

RANCANG BANGUN DAN UJI KINERJA KONDENSOR TIPE PIPA 12U DENGAN VARIASI JUMLAH BARIS PIPA TERHADAP PRODUKSI MINYAK GASIFIKASI

Lunda Tori Pratama

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: lunda.18020@mhs.unesa.ac.id

Indra Herlamba Siregar

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: indrasiregar@unesa.ac.id

Abstrak

Tempurung kelapa merupakan salah satu bahan bakar biomassa yang banyak dijumpai di daerah Indonesia. Se jauh ini pengolahan limbah tempurung kelapa hanya dibakar secara langsung untuk dijadikan arang dan hal tersebut malah menimbulkan masalah baru yaitu polusi udara. Cara lain yang ramah lingkungan adalah proses gasifikasi. Gasifikasi merupakan proses pengkonversian bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (CO , CH_4 , H_2). Untuk menjadikan minyak maka asap hasil gasifikasi perlu didinginkan menggunakan alat yang bernama kondensor. Kinerja kondensor sendiri dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain: desain kondensor, nilai konduktivitas bahan, suhu lingkungan pengoprasian, jenis fluida pendingin, dan arah aliran fluida. Pemilihan Bentuk geometri suatu kondensor akan berpengaruh terhadap proses perpindahan panas yang terjadi dalam kondensor. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen dengan analisis data deskriptif kuantitatif yaitu dengan mencari pengaruh variasi jumlah baris pipa kondensor dengan jumlah baris 3, jumlah baris 4, dan jumlah baris 5 guna mengetahui nilai efektivitas kondensor dan kuantitas minyak. Pengambilan data dilakukan dengan cara mencatat suhu fluida pendingin dan gas yang masuk dan keluar dari kondensor selanjutnya membandingkan jumlah minyak yang dihasilkan. Data kemudian tampilkan dalam grafik dan dideskripsikan dengan kalimat yang mudah untuk dipahami. Kuantitas tertinggi dari minyak yang dihasilkan terdapat pada variasi 3 dengan jumlah baris 5 sebanyak 274 gram, kemudian untuk variasi 2 sebanyak 250 gram dan variasi 1 sebanyak 224 gram. Untuk efektivitas kondensor tertinggi terdapat pada variasi 3 dengan nilai efektivitas sebesar 80% kemudian untuk variasi 2 sebesar 78% dan variasi 1 sebesar 73%. Sedangkan nilai efisiensi gasifikasi tertinggi terdapat pada variasi 1 dengan nilai 74%, untuk variasi 2 sebesar 64%, dan terendah variasi 3 sebesar 61%. Dari hasil yang didapat bisa disimpulkan bahwa terdapat pengaruh pada penambahan jumlah baris terhadap produksi minyak gasifikasi.

Kata Kunci : Tempurung Kelapa, Kondensor, Pipa 12U, Minyak Gasifikasi

Abstract

Coconut shell is one of the most common biomass fuels found in Indonesia. So far the processing of coconut shell waste has only been burned directly to make charcoal and this has actually created a new problem, namely air pollution. Another way that is environmentally friendly is the gasification process. Gasification is a process of converting solid fuel into combustible gas (CO , CH_4 , H_2). To make oil, the smoke from gasification needs to be cooled using a device called a condenser. The performance of the condenser itself is influenced by several things, including: condenser design, material conductivity value, operating environment temperature, type of cooling fluid, and direction of fluid flow. The choice of the geometric shape of a condenser will affect the heat transfer process that occurs in the condenser. This type of research is experimental research with descriptive quantitative data analysis, namely by looking for the effect of variations in the number of lines of condenser pipes with a number of lines 3, number of lines 4, and number of lines 5 in order to determine the value of the effectiveness of the condenser and the quantity of oil. Data collection is done by recording the temperature of the cooling fluid and gas entering and leaving the condenser and then comparing the amount of oil produced. The data is then displayed in graphs and described in sentences that are easy to understand. The highest quantity of oil produced is in variation 3 with the number of rows 5 as much as 274 grams, then for variation 2 as much as 250 grams and for variation 1 as much as 224 grams. For the highest effectiveness of the condenser is found in variation 3 with an effectiveness value of 80% then for variation 2 it is 78% and variation 1 is 73%. While the highest gasification efficiency value is in variation 1 with a value of 74%, for variation 2 is 64%, and the lowest is variation 3 with 61%. From the results obtained, it can be concluded that there is an influence on the addition of the number of lines on the production of gasified oil.

