

RANCANG BANGUN KONDENSOR DAN PENGARUH GEOMETRI DIAMETER PIPA SPIRAL KONDENSOR TERHADAP KUANTITAS MINYAK GASIFIKASI

Aditiya Bagas Sadewo

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: aditiya.18012@mhs.unesa.ac.id

Indra Herlamba Siregar

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: indrasiregar@unesa.ac.id

Abstrak

Penggunaan bahan bakar minyak khususnya bahan bakar fosil disamping ketersediannya terbatas juga dapat menimbulkan masalah lingkungan seperti polusi udara. Maka diperlukan sumber energi alternatif sebagai energi terbarukan pengganti bahan bakar fosil yaitu *biofuel*. Dalam menghasilkan *biofuel* dari biomassa diperlukan proses termokimia yakni gasifikasi. Untuk menghasilkan kondensat maka asap hasil gasifikasi harus didinginkan menggunakan kondensor. Kondensor jenis *helical coil* lebih banyak digunakan karena memiliki keefektifan tinggi dalam proses kondensasi dikarenakan bentuk kumparan yang berbentuk lengkungan menginduksi gaya sentrifugal fluida yang bergerak. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh diameter geometri pada *coil* kondensor terhadap efektivitas kondensor dan kuantitas kondensat yang dihasilkan selama proses kondensasi gasifikasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yang meliputi studi literatur, analisa kebutuhan teknis, proses perancangan, gambar kerja, proses pembuatan, dan proses pengujian kondensor. Dengan kebutuhan panjang pipa yang diperlukan sebesar 5 m kemudian peneliti melakukan variasi terhadap geometri diameter pipa sebesar 20 cm, 30 cm, dan 40 cm guna mengetahui nilai efektivitas kondensor, efisiensi kondensasi dan kuantitas minyak. Hasil minyak terbanyak terdapat pada variasi dengan geometri *coil* 20 cm yaitu sebanyak 228 gram sedangkan pada variasi 30 dan 40 masing-masing memperoleh kondensat 201 gram dan 186 gram. Efisiensi kondensor tertinggi terdapat pada variasi *coil* 20 cm dengan efisiensi sebesar 75,72% kemudian disusul dengan variasi *coil* 30 cm dengan 67,55% dan variasi *coil* 40 cm dengan efisiensi 60,53%.

Kata Kunci: Tempurung kelapa, Kondensor, variasi geometri diameter pipa, *syngas*, minyak gasifikasi

Abstract

The use of fuel oil, especially fossil fuels besides their limited availability, can also cause environmental problems such as air pollution. So we need alternative energy sources as renewable energy to replace fossil fuels, namely biofuels. To produce biofuel from biomass, a thermochemical process is required, namely gasification. To produce condensate, the gasification smoke must be cooled using a condenser. Helical coil type condensers are more widely used because they have high effectiveness in the condensation process due to the curved shape of the coils which induces a centrifugal force of the moving fluid. The purpose of this study was to determine the effect of the geometric diameter of the condenser coil on the effectiveness of the condenser and the quantity of condensate produced during the process. gasification condensation. The method used in this study is an experimental method which includes literature study, technical requirements analysis, design process, working drawings, manufacturing process, and condenser testing process. With the required pipe length of 5 m, the researchers varied the geometry of the pipe diameter by 20 cm, 30 cm and 40 cm to determine the effectiveness of the condenser, the efficiency of condensation and the quantity of oil. The highest oil yield was found in the variation with the 20 cm coil geometry, namely 228 gram, while in variations 30 and 40 each obtained 201 gram and 186 gram of condensate. The highest condenser efficiency is found in the 20 cm coil variation with an efficiency of 75.72%, followed by the 30 cm coil variation with 67.55% and the 40 cm coil variation with an efficiency of 60.53%.

