

RANCANG BANGUN TABUNG PIROLISIS PADA ALAT PENGUBAH SAMPAH PLASTIK MENJADI BAHAN BAKAR MINYAK

Dias R.V Rijono, Stenly Tangkuman, Hengky Luntungan

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado

ABSTRAK

Minyak bumi sebagai sumber energi tidak terbarukan berpotensi akan habis di masa depan. Untuk mengatasi hal tersebut perlu membuat alternatif yang bisa mengganti minyak bumi atau alternatif memproduksi kembali minyak bumi dari produk-produk yang terbuat dari minyak bumi. Beberapa benda disekitar kita ada yang terbuat dari minyak bumi, salah satu contohnya adalah plastik.

Cara mengatasi masalah sampah plastik serta habisnya minyak bumi, bisa kita atasi dengan metode pirolisis. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membuat tabung pirolisis menggunakan elemen pemanas agar suhu lebih terkontrol dan meminimalisir potensi terjadinya kecelakaan kerja. Langkah – langkah perancangan tabung pirolisis secara berurutan adalah menentukan parameter dan dimensi tabung, selanjutnya menghitung daya elemen pemanas dan waktu operasi, membuat pemodelan 3D dan membuat simulasi dan langkah terakhir adalah membuat tabung pirolisisnya.

Hasil perancangan tabung pirolisis diperoleh tinggi tabung 36 cm, diameter tabung 24 cm, diameter penutup tabung 36 cm, selimut tabung 75 cm dengan kapasitas 16 liter. Berdasarkan hasil simulasi *Solidworks* tegangan Von Mises maksimum tangki 91,3 MPa. Untuk tabung pirolisis yang dirancang dibuat mengikuti dimensi pada hasil perancangan, dengan menggunakan bahan pelat ASTM A36.

Tabung pirolisis yang dibuat diuji coba dengan tiga jenis plastik yaitu plastik PET, LDPE dan plastik PP. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, hasil pirolisis $1,00 \times 10^3$ gram plastik PET menghasilkan delapan mililiter bahan bakar minyak, hasil pirolisis $1,00 \times 10^3$ gram plastik LDPE menghasilkan $2,00 \times 10^2$ ml bahan bakar minyak, sedangkan hasil pirolisis $8,0 \times 10^2$ gram plastik PP menghasilkan $3,90 \times 10^2$ gram ml bahan bakar minyak. Massa jenis bahan bakar minyak dari plastik PP yaitu $6,61 \times 10^2$ kg/m³ hampir mendekati nilai massa jenis minyak tanah yaitu $7,00 \times 10^2$ kg/m³ - $8,00 \times 10^2$ kg/m³.

Kata Kunci : Minyak bumi, Plastik, Tabung pirolisis

ABSTRACT

Petroleum as a non-renewable energy source has the potential to run out in the future. To overcome this, it is necessary to create an alternative that can replace petroleum or an alternative to reproducing petroleum from products made from petroleum. Several products around us are made by Petroleum, for example is plastic.

The method to solve the problem of plastic waste and the depletion of petroleum is called the pyrolysis method. The purpose of this study is to design and make a pyrolysis tube using a heating element so that the temperature is more controlled and minimize the potential for accidents. For designing pyrolysis tube, we do several steps, first step is to determine the parameters and dimensions of the tube, then calculate the heating element power and operating time, after that make 3D modeling and make simulation and the last step is to make the pyrolysis tube. The results of pyrolysis tube design is tube height 36 cm, tube diameter 24 cm, tube cover diameter 36 cm, tube blanket 75 cm with a capacity of 16 liters. Based on the simulation results of Von Mises SolidWorks, we obtained the maximum voltage of the tank is 91,3 MPa. The design of pyrolysis tubes is using the following model design by solidWorks and the material using ASTM A36 plate material.

The pyrolysis tubes made were tested with three types of plastics, namely PET plastic, LDPE and PP plastic. Based on the tests that have been carried out, the results of pyrolysis of $1,00 \times 10^3$ grams of PET plastic produce eight milliliters of fuel oil, the results of pyrolysis of $1,00 \times 10^3$ grams of LDPE plastic produce $2,00 \times 10^2$ ml of fuel oil, while the results of pyrolysis of $8,00 \times 10^2$ grams of PP plastic produce 390 ml of fuel oil. Density of fuel oil from PP plastic is 6.61×10^2 kg/m³ almost close to the value of kerosene density is 7.00×10^2 kg/m³ - 8.00×10^2 kg/m³.

Keywords: Petroleum, plastic, pyrolysis tube.

1. Pendahuluan

Minyak bumi diprediksi oleh pemerintah akan habis dalam beberapa tahun ke depan. Minyak bumi disebut sebagai sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, yaitu sumber daya alam yang jumlahnya terbatas dan akan habis jika dipakai terus menerus, karena minyak bumi sendiri terbentuk dari

proses pengendapan fosil hewan dan tumbuhan yang berlangsung selama jutaan tahun.

Untuk mengatasi hal tersebut perlu membuat alternatif yang bisa mengganti minyak bumi. Beberapa benda disekitar kita ada yang terbuat dari

minyak bumi, salah satu contohnya adalah plastik. Cara mengatasi masalah sampah plastik serta habisnya minyak bumi, bisa kita atasi dengan metode pirolisis.

Pirolisis adalah dekomposisi termokimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau pereaksi kimia lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas.

Tujuan Penelitian ini yaitu merancang tabung pirolisis pada alat pengubah sampah plastik menjadi bahan bakar menggunakan elemen pemanas. membuat tabung pirolisis hasil perancangan tersebut untuk alat pengubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak, dan mendapat produk bahan bakar dari alat pengubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak

2. Metode Penelitian

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat pelaksanaan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Manufaktur dan Laboratorium Desain Konstruksi Teknik Mesin Unsrat. Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus 2022 sampai dengan bulan Februari 2023.

2.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang akan diterapkan dalam penelitian ini yaitu :

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur yang berhubungan dengan penelitian.

2. Perancangan Alat

Pada tahap ini dilakukan penentuan dimensi tabung pirolisis, serta bahan yang akan dipakai untuk tabung pirolisis. Selanjutnya dilakukan pembuatan model 3D pada software Solidworks 2019.

