

# Kaji Eksperimental Mesin Pirolisis Distilasi Asap Pembakaran Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Alternatif dengan Menggunakan *Direct Cooling Coil*

Arda Rahardja Lukitobudi<sup>1)</sup>, Gibran Adie Parhan<sup>2)</sup>, M. Fikri Maulana<sup>3)</sup>

<sup>1), 2), 3)</sup> Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung

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

## ABSTRAK

Sifat plastik yang kuat, ringan dan tahan panas menyebabkan penggunaan plastik sangat meningkat. Namun limbah plastik tersebut berdampak besar bagi lingkungan karena sulit terurai. Distilasi sampah plastik dengan metode *pyrolysis* dapat menjadi salah satu cara untuk mengurangi sampah plastik. Sampah plastik dapat diolah menjadi bahan bakar alternatif yang lebih berguna. Alat distilasi berupa reaktor dengan kapasitas 2 kg LDPE sampah plastik dan tabung *pyrolysis* dengan pipa spiral didalamnya sepanjang 4x1,4 m. Pipa spiral di dalam tabung distilasi *pyrolysis* sebagai *direct cooling coil* tersebut dialiri *propylene glycol* dengan 5 variasi suhu, yaitu -9°C, -3°C, 3°C, 9°C dan suhu lingkungan. Pendinginan dilakukan oleh mesin brine cooling. Pembakaran dilakukan menggunakan tungku api pada suhu ±400°C dengan gas elpiji 3kg. Proses distilasi dengan menggunakan sistem refrigerasi menghasilkan jumlah bahan bakar alternatif yang lebih banyak dibandingkan dengan proses *pyrolysis* tanpa menggunakan sistem refrigerasi. Pada temperatur refrigeran sekunder -9°C, -3°C, 3°C, 9°C dan tanpa sistem refrigerasi menghasilkan bahan bakar alternatif sebanyak 1920 mL, 1290 mL, 1050 mL, 630 mL, 430mL.

Kata kunci: *Pyrolysis*, sampah plastik, bahan bakar alternatif, *brine cooling*, *direct cooling coil*, LDPE.

## ABSTRACT

*The property of plastic which is durable, light and heat resistant make plastic use more increasingly. But the plastic waste has big impact to the environment due to hard to decompose. Plastic waste distillation by pyrolysis method could be one of how to reduce the plastic waste. Plastic waste can be processed into alternative fuel more useful. The distillation rig consist of 2 kg LDPE plastic waste reactor equipped with pyrolysis tube with spiral coil inside of 4x1.4 m. The spiral coil inside the pyrolysis tube as direct cooling coil flowed by propylene glycol with 5 temperature variations, -9°C, -3°C, 3°C, 9°C and atmospheric temperature. The cooling process done by brine cooling machine. Burning process using fire stove of ±400°C with 3kg LPG. Distillation process using refrigeration system produce more alternative fuel compared to pyrolysis process without refrigeration system. On secondary refrigerant temperature of -9°C, -3°C, 3°C, 9°C and without refrigeration system, produce alternative fuel of 1920 mL, 1290 mL, 1050 mL, 630 mL, 430 mL.*

*Keyword : Pyrolysis, plastic waste, alternative fuel, brine cooling, direct cooling coil, LDPE.*

## 1. PENDAHULUAN

Plastik menjadi salah satu kebutuhan utama bagi kegiatan sehari-hari maupun kegiatan industri karena sifat plastik yang anti air, ringan, kuat, tahan panas, mudah dibuat atau di produksi. Namun plastik memiliki kekurangan yaitu susah untuk terurai. Penumpukan sampah plastik dengan teknologi *open dumping* atau *landfill* belum dapat disebut sebagai solusi, dan membakar sampah plastik juga bukan cara yang tepat untuk mengurangi sampah plastik. Bahkan sampah plastik yang sudah terurai menjadi berukuran mikro dan mencemari sungai dan laut maka mikro plastik dapat dijumpai kedalam tubuh ikan dan binatang laut dan pada akhirnya akan terhidang pada makanan kita.