Keywords: coconut shell, condenser, variation of pipe diameter geometry, *syngas*, gasified oil

PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia, yang terus meningkat sejalan dengan tingkat kehidupannya. Bahan bakar minyak/energi fosil merupakan salah satu sumber energi yang bersifat tak terbarukan (*non renewable energy sources*) yang selama ini merupakan andalan untuk memenuhi kebutuhan energi di seluruh sektor kegiatan. Indonesia merupakan bagian dari wilayah negara ASEAN yang mengalami peningkatan konsumsi energi setiap tahunnya. Pada tahun 2019 total konsumsi energi final sebesar 989,9 juta SBM (Setara Barel Minyak). Besarnya konsumsi BBM itu dikarenakan penggunaan teknologi peralatan BBM masih lebih efisien dibanding peralatan lainnya, terutama di sektor transportasi. Sejalan dengan meningkatnya konsumsi BBM, konsumsi BBN atau Bahan Bakar Nabati (*biofuel*) sebagai substitusi BBM, terutama biodiesel juga meningkat mengikuti tren pertumbuhan minyak solar dan mandatori biodiesel

Melihat tingginya peningkatan kebutuhan energi final perlu diantisipasi dengan menerapkan upaya konservasi energi agar sumber energi fosil tidak punah. Penggunaan sumber energi fosil perlu dikurangi juga karena keberadaannya yang terbatas dan menimbulkan permasalahan global, seperti pencemaran udara hasil pembakaran hingga pemanasan global akibat gas karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan dari sisa pembakaran energi fosil. Indonesia merupakan negara agraris, dan hampir di setiap wilayahnya menghasilkan tanaman kelapa. Hal ini terbukti dengan banyak kita jumpai pepohonan kelapa yang tumbuh di pesisir pantai, dataran, maupun daerah pegunungan.

Ada banyak cara yang dapat dilakukan untuk mengkonversi biomassa tempurung kelapa menjadi energi. Salah satu caranya yaitu dengan proses gasifikasi. Proses gasifikasi untuk menghasilkan *syngas* yang nantinya akan dirubah menjadi *biofuel* melibatkan proses perpindahan panas dari asap (*syngas*) ke zat pendingin. Kondensor merupakan alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang berfungsi sebagai media terjadinya proses kondensasi. Kinerja kondensor dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain desain kondensor, nilai konduktivitas bahan, suhu lingkungan pengoprasian, *fouling factor* (faktor pengotoran), jenis fluida pendingin, debit aliran air pendingin dan arah aliran fluida.

Kondensor jenis *helical coil* lebih banyak digunakan karena memiliki keefektifan tinggi dalam proses

kondensasi dikarenakan bentuk kumparan yang berbentuk lengkungan menginduksi gaya sentrifugal fluida yang bergerak. Hal ini menyebabkan terjadinya aliran sekunder yang dapat meningkatkan efektifitas koefisien perpindahan panas. Penggunaan kondensor berbentuk *helical coil* dilakukan untuk mendapatkan *biofuel* yang maksimal dari *syngas* biomassa, agar dapat menjadi energi alternatif. Untuk memperoleh performa yang maksimal maka alat penukar kalor harus dirancang dengan cara yang seksama dan seoptimal mungkin

METODE

Pengujian ini berjenis penelitian eksperimen yang memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh geometri spiral terhadap kuantitas volume *biofuel* yang dihasilkan, serta efektifitas dari kondensor.

Tempat Penelitian

Laboratorium Fenomena Dasar Mesin .Gedung A8, Lantai 4, Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya

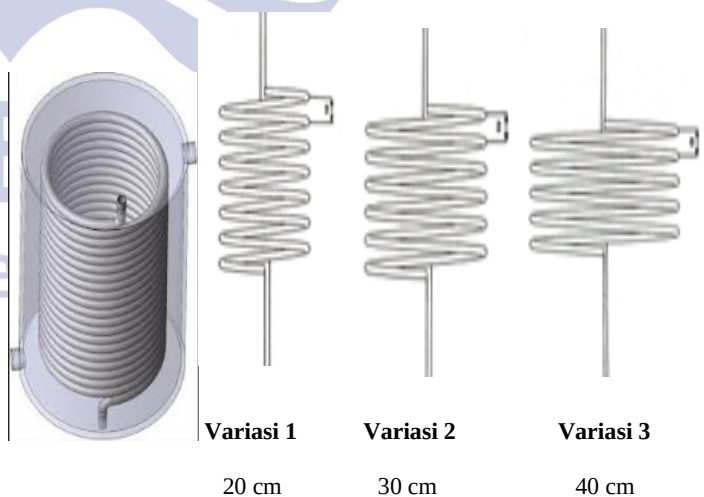
Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan setelah Proposal skripsi disidangkan dan disetujui sampai semua data yang diperlukan dan analisis telah terpenuhi.