3. Pembuatan Alat

Pada tahap ini akan dibuat tabung pirolisis sesuai dengan dimensi dan model yang sudah ditetapkan.

4. Pengujian Alat

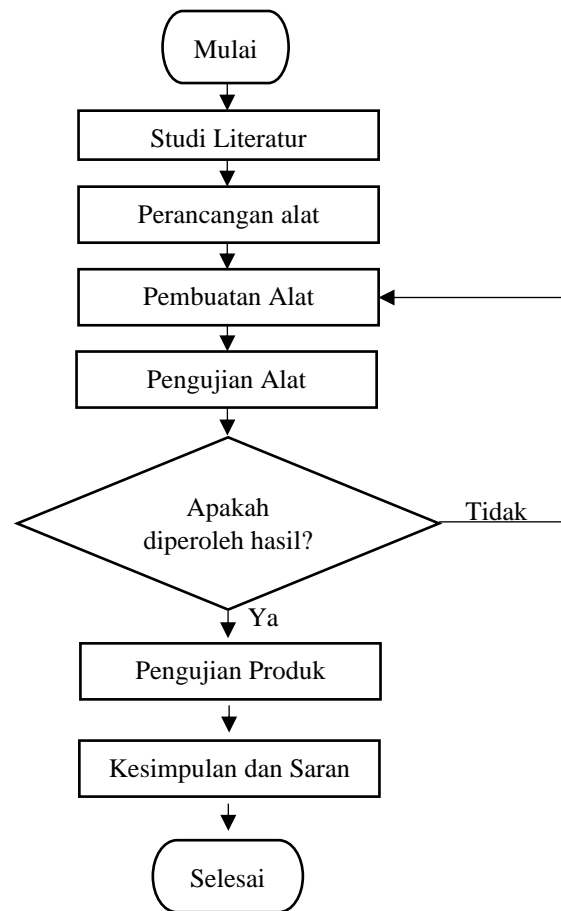
Pada tahap ini dilakukan uji kerja dari tabung pirolisis yang telah selesai dibuat. Jika hasil pengujian tidak berhasil, maka kembali ke tahap pembuatan tabung pirolisis.

5. Pengujian Produk

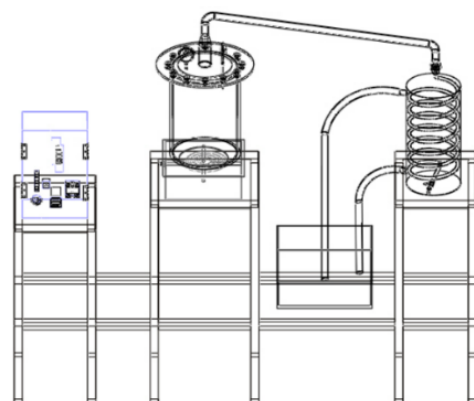
Pada tahap ini produk yang telah dihasilkan dari pengujian alat akan diuji dengan membakar produk dan menimbang hasil produk untuk menghitung massa jenis dari produk yang dihasilkan.

6. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dibuat kesimpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan.



Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 2.2 Sketsa Alat Pirolisis pengubah sampah menjadi bahan bakar



Gambar 2.3 Sketsa tabung pirolisis

3. Perancangan, Pembuatan Alat dan Uji Coba Alat

3.1 Penentuan Parameter dan Dimensi Tabung Pirolisis

Tabung yang akan dirancang pada penelitian ini berbentuk vertikal dengan diameter yang telah ditentukan, yaitu :

- Tinggi tabung = 36 cm
- Diameter tabung = 24 cm
- Diameter penutup = 36 cm
- Diameter dalam penutup = 20 cm
- Selimut tabung = $2\pi r$
= 75 cm

Telah diketahui diameter tabung = 24 cm, jari-jari tabung setengah dari diameter tabung = 12 cm dan tinggi tabung = 36 cm, maka kapasitas tabung :

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

$$V = (3,14 \times (12)^2 \times 36) = 16277,76 \text{ cm}^3$$

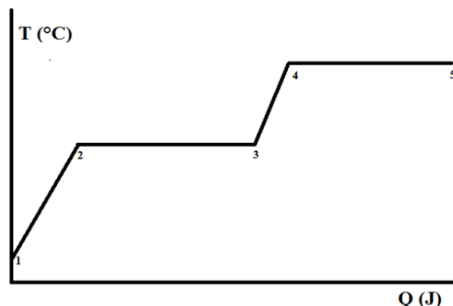
$$= 16,27 \text{ liter} \approx 16 \text{ liter}$$

3.2 Perhitungan Daya Elemen Pemanas dan Waktu Operasi Alat

Untuk menentukan elemen pemanas yang akan dipilih untuk operasi alat, perlu dilakukan perhitungan daya elemen pemanas yang dibutuhkan agar tidak ada kesalahan dalam memilih elemen pemanas yang akan dipakai sehingga pada saat operasi alat, elemen pemanas yang dipilih mampu mencapai suhu yang diinginkan.

3.2.1 Perhitungan Kalor yang dibutuhkan

Sebelum Menentukan daya elemen pemanas, terlebih dahulu harus menghitung jumlah kalor yang dibutuhkan.



Gambar 3.1

Titik leleh plastik PET yaitu $2,50 \times 10^2 \text{ }^\circ\text{C}$, titik leleh plastik LDPE $1,60 \times 10^2 \text{ }^\circ\text{C}$, dan titik leleh plastik PP diambil $1,80 \times 10^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Nilai Titik leleh ini akan digunakan pada perhitungan Q_{total} .

Tabel 3.1 Nilai kalor jenis dan lebur plastik

No	Jenis Plastik	Kalor jenis (J/kg $^\circ\text{C}$)	kalor lebur (J/kg)
1	PET	1050	136500
2	LDPE	3095	130256
3	PP	2300	207246,6

Untuk kalor uap yang akan dipakai dalam perhitungan diambil kalor uap dari minyak bumi yaitu sebesar 959600,4 J/kg.

