

# KAJI EKSPERIMENTAL SISTEM DESTILASI ASAP PEMBAKARAN SAMPAH PLASTIK MENJADI BAHAN BAKAR ALTERNATIF DENGAN PENDINGINAN SISTEM REFRIGERASI KOMPRESI UAP

Arda Rahardja Lukitobudi<sup>1</sup>, Sugiyarto<sup>1</sup>, Muhammad Setya Ramadhan<sup>1</sup>, Dinda Ainun Qolbi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung

Email : [ardarl@yahoo.com](mailto:ardarl@yahoo.com)

## Abstrak

Salah satu langkah untuk mengurangi sampah plastik sekaligus menghasilkan bahan bakar alternatif adalah dengan pirolisis yaitu dengan cara destilasi asap hasil pembakaran sampah plastik karena pada dasarnya bahan dari sampah plastik ini adalah hidrokarbon. Pada penelitian ini akan dibahas: kaji eksperimental mesin destilasi asap pembakaran sampah plastik dengan menggunakan sistem pendingin kompresi uap pada berbagai variasi temperatur tanpa melihat faktor ekonomis. Ada dua tahapan destilasi yang dilakukan yaitu dengan udara bersuhu lingkungan dan dengan penukar kalor berpendingin refrigeran sekunder propylene glycol 35% dengan refrigeran primer R134A. Pada tahap pendinginan dengan refrigeran sekunder dilakukan melalui penukar kalor counter flow tube in tube berpenyekat (baffles) agar didapat aliran turbulen dan dilakukan pada berbagai variasi temperatur yaitu udara bersuhu lingkungan dan suhu dibawah 10°C, yaitu 9°C, 3°C dan -3°C. Adapun sampah plastik yang dibakar adalah berjenis Low Density PolyEthylene LDPE sebanyak 2kg dengan reaktor sampah berukuran P:40cm x L:40cm x T:60cm dengan pembakar gas elpiji 3kg pada temperatur ±400°C. Rancangan tersebut diasumsikan dapat memaksimalkan proses destilasi asap pembakaran sampah plastik. Semakin rendah temperatur pendinginan, maka semakin tinggi volume bahan bakar alternatif yang dihasilkan. Selama ±4 jam pengukuran dengan variasi temperatur 9°C menghasilkan 480 mL, 3°C menghasilkan 615 mL, dan -3°C menghasilkan 710 mL sedangkan dengan udara tanpa pendinginan menghasilkan 390 mL.

**Kata kunci:** Pyrolysis, kondensor destilasi, bahan bakar alternatif, sampah plastik.

## Abstract

One step to reduce plastic waste and at the same time to produce alternative fuel is by pyrolysis of smoke destillation of plastic waste burning result because basically the material of plastic waste is hydrocarbon. This research will be discussed about experimantal study of smoke destilator machine of plastic waste burning result using vapor compression refrigeration system in various temperature without analyzing the economical factor. There was two step destillation done, using local temperature air and by refrigerated heat exchanger using 35% propylene glycol as secondary refrigerant and with R134A as the primary refrigerant. In destillation step using secondary refrigerant was done by baffled counter flow tube in tube heat exchanger in order to obtain turbulent flow and was done in various temperature that was local temperature air and temperature under 10°C: 9°C, 3°C and -3°C. The plastic waste which was burnt is 2 kg Low Density PolyEthylene LDPE using reactor with L:40cm x W:40cm x H:60cm and 3 kg elpiji gas burner in temperature of ±400°C. The design was assumed to maximize plastic waste burnt result smoke destillation process. The lower destillation temperature generate the higher alternative fuel volume. During ±4 hours measurement, with temperature of 9°C generates 480 mL fuel, while 3°C generates 615 mL fuel, -3°C generates 710 mL fuel and with local temperature destillation only generates 390 mL fuel.

**Keywords:** Pyrolysis, destillation condenser, alternative fuel, plastic waste.

## 1. Pendahuluan

Pada saat ini sampah plastik sangat berlimpah dan ada dimana-mana, tidak saja di tempat pembuangan akhir sampah tetapi juga di sungai dan di laut sehingga banyak ikan dan binatang laut yang mati karena memakan plastik karena sulit terurai. Dan yang lebih berbahaya jika sampah plastik sudah terurai menjadi berukuran mikro dan mencemari sungai dan laut maka mikro plastik dapat dijumpai kedalam tubuh ikan dan binatang laut. Salah satu langkah untuk mengurangi sampah plastik sekaligus

menghasilkan bahan bakar alternatif adalah dengan pirolisis yaitu dengan cara destilasi asap hasil pembakaran sampah plastik karena pada dasarnya bahan dari sampah plastik ini adalah hidrokarbon.