Variabel Penelitian

Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi geometri diameter pipa spiral sebagai berikut, variasi 1 diameter 20 cm, variasi 2 diameter 30 cm, variasi 3 diameter 40 cm.



Gambar 1. Variasi diameter geometri

Variabel Terikat

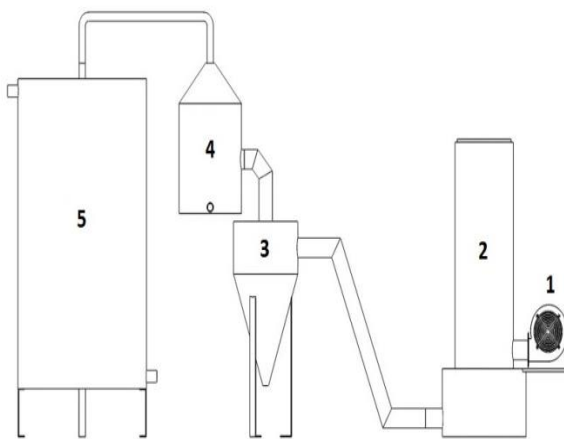
Variabel terikat dalam penelitian ini adalah efektifitas kondensor dan kuantitas hasil minyak pada proses kondensasi *syngas*.

Variabel Kontrol

- Bahan baku biomassa yang digunakan adalah batok kelapa dengan kapasitas 5 kg
- Proses pendinginan menggunakan arah aliran *counter flow* dengan fluida pendingin berupa air
- Debit pompa adalah 4 liter permenit
- Pengujian dilakukan menggunakan AFR 1

Peralatan dan Instrumen Penelitian

Rancangan alat dan instrumen pada penelitian.



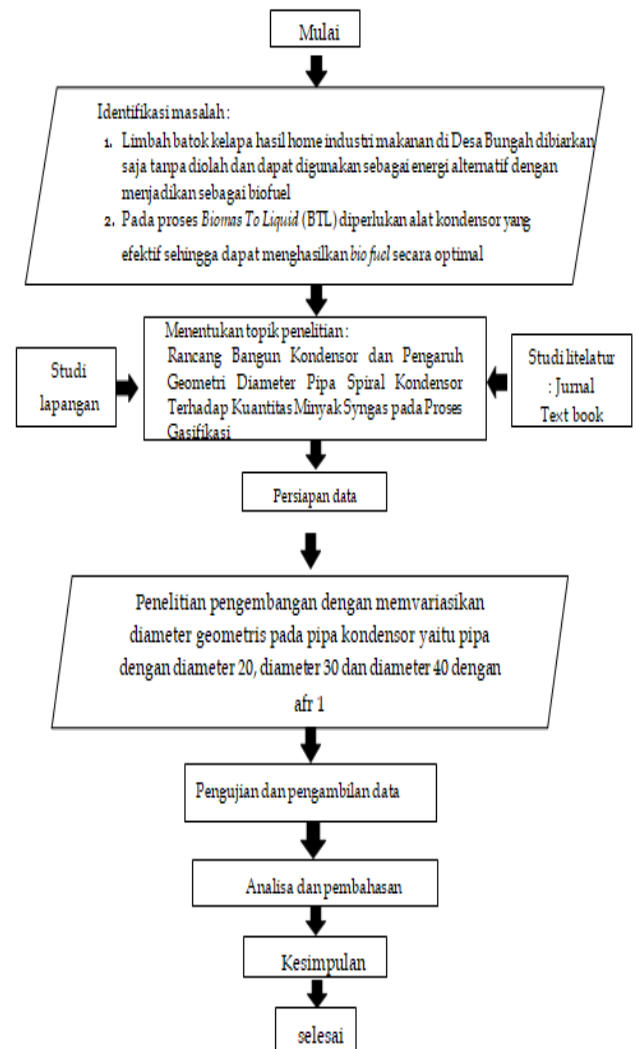
Gambar 2. Skema proses penelitian

Keterangan gambar:

1. Blower
2. Reaktor Gasifier
3. Cyclone
4. Trap
5. Kondensor

Diagram Alir Penelitian

Berikut ini merupakan *flowchart* tahapan penelitian



Gambar 3. Flowchart Penelitian

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara mengambil data pada setiap variable dengan cara melakukan pengujian sebanyak 3 kali pada setiap variable. Kemudian, dilakukan rata-rata dari setiap data yang diperoleh dan diambil data terakhir.