Pada kondisi 1-2, belum terjadi perubahan wujud dari plastik, yang dihitung adalah nilai kalor. Telah diketahui $m = 1,00 \times 10^3 \text{ gram} = 1 \text{ kg}$, $c_p = 1050 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$, $T_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$, dan $T_2 = 2,50 \times 10^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Besarnya kalor pada kondisi 1-2 adalah

$$Q_{12} = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$Q_{12} = 1 \text{ kg} \cdot 1050 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \cdot (2,23 \times 10^2)^\circ\text{C}$$

$$Q_{12} = 2,34 \times 10^5 \text{ J}$$

Pada kondisi 2-3, terjadi perubahan wujud plastik dari padat ke cair di suhu $T_2 = 2,5 \times 10^2 \text{ }^\circ\text{C}$, yang dihitung adalah nilai kalor laten. Telah diketahui $m = 1 \text{ kg}$, dan $L = 136500 \text{ J/kg}$. Besarnya kalor laten pada kondisi 2-3 adalah

$$Q_{23} = m \cdot L$$

$$Q_{23} = 1 \text{ kg} \cdot 136500 \text{ J/kg}$$

$$Q_{23} = 1,36 \times 10^5 \text{ J}$$

Pada kondisi 3-4, tidak terjadi perubahan wujud, yang dihitung adalah nilai kalor. Telah diketahui $m = 1 \text{ kg}$, $c_p = 1050 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$, $T_3 = 2,5 \times 10^2 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_4 = 4,25 \times 10^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Besarnya kalor pada kondisi 3-4 adalah

$$Q_{34} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q_{34} = 1 \text{ kg} \cdot 1050 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \cdot (1,75 \times 10^2)$$

$$Q_{34} = 2,78 \times 10^5 \text{ J}$$

Pada kondisi 4-5, terjadi perubahan wujud plastik dari cair ke uap, yang dihitung adalah nilai kalor laten. Telah diketahui $m = 1 \text{ kg}$, dan $U = 959600,4 \text{ J/kg}$. Besarnya kalor laten pada kondisi 4-5 adalah

$$Q_{45} = m \cdot U$$

$$Q_{45} = 1 \text{ kg} \cdot 959600,4 \text{ J/kg}$$

$$Q_{45} = 9,59 \times 10^5 \text{ J}$$

Sehingga nilai kalor total (Q_{total}) plastik PET adalah

$$Q_{\text{total}} = Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{45}$$

$$Q_{\text{total}} = (2,34 \times 10^5 + 1,36 \times 10^5 + 2,78 \times 10^5 + 9,59 \times 10^5) \text{ J}$$

$$Q_{\text{total}} = 1,60 \times 10^6 \text{ J}$$

Hasil perhitungan kalor total (Q_{total}) untuk jenis plastik lainnya dilampirkan pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Hasil Perhitungan kalor total jenis plastik LDPE dan PP

No	Jenis plastik	Q_{total}
1	PET	$1,60 \times 10^6$ J
2	LDPE	$2,32 \times 10^6$ J
3	PP	$2,08 \times 10^6$ J

Kalor total (Q_{total}) yang diambil untuk perhitungan daya elemen pemanas adalah plastik LDPE yaitu : $2,32 \times 10^6$ J.

3.2.2 Perhitungan Daya elemen Pemanas

Setelah didapat nilai kalor yang dibutuhkan, selanjutnya akan dihitung daya elemen pemanas yang akan dipakai. Telah diketahui $Q = 2,32 \times 10^6$ J dan $t = 3,00 \times 10^3$ detik. Besarnya daya elemen pemanas yang dibutuhkan adalah

$$W = \frac{Q}{t}$$

$$W = \frac{2,32 \times 10^6 \text{ J}}{3,00 \times 10^3 \text{ detik}}$$

$$W = 7,74 \times 10^2 \text{ Watt}$$

Posisi elemen pemanas berada di bawah tabung (berada di luar tabung) mengakibatkan kalor dari elemen pemanas sangat banyak yang terbuang ke lingkungan. Konsekuensinya daya elemen pemanas harus diperbesar untuk menanggulangi jumlah kalor yang terbuang ke lingkungan. Jika diasumsikan kalor dari elemen pemanas yang berhasil masuk ke tabung sebesar 50%. Maka elemen pemanas paling tidak harus memiliki daya sebesar $1,54 \times 10^3$ Watt. Berdasarkan ketersediaan daya elemen pemanas di pasaran, maka diambil elemen pemanas dengan daya sebesar $1,8 \times 10^3$ Watt.

3.3 Penentuan Parameter Input Simulasi

Sebelum akan memulai simulasi yang akan dilakukan di perangkat lunak *solidworks* 2019, terlebih dahulu menentukan parameter yang diperlukan untuk melakukan simulasi.

3.3.1 Temperatur Ruangan

Temperatur ruangan tabung diasumsikan sama dengan temperatur ruangan di laboratorium manufaktur jurusan teknik mesin Unsrat Manado yang telah diukur menggunakan Termometer digital yaitu 27°C .

3.3.2 Tekanan Udara Normal

Data Tekanan udara diperlukan dalam simulasi, Tekanan udara pada lingkungan di sekitar alat pirolisis sampah plastik diambil dari website Badan Pusat Statistik Manado dimana rata-rata Tekanan udara di kota Manado adalah 1 atm.

3.3.3 Gaya Gravitasi

Gaya gravitasi diperlukan sebagai salah satu parameter input pada simulasi, besar gaya gravitasi bumi, $9,81 \text{ m/s}^2$.(Isaac Newton ,1642-1727).

3.3.4 Fluida

Fluida yang digunakan pada simulasi, adalah fluida dalam tabung pirolisis. Dalam Penelitian ini jenis plastik yang digunakan ada 3 jenis plastik, yaitu PET, LDPE dan PP, namun dalam *properties* yang ada pada *software solidworks* hanya ada *properties* plastik jenis PET. Jadi fluida yang akan menjadi parameter untuk disimulasikan pada *software solidworks* yaitu plastik jenis PP dan udara.

3.3.5 Waktu Operasi Alat

Waktu operasi alat yang ditentukan untuk mendapat hasil bahan bakar yaitu 50 menit ($3,00 \times 10^3$ detik).

3.3.6 Daya Elemen Pemanas

Daya elemen pemanas yang digunakan adalah $1,80 \times 10^3$ Watt.

