

RANCANG BANGUN KONDENSOR PADA ALAT PENGUBAH SAMPAH PLASTIK MENJADI BAHAN BAKAR MINYAK

Alfaro S. Rorimpandey, Stenly Tangkuman, Markus Umboh

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado

ABSTRAK

Plastik merupakan salah satu bahan yang paling banyak digunakan oleh masyarakat yang ada di dunia, khususnya di Indonesia. Penggunaan bahan plastik semakin lama semakin meluas karena sifatnya kuat dan tidak mudah rusak oleh pelapukan. Oleh karena itu, pemamfaatan plastik ini diperlukan metode pirolisis untuk melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau preaksi kimia lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. dan untuk metode kondensasi atau metode pengembunan adalah perubahan ke wujud yang lebih padat, seperti gas (uap) menjadi cairan.

Tujuan dari penelitian ini yang pertama merancang kondensor pada alat pengubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak. Yang kedua membuat kondensor berdasarkan hasil perancangan untuk alat pengubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak. Yang ketiga mendapat kuantitas produk bahan bakar minyak dari alat pengubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak.

Berdasarkan hasil perancangan dibuat kondensor dengan dimensi tinggi tabung 400 mm dan diameter 200 mm, sedangkan untuk dimensi pipa kondensor berdiameter 12,7 mm dengan panjang 4000 mm dengan volume tabung 12,5 liter dan volume pipa kondensor 0,5 liter.

Hasil pengujian kondensor dengan jumlah produk per 1 kg bahan baku menghasilkan bahan bakar minyak 0,008 liter (PET), 0,2 liter (LDPE) dan 0,39 liter (PP). Kemudian untuk pengujian massa jenis diperoleh 625 kg/m³ (LDPE), dan 661 kg/m³ (PP).

Kata kunci: Sampah plastik, Kondensor, Bahan bakar

ABSTRACT

Plastic is one of the most widely used materials by people in the world, especially in Indonesia. The use of plastic materials is increasingly widespread because it is strong and not easily damaged by weathering. Therefore, the utilization of this plastic is needed by the pyrolytic method to go through a heating process without or little oxygen or other chemical preaction, where the raw material will undergo chemical structure breakdown into a gas phase. and for the condensation method or condensation method is a change to a denser state, such as gas (steam) into a liquid.

The purpose of this study is to first design a condenser on a plastic waste converter into fuel oil. The second makes a condenser based on the design results for a plastic waste converter into fuel oil. The third gets the results of fuel oil products from plastic waste conversion tools into fuel oil.

Based on the design results made condenser with dimensions of 400 mm tube height and diameter 200 mm, while for the dimensions of the condenser pipe diameter of 12.7 mm with a length of 4000 mm with a capacity of 12.5 liter tube volume and volume of 0.5 liter condenser pipe.

The results of testing the condenser with the number of products per 1 kg of raw material produces fuel oil 0.008 liters (PET), 0.2 liters (LDPE) and 0.39 liters (PP). Then for density in each type of plastic oil obtained 2000 kg/m³ (PET), 625 kg/m³ (LDPE), and 661 kg / m³ (PP).

Keyword: Plastic waste, Condenser, Fuel.

1. Pendahuluan

Plastik merupakan salah satu bahan yang paling banyak digunakan oleh masyarakat yang ada di dunia, khususnya di Indonesia. Penggunaan bahan plastik semakin lama semakin meluas karena sifatnya kuat dan tidak mudah rusak oleh pelapukan.

Oleh karena itu, pemamfaatan plastik ini diperlukan metode pirolisis untuk melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau preaksi kimia lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. dan untuk metode kondensasi atau metode pengembunan adalah perubahan ke wujud yang lebih padat, seperti gas (uap) menjadi cairan.