Keywords : Coconut Shell, Condenser, 12U Pipe, Gasified Oil

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris yang menghasilkan tanaman kelapa hampir di setiap daerah. Tempat Indonesia yang beriklim tropis sangat cocok untuk ditanami pohon kelapa. Ciri-ciri pohon kelapa yang dapat hidup di mana saja dalam berbagai struktur tanah membuat tanaman ini mudah ditemukan. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya pohon kelapa yang tumbuh di pesisir pantai, dataran dan pegunungan. (Satriono, 2020).

Kebutuhan energi bahan bakar di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya karena pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri yang ada. Sementara itu, cadangan minyak negara juga menurun dari waktu ke waktu. Upaya mencari sumber energi alternatif baru yang lebih murah, lebih melimpah dan terbarukan harus dilakukan untuk mengatasi krisis energi baru. Energi alternatif yang saat ini sedang dikembangkan adalah biomassa. Salah satu potensi sumber energi dari biomassa adalah tempurung kelapa. Untuk saat ini, batok kelapa hanya digunakan sebagai arang. (Najib & Darsopuspito, 2012).

Menurut (Rohmad, 2018), Di Indonesia sendiri pemanfaatan limbah batok kelapa kebanyakan hanya melalui pembakaran secara langsung. Dimana pada proses pembakaran batok kelapa secara langsung tersebut masih kurang praktis dan menimbulkan polusi berlebih bagi lingkungan. Cara pemanfaatan limbah batok kelapa sebagai sumber energi yang lebih praktis dan meminimalisir polusi adalah dengan mengonversi limbah batok kelapa menjadi gas yang dapat dilakukan dalam reaktor gasifikasi.

Gasifikasi adalah proses pengkonversian bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (CO , CH_4 , H_2) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas yaitu antara 20% hingga 40% udara stoikiometri. Reaktor tempat terjadinya proses gasifikasi disebut gasifier. Selama proses gasifikasi akan terbentuk daerah proses yang dinamakan menurut distribusi suhu dalam reaktor gasifier. Daerah-daerah tersebut adalah: Pengeringan, Pirolisa, Reduksi dan Pembakaran. Masing-masing daerah terjadi pada rentang suhu antara 25°C hingga 150°C , 150°C hingga 600°C , 600°C hingga 900°C , dan 800°C hingga 1400°C . Gas hasil dari proses gasifikasi disebut biogas, producer gas atau syngas. (Fajri Vidian, 2008).

Alat yang digunakan untuk mengubah limbah asap menjadi asap cair yaitu kondensor asap. Prinsip kerja kondensor ini yaitu mengkondensasikan asap yang melewati kondensor menjadi cair (asap cair). Peristiwa yang terjadi di dalam kondensor merupakan proses perubahan fase sejumlah uap air menjadi bentuk cair akibat proses perpindahan kalor dari uap yang terserap oleh keadaan di sekeliling uap. (Ramadan, 2018).

Kinerja kondensor dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain: desain kondensor, nilai konduktivitas bahan, kerapatan lapisan isolasi pada kondensor, suhu lingkungan pengoprasian, jenis fluida pendingin, dan arah aliran fluida. Pemilihan suatu desain yang baik akan banyak memberikan pengaruh terhadap hasil kondensasi gas.

Bentuk geometri dari kondensor akan berpengaruh terhadap proses perpindahan panas yang terjadi dalam kondensor sehingga pada produksi minyak gasifikasi kondensor yang dapat melepaskan panas dengan nilai tinggi akan menghasilkan jumlah minyak yang tinggi pula karena pendinginan yang maksimal pada kondensor tersebut. Sedangkan nilai konduktivitas suatu bahan dari kondensor akan berpengaruh terhadap efektivitas proses transfer panas yang terjadi didalam kondensor. Jika nilai konduktivitas suatu bahan semakin tinggi maka proses perpindahan panasnya akan semakin baik dan efisiensi dari kondensor akan meningkat. (Wibisono, 2012).