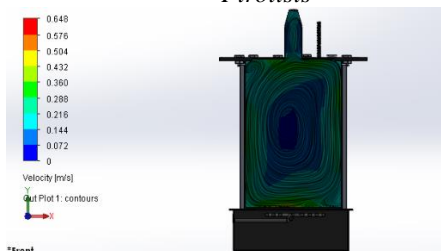
3.4 Simulasi Aliran Fluida dan Tekanan Uap dalam tabung pirolisis di Solidworks

Setelah parameter simulasi telah ditentukan, diperoleh temperatur ruangan 27°C , tekanan udara normal 1 atm, gaya gravitasi $9,81 \text{ m/s}$, fluida PET dan udara, lama waktu simulasi $3,00 \times 10^3$ detik, dan daya elemen pemanas $1,80 \times 10^3$ Watt seperti yang telah dirangkum pada tabel 3.3. Selanjutnya aliran fluida dan tekanan uap dalam tabung pirolisis akan di simulasi menggunakan *software solidworks* 2019.

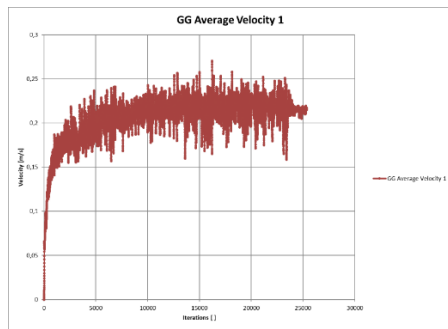
Tabel 3.3 Paramemeter input simulasi

Parameter	Uraian
Temperatur Ruangan	27°C
Tekanan Udara Normal	1 atm
Gaya Gravitasi	$9,81 \text{ m/s}$
Solid	PET dan Udara
Waktu Simulasi	$3,00 \times 10^3$ detik
Daya Elemen Pemanas	$1,80 \times 10^3$ Watt

3.4.1 Hasil Simulasi Aliran Fluida Dalam Tabung Pirolisis



Gambar 3.2 Hasil simulasi kecepatan aliran fluida



Gambar 3.3 Kecepatan rata-rata aliran fluida

Tabel 3.4 Hasil simulasi Kecepatan rata-rata aliran fluida

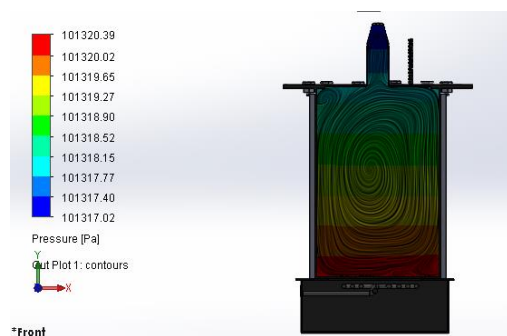
Nama	Satuan	Nilai	Nilai rata-rata
Kecepatan rata-rata aliran fluida	[m/s]	0.215	0,216

Tabel 3.5 Hasil simulasi kecepatan aliran fluida

No	Kecepatan aliran fluida	hasil simulasi (m/s)
1	kecepatan maksimum	0,648
2	Kecepatan minimum	$7,20 \times 10^{-2}$
3	kecepatan rata-rata	0,216

3.4.2 Hasil Simulasi Tekanan Uap Dalam Tabung Pirolisis

Pada tahap ini tekanan uap disimulasikan dengan menggunakan parameter yang sama dengan kecepatan aliran fluida, untuk melihat besar tekanan maksimum pada tabung pirolisis.



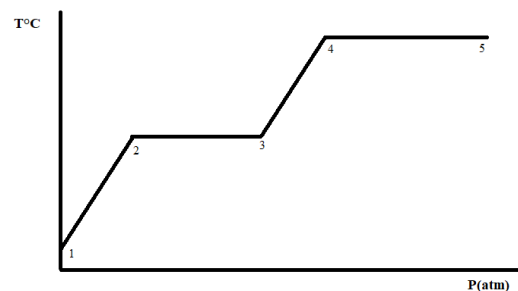
Gambar 3.4 Hasil simulasi tekanan uap dalam tabung pirolisis

Gambar 3.4 adalah hasil simulasi tekanan uap dalam tabung pirolisis. Diperoleh tekanan uap maksimum pada tabung pirolisis $1,01 \times 10^5$ Pa dan tekanan uap minimum $1,13 \times 10^4$ Pa.

3.5 Perhitungan Teoritis Tekanan Uap dalam tabung pirolisis

Untuk menghitung tekanan udara diperlukan suhu dan volume, pada tabung pirolisis ini terjadi proses suhu konstan dan volume konstan. Pada gambar 3.5

menunjukkan bahwa proses dari titik 1-2 adalah proses volume konstan, selanjutnya proses titik 2-3 terjadi proses suhu konstan, kemudian suhu proses titik 3-4 merupakan volume konstan, pada akhirnya proses titik 4-5 terjadi proses suhu konstan.



Gambar 3.5 kurva tekanan terhadap suhu

Volume plastik dalam wujud padat di dalam tabung pirolisis akan berkurang selama pemanasan dan ruang kosong (volume uap) bertambah karena plastik mengalami perubahan wujud dari padat menjadi cair kemudian menjadi uap. Volume awal uap (V_1) diperkirakan sebesar 5 % dari volume tabung, yaitu sebesar 0,8 liter.

Perhitungan tekanan uap pada proses 1-2 untuk jenis plastik PET adalah seperti berikut ini. Telah diketahui $T_1 = 27^\circ\text{C} = 3,00 \times 10^2$ K, $T_2 = 2,50 \times 10^2$ °C = $5,23 \times 10^2$ K, sedangkan $P_1 = 1$ atm. Tekanan uap pada titik 2 adalah