Kondensor adalah alat yang digunakan untuk memindahkan sejumlah panas dari sebuah bahan atau zat ke bahan atau zat lain. Air atau udara digunakan sebagai media pendingin. Uap panas akan melepaskan kalor pada pendingin, lalu dikondensasikan menjadi kondensat. Hampir disemua kondensor, perpindahan panas didominasi oleh konveksi dan konduksi dari fluida panas ke fluida dingin, dimana keduanya dipisahkan oleh dinding. Tujuan dari penelitian ini yang pertama merancang kondensor pada alat pengubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak. Yang kedua membuat kondensor berdasarkan hasil perancangan untuk alat pengubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak. Yang ketiga mendapat kuantitas

produk bahan bakar minyak 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.

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 pipa kondensor dan tabung kondensor. Selanjutnya dilakukan pembuatan model 3D pada software *Solidworks* 2019.

3. Pembuatan Alat

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

4. Pengujian Alat

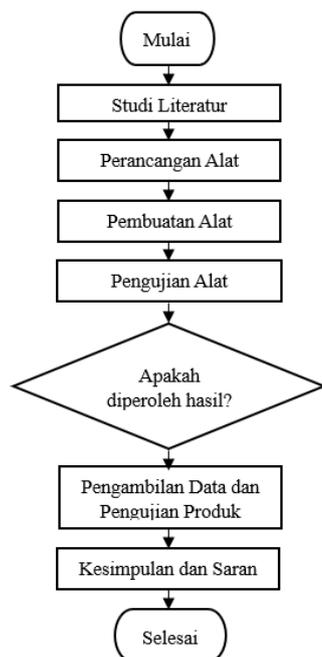
Pada tahap ini dilakukan uji kerja dari kondensor yang telah selesai dibuat. Jika hasil pengujian tidak berhasil, maka kembali ke tahap pembuatan alat.

5. Pengambilan Data dan Pengujian Produk

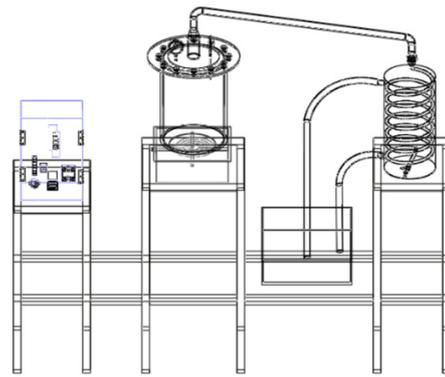
Pada tahap ini produk yang telah dihasilkan dari pengujian alat akan diuji dengan membakar produk dan menimbang hasil produk untuk menghitung massa jenis dari produk yang dihasilkan.

6. Kesimpulan dan Saran

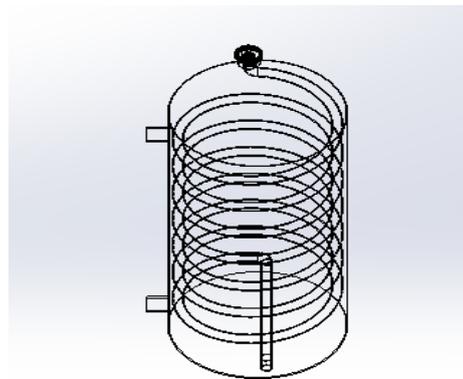
Pada tahap ini dibuat kesimpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan.



Gambar 2.1 Diagram alir penelitian



Gambar 2.2 Sketsa model alat pengubah sampah menjadi bahan bakar



Gambar 2.3 Sketsa model kondensor

3. Perancangan, Pembuatan Alat dan Uji Coba Alat

3.1 Penentuan Parameter dan Dimensi Kondensor

Tabung yang akan dirancang pada penelitian ini berbentuk vertikal dengan diameter yang telah ditentukan, yaitu dengan volume tabung 12,5 liter, diperoleh diameter tabung $d = 20$ cm dengan jari-jari tabung $r = 10$ cm dan tinggi tabung ini yaitu $t = 40$ cm.

Kemudian untuk pipa kondensor akan dipakai pipa tembaga dengan diameter $\frac{1}{2}$ inch (1,27 cm) dengan jari-jari $r = 0,635$ cm, volume pipa kondensor $506,45$ cm^3 dan panjang pipa 400 cm.