Hamidi di TPA Rawa Kucing, Tangerang, 2016, membuat mesin yang dinamakan MD Plast yang terbagi menjadi dua bagian yaitu tabung reaktor dan mesin penyubliman yang dihubungkan dengan sebuah pipa di tengahnya. Untuk mengoperasikan, diperlukan 15 kilogram sampah plastik padat atau 20 kilogram yang diletakkan di dalam tabung reaktor semacam wadah besi berbentuk kotak, kemudian kompor dinyalakan. Proses pembakaran sampah plastik berlangsung kurang lebih empat jam dan uap hasil pembakaran sampah plastik akan diteruskan melalui pipa pendingin sehingga mengalami proses penyubliman dan berubah menjadi bahan bakar minyak. Saat sudah mencapai tahap menjadi zat cair, akan ada proses pemanasan lagi yang dilakukan untuk membuat apakah minyak mentah itu akan menjadi minyak tanah, bensin, atau solar. Proses pemisahan partikel minyak itu dibagi ke tiga slot, dengan hasil akhirnya dikeluarkan melalui keran yang berjumlah tiga di tiap slotnya. Dari sampah plastik padat sebanyak 15 kg dapat menghasilkan 0,8 liter BBM sintetis dengan waktu pembakaran selama empat jam. [1]

Rekathakusuma dkk [2] menyebutkan bahwa plastik merupakan bahan kebutuhan yang banyak digunakan dalam kehidupan masyarakat modern. Sejak pertama diciptakan, plastik telah banyak dimanfaatkan di berbagai bidang industri baik industri pangan maupun non pangan. Dapat dilihat produk berbahan plastik mulai dari mainan, perlengkapan dapur, alat elektronik sampai sikat gigi yang digunakan setiap hari. Plastik banyak dimanfaatkan dikarenakan keunggulan plastik yang kuat, ringan, mudah dibentuk, merupakan isolator yang baik, tidak korosif dan tahan lama. Konsumsi yang banyak tersebut tidak diimbangi dengan jumlah daur ulang yang sama besarnya. Sampah plastik dapat menimbulkan permasalahan bagi lingkungan karena sangat susah terurai. Struktur kimia plastik sebagai senyawa organik polimer terbentuk dari rantai karbon yang sangat kuat. Mikroorganisme tidak dapat memutus ikatan karbon tersebut sehingga membutuhkan waktu yang sangat panjang untuk mengurai sampah plastik. Waktu penguraian sampah plastik secara alami membutuhkan kurang lebih delapan puluh tahun agar dapat terdegradasi secara sempurna. Dengan teknologi sederhana tentunya sampah plastik dapat dikelola dengan baik. Teknologi tepat guna yang penulis gunakan untuk mengkonversi sampah plastik menjadi bahan bakar minyak (BBM) adalah dengan metoda distilasi [2].

Salamah dan Aktawan [3] menyebutkan bahwa sampah plastik telah menjadi isu lingkungan. Sejak ditemukan pada tahun 1907, plastik telah menjadi komponen yang paling sering digunakan sehari-hari yang memiliki berbagai keuntungan seperti densitas yang rendah, ringan, kuat dan murah pembuatannya tetapi sangat susah terurai dan mencemari alam. Salah satu cara untuk mengurai plastik adalah dengan cara pirolisis dimana plastik akan terurai menjadi hidrokarbon berbentuk bahan bakar cair pada temperatur 400°C di lingkungan bebas oksigen dan menghasilkan molekul ringan. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan komposisi produk plastik melalui proses pirolisis dengan distilasi pada temperatur antara 50°C hingga 240°C untuk mendapatkan bahan bakar cair. Hasil dari penelitian ini adalah distilasi pada temperatur 170°C, 190°C, 200°C, 210°C, 220°C dan 240°C dengan volume 2 mL, 4,7 mL, 2,3 mL, 2,5 mL, 5,0 mL and 4,9 mL. Produk yang paling banyak dihasilkan adalah pada temperatur 190°C, 220°C dan 240°C [3].