Jatmiko Wahyudi, Hermain Teguh Prayitno, Arieanti Dwi Astuti pada makalahnya di Jurnal Litbang Vol. XIV No.1, Juni 2018, hal. 58-67 dengan judul "Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar", menyatakan bahwa Pirolisis merupakan proses peretakan atau pemecahan rantai polimer menjadi senyawa yang lebih sederhana melalui proses thermal (pemanasan/pembakaran) dengan tanpa maupun sedikit oksigen. Sampah plastik bisa diurai dan diubah menjadi bahan bakar yang memiliki nilai kalor yang tinggi melalui proses pirolisis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan kemampuan minyak hasil pirolisis plastik dengan minyak tanah dan solar dalam hal massa jenis, lama pembakaran, temperatur air dan volume air yang hilang (menguap) saat dimasak menggunakan minyak tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 1) massa jenis minyak pirolisis adalah 0,8 g/ml.

Waktu yang dibutuhkan untuk membakar habis suatu benda adalah 4,02 menit. Pemasakan air menggunakan bahan bakar minyak pirolisis menghasilkan temperatur 75°C pada waktu pemasakan 4 menit dengan volume air yang hilang (menguap) sebesar 12,6 ml. 2) Dari 4 parameter yang diamati, kualitas minyak pirolisis berada di bawah minyak tanah namun di atas minyak solar. [1]

Nur Alfi Hidayati, Isna Rasdianah Aziz, Cut Muthiadin dalam makalahnya berjudul “Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Alternatif Bahan Bakar Terbarukan”, prosiding seminar Biologi Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar, vol 3 no 1, 2017 menyatakan bahwa permasalahan sampah menjadi masalah global dalam kehidupan manusia. Pengolahan sampah khususnya sampah plastik agar lebih praktis dan efektif masih terus diupayakan, mengingat pencemaran yang diakibatkannya semakin meluas. Tujuan penelitian ini adalah memanfaatkan limbah plastik menjadi bahan bakar energi alternatif yang dapat diperbaharukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah plastik dapat menghasilkan bahan bakar minyak dengan perbandingan 0,2 kg limbah plastik menghasilkan 10 ml, dengan penambahan minyak jelantah dapat meningkatkan produksi bahan bakar sebanyak 1 ml dengan waktu yang relatif singkat. [2]

Arwizet pada INVOTEK: Jurnal Inovasi, Vokasional, dan Teknologi Vol 17 No 2 (2017) dengan makalah yang berjudul “Mesin Distilasi Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Menggunakan Kondensor Bertingkat Dan Pendingin Kompresi Uap”, menyatakan bahwa studi ini mencoba mencari solusi dari penggunaan bahan bakar fosil (fossil energy) untuk menggunakan sampah plastik menjadi bahan bakar minyak bersih dan layak hidup. Penelitian ini bertujuan untuk membangun dan meneliti mesin distilasi dengan dua sistem siklus pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar minyak.. Pengujian dilakukan dengan dua cara: tes pertama tanpa tes plastik), uji kedua dengan pembakaran sampah plastik. Hasil pengujian pada kondisi mesin kosong untuk pengaturan thermostate 4, terlihat pencapaian suhu rata-rata terendah di ruang pendingin yang bisa diraih dengan mendinginkan rentang mesin 5°C sampai 6°C. Pada setting termostat 6°C, prestasi temperatur di ruang pengeringan rata-rata terendah berkisar antara 2°C sampai 3°C. Sedangkan untuk pengujian kelembaban udara yang mengandung limbah plastik di ruang pengeringan sedikit lebih tinggi bila dibandingkan dengan pengujian kosong yang sekitar 67% sampai 72%. Koefisien Performansi (COP) untuk pengujian maksimal kosong atau mengandung pengujian santan untuk pengaturan termostat 4 dan 6 berkisar antara 0,67 sampai 0,69. [3]