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot T_2}{T_1}$$

$$P_2 = \frac{1 \cdot 5,23 \times 10^2}{3,00 \times 10^2} = 1,7 \text{ atm}$$

Perhitungan tekanan uap pada proses 2-3 untuk jenis plastik PET adalah seperti berikut ini. Diasumsikan setelah plastik mencair, volume uap menjadi 10% dari volume tabung yaitu sebesar 1,6 liter. Telah diketahui $P_2 = 1,7$ atm, $V_2 = 0,8$ liter dan $V_3 = 1,6$ liter. Tekanan uap pada titik 3 adalah

$$P_2 \cdot V_2 = P_3 \cdot V_3$$

$$P_3 = \frac{P_2 \cdot V_2}{V_3}$$

$$P_3 = \frac{1,7 \cdot 0,8}{1,6} = 0,85 \text{ atm}$$

Perhitungan tekanan uap pada proses 3-4 untuk jenis plastik PET adalah seperti berikut ini. Telah diketahui $T_3 = 2,50 \times 10^2$ °C = $5,23 \times 10^2$ K, $T_4 = 4,25 \times 10^2$ °C = $6,98 \times 10^2$ K, dan $P_3 = 0,85$ atm. Tekanan pada titik 4 adalah

$$\frac{P_3}{T_3} = \frac{P_4}{T_4}$$

$$P_4 = \frac{P_3 \cdot T_4}{T_3}$$

$$P_4 = \frac{0,85 \cdot 6,98 \times 10^2}{5,23 \times 10^2} = 1,13 \text{ atm}$$

Perhitungan tekanan uap pada proses 4-5 untuk jenis plastik PET adalah seperti berikut ini. Volume akhir akan meningkat seiring dengan perubahan wujud plastik dari cair menjadi uap. Akan dihitung untuk empat kemungkinan volume akhir yaitu 2 liter, 2,5 liter, 3 liter dan 3,5 liter. Telah diketahui $V_4 = 1,6$ liter, sedangkan $P_4 = 1,13$ atm. Tekanan pada titik 5 adalah

$$P_4 \cdot V_4 = P_5 \cdot V_5$$

$$P_5 = \frac{P_4 \cdot V_4}{V_5}$$

Jika $V_5 = 2$ liter,

$$P_5 = \frac{1,13 \cdot 1,6}{2} = 0,904 \text{ atm}$$

Jika $V_5 = 2,5$ liter

$$P_5 = \frac{1,13 \cdot 1,6}{2,5} = 0,723 \text{ atm}$$

Jika $V_5 = 3$ liter

$$P_5 = \frac{1,13 \cdot 1,6}{3} = 0,602 \text{ atm}$$

Jika $V_5 = 3,5$ liter

$$P_5 = \frac{1,13 \cdot 1,6}{3,5} = 0,516 \text{ atm}$$

Jadi tekanan titik 5 yang paling tinggi berada pada volume sebesar 2 liter yaitu 0,904 atm.

3.6 Validasi Tekanan Hasil Simulasi dan Teoretis

Untuk mengetahui apakah simulasi valid maka akan dibuktikan dengan membandingkan hasil perhitungan manual dan hasil simulasi tekanan. Nilai tekanan uap yang diambil untuk validasi menggunakan hasil perhitungan tekanan uap dari plastik PET, dikarenakan saat simulasi tekanan uap, jenis plastik yang digunakan adalah jenis plastik PET. Perbandingan tekanan berdasarkan tekanan di titik yang sama dengan hasil simulasi (tekanan titik 5) seperti ditampilkan pada tabel 3.6

Tabel 3.6 Hasil perhitungan teoretis dan simulasi tekanan uap

No	Perhitungan teoretis tekanan uap pada kondisi 5 (atm)	Hasil simulasi tekanan uap pada kondisi 5 (atm)
1	0,904	0,995

Presentase perbedaan dari kedua analisis :
 $[(0,995 \text{ atm} - 0,904 \text{ atm}) : 0,995 \text{ atm}] \times 100\% = 9,1\%$

Dari hasil perhitungan tersebut diketahui bahwa hasil simulasi dan teoretis dapat diterima.

3.7 Perhitungan Teoretis Tekanan Hidrostatik Plastik dalam Tabung pirolisis

Plastik PP memiliki massa jenis $\rho = 0,85 \text{ g/cm}^3 = 8,50 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$, plastik LDPE massa jenis $\rho = 0,89 \text{ g/cm}^3 = 8,90 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$, dan plastik PET $\rho = 1,38 \text{ g/cm}^3 = 1,380 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Ketinggian plastik dalam

tabung pirolisis yaitu $36 \text{ cm} = 0,36 \text{ m}$ dan gaya gravitasi $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Untuk plastik jenis PP

$$P = (8,50 \times 10^2 \text{ kg/m}^3) \cdot (9,81 \text{ m/s}^2) \cdot (0,36 \text{ m}) = 3,00 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

Untuk plastik jenis LDPE

$$P = (8,90 \times 10^2 \text{ kg/m}^3) \cdot (9,81 \text{ m/s}^2) \cdot (0,36 \text{ m}) = 3,14 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

Untuk plastik jenis PET

$$P = (1,38 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) \cdot (9,81 \text{ m/s}^2) \cdot (0,36 \text{ m}) = 3,87 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

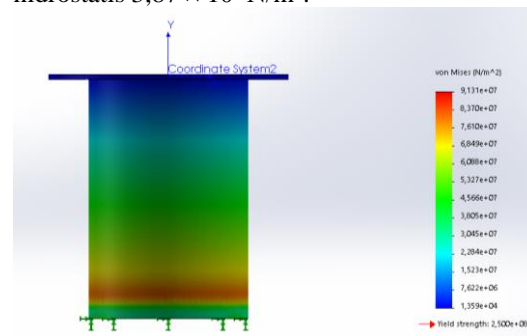
Jadi tekanan hidrostatik yang diperoleh, untuk plastik jenis PP = $3,00 \times 10^3 \text{ N/m}^2$, untuk plastik jenis LDPE = $3,14 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ dan untuk plastik jenis PET = $3,87 \times 10^3 \text{ N/m}^2$.

3.8 Simulasi tegangan tekanan hidrostatik dan tekanan uap.

Pada saat alat beroperasi terdapat tegangan yang dialami tabung pirolisis secara bersamaan, yaitu tegangan dari tekanan hidrostatik dan tekanan uap, maka pada saat simulasi kedua tekanan tersebut menjadi parameter input dari simulasi tegangan pada tangki pemanas untuk melihat besar Von Mises yang dialami tangki.

Bahan yang akan digunakan pada tabung pirolisis, direncanakan mampu menahan suhu tinggi dan tegangan yang terjadi dalam tabung pirolisis. Jenis bahan yang memenuhi kriteria tersebut adalah ASTM A36 Steel Plate dengan spesifikasinya kekuatan tegangan luluh (σ_y) = $2,50 \times 10^2 \text{ MPa}$, dan nilai kekuatan tegangan maksimum (σ_u) = $5,50 \times 10^2$ Ketebalan plat yang akan digunakan yaitu 3,5 mm.