Pada penelitian ini akan dibahas: kaji eksperimental mesin destilasi asap pembakaran sampah plastik dengan menggunakan sistem pendingin kompresi uap pada berbagai variasi temperature tanpa melihat faktor ekonomis. Ada dua tahapan destilasi yang dilakukan yaitu dengan udara bersuhu lingkungan dan dengan penukar kalor berpendingin refrigeran sekunder *propylene glycol* 35% dengan refrigeran primer R134A. Pada tahap pendinginan dengan refrigeran sekunder dilakukan melalui penukar kalor *counter flow tube in tube* berpenyekat (*baffles*) agar didapat aliran turbulen dan dilakukan pada berbagai variasi temperatur yaitu udara bersuhu lingkungan dan suhu dibawah 10°C, yaitu 9°C, 3°C dan -3°C. Adapun sampah plastik yang dibakar adalah berjenis *Low Density PolyEthylene LDPE* sebanyak 2kg dengan reaktor sampah berukuran P:40cm x L:40cm x T:60cm dengan pembakar gas elpiji 3kg pada temperatur  $\pm 400^\circ\text{C}$ . Rancangan tersebut diasumsikan dapat memaksimalkan proses destilasi asap pembakaran sampah plastik. Semakin rendah temperatur pendinginan, maka semakin tinggi volume bahan bakar alternatif yang dihasilkan. [4] [5] [6] [7].

## 2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini diawali dengan pembuatan reaktor sampah, penukar kalor berpendingin refrigeran sekunder 35% *propylene glycol* dengan mesin pendingin kompresi uap R134A dan kondensator destilasi dan setelah dilakukan *commissioning test* kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data-data

yang diperlukan untuk menghitung parameter-parameter uji sebelum mengambil kesimpulan penelitian ini.

### 2.1. Skematik Sistem

Pada sistem mesin destilasi asap pembakaran sampah plastik yang digunakan pada penelitian ini dengan menggunakan sistem pendingin kompresi uap untuk mendinginkan kondenser destilasi pada berbagai variasi temperatur ini memiliki:

1. Reaktor sampah berukuran P:40cm x L:40cm x T:60cm dengan pembakar gas elpiji 3kg pada temperatur  $\pm 400^{\circ}\text{C}$ .
2. Kondensor destilasi yaitu penukar kalor berpendingin refrigeran sekunder *propylene glycol* 35% dengan skematik *counter flow tube in tube* berpenyekat (*baffles*) agar didapat aliran turbulen dan dilakukan pada berbagai variasi temperatur yaitu udara bersuhu lingkungan dan suhu dibawah  $10^{\circ}\text{C}$ , yaitu  $9^{\circ}\text{C}$ ,  $3^{\circ}\text{C}$  dan  $-3^{\circ}\text{C}$ . Adapun kondensor destilasi tersebut memiliki panjang 0,8 m menggunakan prinsip *water cooled condenser* dengan *shell*-nya terbuat dari pipa PVC berdiameter 0,076 m dan *tube*-nya menggunakan pipa galvanis berdiameter 0,033 m. Selain itu terdapat *baffle* pada *shell*-nya yang berjarak 2,5 cm dengan jumlah 32 buah.
3. Sistem pendingin kompresi uap berkapasitas 1/3 pk dengan refrigeran primer R134A dan alat ekspansi kapiler mendinginkan 40 liter 35% *propylene glycol* dengan metode *brine cooling* dialirkan dengan pompa akuarium berkapasitas 1800 liter/jam ke kondenser destilasi. Sistem juga dilengkapi dengan *filter dryer*, *sight glass*, *accumulator*, *pressure gauges*, *thermostat*, *voltmeter*, *amperemeter*, *selector switch*, *pilot lamps*, *contactors*, *MCB*.
4. Destilator terdapat diujung kondenser destilasi dengan ukuran panjang 0,4 m x lebar 0,14 m x tinggi 0,215 m dengan pelat pembatas yang berjarak 5 cm dari masukan dengan tinggi 11 cm dan memiliki dua buah *outlet* yaitu *outlet* bahan bakar alternatif yang terdistilasi dengan dilengkapi gelas ukur dan *outlet* yang dicelupkan ke dalam wadah berisi air.