Arda Rahardja Lukitobudi, Sugiyarto, Muhammad Setya Ramadhan, Dinda Ainun Qolbi, Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung dengan makalah yang berjudul “Kaji Eksperimental Sistem Distilasi Asap Pembakaran Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Alternatif Dengan Pendinginan Sistem Refrigerasi Kompresi Uap”, menyatakan bahwa salah satu langkah untuk mengurangi sampah plastik sekaligus menghasilkan bahan bakar alternatif adalah dengan pirolisis yaitu dengan cara distilasi asap hasil pembakaran sampah plastik karena pada dasarnya bahan dari sampah plastik ini adalah hidrokarbon. Pada mesin distilasi asap pembakaran sampah plastik dengan menggunakan sistem pendingin kompresi uap pada mesin berbagai variasi temperatur tanpa melihat faktor ekonomis dilakukan dua tahapan distilasi 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 distilasi 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. [4]

Pada penelitian ini, alat distilasi berupa reaktor dengan kapasitas 2 kg *LDPE* sampah plastik dan tabung distilasi *pyrolysis* dengan pipa spiral didalamnya sepanjang 4x1,4 m. Pipa spiral di dalam tabung sebagai *direct cooling coil* tersebut dialiri *propylene glycol* sebagai refrigeran sekunder dengan 5 variasi suhu, yaitu -9°C, -3°C, 3°C, 9°C dan suhu lingkungan. Pendinginan dilakukan oleh mesin *brine cooling* berkapasitas 1/3pk dengan refrigeran primer R134a. Pembakaran dilakukan menggunakan tungku api pada suhu ±400°C dengan gas elpiji 3kg. Proses distilasi dengan menggunakan sistem refrigerasi menghasilkan jumlah bahan bakar alternatif yang lebih banyak dibandingkan dengan proses pirolisis tanpa menggunakan sistem refrigerasi. Pada temperatur refrigeran sekunder -9°C, -3°C, 3°C, 9°C dan tanpa sistem refrigerasi menghasilkan bahan bakar alternatif sebanyak 1920 mL, 1290 mL, 1050 mL, 630 mL, 430mL [5] [6] [7] [8] [9].

## 2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metoda eksperimental. Pembuatan reaktor dengan tinggi 0,45m dan diameter 0,3m. Dilanjutkan dengan pembuatan tabung distilasi *pyrolysis* yang berisi 4 buah pipa spiral *pyrolysis* sebagai *direct cooling coil* masing-masing sepanjang 1,4m yang dialiri dengan refrigeran sekunder *propylene glycol* 35% yang didinginkan dengan mesin pendingin *brine cooling* berkapasitas 1/3 pk dengan refrigeran primer R134a. Kemudian dilanjutkan dengan pemasangan instalasi pemipaan, panel kelistrikan dan alat-alat ukur dan kontrol. Setelah selesai instalasi dilaksanakan test run. Kemudian dilakukan pengambilan data percobaan dengan termometer digital dengan berbagai variasi temperatur refrigeran sekunder yaitu  $-9^{\circ}\text{C}$ ,  $-3^{\circ}\text{C}$ ,  $3^{\circ}\text{C}$ ,  $9^{\circ}\text{C}$  dan tanpa sistem refrigerasi. Data yang diperoleh dari penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder, dimana data primer diperoleh dari pengukuran langsung saat eksperimen sedangkan data sekunder merupakan data yang diperoleh dari hasil plot data primer pada diagram temperatur terhadap waktu.

Dari hasil evaluasi dan analisis pada berbagai variasi temperatur yang dilakukan maka didapat kesimpulan temperatur refrigeran sekunder yang menghasilkan bahan bakar alternatif paling banyak.

### 2.1. SKEMATIK SISTEM

Reaktor dan tabung distilasi *pyrolysis* berpendingin *brine cooling* menggunakan sistem pendingin kompresi uap memiliki:

1. Reaktor dengan tinggi 0,45m dan diameter 0,3m dibakar dengan menggunakan tungku gas elpiji 3kg.
2. Tabung distilasi *pyrolysis* yang berisi 4 buah pipa spiral sebagai *direct cooling coil* masing-masing sepanjang 1,4m yang dialiri dengan refrigeran sekunder.
3. Mesin pendingin *brine cooling* berkapasitas 1/3pk dengan refrigeran primer R134a dan refrigeran sekunder *propylene glycol* 35%.
4. Sistem juga dilengkapi dengan *filter dryer*, *sight glass*, *accumulator*, *pressure gauges*, *thermostat*, *voltmeter*, *amperemeter*, *selector switch*, *pilot lamps*, *contactors*, *MCB*.