Tekanan hidrostatik dan tekanan uap yang menjadi parameter simulasi diambil tekanan yang paling tinggi dari antara 3 jenis plastik, yaitu plastik PET dengan tekanan uap $1,72 \times 10^5 \text{ Pa}$ dan tekanan hidrostatik $3,87 \times 10^3 \text{ N/m}^2$.



Gambar 3.6 Hasil simulasi tekanan hidrostatik

Gambar 3.6 Menunjukkan hasil simulasi besar tegangan Von Mises yang terjadi pada tabung pirolisis. Besar tegangan Von Mises maksimum yang terjadi yaitu $9,13 \times 10^7 \text{ Pa}$ atau 91,3 MPa dan besar tegangan Von Mises minimum yang terjadi yaitu $1,39 \times 10^4 \text{ Pa}$ atau $1,39 \times 10^{-2} \text{ MPa}$.

3.9 Perhitungan Teoretis Tegangan pada Tabung Pirolisis

Untuk menentukan nilai tegangan pada tangki pemanas digunakan perhitungan *longitudinal* dan *circumferential stress*, terlebih dahulu menentukan tabung pemanas yang dirancang termasuk dalam kategori berdinding tipis atau berdinding tebal.

Data-data yang diperlukan untuk hitungan tegangan pada tabung pirolisis :

- $P = 1,7 \text{ atm} = 1,72 \times 10^5 \text{ Pa}$
- $t = 3,5 \text{ mm} = 3,5 \times 10^{-3} \text{ m}$
- $D_o = 240 \text{ mm} = 0,24 \text{ m}$
- $D_m = (0,24 - 3,5 \times 10^{-3}) = 0,236 \text{ m}$

Penentuan bejana tekan dianggap sebagai silinder berdinding tipis atau berdinding tebal

$$\frac{D_m}{t} = \frac{0,236}{3,5 \times 10^{-3}} = 67,57 > 20$$

Perhitungan tegangan Longitudinal/axial stress

$$\frac{PD_m}{4t} = \frac{1,72 \times 10^5 \times 0,236}{4 \times 3,5 \times 10^{-3}} = 2,90 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Perhitungan tegangan Circumferential /hoopstress

$$\sigma_{hoop} = \frac{PD_m}{2t} = \frac{1,72 \times 10^5 \times 0,236}{2 \times 3,5 \times 10^{-3}} = 5,81 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Radial Stress = 0

Karena tidak ada tegangan geser, komponen tegangan sudah dalam arah utama.

$$\sigma_1 = \sigma_{hoop} = 5,81 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{axial} = 2,90 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_3 = \sigma_{radial} = 0$$

$$\tau_{max} = 5,81 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Perhitungan Tegangan efektif menggunakan kriteria tresca

$$\sigma = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{5,81 \times 10^6 - 0}{2} = 2,90 \times 10^6 \text{ Pa} > s_y$$

Material yang dipilih harus memiliki kekuatan luluh geser lebih besar dari $5,81 \times 10^6 \text{ Pa}$. karena $s_y = \frac{S_y}{2}$, kekuatan luluh material harus lebih besar dari $2,90 \times 10^6 \text{ Pa}$.

Perhitungan tegangan tegangan efekti menggunakan kriteria Von Mises adalah

$$\sigma_{eff} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

$$\sigma_{eff} = 5,03 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Oleh karena itu, kekuatan luluh dari bahan yang dipilih perlu lebih besar dari $5,03 \times 10^6 \text{ Pa}$ atau 5,03 MPa.

3.10 Tegangan Von Mises Maksimum Tabung pirolisis

Rangkuman hasil tegangan Von Mises yang diperoleh diambil nilai Von Mises terbesar diantara beberapa hasil simulasi dan perhitungan teoretis tegangan, yaitu 91,3 MPa. Nilai ini akan digunakan

untuk menjadi acuan dasar pada tahap pengecekan tegangan selanjutnya.

3.11 Pengecekan Tegangan dan Pemilihan Bahan Tangki Pemanas

Pengecekan tegangan :

$$\sigma' < \sigma_{izin}$$

$$\sigma' < \frac{2,06 \times 10^2 \text{ MPa}}{2}$$

$$91,3 \text{ MPa} < 1,03 \times 10^2 \text{ MPa}$$

Dari hasil pengecekan tegangan diperoleh tegangan Von Mises tidak melebihi tegangan izin material. Sehingga dapat disimpulkan tabung pirolisis tidak akan mengalami kegagalan material.

3.12 Pembuatan Alat

Setelah tabung dirang dan disimulasi, selanjutnya akan dibuat pembuatan model dalam bentuk nyata. Untuk material yang dipakai untuk tabung pirolisis yaitu eser.

3.12.1 Pemotongan material

Pemotongan material ini dilakukan di laboratorium manufaktur teknik mesin unsrat. Pemotongan material ini terdiri dari 3 bagian, yaitu untuk selimut, alas, penutup tabung.



Gambar 3.7 Pemotongan material

3.12.2 Pembengkokan material

Pembengkokan material ini menggunakan mesin *bending* untuk membentuk selimut tabung dengan membengkokan material yang telah dipotong.



Gambar 3.8 Pembengkokan material

3.12.3 Pengelasan Material

Pengelasan ini bertujuan menyambungkan sebuah material dengan material lainnya. Pengelasan terbagi dalam tiga bagian, yaitu untuk menyambungkan tengah selimut tabung, alas tabung dengan selimut tabung dan selimut tabung dengan penutup tabung.



Gambar 3.9 Pengelasan Material

3.12.4 Pembuatan lubang material

Pembuatan lubang ini menggunakan mesin bor duduk dan bor tangan. Pembuatan lubang ini terbagi dalam 4 bagian, yaitu untuk lubang baut, pipa penghubung, *thermocouple* dan manometer.



Gambar 3.10 Pembuatan lubang

3.12.5 Pembuatan panel kontrol

Panel kontrol ini terbuat dari bahan kaca akrilik, dengan memakai engsel sebagai penyambung kaca akrilik yang satu dengan yang lain.