3.2 Simulasi Pipa Penghubung dan Kondensor

Pada tahap ini diperlihatkan permodelan dan simulasi pipa penghubung serta kondensor pada perangkat lunak *Solidworks* 2019 dengan menggunakan ukuran dimensi yang sudah dihitung sebelumnya.



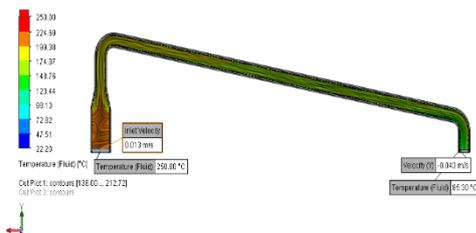
Gambar 3.1 Permodelan bentuk pipa penghubung 2D

Pada simulasi pipa penghubung ini, diperlukan parameter yang digunakan dalam simulasi pipa penghubung. Untuk data simulasi pipa penghubung dapat di lihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter yang digunakan dalam pipa penghubung

Parameter	Uraian
Temperatur outlet tangki pemanas	250°C
Kecepatan outlet tabung pirolisis	0,013 m/s
Material Gases	<i>Polyethylene (gases)</i>
Material Pipa penghubung	<i>Zinc</i>

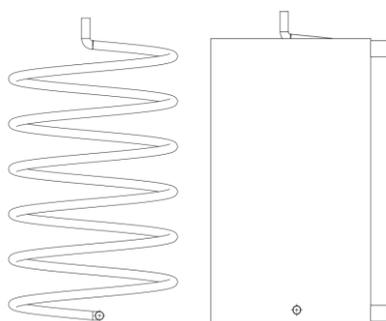
Untuk hasil simulasi aliran pipa penghubung untuk melihat kecepatan aliran dan temperatur yang terjadi pada pipa penghubung, dapat di lihat pada gambar dan tabel berikut ini.



Gambar 3.2 Hasil simulasi pipa penghubung

Tabel 3.2 Hasil simulasi pipa penghubung

Kecepatan Aliran (m/s)	Temperatur (°C)
0,043	85,30



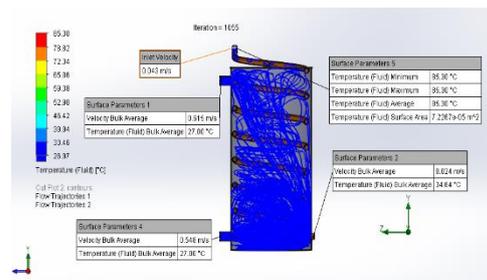
Gambar 3.3 Permodelan bentuk pipa dan tabung kondensor 2D

Pada simulasi pipa penghubung ini, diperlukan parameter yang digunakan dalam simulasi pipa penghubung. Untuk data simulasi pipa penghubung dapat di lihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Parameter kondensor

Parameter	Uraian
Temperatur outlet pipa penghubung	85,30°C
Temperatur inlet air pendingin	27 °C
Kecepatan outlet pipa penghubung	0,043 m/s
Kecepatan inlet aliran air pendingin	0,548 m/s
Material Fluid dan Gases	<i>Water (liquid), Polyethylene (gases)</i>
Material Tabung kondensor	<i>Steel mild</i>
Material Pipa kondensor	<i>Copper</i>

Untuk hasil simulasi aliran pipa penghubung untuk melihat kecepatan aliran dan temperatur yang terjadi pada pipa penghubung, dapat di lihat pada gambar dan tabel berikut ini.



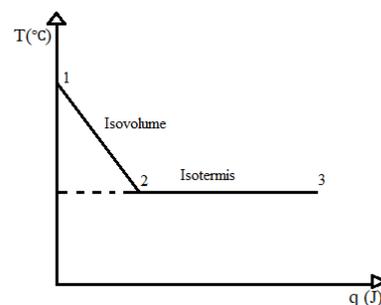
Gambar 3.4 Hasil simulasi aliran kondensor

Tabel 3.4 Hasil simulasi aliran kondensor

	Kecepatan Aliran (m/s)	Temperature average (°C)
Pipa Kondensor	0,024	34,64
Tabung Kondensor	0,615	27,00

3.3 Perhitungan panas keluar (q_{out})

Untuk menentukan jumlah panas yang keluar dapat dilihat melalui gambar kurva dibawah ini.