Perancangan alat destilasi ini perlu memperhatikan bahan baku dan alat itu sendiri. Destilator dengan bahan yang terbuat dari kaca akan lebih tahan terhadap panas, mudah pengamatannya karena transparan, namun mudah pecah dan biaya pembuatannya cukup mahal, dan alat ini biasanya hanya dipergunakan pada laboratorium. Alternatif bahan lainnya yaitu besi, aluminium, atau stainless steel. stainless steel ini baik digunakan sebagai bahan baku pembuatan alat destilasi karena lebih kuat, tahan panas dan tidak menyebabkan korosi. Namun harganya mahal dan pada pembuatan pipa destilator sulit untuk dimanufaktur hal ini bisa diatasi dengan menggunakan bahan tembaga yang lebih mudah dalam perlakuannya dan murah. (Wibisono, 2012).

Lamanya proses kondensasi akan memengaruhi konsumsi bahan bakar dan jumlah kalor yang harus diserap oleh kondensor. Sehingga jumlah media penukar kalor yang digunakan oleh kondensor akan semakin besar tergantung kepada lamanya proses penyulingan. Banyaknya kalor yang diserap oleh kondensor akan menentukan tingginya suhu air pendingin kondensor. Kenaikan suhu air pendingin kondensor akan memengaruhi laju kondensasi bahan. Perbedaan suhu yang besar harus dipertahankan untuk mempercepat laju penyerapan kalor. Laju penyerapan kalor yang tinggi diharapkan dapat mempercepat proses kondensasi sehingga laju kondensasi semakin tinggi. Untuk menjaga perbedaan suhu yang besar air pendingin kondensor yang telah mengalami kenaikan suhu ditukar dengan air pendingin kondensor yang baru. (Priyadi, 2021).

Kondensor berfungsi untuk membuang panas yang ada di fluida ke lingkungan dengan menggunakan media udara atau air. Untuk meningkatkan kemampuan kerja alat pendingin COP (Coefficient Of Performance) maka kondensor dapat di modifikasi dengan menggunakan media air sebagai pendingin pada kondensor sehingga pada bagian tersebut kita dapat menghemat daya blower yang tidak di pakai. Modifikasi tersebut dilakukan untuk menghemat daya listrik dan air merupakan media pendingin penyerap panas yang baik dibandingkan dengan udara, sehingga di harapkan panas yang di simpan di refrigerant dapat diserap di kondensor secara maksimal. (Ridhuan & Juniawan, 2014).

Menurut (Hariyadi, 2015) pada penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa aliran berlawanan arah (counter flow) lebih tinggi nilai laju perpindahan panas terhadap hasil minyak plastik yang dihasilkan, untuk jenis

plastik PP menghasilkan minyak sejumlah 360 ml dan untuk jenis plastik HDPE menghasilkan hasil minyak sejumlah 400 ml, sedangkan untuk aliran searah (parallel flow) untuk jenis plastik PP menghasilkan minyak 314 ml dan untuk jenis plastik HDPE menghasilkan minyak 363 ml.

Menurut (Andrian, 2015) Kondensor yang akan digunakan adalah kondensor tipe U dengan ukuran 12U. Yang dimaksud dengan kondensor tipe 12U adalah bentuk pipa kondensor yang ditekuk berbentuk U, dan angka 12U merupakan jumlah tekukan U yang terdapat pada pipa kondensor. Sehingga jika tertera 12U maka jumlah tekukan U pada pipa kondensor berjumlah 12. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh (Andrian, 2015), menunjukkan bahwa Kalor yang dilepas kondensor mesin pendingin dengan mempergunakan kondensor 12U dan 13U pada saat stabil secara berturut-turut sebesar 199,12 kJ/kg dan 190,97 kJ/kg.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mendesain dan menguji performa dari kondensor yang menggunakan pipa 12 U dengan variasi jumlah baris pipa guna mendinginkan asap cair dari pengolahan tempurung kelapa. Maka, diperlukan studi untuk mempelajari Uji performa dari sebuah kondensor destilasi guna mendapatkan hasil yang maksimal.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode uji eksperimen (*experimental research*). Metode eksperimen merupakan metode penelitian kuantitatif yang digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel independen (*treatment/perlakuan*) terhadap variabel dependen (hasil) dalam kondisi yang terkendali atau untuk mencari adanya hubungan sebab akibat dari beberapa faktor yang berkaitan, pada penelitian eksperimen secara umum dilakukan di laboratorium.