Teknik Analisa Data

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data dengan menggunakan alat ukur yang kemudian dimasukkan ke dalam tabel dan dihitung secara teoritis lalu disajikan dalam bentuk grafik agar lebih mudah dipahami.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pada penelitian tentang pengaruh diameter kondensor tipe *helical coil* terhadap kuantitas hasil kondensasi minyak gasifikasi berbahan baku tempurung kelapa. Variasi yang digunakan adalah variasi diameter *helical coil* yakni variasi dengan diameter 20 cm, 30 cm serta

40 cm. Kemudian mengamati perbandingan jumlah minyak gasifikasi yang dihasilkan dan efisiensi kondensasi sampai tempurung kelapa didalam *gasifier* habis. Data penelitian yang telah diperoleh disajikan kedalam bentuk nilai dan grafik. Untuk data hasil penelitian akan disajikan pada sub bab dibawah ini.

• Sebaran suhu kondensor

Untuk persebaran suhu pada kondensor dilakukan pada empat titik bagian keluar masuknya fluida pendingin dan fluida gas. Hal ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi masing-masing variasi dari kinerja kondensor. Data hasil pengukuran suhu pada kondensor dapat dijelaskan sebagai berikut.

Thin = titik pengukuran suhu gas masuk kondensor

Thout = titik pengukuran suhu gas keluar kondensor

Tcin = titik pengukuran suhu air masuk kondensor

Tcout = titik pengukuran suhu air keluar kondensor

Tabel 1. Data pengukuran suhu variasi 40 cm

menit ke-	Th in (°C)	Th out (°C)	Tc in (°C)	Tc out (°C)
10	32,1	31,1	30	30,3
20	34,4	32,6	30	30,5
30	35,2	33,1	30	30,6
40	36,5	33,7	30,3	30,8
50	37,2	34	30,2	30,6
60	38,1	34,4	30,4	31,2
70	40	34,9	30,2	31,7
80	42,1	35,5	30,3	31,6
90	43,2	36,1	30,4	32,1
100	44,3	36,6	30,6	33,5a

Tabel 2. Data pengukuran suhu variasi 30 cm

menit ke-	Th in (°C)	Th out (°C)	Tc in (°C)	Tc out (°C)
10	31,2	30,4	30	30
20	31,9	30,8	30	30,3
30	32,5	31,1	30,4	30,5
40	33,5	31,9	30,7	30,9
50	35,1	32,4	30,9	31,2
60	37,3	33,5	31	31,3
70	38,9	34,1	31,2	32

80	40,1	35,4	31,7	32,2
90	42,4	35,8	31,9	32,8
100	44,2	36,1	32,4	33,2

Tabel 3. Data pengukuran suhu variasi 20 cm

menit ke-	Th in (°C)	Th out (°C)	Tc in (°C)	Tc out (°C)
10	31,1	30,5	29,8	29,9
20	31,9	30,9	29,9	30,3
30	32,7	31,3	30,1	30,5
40	33,9	32,1	30,4	31,1
50	34,9	32,6	30,9	31,7
60	35,7	32,9	31,7	32,1
70	37,1	33,2	32,1	32,6
80	39,2	34,7	33,8	32,9
90	41,5	35,1	34,2	33,3
100	45,2	35,9	34,9	33,9

• Efisiensi kondensor

Berikut hasil perhitungan efisiensi kondensor dari masing-masing variasi.

Tabel 4. Efisiensi kondensor

Variasi	Th in (°C)	Th out (°C)	Tc in (°C)	Tc out (°C)	Efisiensi (%)
Variasi 40 cm	38,3	34,2	31,0	31,5	0,605302
Variasi 30 cm	36,7	33,2	31,0	31,4	0,675522
Variasi 20 cm	36,3	32,9	31,8	31,8	0,757238

• Produk hasil kondensasi minyak gasifikasi

Produk hasil gasifikasi berupa kondensat, *char*, dan gas. Kondensat yang dihasilkan berwarna merah kehitaman bersifat agak mudah terbakar dan berbau menyengat. *Char* dihasilkan dari penguraian atau dekomposisi batok kelapa yang terjadi didalam reaktor.



