira. *Yunaidi. Jurnal Mekanika Dan Sistem Termal*, 1(1), 1–6.
- Akhir, T., Kondensor, P., Spiral, P., Alat, H., Limbah, P., Menjadi, P., Bakar, B., Studi, P., Mesin, T., Teknik, F., Muhammadiyah, U., & Utara, S. (2024). *Tugas akhir pembuatan kondensor pipa spiral horizontal alat penyuling limbah plastik menjadi bahan bakar minyak berkapasitas 3kg.*
- Putra, B. P., Putra, W. T., Fadelan, F., Sudarno, S., & Winardi, Y. (2022). Pengaruh Pendingin Air Dan Es Terhadap Hasil Pirolisis Minak Plastik. *Komputek*, 6(2), 20. <https://doi.org/10.24269/jkt.v6i2.1477>
- Putra, H. (2019). Pengaruh media pendingin sesudah pengelasan terhadap sifat mekanis stainless steel 316. *Jurnal Ekonomi*, 2(1), 41–49.





SECTION A-A



NO	PART	QTY	MATERIAL
1	TABUNG KONDENSOR	1	STAINLESS STEEL 316 (SUS)
2	TUTUP KONDENSOR	2	STAINLESS STEEL 316 (SUS)
3	SPIRAL	1	COPPER

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN PUJA DEVA ADITYA		
CHK'D /RYA RUDI NST. S.T.,M.T		
APPV'D /RYA RUDI NST. S.T.,M.T		
MFG		
Q.A		

TITLE:
KONDENSOR

DWG NO.
DRAWING 1

SCALE:1:5

WEIGHT:

SHEET 1 OF 1

A3

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : PERANCANGAN KONDENSOR PADA MESIN
PIROLISIS PENGUBAH LIMBAH PLASTIK
PADAT PP MENJADI LIMBAH CAIR
Nama : Puja Deva Aditiya
NPM : 2007230081
Dosen Pembimbing : Arya Rudi Nasution ST, M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	Rabu 07/03/21	Revisi format	✓
2.	Rabu 13/03	Revisi gambar	✓
3.	Rabu 20/03	ACC Sempro	
4.	Kamis 16/06	Revisi format	✓
5.	Setosa 29/06	Revisi gambar	
7.	Kamis 27/06	Revisi Kesimpulan	✓
8.	Kamis 29/08	ACC Semhas	
9.	Senin 2/09	Revisi Judul	✓
10.	Rabu 4/09	Revisi Latar Belakang	
11.	Senin 9/09	ACC Sidang	✓



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAN-PT/Ak.Ppj/PT/III/2024

Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003

<https://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [umsumedan](https://www.facebook.com/umsumedan) [umsumedan](https://www.instagram.com/umsumedan) [umsumedan](https://www.youtube.com/umsumedan) [umsumedan](https://www.tiktok.com/umsumedan)

PENENTUAN DOSEN PEMBIMBING

Nomor:1354./II.3AU/UMSU-07/F/2024

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin pada Tanggal 7 September dengan ini Menetapkan :

Nama : PUJA DEVA ADITYA
Npm : 2007230081
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : V11 (TUJUH)
Judul Tugas Akhir : PERANCANGAN KONDENSOR PADA MESIN PIROLISIS
PENGUBAH LIMBAH PLASTIK PADAT PP MENJADI LIMBAH CAIR .

Pembimbing : ARYA RUDI NASUTION ST.MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.
Medan 05 Rabiul Awal 1446 H
09 September 2024 M

Dekan



Munawar Ariansury Siregar, ST.,MT

NIDN: 0101017202



Agensi Kelayakan Malaysia
Malaysian Qualifications Agency



★ ★ ★ ★

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2023 – 2024**

Peserta seminar

Nama : Puja Deva Aditya

NPM : 2007230081

Judul Tugas Akhir : Desain Perancangan Kondensor Mesin Pengubah Limbah Plastik Padat Menjadi Limbah Cair Menggunakan Metode Pirolisis

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Arya Rudi Nasution, ST, MT		 
Pembanding – I : H. Muharnif, ST, M.Sc		 
Pembanding – II : Chandra A Siregar, ST, MT		 
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2007230083	Rizky Syahputra Panggabean	
2	19		
3	2007230095	M. Akbar	
4	1707270009	Ebi FIEBRIANSKAH	
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 24 Safar 1446 H
29 Agustus 2024 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

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

Nama : Puja Deva Aditya
NPM : 2007230081
Judul Tugas Akhir : Desain Perancangan Kondensor Mesin Pengubah Limbah Plastik Padat
Menjadi Limbah Cair Menggunakan Metode Pirolisis

Dosen Pembanding – I : H. Muharnif, ST, M.Sc
Dosen Pembanding – II : Chandra A Siregar, ST, MT
Dosen Pembimbing – I : Arya Rudi Nasution, ST, MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain:
lihat bulan sabit

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan, 24 Safar 1446 H
29 Agustus 2024 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- I



H. Muharnif, ST, M.Sc

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

Nama : Puja Deva Aditya
NPM : 2007230081
Judul Tugas Akhir : Desain Perancangan Kondensor Mesin Pengubah Limbah Plastik Padat
Menjadi Limbah Cair Menggunakan Metode Pirolisis

Dosen Pembanding – I : H. Muharnif, ST, M.Sc
Dosen Pembanding – II : Chandra A Siregar, ST, MT
Dosen Pembimbing – I : Arya Rudi Nasution, ST, MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain : *lihat buku tugas alir,.....*
.....
.....
.....
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....

Medan 24 Safar 1446 H
29 Agustus 2024 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembanding- II



Chandra A Siregar, ST, MT

Chandra A Siregar, ST, MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama : Puja Deva Aditya
Npm : 2007230081
Jenis Kelamin : Laki – Laki
Tempat, Tanggal Lahir : Purbalingga, 17 Maret 2002
Alamat : Jl. Mangan IV No. 41-C LK. XIV
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
E-mail : pujadeva11@gmail.com
No. HP : 082269010225

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD Negeri 064011 Tahun 2008 – 2014
2. SMP Negeri 25 Medan Tahun 2014 – 2017
3. SMA DHARMAWANGSA Medan Tahun 2017 – 2020
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2020 – 2024