Penelitian ini dilakukan untuk melihat seberapa besar pengaruh variasi geometri kondensor terhadap hasil minyak gasifikasi dari hasil proses gasifikasi dengan bahan baku dari tempurung kelapa. Hal yang diteliti meliputi efektivitas kondensor dan efisiensi gasifikasi berdasarkan variasi jumlah baris pipa 12U. Penelitian ini dilakukan pada kondisi dan peralatan yang telah disesuaikan.

Tempat Penelitian

Penelitian ini bertempat di Gedung A8, Lantai 4 laboratorium Fenomena Dasar Mesin, 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.

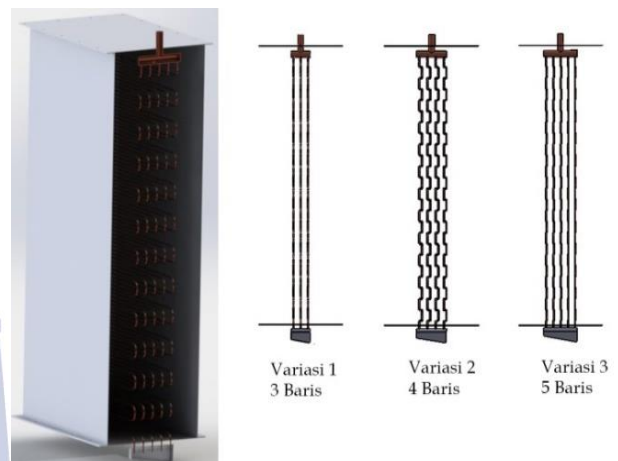
Variabel Penelitian

Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan untuk penelitian ini yaitu :

- Jumlah baris pipa 12U sebanyak 3 baris pada kondensor.

- Jumlah baris pipa 12U sebanyak 4 baris pada kondensor.
- Jumlah baris pipa 12U sebanyak 5 baris pada kondensor.



Gambar 1. Variasi Jumlah Baris Pipa

Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah efektivitas kondensor berdasarkan kuantitas produk minyak gasifikasi serta pengaruh penggunaan variasi pada efektifitas proses gasifikasi.

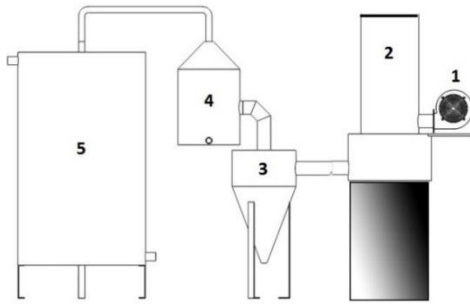
Variabel Kontrol

Variabel kontrol dari penelitian ini yaitu :

- Biomassa yang digunakan adalah tempurung kelapa.
- Penelitian ini tidak membahas proses pembuatan dan desain dari reaktor gasifikasi.
- Reaktor yang digunakan adalah reaktor tipe Downdraft.
- Pada proses gasifikasi menggunakan 1 macam suplai udara yang berasal dari blower.
- Penelitian ini menggunakan jenis pendingin air pada kondensor.
- Pada penelitian ini menggunakan jenis aliran counter flow dengan aliran fluida paksa yang konstan.
- Suhu fluida yang masuk kedalam kondensor dikondisikan pada suhu normal air (sekitar 29-30 °C).
- Penggunaan nilai *Low heating value* (LHV) gas dan tempurung kelapa berdasarkan penelitian yang sudah ada.

Peralatan dan Instrumen Penelitian

Rancangan alat pada penelitian ini dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu tungku, reaktor dan kondensor.