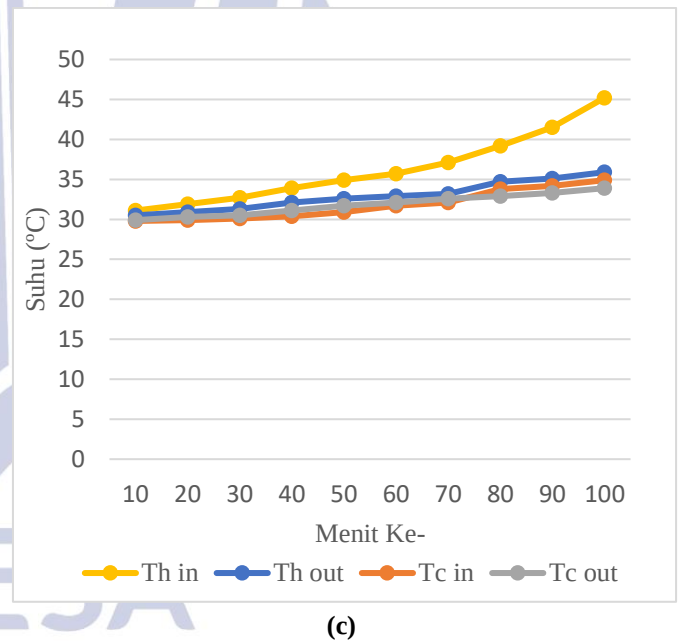
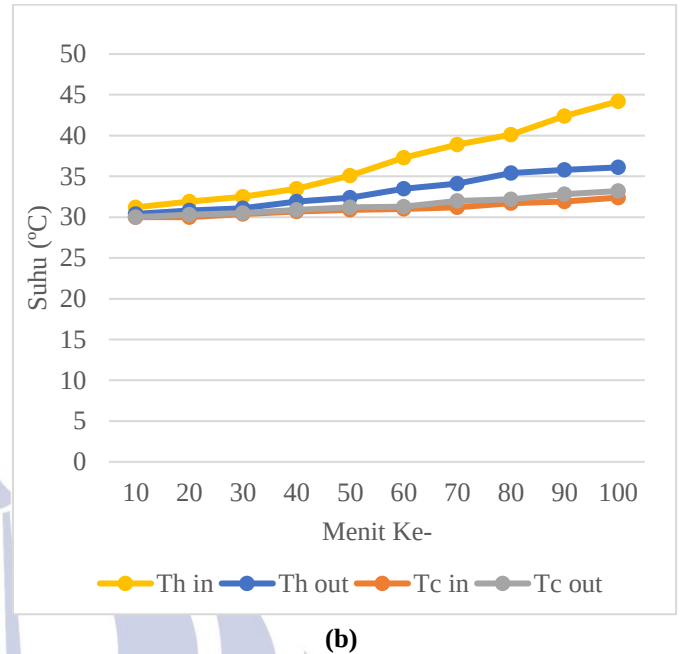
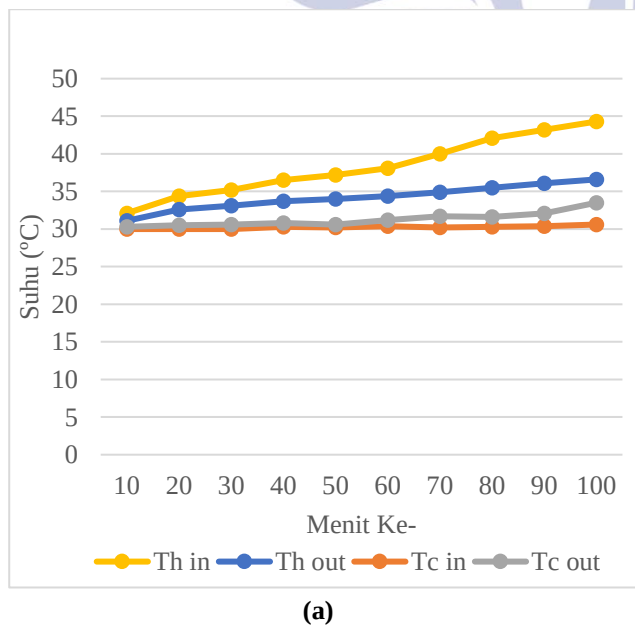
(a) (b)
Gambar 4. (a) Minyak gasifikasi (b) Tar

Tabel 5. Hasil kondensasi gasifikasi

Variasi	Massa biomasa (g)	Tar (g)	Char (g)	uncondensable gas (g)	Kondensat (g)
variasi 40 cm	5000	105	3576	1133	186
variasi 30 cm	5000	121	3452	1226	201
variasi 20 cm	5000	145	3325	1302	228