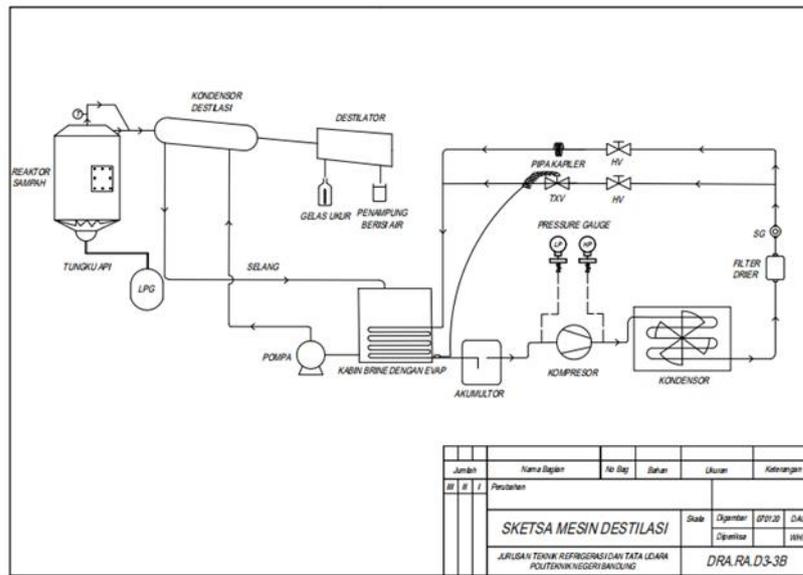
**Gambar 1.** (a). Sistem mesin destilasi asap pembakaran sampah plastic; (b). Reaktor sampah plastik beserta pembakar berbahan bakar gas elpiji 3kg



**Gambar 2.** (a). Penukar kalor condenser destilasi; (b). Destilator



Gambar 3. (a). Mesin pendingin *brine cooling*; (b). *Brine cooling*



Gambar 4. Skematik sistem mesin destilasi asap pembakaran sampah plastik

Pada Gambar 1a terlihat mesin destilasi asap pembakaran sampah plastik, sedangkan reaktor sampah plastik dengan pembakar berbahan bakar elpiji terlihat pada Gambar 1b Gambar 2a memperlihatkan penukar kalor kondenser destilasi, sedangkan *destilator* terlihat pada Gambar 2b. Gambar 3a memperlihatkan mesin pendingin *brine cooling*, sedangkan *brine cooling* terlihat pada Gambar 3b. Skematik sistem mesin destilasi asap pembakaran sampah plastik terlihat pada Gambar 4.

**2.2. Parameter Yang Diukur**

Adapun parameter-parameter yang diukur pada penelitian ini yaitu:

1. Tekanan *Discharge* (Bar)
2. Tekanan *Suction* (Bar)
3. Temperatur *Discharge* (°C)
4. Temperatur *Suction* (°C)
5. Temperatur Keluaran Kondensor (°C)

Selanjutnya, pengambilan data dilakukan pada kondisi *steady state*, dan dilakukan pencatatan setiap 10 menit selama 240 menit.

Adapun persamaan-persamaan yang digunakan untuk mendapat kinerja dari sistem ini adalah sebagai berikut:

$$Q_w = \dot{m} (h_2 - h_1) \tag{1}$$

$$Q_c = \dot{m} (h_1 - h_4) \tag{2}$$

$$R_k = \frac{P_d}{P_s} \tag{3}$$

$$\text{COP}_{\text{actual}} = \frac{Q_e}{Q_w} \quad (4)$$

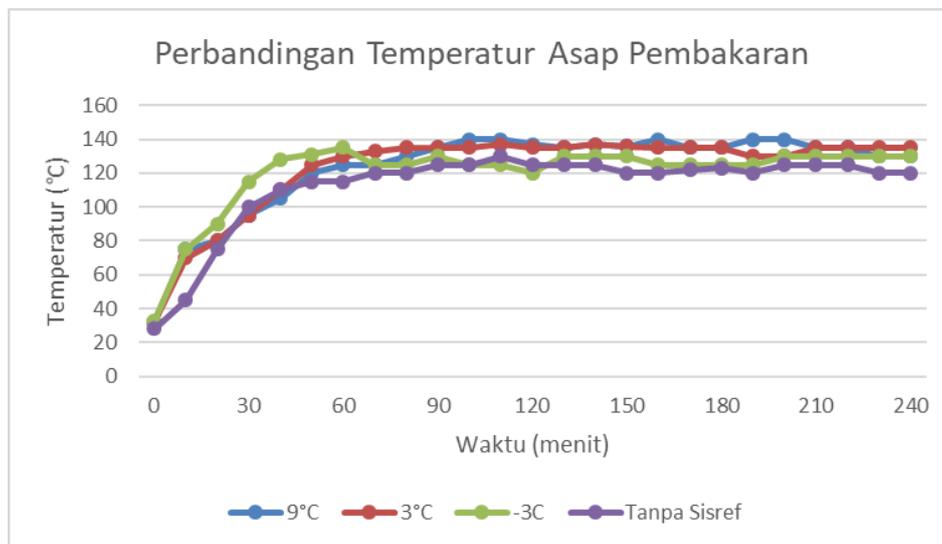
$$\text{COP}_{\text{carnot}} = \frac{T_e}{T_k - T_e} \quad (5)$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{COP}_{\text{aktual}}}{\text{COP}_{\text{carnot}}} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana  $Q_w$  adalah daya kompresor yang diperlukan,  $Q_e$  adalah jumlah kalor yang diserap di evaporator,  $\dot{m}$  adalah laju lairan massa refrigeran,  $h_1$  adalah entalpi *suction*,  $h_2$  adalah entalpi *discharge*,  $h_4$  adalah entalpi masuk evaporator,  $R_k$  adalah perbandingan tekanan *discharge* ( $P_d$ ) dengan tekanan *suction* ( $P_s$ ),  $\text{COP}_{\text{aktual}}$  adalah perbandingan efek refrigerasi ( $q_e$ ) terhadap kerja kompresi ( $q_w$ ),  $\text{COP}_{\text{carnot}}$  adalah perbandingan temperatur evaporasi ( $T_e$ ) dibandingkan dengan selisih temperatur kondensasi ( $T_k$ ) dan evaporasi ( $T_e$ ), Efisiensi adalah perbandingan  $\text{COP}_{\text{aktual}}$  dan  $\text{COP}_{\text{carnot}}$ . Sekat atau biasa disebut *baffle* juga dirancang dalam *shell and tube heat exchanger* dan aliran fluida diatur sehingga membentuk aliran fluida counter flow. Hal tersebut guna memaksimalkan perpindahan kalor dalam *heat exchanger*. Dalam perancangan *heat exchanger* perlu ditentukan jarak tiap *baffle* yang terpasang. Jarak optimal biasanya antara 0,3 hingga 0,5 kali diameter dalam *shell*. [4], [5], [6].

### 3. Hasil dan Analisis

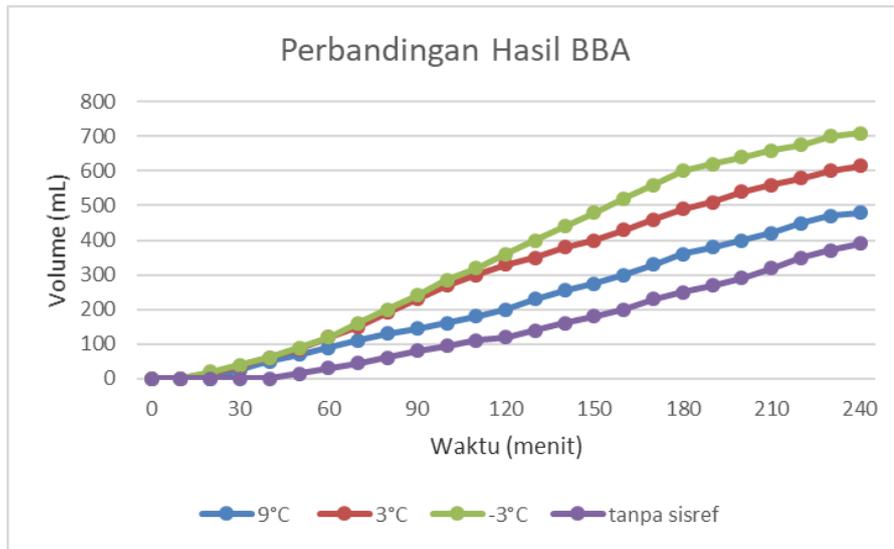
Sesuai dengan data yang didapat, berikut dipaparkan grafik temperatur asap pembakaran sampah terhadap waktu. Terdapat empat buah grafik, tiga grafik disesuaikan dengan data variasi temperatur dengan sistem pendingin dan satu grafik merupakan data proses destilasi tanpa sistem pendingin. Terlihat pada Gambar 5 grafik perbandingan dari temperatur asap pembakaran. Temperatur asap pembakaran dari berbagai variasi ini memiliki nilai yang berfluktuasi. Namun gejala tersebut tak terlalu signifikan sehingga cenderung konstan. Nilai yang dimiliki dari keempat variasi ini berada pada *range* temperatur 120 - 140°C. Perbedaan nilainya dipengaruhi oleh panas api pembakaran yang tidak dapat stabil dan sulit untuk di-*setting* dengan nilai yang sama.