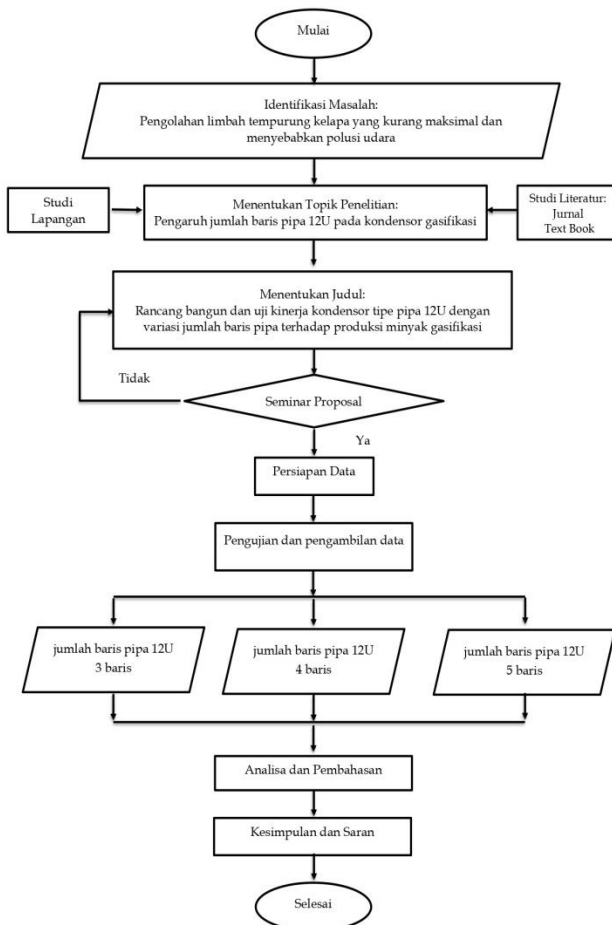


Gambar 2. Skema Proses Gasifikasi

Keterangan gambar :

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

Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang diperlukan dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan mengukur dan menguji objek penelitian dan mencatat hasil tersebut.

Teknik Analisa Data

Pada penelitian ini teknik analisa data yang digunakan yaitu dengan metode analisis data deskriptif kuantitatif. Pengambilan data dilakukan tiga kali pada setiap variasi kemudian dirata – rata. Dan data yang diambil dengan alat ukur kemudian dimasukkan ke dalam tabel, dihitung secara teoritis, lalu disajikan dalam bentuk table dan grafik dengan penjelasan agar lebih mudah dipahami. Hal ini dilakukan untuk memberi informasi mengenai kinerja alat yang paling optimal, hubungan antara variabel-variabel dan fenomena-fenomena yang terjadi dalam penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pada penelitian ini membahas tentang pengaruh jumlah baris pipa 12 U pada kondensor terhadap kuantitas minyak gasifikasi tempurung kelapa. Pada penelitian ini yang diteliti merupakan pengaruh variasi jumlah baris pipa 12 U dengan variasi 1 jumlah baris 3, variasi 2 dengan jumlah baris 4, dan variasi 3 dengan jumlah baris 5. Data penelitian yang telah diperoleh disajikan ke dalam bentuk tabel dan grafik. Dari serangkaian pengambilan data suhu, tar, dan hasil kondensasi asap yang sudah dilakukan akan disajikan pada sub bab di bawah ini.

• Persebaran Suhu Kondensor

Pada penelitian ini, pengukuran suhu pada kondensor dilakukan pada empat titik keluar masuknya fluida pendingin dan fluida gas. Pengukuran suhu ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas dari masing masing variasi jumlah baris yang dilakukan dalam penelitian ini. Titik pengukuran dan data hasil pengukuran suhu pada kondensor dapat dijelaskan sebagai berikut.

Th in = titik pengukuran suhu gas masuk pada kondensor

Th out = titik pengukuran suhu gas keluar pada kondensor

Tc in = titik pengukuran suhu air masuk pada kondensor

Tc out = titik pengukuran suhu air keluar pada kondensor

Tabel 1. Data Pengukuran Suhu Varias 1 Jumlah Baris 3

menit ke-	Th in(°C)	Th out(°C)	Tc in(°C)	Tc out(°C)
10	31,5	30,2	29,1	29,1
20	33,1	30,7	29,2	29,1
30	34,9	31	29,1	29,3
40	36,3	31,3	29,1	29,8
50	40,2	32,1	29,3	30,1
60	42,1	33,3	29,2	30,5
70	45,8	32,8	29,1	30,2
80	46,2	33,1	29,8	30,3
90	47,1	34,2	29,5	31,5
100	47,2	34,9	29,7	32,2
Rata-Rata	40,4	32,4	29,3	30,2