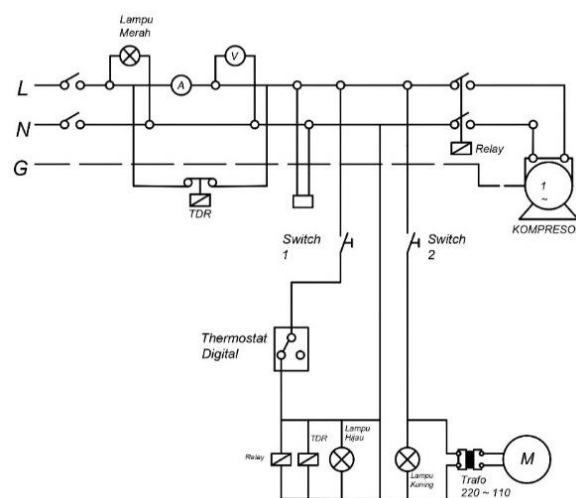
Gambar 1: Reaktor



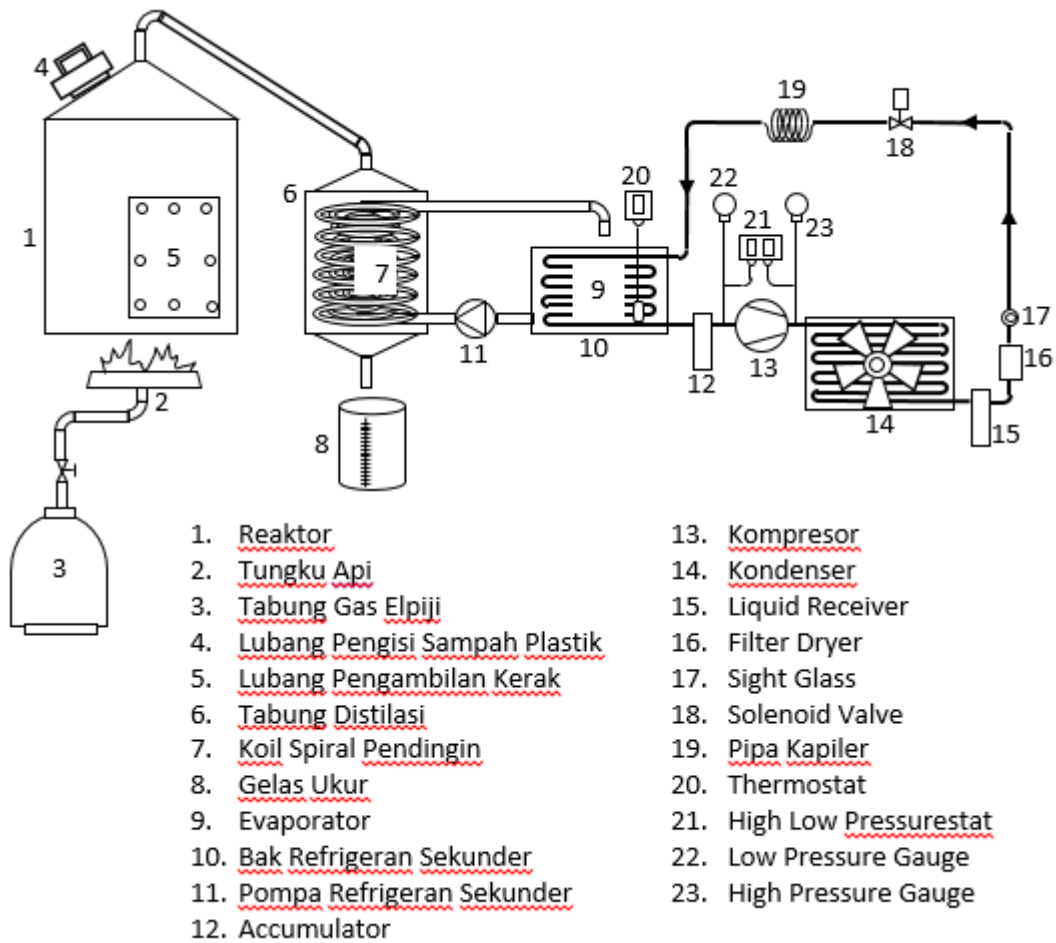
Gambar 2: Potongan Tabung distilasi



Gambar 3: Reaktor, tabung distilasi, mesin *brine cooling*



Gambar 4: Kelistrikan sistem *pyrolysis* sampah plastik



Gambar 5: Skematik sistem pirolisis sampah plastik

## 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 Masukan Kondenser (°C)
6. Temperatur Keluaran Kondenser (°C)
7. Temperatur Keluaran Alat Ekspansi (°C)
8. Arus (A) dan Tegangan (V)
9. Temperatur Lingkungan (°C)
10. Temperatur Tabung Distilasi (°C)
11. Temperatur Keluaran Reaktor (°C)