PEMBAHASAN

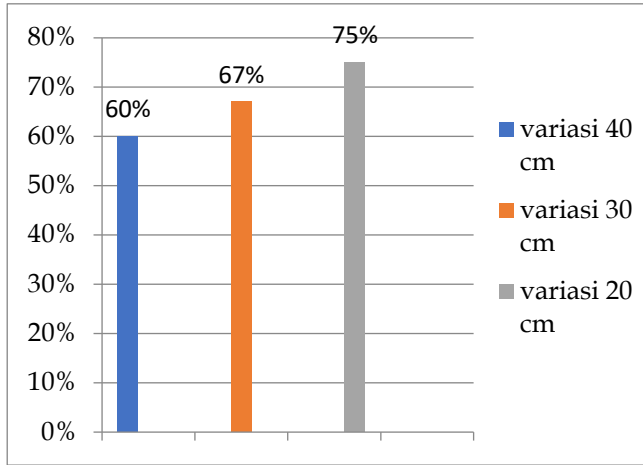
Sebaran suhu kondensor



Gambar 5. Grafik rata-rata persebaran suhu kondensor (a) rata-rata suhu kondensor variasi 40 cm, (b) rata-rata suhu kondensor variasi 30 cm, (c) rata-rata suhu kondensor variasi 20 cm

Gambar 4.3 merupakan suhu kondensor yang didapatkan dari keempat titik pengukuran. Perpindahan panas terbaik terjadi pada variasi 20 cm dimana pada variasi *coil* tersebut terjadi perbedaan suhu yang cukup signifikan. Perpindahan panas yang terjadi pada variasi 20 cm mampu mencapai suhu gas keluar 31,2 °C. Hal ini disebabkan karena fluida panas memiliki waktu lebih lama untuk memindahkan panas dikarenakan jumlah lilitan yang dihasilkan lebih banyak sehingga perpindahan panas yang terjadi menjadi lebih efektif.

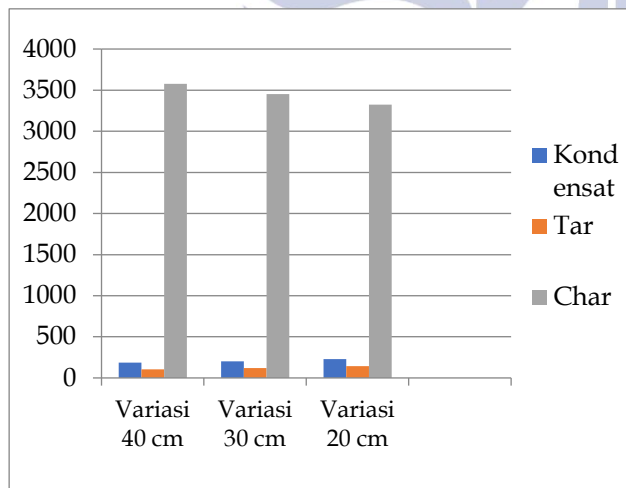
• Efisiensi kondensor



Gambar 6. Grafik efektifitas kondensor

Pada gambar diatas merupakan nilai efektivitas dari masing-masing variasi *coil* kondensor. Efektivitas terbaik terdapat pada variasi *coil* 20 cm, hal ini dipengaruhi oleh jumlah lilitan yang mengakibatkan aliran gas didalam *coil* lebih lama keluar. Hal ini disebabkan adanya gaya sentrifugal yang diakibatkan oleh lilitan *coil* sehingga menginduksi aliran gas yang ada dalam *coil* yang menyebabkan proses pertukaran panas lebih lama sehingga gas terkondensasi lebih optimal.

• Produk hasil kondensasi gasifikasi



Gambar 7. Hasil kondensasi gasifikasi

Pada diagram diatas menunjukkan bahwa semakin kecil diameter *coil* yang digunakan semakin banyak kondensat yang dihasilkan. Penggunaan variasi diameter *coil* berpengaruh terhadap jumlah kondensat yang dihasilkan. Hasil kondensat terbanyak didapatkan pada variasi diameter 20 cm yakni sebesar 228 gram. Hal ini diakibatkan adanya perbedaan jumlah lilitan pada setiap variasi yang mengakibatkan proses atau waktu perpindahan panas yang terjadi didalam *tubing* berlangsung dengan waktu yang berbeda-beda. Dalam penelitian ini untuk hasil terbaik

diperoleh pada variasi 20 cm dengan jumlah lilitan pada koil sebanyak 7 lilitan. Kemudian diikuti dengan variasi 30 cm dengan jumlah lilitan sebanyak 6 lilitan dan variasi 40 cm dengan jumlah lilitan sebanyak 5 lilitan.