Tabel 2. Data Pengukuran Suhu Variasi 2 Jumlah Baris 4

menit ke-	Th in(°C)	Th out(°C)	Tc in(°C)	Tc out(°C)
10	31,5	30,3	30,1	30,3
20	32,1	30,1	30	30,2
30	32,7	30,6	30,1	30,3
40	36,1	31,1	29,6	30,1
50	38,3	31,3	29,9	30,4
60	39,6	32,1	29,8	30,3
70	42,2	32,8	29,7	30,3
80	45,1	33,1	29,8	30,5
90	47,2	33,9	30	31,2
100	47,4	33,9	29,8	31,5
Rata-Rata	39,2	31,9	29,9	30,5

Tabel 3. Data Pengukuran Suhu Variasi 3 Jumlah Baris 5

menit ke-	Th in(°C)	Th out(°C)	Tc in(°C)	Tc out(°C)
10	31,3	30,1	29,8	30
20	31,9	30	29,9	30
30	32,8	31	30	30
40	34,1	31,1	29,9	30,2
50	37,8	31,3	29,8	30
60	39,9	31,4	29,8	30,4
70	42,1	32,1	30	30,2
80	44,9	32,4	30	30,3
90	46,1	33,5	30	31,5
100	47,5	33,8	30,1	32,1
Rata-Rata	38,8	31,7	29,9	30,5

Dari ketiga tabel hasil pengukuran suhu pada kondensor masing –masing variasi mengalami kenaikan suhu secara bertahap pada setiap 10 menit. Dan untuk suhu pada fluida pendingin berubahannya tidak signifikan.

• Efektivitas Kondensor

Perhitungan efektivitas kondensor dilakukan dengan menghitung nilai minimum dari hasil kali massa jenis dengan kalor spesifik dari fluida panas dan fluida dingin. Perhitungan nilai minimum ini bertujuan untuk mengetahui fluida minimum yang nantinya akan digunakan untuk menghitung efektivitas dari masing – masing variasi.

Rumus untuk menentukan fluida minimum adalah sebagai berikut :

$$C_c < C_h: \quad q_{\max} = C_c(T_{h,i} - T_{c,i})$$

$$C_h < C_c: \quad q_{\max} = C_h(T_{h,i} - T_{c,i})$$

Perhitungan untuk menentukan fluida minimum

Fluida gas :

$$\text{Diket : } \dot{m}_{\text{gas}} = 2,8 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

$$C_p \text{ gas} = 1007,5 \text{ J/kg K (Tabel A4)}$$

$$C_h = 2,8 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \times 1007,5 \text{ J/kg K}$$

$$C_h = 0,282 \text{ J/s K}$$

Fluida air

$$\text{Diket : } \dot{m}_{\text{air}} = 5,7 \times 10^{-2} \text{ kg/s}$$

$$C_p \text{ air} = 4178,6 \text{ J/kg K (Tabel A6)}$$

$$C_c = 5,7 \times 10^{-2} \text{ kg/s} \times 4178,6 \text{ J/kg K}$$

$$C_c = 238,18 \text{ J/s K}$$

Dikarenakan nilai $C_h < C_c$ maka fluida minimumnya adalah fluida panas atau fluida gas

Rumus untuk menghitung efektivitas kondensor adalah sebagai berikut :

Berikut perhitungan efektivitas kondensor pada variasi 1 dengan jumlah baris 3.

$$\text{Efektivitas Kondensor} = \frac{4,5 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1007,2 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} (40,4 - 32,4)}{4,5 \times 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1007,2 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} (40,4 - 29,3)} = 0,73$$

$$= 73 \%$$

Berikut adalah perhitungan efektivitas dari kondensor pada setiap variasi.

Tabel 4. Efektivitas Kondensor

Variasi	Th in	Th out	Tc in	Tc out	Efektivitas Kondensor
variasi 3 baris	40,4	32,4	29,3	30,2	73%
variasi 4 baris	39,2	31,9	29,9	30,5	78%
variasi 5 baris	38,8	31,7	29,9	30,5	80%

• Produk Hasil Pirolisis

Pengambilan minyak dilakukan dengan menaruh gelas ukur pada lubang keluar penampungan. Berikut adalah hasil minyaknya



(a)

(b)

(c)

Gambar 4. Minyak Gasifikasi, a) Variasi 3 Baris, b) variasi 4 Baris, c) variasi 5 baris