12. Temperatur Brine (°C)
13. Volume bahan Bakar Alternative (mL)

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

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

$$Q_e = \dot{m} (h_1 - h_4) \quad (2)$$

$$R_k = \frac{P_d}{P_s} \quad (3)$$

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

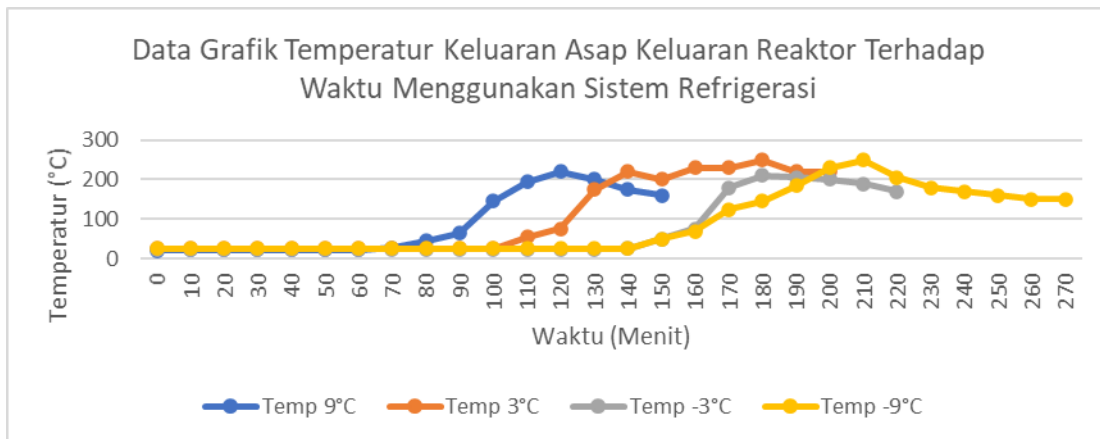
$$\text{COP}_{\text{carnot}} = \frac{T_e}{T_k - T_e} \quad (5)$$

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

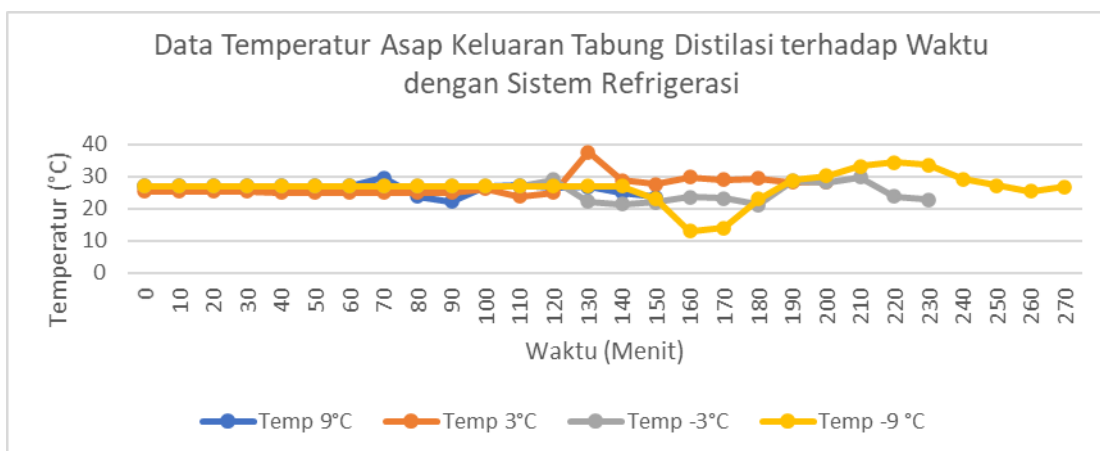
$$L = \frac{m \cdot c_p \cdot (th_2 - th_1)}{U \cdot n \cdot \pi \cdot d \cdot \theta m} \quad (7)$$