Gambar 3.11 Pembuatan panel kontrol

3.12.6 Finishing

Pada tahap ini material yang telah dilas akan didempul menggunakan dempul isamu, selanjutnya didempul menggunakan *pioneer epoxy non sag*. Pada tahap ini juga, tungku, tabung pirolisis, tabung kondensor, panel kontrol serta wadah penampung air akan diletakkan pada rangka yang telah dibuat.



Gambar 3.12 Finishing

3.14 Uji Coba Alat

Pada tahap ini tabung pirolisis telah selesai dibuat, selanjutnya akan dilakukan uji coba alat. Uji coba ini menggunakan 3 jenis plastik yaitu jenis plastik PET (botol minuman kemasan), LDPE (kantong plastik, kemasan makanan), dan PP (gelas minuman kemasan).

3.14.1 Uji coba dengan jenis plastik PET

Pengujian ini menggunakan plastik PET yang sudah di potong menjadi bagian-bagian kecil. Bobot plastik yang dimasukkan kedalam tabung pirolisis sebesar 1000 gram. Pengujian berlangsung selama 1 jam atau 60 menit, dan menghasilkan bahan bakar sebesar delapan mililiter. Suhu yang dicapai pada pengujian ini mencapai 224°C. Cairan mulai keluar tepatnya pada suhu 180°C. Setelah 60 menit, alat tidak mengeluarkan bahan bakar lagi.



Gambar 3.13 Minyak hasil pengujian pirolisis dengan menggunakan plastik PET



Gambar 3.14 Residu plastik PET

3.14.2 Uji coba dengan jenis plastik LDPE

Pengujian ini menggunakan plastik jenis LDPE yang berbobot 1000 gram. plastik LDPE tidak dipotong menjadi bagian yang lebih kecil. Pengujian berlangsung selama 120 menit atau sekitar 2 jam dengan suhu yang dicapai sebesar 230°C. Bahan bakar mulai keluar pada suhu 100°C dengan bahan bakar yang dihasilkan 200 ml.



Gambar 3.15 Minyak hasil pengujian pirolisis dengan menggunakan plastik LDPE



Gambar 3.16 Residu plastik LDPE

3.14.3 Uji coba dengan jenis plastik PP

Pengujian ini menggunakan plastik jenis PP dengan bobot 800 gram. Sebelum dimasukkan ke dalam tabung pirolisis, plastik ini dipotong menjadi bagian yang lebih kecil.

Pengujian berlangsung selama 120 menit atau sekitar 1 jam dengan suhu yang dicapai yaitu 282°C. Tepatnya di suhu 169°C, bahan bakar mulai keluar. Pengujian ini menghasilkan bahan bakar 390 ml.



Gambar 3.17 Minyak hasil pengujian pirolisis dengan menggunakan plastik PP



Gambar 3.18 Residu plastik PP

3.15 Uji Coba Produk

3.15.1 Uji coba produk plastik PET

Pengujian ini dilakukan dengan membakar produk, dan bisa dilihat pada gambar di bawah ini bahwa produk dari plastik PET tidak terbakar.



Gambar 3.19 Uji coba pembakaran hasil Plastik PET

3.15.2 Uji coba produk plastik PP

Pengujian ini dilakukan dengan membakar produk hasil pirolisis plastik PP. Setelah diuji ternyata produk terbakar, namun saat api padam masih ada sisa sedikit dari produk yang tidak terbakar.



Gambar 3.20 Uji coba pembakaran hasil Plastik PP



Gambar 3.21 Sisa pembakaran hasil plastik PP

3.15.3 Uji coba produk plastik LDPE

Pengujian ini dilakukan dengan membakar produk hasil pirolisis dari plastik LDPE. Setelah diuji ternyata produk terbakar, sedangkan saat api padam masih ada sisa dari produk yang tidak terbakar.



Gambar 3.22 Uji coba pembakaran hasil Plastik LDPE



Gambar 3.22 Sisa pembakaran hasil Plastik LDPE

3.16 Pengujian Massa Jenis Bahan Bakar dari Sampah Plastik

Setelah menimbang massa dari bahan bakar dari sampah plastik:

Massa (bahan bakar dari plastik PET) = 16 gram = $1,6 \times 10^{-2}$ kg

Massa (bahan bakar dari plastik LDPE) = 125 gram = 0,125 kg

Massa (bahan bakar dari plastik PP) = 258 gram = 0,258 kg

Volume bahan bakar dari sampah plastik yang dihasilkan :

Volume (bahan bakar dari plastik PET) = 8 ml = 8×10^{-6} m³

Volume (bahan bakar dari plastik LDPE) = 200 ml = 2×10^{-4} m³

Volume (bahan bakar dari plastik PP) = 390 ml = $3,9 \times 10^{-4}$ m³

Massa jenis bahan bakar dari sampah plastik adalah

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Sehingga,

$$\rho_{\text{bahanbakarplastikPET}} = \frac{1,6 \times 10^{-2} \text{ kg}}{8 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 2,00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{bahanbakarplastikLDPE}} = \frac{0,125 \text{ kg}}{2 \times 10^{-4} \text{ m}^3} = 6,25 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{bahanbakarplastikPP}} = \frac{0,258 \text{ kg}}{3,9 \times 10^{-4} \text{ m}^3} = 6,61 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$$

Tabel 3.7 Hasil perhitungan massa jenis

No	Jenis plastik	Massa (kg)	Volume (m ³)	Massa jenis (kg/m ³)
1	PET	$1,6 \times 10^{-2}$	8×10^{-6}	$2,00 \times 10^3$
2	LDPE	0,125	2×10^{-4}	$6,25 \times 10^2$
3	PP	0,258	$\frac{3,9 \times 10^{-4}}{10^{-4}}$	$6,61 \times 10^2$

Tabel 3.8 Perbandingan Massa Jenis Bahan Bakar

No	Jenis bahan bakar	Massa jenis (kg/m ³)
1	Minyak tanah	$7,00 \times 10^2 - 8,00 \times 10^2$
2	Bensin	$7,10 \times 10^2 - 7,70 \times 10^2$
3	Minyak plastik PET	$2,00 \times 10^3$
4	Minyak Plastik LDPE	$6,25 \times 10^2$
5	Minyak plastik PP	$6,61 \times 10^2$

Berdasarkan tabel 3.8, Massa jenis bahan bakar minyak dari plastik PP yaitu $6,61 \times 10^2$ kg/m³ hampir mendekati nilai massa jenis minyak tanah yaitu $7,00 \times 10^2$ kg/m³ - $8,00 \times 10^2$ kg/m³.