PENUTUP

Simpulan

- Pengujian pengaruh diameter *coil* kondensor terhadap kuantitas minyak gasifikasi mempengaruhi efektivitas dari kondensor dengan nilai terbaik pada variasi diameter 20 cm yaitu sebesar 75%, sedangkan pada variasi diameter 30 cm dan 40 cm masing-masing memiliki efisiensi 60% dan 70%.
- Pengujian pengaruh variasi diameter *coil* kondensor juga berpengaruh terhadap kondensat yang dihasilkan yaitu dengan variasi diameter *coil* 20 cm sebesar 228 gram, variasi diameter *coil* 30 cm sebesar 201 gram, dan variasi diameter *coil* 40 cm kondensat yang dihasilkan sebesar 186 gram.

Saran

- Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai karakteristik kondensat dari hasil kondensasi proses gasifikasi.
- Belum ada data tentang debit aliran gas yang masuk melalui pipa yang menghubungkan antara *trapping* dan kondensor (tepatnya pada gambar 5).
- Pada hasil penelitian ini menunjukkan apabila ingin membuat kondensor tipe *helical coil* apabila semakin kecil diameter koil kondensor maka diperoleh hasil yang lebih optimal, dengan konsekuensi desain atau alat yang dihasilkan memiliki dimensi yang lebih panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). 2021. *OUTLOOK ENERGI INDONESIA 2021 Perspektif Teknologi Energi Indonesia: Tenaga Surya untuk Penyediaan Energi Charging Station*. Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi (PPIPE) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).
- Batutah, M. A., & Arifin, D. 2021. *Perancangan Spiral Kondensor untuk Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Proses Pirolisis (Design of Spiral Condenser for Processing Plastic Waste into Oil Fuel by Pyrolysis Process)*. Vol.6 (2): hal. 174–183.