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  $\text{COP}_{\text{carnot}}$ .  $L$  adalah panjang pipa spiral x 4 koil.  $m$  adalah laju aliran massa.  $c_p$  adalah kalor spesifik larutan pada tekanan konstan.  $th_2$  adalah temperatur keluaran fluida,  $th_1$  adalah temperatur masukan fluida.  $U$  adalah koefisien perpindahan kalor total antar dua larutan.  $n$  adalah jumlah *tube* dalam rancangan.  $d$  adalah diameter *tube* dalam rancangan.  $\theta m$  adalah pendekatan nilai selisih temperatur. Tabung distilasi *pyrolysis* dengan pipa spiral didalamnya sepanjang 4x1,4 m. Pipa spiral di dalam tabung sebagai *direct cooling coil* tersebut dialiri refrigeran sekunder *prophylene glycol* dengan 5 variasi suhu, yaitu  $-9^\circ\text{C}$ ,  $-3^\circ\text{C}$ ,  $3^\circ\text{C}$ ,  $9^\circ\text{C}$  dan suhu lingkungan. Pendinginan dilakukan oleh mesin *brine cooling*. [5], [6], [7], [8], [9].

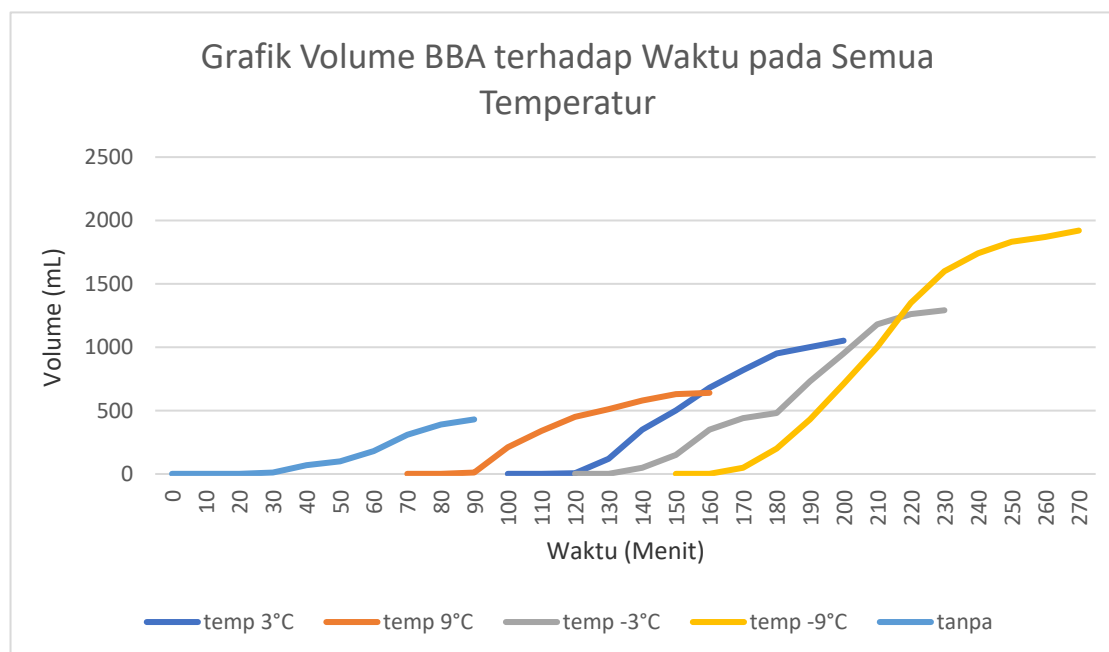
### 3. HASIL DAN ANALISIS



Gambar 6. Grafik Temperatur Asap Keluaran Reaktor Terhadap Waktu Menggunakan Sistem Refrigerasi