**Gambar 5.** Grafik Perbandingan Temperatur Asap Pembakaran

Terdapat perbandingan hasil bahan bakar alternatif antara data tiga variasi temperatur rancangan dengan data proses destilasi tanpa sistem refrigerasi seperti terlihat pada Gambar 6 sehingga terdapat empat kurva yang mewakili nilai volume tiap variasi temperatur selama waktu pengambilan data. Garis grafik berwarna kuning untuk data proses destilasi tanpa sistem pendingin memiliki nilai akhir volume paling rendah yakni 390 mL. Kemudian di atasnya garis berwarna biru untuk data variasi temperatur 9°C memiliki nilai akhir volume lebih tinggi yakni 480 mL. Sedangkan garis berwarna jingga untuk data variasi temperatur 3°C memiliki nilai akhir volume sebesar 615 mL. Terakhir garis berwarna abu untuk data variasi temperatur -3°C memiliki nilai akhir volume tertinggi yaitu 710 mL. Hal tersebut terjadi

disebabkan semakin rendah temperatur *propylene glycol* yang kontak dengan asap bertemperatur tinggi maka proses pertukaran kalor semakin besar. [7]



**Gambar 6.** Grafik Perbandingan Hasil Bahan Bakar Alternatif



**Gambar 7.** (a). Hasil Bahan Bakar Alternatif pada Temperatur 9°C; (b). Hasil Bahan Bakar Alternatif pada Temperatur 3°C



**Gambar 8.** (a). Hasil Bahan Bakar Alternatif pada Temperatur -3°C; (b). Hasil Bahan Bakar Alternatif Tanpa Sistem Refrigerasi

Pada Tabel 1 dengan data temperatur *propylene glycol* 9°C, efisiensi tertinggi didapat pada menit ke 160 yaitu 56% dengan nilai rata – rata efisiensi sebesar 53,75% sedangkan pada Tabel 2 dengan data temperatur *propylene glycol* 3°C, terlihat efisiensi tertinggi didapat pada menit ke 30 yaitu 62% dengan nilai rata – rata efisiensi sebesar 55,2% sedangkan pada Tabel 3 dengan data temperatur *propylene glycol* -3°C, terlihat efisiensi tertinggi didapat pada menit ke 20 yaitu 65% dengan nilai rata – rata efisiensi sebesar 55,2%.

**Tabel 1.** Nilai Efisiensi dari Data Temperatur Propylene Glycol 9°C

| Besaran       | Menit ke - |     |     |     |
|---------------|------------|-----|-----|-----|
|               | 40         | 110 | 160 | 210 |
| Efisiensi (%) | 54         | 52  | 56  | 53  |

**Tabel 2.** Nilai Efisiensi dari Data Temperatur Propylene Glycol 3°C

| Besaran       | Menit ke- |    |     |     |     |
|---------------|-----------|----|-----|-----|-----|
|               | 30        | 60 | 100 | 140 | 200 |
| Efisiensi (%) | 62        | 55 | 57  | 52  | 54  |

**Tabel 3.** Nilai Efisiensi dari Data Temperatur Propylene Glycol -3°C

| Besaran       | Menit ke- |    |     |     |     |
|---------------|-----------|----|-----|-----|-----|
|               | 20        | 60 | 100 | 170 | 240 |
| Efisiensi (%) | 65        | 52 | 54  | 52  | 53  |