Gambar 3.5 Kurva suhu terhadap kalor

Untuk mencari panas yang keluar dapat dilihat dari persamaan (2.1), (2.2), (2.3) dari jenis plastik PET (q) perlu diketahui temperature uap masuk dari tabung pemanas (T_1) yaitu 85,3°C dan temperature akhir (T_2) 34,64°C disertai dengan massa bahan bakar minyak dari PET (m) = 0,00088375 kg. Adapun tetapan panas spesifik $C_p = 1,05 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ (lampiran 3), sedangkan untuk kalor laten/kalor kondensasi/kalor uap yaitu $L = 251 \times 10^3 \text{ J/kg}$.

- $Q_{12} = m \cdot C_p (T_2 - T_1)$
 $Q_{12} = 88375 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot 1,05 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (34,64^\circ\text{C} - 85,3^\circ\text{C})$
 $Q_{12} = 88375 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot 1,05 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (-50,66^\circ\text{C})$
 $Q_{12} = -0,0469536375 \text{ kJ}$
 $Q_{12} = -46,9536375 \text{ J}$
- $Q_{23} = -mL$
 $Q_{23} = -88375 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot 251 \times 10^3 \text{ J/kg}$
 $Q_{23} = -221,82125 \text{ J}$
- $Q_{\text{total}} = Q_{12} + Q_{23}$
 $Q_{\text{total}} = -46,9536375 \text{ J} + (-221,82125) \text{ J}$
 $Q_{\text{total}} = -268,77 \text{ J}$

3.3 Daya Pompa

3.3.1 Total head pompa

Pada kondisi ini, H_f diasumsikan nol, dapat dihitung:

$$H_{\text{total}} = H_s + H_f$$

$$= 800 \text{ mm} + (0)$$

$$= 800 \text{ mm}$$

$$H_{\text{total}} = 0,8 \text{ m}$$

3.3.2 Daya yang dibutuhkan pompa

$$P_h = \rho \cdot g \cdot H_{\text{total}} \cdot Q$$

$$= (1000 \text{ kg/m}^3) \cdot (9,81 \text{ m/s}^2) \cdot (0,8 \text{ m}) \cdot (156,25 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s})$$

$$= 1,226 \text{ Watt}$$

3.4 Perhitungan Kerja Pompa

Setelah menentukan daya pompa yang dibutuhkan, selanjutnya dapat dihitung kerja pompa yang dibutuhkan agar jumlah panas yang akan dikeluarkan dapat dicapai.

Sudah diketahui data berikut,

- Diameter selang (d) = 19,05 mm
 Panjang selang (L) = 2000 mm
- Head statis (H_s) = 800 mm
- Media pendingin yang digunakan = air ledeng
- Massa jenis air pendingin (ρ) = 1000 kg/m^3
 Untuk waktu yang diperlukan, diestimasi selama $t = 30 \text{ menit} = 1800 \text{ s}$ dapat dihitung:

$$W_p = P_h \times t$$

$$W_p = 1,226 \text{ Watt} \times 1800 \text{ s}$$

$$W_p = 2206,8 \text{ J}$$

3.5 Pengecekan kerja pompa terhadap panas keluar

Dari hasil perhitungan di atas didapat hasil bahwa kerja pompa lebih besar dari kalor yang dikeluarkan, sehingga memenuhi

$$W_p \geq q_{\text{out}}$$

$$2206,8 \text{ J} \geq -268,77 \text{ J}$$

3.6 Hasil Akhir Desain Alat Pengubah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak 3D

Pada hasil akhir desain alat pengubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak ini, maka semua komponen akan digabungkan dari mulai tabung pirolisis, kontrol panel, pipa penghubung, pipa kondensor, tabung kondensor, wadah penampung air dan dudukan alat yaitu rangka. Berikut adalah gambar 3D alat pengubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak.