Gambar 7. Grafik Temperatur Asap Keluaran Tabung Distilasi *Pyrolysis* Terhadap Waktu



Gambar 8. Grafik Hasil Bahan Bakar Alternatif Terhadap Waktu

Dari 5 data temperatur pada Gambar 8, dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan hasil panen BBA antara sistem distilasi tanpa menggunakan sistem refrigerasi dengan menggunakan sistem refrigerasi. Hasil BBA tanpa menggunakan sistem refrigerasi lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan sistem refrigerasi. Makin dingin temperatur refrigeran sekunder yang mengalir pada tabung distilasi *pyrolysis* maka hasil BBA akan makin banyak.



Gambar 9. Hasil distilasi dengan sistem refrigerasi pada suhu 9°C, 3°C, -3°C, -9°C dan tanpa sistem refrigerasi

#### 4. KESIMPULAN

Dengan tabung distilasi *pyrolysis* asap pembakaran sampah plastik berhasil mengubah limbah plastik berjenis LDPE menjadi bahan bakar alternatif. Alat ini dapat digunakan sebagai media untuk mengurangi sampah yang menumpuk. Tabung distilasi *pyrolysis* yang berisi 4 buah pipa spiral *pyrolysis* sebagai *direct cooling coil* masing-masing sepanjang 1,4m yang dialiri dengan refrigeran sekunder *propylene glycol* 35% yang didinginkan dengan mesin pendingin *brine cooling* berkapasitas 1/3 pk dengan refrigeran primer R134a.

Hasil BBA tanpa menggunakan sistem refrigerasi lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan sistem refrigerasi. Makin dingin temperatur refrigeran sekunder yang mengalir pada tabung distilasi maka hasil BBA akan makin banyak.

Hasil distilasi sampah plastik menggunakan sistem refrigerasi pada temperatur-temperatur 9°C, 3°C, -3°C, -9°C dan tanpa sistem refrigerasi adalah 630 mL, 1050 mL, 1290 mL, 1920 mL dan 430 mL

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Politeknik Negeri Bandung atas bantuan yang diberikan pada pelaksanaan penelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Jatmiko Wahyudi, Hermain Teguh Prayitno, Arieyanti Dwi Astuti, "Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar", Jurnal Litbang Vol. XIV No.1, hal. 58-67, Juni 2018.
- [2] Nur Alfi Hidayati, Isna Rasdianah Aziz, Cut Muthiadin, "Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Alternatif Bahan Bakar Terbarukan", prosiding seminar Biologi Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar, vol 3 no 1, 2017.
- [3] Arwizet, "Mesin Distilasi Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Menggunakan Kondensor Bertingkat Dan Pendingin Kompresi Uap", INVOTEK: Jurnal Inovasi, Vokasional, dan Teknologi Vol 17 No 2, 2017.
- [4] Arda Rahardja Lukitobudi, Sugiyarto, Muhammad Setya Ramadhan, Dinda Ainun Qolbi, "Kaji Eksperimental Sistem Distilasi Asap Pembakaran Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Alternatif Dengan Pendinginan Sistem Refrigerasi Kompresi Uap", KURVATEK Vol.5. No. 2, pp.87 – 94, November 2020.
- [5] Althouse, A. D., et. all., "Modern Refrigeration and Air Conditioning", Goodheart Wilcox, Illinois, 2004.
- [6] Dossat, Roy J., "Principle of Refrigeration", SI Version, Second Edition. New York: JohnWiley & Sons, Inc., 1981
- [7] ASHRAE, "ASHRAE Handbook of Fundamental", American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, SI Edition, Atlanta, 2005.
- [8] ASHRAE, "ASHRAE Handbook –HVAC Systems and Equipment", American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, SI Edition, Atlanta, 2008.
- [9] Holman, J. P., "Heat Transfer", Seventh Edition. Mc-Graw Hill, New York, 1992.