- Goswami, Yogi. 1986. *Alternative Energy in Agriculture*, Vol. II. CRC Press. Halaman 83-102.
- Haryadi, Sigit. 2015. *Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin Pada Kondensor Terhadap Hasil Pengembunan Proses Pirolisis Limbah Plastik*. Skripsi diterbitkan. Semarang: PPs Universitas Negeri Semarang.
- Herlambang, Susila., N. Rina, Susanti., Sutiono, Heru. 2017. *Biomassa Sebagai Sumber Energi Masa Depan*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM). Universitas Pembangunan Nasional "veteran" Yogyakarta.
- Holman, J.P, 1994. *Perpindahan Kalor*, Edisi Keenam, Alih Bahasa Ir. E. Jasjfi, Msc, Erlangga, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Incropera, F. 2002. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 7th Edition (I. : John Wiley & Sons, ed.). New York
- Jamilatun, S., & Nurkholis, N. 2016. *Pengaruh Luas Perpindahan Panas Kondensor Terhadap Volume Asap Cair Terkondensasi Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa*. *CHEMICAL: Jurnal Teknik Kimia*, Vol. 3 (2): hal 61-69.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). 2021. *OUTLOOK ENERGI INDONESIA 2021 Perspektif Teknologi Energi Indonesia: Tenaga Surya untuk Penyediaan Energi Charging Station*. Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi (PPIPE) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).
- Batutah, M. A., & Arifin, D. 2021. *Perancangan Spiral Kondensor untuk Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Proses Pirolisis (Design of Spiral Condenser for Processing Plastic Waste into Oil Fuel by Pyrolysis Process)*. Vol.6 (2): hal. 174–183.
- Goswami, Yogi. 1986. *Alternative Energy in Agriculture*, Vol. II. CRC Press. Halaman 83-102.
- Haryadi, Sigit. 2015. *Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin Pada Kondensor Terhadap Hasil Pengembunan Proses Pirolisis Limbah Plastik*. Skripsi diterbitkan. Semarang: PPs Universitas Negeri Semarang.
- Herlambang, Susila., N. Rina, Susanti., Sutiono, Heru. 2017. *Biomassa Sebagai Sumber Energi Masa Depan*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM). Universitas Pembangunan Nasional "veteran" Yogyakarta.
- Holman, J.P, 1994. *Perpindahan Kalor*, Edisi Keenam, Alih Bahasa Ir. E. Jasjfi, Msc, Erlangga, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Incropera, F. 2002. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 7th Edition (I. : John Wiley & Sons, ed.). New York
- Jamilatun, S., & Nurkholis, N. 2016. *Pengaruh Luas Perpindahan Panas Kondensor Terhadap Volume Asap Cair Terkondensasi Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa*. *CHEMICAL: Jurnal Teknik Kimia*, Vol. 3 (2): hal 61-69.
- Kalim, Nur., Sutjahjo, D. H. 2015. *Pengaruh Debit Udara Pada Gasifier Terhadap Temperatur Dan Lama Nyala Api Syn Gas Pada Gasifikasi Batok Kelapa*. *Jurnal Teknik Mesin Unesa*. Vol 1. (1): hal. 43-49.
- Kewin Titus, A., Khaja Fareedudeen Ahmed, K. S., Sabarish Kumar, P., Santhosh, D., & Arun Vasantha Geethan, K. 2020. *Design and Analysis of Helical Coil Heat Exchanger*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 923(1).
- Kholiq, I. 2015. *Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Substitusi Bbm*. *Jurnal IPTEK*. Vol 19 (2): hal. 75-76.
- Kurniawan, S., Bow, Y., & Imam Rifa, A. 2020. *Condenser Design on Plastic Oil Distillation Equipment*. 169–175.
- Mufid, F., Anis, S. 2020. *Pengaruh Jenis dan Ukuran Biomassa terhadap Proses Gasifikasi Menggunakan Downdraft Gasifier*. *Rekayasa Mesin*, Vol.10 (3): hal. 217-226.
- Najib, L., & Darsopuspito, S. 2012. *Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa Sistem Downdraft Kontinyu dengan Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR) dan Ukuran Biomassa*. *Jurnal Teknik ITS*. Vol.1 (1): hal. 12–15.
- Patil, R. K., Shende, B. W., & Ghosh, P. K. 1982. *Designing a Helical-Coil Heat Exchanger*. In *Chemical Engineering (New York)*. Vol. 89 (25): pp 85–88).
- Prabhanjan., Raghavan and Rennie. 2002. *comparison of heat transfer rates between a straight tube heat exchanger and a helically coiled heat exchanger*. *Int. Convn Heat Mass Transfer*. Vol.29 (2): pp 185-191.
- Rinovianto, Guswendar. 2012. *Karakteristik gasifikasi pada updraft double gas outlet gasifier menggunakan bahan bakar kayu karet*. Skripsi diterbitkan. Depok: PPs Universitas Indonesia.
- Rudhiyanto. 2015. *Pengaruh Variasi Debit Air Pendingin Terhadap Hasil Kondensasi pada Prototipe Reaktor Pirolisis Sampah Plastik*. Skripsi diterbitkan. Semarang: PPs Universitas Negeri Semarang.
- Sandi, Y. A., Irfa'i, M. A., & Basuki, B. 2020. *Analisis pengaruh panjang pipa tembaga kondensor terhadap volume hasil minyak pada alat pirolisis*. *ARMATUR : Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*. Vol. 1 (2): hal. 68–74.
- Sano, H. 2002. *Biomass Handbook*. Japan Institute of Energy Ed., Ohm-sha.

- Sari, R. 2010. *Penanganan Sampah Berdasarkan Karakteristik Sampah di Kota Surakarta*. Makalah disajikan pada Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia. Surakarta 8-11 Juli.
- Sikandar, M. U. 2019. *Design of Helical Coil Heat Exchanger for a mini powerplant*. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Vol. 10 (12): pp 303–313.
- Sugiyono. 2016. *Metode Penelitian Kualitatif, Kuantitatif, dan R&D*. Jakarta: Alfabeta.'
- Tim Penyusun Buku Pedoman Penulisan Skripsi. 2014. *Pedoman Penulisan Skripsi*. Surabaya : UNESA
- Welty, James R, Charles E. Wicks, Robert E. Wilson, Gregory Rorrer. 2004. *Dasar Dasar Fenomena Transport*. Jakarta: Erlangga.