Gambar 3.6 Desain 3D alat pengubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak.

3.7 Pengujian Kondensor

Pada proses pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar minyak, sebanyak 1 kg bahan baku sampah plastik dimasukan ke dalam tabung pirolisis melalui lubang atas dengan membuka penutup *flange*, disertai dengan pengisian air pada tabung kondensor. Pengaturan komponen kontrol untuk tabung pirolisis dimulai dari penyetalan *heater* sebagai sumber panas dan thermostat atau sensor suhu sebagai pengatur suhu panas pada *heater* juga indikator suhu, dan dilanjutkan dengan pengaturan manometer sebagai pengukur tekanan.

Kemudian alat dinyalakan lewat stop kontak kemudian MCB dan Heater akan otomatis hidup dan akan dicontrol suhunya melali thermostat. Sampah yang di panaskan akan meleleh kemudian mengeluarkan uap yang akan masuk ke kondensor melalui pipa penghubung.

Uap panas ini akan melewati pipa kondensor yang didinginkan dengan air yang dialirkan secara terus menerus menggunakan pompa air. Uap panas yang akan melewati pipa kondensor akan menjadi cair dan kemudian cairan keluar melalui keran output dalam bentuk cairan bahan bakar minyak.

3.8 Pengambilan data

Dari hasil pengujian kondensor diperoleh data-data dari jumlah bahan bakar minyak yang dihasilkan dari 3 jenis plastik yaitu jenis plastik PET, LDPE, dan PP ke dalam tabel berikut.

Tabel 3.5 Hasil bahan bakar dan residu

Jenis Plastik	Bahan bakar yang dihasilkan (ml)	Residu (gram)
PET	8	300
LDPE	200	1350
PP	390	200



Gambar 3.7 Hasil produk minyak pada plastik PET



Gambar 3.8 Residu plastik PET



Gambar 3.9 Hasil produk minyak pada plastik LDPE



Gambar 3.10 Residu plastik LDPE



Gambar 3.11 Hasil produk minyak pada plastik PP



Gambar 3.12 Residu plastik PP

3.9 Pengujian Produk

3.9.1 Pengujian massa jenis produk

Pada pengujian massa jenis produk ini, didapat dari hasil pengujian alat pengubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak dalam volume dan massa yang berbeda-beda dari setiap jenis plastik.

Massa bahan bakar dari sampah plastik yang dihasilkan:

- Massa (bahan bakar dari plastik PET) = 16 gram = 0,016 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 = $8 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
- Volume (bahan bakar dari plastik LDPE) = 200 ml = $2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$
- Volume (bahan bakar dari plastik PP) = 390 ml = $39 \times 10^{-5} \text{ m}^3$

Dari hasil produk di atas maka, dapat dihitung massa jenis plastik PET, LDPE, dan PP dengan rumus mencari massa jenis yaitu:

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

Tabel 3.6 Hasil perhitungan massa jenis bahan bakar

Jenis plastik	Massa (kg)	Volume (m ³)	Massa jenis (Kg/m ³)
PET	0,016	8×10^{-6}	2000

LDPE	0,125	2×10^{-4}	625
PP	0,258	39×10^{-5}	661

Berdasarkan tabel 3.6 hasil perhitungan massa jenis bahan bakar dari sampah plastik, didapati bahwa massa jenis dari plastik PET terlalu besar yaitu 2000 kg/m^3 , sedangkan massa jenis bahan bakar plastik yang terendah adalah minyak plastik LDPE yaitu 625 kg/m^3 .

3.9.2 Pengujian mampu bakar produk

Pada pengujian mampu bakar produk, maka didapat hasil seperti gambar dibawah ini.