Proses pembakaran sampah plastik secara *pyrolysis* menghasilkan zat sisa berupa padatan keras yang berwarna hitam seperti terlihat pada Gambar 9. Proses kondensasi pada sistem destilasi asap pembakaran sampah ini tak hanya menghasilkan bahan bakar alternatif (BBA), tetapi juga menghasilkan asap terkondensasi yang tak mencapai *dew point* – nya, sehingga tak berubah fasa dan terbuang ke lingkungan. Namun terbuangnya asap tersebut tak langsung begitu saja, melainkan melalui selang yang direndam pada air di wadah penampung. Hal tersebut bertujuan untuk meminimalisir pengepulan asap di lingkungan. Dan pada akhirnya proses destilasi asap pembakaran sampah plastik ini dapat mengurangi pencemaran sampah plastik di lingkungan, serta bahan bakar alternatif yang dihasilkan dapat bermanfaat sebagai pengganti bahan bakar minyak yang mulai sulit didapat.



**Gambar 9.** Zat Sisa Hasil Pembakaran Sampah Plastik

#### 4. Kesimpulan

Temperatur *propylene glycol* berpengaruh terhadap debit bahan bakar alternatif yang dihasilkan tanpa memandang aspek ekonomis. Semakin rendah temperatur *propylene glycol* maka semakin tinggi nilai debit bahan bakar alternatif yang dihasilkan. Hal tersebut dibuktikan dengan data bahwa pada temperatur 9°C volume yang dihasilkan sebesar 480 mL dengan debit sebesar 2,167 mL/menit, pada temperatur 3°C volume yang dihasilkan sebesar 615 mL dengan debit sebesar 2,727 mL/menit dan pada temperatur -3°C volume yang dihasilkan sebesar 710 mL dengan debit sebesar 3,13 mL/menit sedangkan tanpa sistem pendingin, volume yang dihasilkan sebesar 390 mL dengan debit sebesar 1,625 mL/menit.

Efisiensi dari sistem refrigerasi dengan tiga variasi temperatur memiliki rata – rata nilai sebagai berikut. Untuk temperatur 9°C nilai rata – rata efisiensi sebesar 53,75%, temperatur 3°C nilai rata – rata efisiensi sebesar 55,2% dan temperatur -3°C nilai rata – rata efisiensi sebesar 55,2%.

*Kaji Eksperimental Sistem Destilasi Asap Pembakaran Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Alternatif Dengan Pendinginan Sistem Refrigerasi Kompresi Uap (Arda Rahardja Lukitobudi dkk)*

Studi lanjut berikut dapat dilakukan dengan sistem pemanasan pada reaktor sampah plastik dapat menggunakan *heater* elektrik agar panas pembakarannya dapat diatur dan stabil dan dipasang insulasi pada selang penghubung antara sistem pendingin dengan sistem destilasi, agar temperatur *propylene glycol* dapat dipertahankan pada temperatur rancangan tanpa terpengaruhi temperatur lingkungan serta sampah plastik yang akan dibakar harus dalam keadaan kering dan bersih agar hasil bahan bakar alternatif yang dihasilkan dapat lebih jernih dan tidak banyak mengandung air.

#### Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Politeknik Negeri Bandung atas bantuan yang diberikan pada pelaksanaan penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- [1] Hamidi, 2016. “*Mesin MD Plast*”, TPA Rawa Kucing, Tangerang.
- [2] Rekathakusuma, I., Suwandi, S., & Suhendi, A. (2016). Karakterisasi Bahan Cair Produk Destilasi Sampah Plastik Dan Pemanfaatannya Sebagai Bahan Bakar. *eProceedings of Engineering*, 3(3).
- [3] Salamah, S., & Aktawan, A. (2016). Pemurnian Hasil Cair Pirolisis Sampah Plastik Pembungkus dengan Destilasi Batch. *Jurnal Chemica*, 3(1), 31-34.
- [4] Dossat, R J., 1985. *Principle of Refrigeration and Air conditioning*, 2nd Edition, John Willey and Sons, New York.
- [5] Boyle, Graham. 1988. *Australian Refrigeration and Air Conditioning Vol.2*, Trust Publication, Australia.
- [6] Budianto, A., & Syaiful, D. S. (2013). *Pengembangan Perangkat Lunak untuk mencari Nilai Optimal Desain Penukar Kalor Jenis Shell and Tube* (Doctoral dissertation, Mechanical Engineering Departement, Faculty Engineering of Diponegoro University).
- [7] Arwizet, A. (2017). Mesin Destilasi Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Menggunakan Kondensor Bertingkat Dan Pendingin Kompresi Uap. *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, 17(2), 75-88.