4.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Tabung pirolisis telah berhasil dirancang dengan hasil simulasi kecepatan maksimum aliran fluida dalam tabung 0,648 m/s, hasil simulasi tegangan Von Mises 91,3 MPa. berdasarkan pengecekan tegangan yang dilakukan dimana tegangan izin bahan lebih besar daripada tegangan yang terjadi. Sehingga disimpulkan bahan yang digunakan dianggap layak dipakai.
2. Tabung pirolisis dibuat dengan dimensi tabung, tinggi 36 cm, diameter 24 cm, diameter penutup tabung pirolisis 36 cm, selimut tabung 75 cm dengan kapasitas 16 liter. Bahan yang digunakan untuk tabung pirolisis menggunakan ASTM A36 *steel plate* dengan ketebalan 3,5 mm. Tabung pirolisis ini menggunakan elemen pemanas dengan daya $1,80 \times 10^3$ Watt.
3. Pengujian telah dilakukan dan pada pengujian ini, delapan mililiter bahan bakar diperoleh dari proses pirolisis $1,00 \times 10^3$ gram plastik PET. Selanjutnya, proses pirolisis $1,00 \times 10^3$ gram plastik LDPE menghasilkan $2,00 \times 10^2$ ml bahan bakar. Kemudian, $3,90 \times 10^2$ ml bahan bakar dihasilkan dari proses pirolisis $8,00 \times 10^2$ gram plastik PP. Jadi, plastik yang memiliki kandungan bahan bakar minyak terbanyak adalah plastik jenis PP. Massa jenis bahan bakar yang dihasilkan dari

proses pirolisis jenis plastik ini adalah sebesar $6,61 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$, sedangkan massa jenis minyak tanah adalah sebesar $7,00 \times 10^2 \text{ kg/m}^3 - 8,00 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. dkk . 2020. *Buku mengolah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak*. Lambung Mangkurat University Press. Banjar Baru.
- Afdan. 2020. *Tekanan Hidrostatik: Pengertian, Rumus, Contoh Soal (Lengkap)*. <https://www.fisika.co.id/2020/09/tekanan-hidrostatik.html>, 27 September 2020.
- Angga. 2023. *Berat Jenis dan Massa Jenis : Pengertian, Perbedaan, Rumus dan Contoh Soal*. <https://materibelajar.co.id/berat-dan-massa-jenis/>, 10 Maret 2023.
- Anonymous. 1988. *Kemudi Sepeda*. Universitas Kristen Petra. Jakarta
- Anonymous. 2013. *Pengertian kalor*. <https://www.ejurnal.com/2013/11/pengertian-kalor.html>, 8 November 2013.
- Dikson Kho. 2023. *Pengertian Termokopel (Thermocouple) dan Prinsip Kerjanya*. <https://teknikelektronika.com/pengertian-termokopel-thermocouple-dan-prinsip-kerjanya>, Teknik Elektronika. Bandung. 20 Februari 2023.
- Fahrudin Ade. Dkk. 2019. *Rancang Bangun Tabung Udara Dingin Terkompresi dengan Tekanan 5 Bar*. Jurnal Teknologi Rekayasa. Vol. 4, Is. 2, pp. 178
- Husein Fuaddin. 2020. *Rancang Bangun Alat Pirolisis Reaktor Tabung Bertingkat untuk Daur Ulang Sampah Plastik Polypropylene (PP) dengan menggunakan metode VDI 2221*. Skripsi S1 Teknik Mesin Universitas Nusa Cendana Kupang. 2020
- Huda Niamul. 2018. *Buku Informasi mengoperasikan unit pirolisis*. Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan. Bandung.
- Jamaludin dan Achmad. 2016. *Analisis Tegangan Sistem Perpipaan pada Sisi Tekan Pompa P003E Menggunakan Caesar II dan Perhitungan Manual*. Jurnal 2016, Vol. 4, Is. 3, pp. 10
- Junior Woe. 2021. *Perancangan Rotor Turbin Angin Savonius Tipe L untuk Pembangkit Listrik pada Rumah Tinggal*. Skripsi Program S1 Teknik elektro Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Madilah Johendro. 2019. *Uji Performansi Sistem Destilasi Pemurnian Bahan Bakar Alternatif dari Sampah Plastik*. Skripsi Program Diploma IV Teknik Mesin Produksi dan Perawatan. 2019
- Novia Tia. 2021. *Pengolahan limbah sampah plastik Polythylene Terephthlate (PET) menjadi Bahan Bakar Minyak dengan proses pirolisis*. Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains, Vol. 4, Is. 1, pp. 34.
- Priyanto Sugeng. 2017. *Prototype Alat Bejana Pembakaran Pembangkit Biomass Menggunakan Kontrol Suhu Proportional Integral Derivatif*. Fakultas Trknik Universitas Negerti Jakarta. Jakarta
- Robert,L.Mott. dkk. *Buku Machine Elements in Mechanical Design*, cetakan ke 6. Pearson. New York. 2004.
- Rodiawati Meylia. Dkk. 2013. *Perancangan Bejana Tekan (Pressure Vessel) untuk Pengolahan Limbah Kelapa Sawit dengan Variabel Kapasitas Produksi 10.000 Ton/Bulan*. Jurnal FEMA, Vol. 1, Is. 6, pp. 39-40
- Santoso Ageng. 2018. *Perancangan Mesin Stirling Beta Tenaga Matahari sebagai Penggerak Pompa Air*. Skripsi Program S1 Teknik elektro Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Santoso Fatjar. 2021. *Apa Itu Pirolisis? Bisa Ubah Sampah Plastik Jadi BBM*. <https://www.pertamina.com/id/news-room/energi-news/apa-itu-pirolisis-bisa-ubah-sampah-plastik-jadi-bbm>, 29 Januari 2021.
- Sukadi dan Novarini. 2019. *Rancang Bangun Alat Pirolisis untuk Daur Ulang Sampah Kantong Plastik*. Jurnal Ilmiah Teknika, Vol. 2, Is. 2, pp. 101.