Gambar 3.13 Uji coba pembakaran hasil plastik PET

Berdasarkan gambar diatas, bisa di lihat bahwa hasil dari pembakaran jenis plastik PET tidak terbakar karena massa jenis yang tinggi pada tekanan dan temperatur udara standar yaitu 1 atm.



Gambar 3.14 Uji coba pembakaran hasil plastik LDPE

Berdasarkan gambar di atas, bisa dilihat bahwa hasil dari pembakaran jenis plastik LDPE terbakar dan setelah api padam ternyata masih ada sisa pembakaran dari produk yang tidak terbakar.



Gambar 3.15 Uji coba pembakaran hasil plastik PP

Dari pengujian mampu bakar produk jenis PP, bisa dilihat bahwa hasil pembakaran jenis plastik PP terbakar dan setelah api padam ternyata masih ada sisa sedikit dari produk yang tidak terbakar.

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada penelitian ini untuk perancangan kondensor pada alat pengubah sampah plastik menjadi bahan bakar sudah berhasil dilakukan.
2. Berdasarkan hasil perancangan kondensor telah berhasil dibuat tabung kondensor dengan volume tabung 12,5 liter dan volume pipa kondensor 0,5 liter dengan tinggi tabung 400 mm dan diameter tabung 200 mm, sedangkan untuk dimensi pipa kondensor berdiameter 12,7 mm, panjang pipa kondensor 4000 mm, dan diameter pitch pipa kondensor 57 mm.
3. Dari hasil pengujian alat pengubah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak diketahui produk bahan bakar minyak, jenis minyak plastik PET tidak bisa di bakar karena massa jenis yang tinggi yaitu 2000 kg/m^3 pada tekanan dan temperatur udara standar yaitu 1 atm, sedangkan untuk jenis minyak plastik LDPE dan PP bisa di bakar karena memiliki massa jenis LDPE = 625 kg/m^3 dan PP = 661 kg/m^3 yang mendekati massa jenis minyak tanah yaitu sebesar 700-800 kg/m^3 .

DAFTAR PUSTAKA

Siti Nurazizah. 2018. *Pembuatan dan Pengujian Kondensor Tipe Spiral untuk menghasilkan asap cair*. Politeknik Negeri Bandung. Bandung.

Rio Budi Saputra. 2020. *Analisis Kinerja Kondensor Spiral Tipe VERTIKAL Pada Proses Kondensasi Hasil Pirolisis Plastik High Density Polyethylene (HDPE) Dan Polypropylene (PP)*. Universitas Abulyatama Aceh. ACEH.

Abdulah Utami Irawati Nurul Qomariah Nor Ain. 2020. *Mengolah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak. Lambung mangkurat University Press*. Kayutangi. Banjarmasin.

Ramdan, Sugie Taofik. 2012. *Pembuatan dan Pengujian Reaktor Pirolisis Pada Alat Penghasil Asap Cair Dengan Bahan Baku Tempurung Kelapa..* Proyek Akhir Jurusan Teknik Konversi Energi. Politeknik Negeri Bandung.

Fodavren Lebrag. *Cara Mengukur Massa Jenis Padatan, Cairan, dan Gas. Fisika Veritas: Cara Mengukur Massa Jenis Padatan, Cairan, dan Gas*. 3 Maret 2023.

Tukiman. 2013. *Perhitungan dan Pemilihan Pompa Pada Instalasi Pengolahan Air Bebas Mineral Irradiator Gamma 200 kCi*. Prima. Vol 10, No. 2 Hal.51-60.

Ica Monika. 2020. *Konversi Limbah Plastik LDPE Menjadi Bahan Bakar Cair (BBC) Menggunakan Katalis Aluminium Oksida Dalam Multistage Separator*. Tugas Akhir Sarjana Terapan DIV Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang.

- Kirk Othmer. 2010. *Encyclopedia of Chemical Technologi*. Terjemahan Arza Seidel. Jhon Willey. New York.
- Anonymous. *Plastics Technology*. Helping Plastics Processors Do Things Better Plastics Technology (ptonline.com). 10 Maret 2023.