Gambar 5. Produk Tar, a) Variasi 3 Baris, b) Variasi 4 Baris, c) Variasi 5 baris

Untuk produk hasil gasifikasi ditentukan dengan melakukan pengukuran berat pada kondensat yang dihasilkan. Hasil dari proses gasifikasi ini berupa minyak, tar, Arang, dan *uncondensable gas*. Minyak yang dihasilkan berwarna kuning kecoklatan dan berbau menyengat jika dihirup. Tar dihasilkan dari penampungan pada *Cyclone* yang mana tar ini bersifat lengket dan berwarna hitam pekat. Arang merupakan sisa tempurung kelapa yang dihasilkan dari proses gasifikasi. *uncondensable gas* merupakan hasil dari gasifikasi yang tidak berhasil dikondensasikan. Berikut adalah tabel dari hasil pengukuran produk gasifikasi.

Tabel 5. Produk Hasil Gasifikasi

variasi	massa biomassa (g)	Tar (g)	biomassa sisa (g)	<i>uncondensable gas</i> (g)	Minyak (g)
variasi 3 baris	5000	160	3396	1220	224
variasi 4 baris	5000	175	3146	1429	250
variasi 5 baris	5000	185	3070	1471	274

• Efisiensi Gasifikasi

Efisiensi gasifikasi adalah persentasi dari ratio jumlah energi yang di proses dan jumlah energi yang dihasilkan selama proses gasifikasi. Berikut adalah cara untuk menentukan efisiensi gasifikasi.

Diket : $Q = 0,000656 \text{ m}^3/\text{s}$

LHV gas = 1582,554 Kkal/ m^3 (Rahmadin, R. 2010)

Laju aliran bahan bakar = 0,000267 Kg/s

LHV tempurung kelapa = 5255,865 Kkal/Kg (Rahmadin, R. 2010)

Maka, untuk mencari Efisiensi gasifikasi pada variasi 1 dengan jumlah 3 baris adalah sebagai berikut.

$$\eta = \frac{\text{flowRate Gas} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \times \text{LHV Gas} \left(\frac{\text{Kkal}}{\text{m}^3} \right)}{\text{Laju Aliran Bahan Bakar} \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times \text{LHV bahan bakar} \left(\frac{\text{Kkal}}{\text{Kg}} \right)}$$

maka, efisiensi gasifikasi adalah sebagai berikut.

$$\eta = \frac{0,000656 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \times 1582,554 \left(\frac{\text{Kkal}}{\text{m}^3} \right)}{0,000267 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 5255,865 \left(\frac{\text{Kkal}}{\text{Kg}} \right)} = 0,74 \text{ atau } 74\%$$

Berikut adalah hasil perhitungan efisiensi gasifikasi dari setiap variasi.

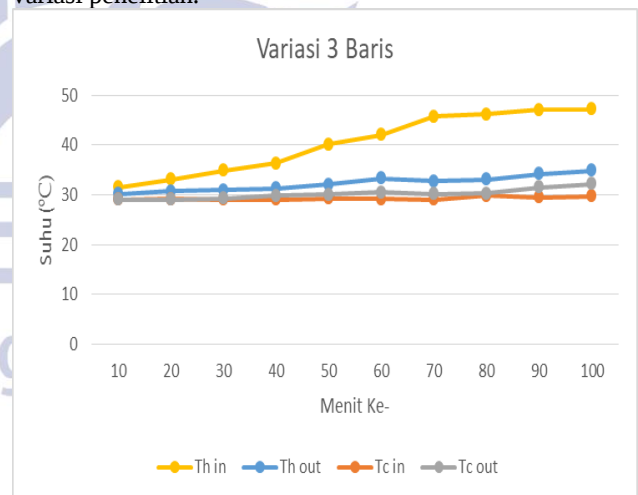
Tabel 1. Efisiensi Gasifikasi

variasi	massa biomassa (Kg)	biomassa sisa (Kg)	Flow rate gas (m^3/s)	Laju aliran bahan bakar (Kg/s)	Efisiensi (%)
variasi 3 baris	5	3,396	0,000656	0,000267	74%
variasi 4 baris	5	3,146	0,000656	0,000309	64%
variasi 5 baris	5	3,070	0,000656	0,000322	61%

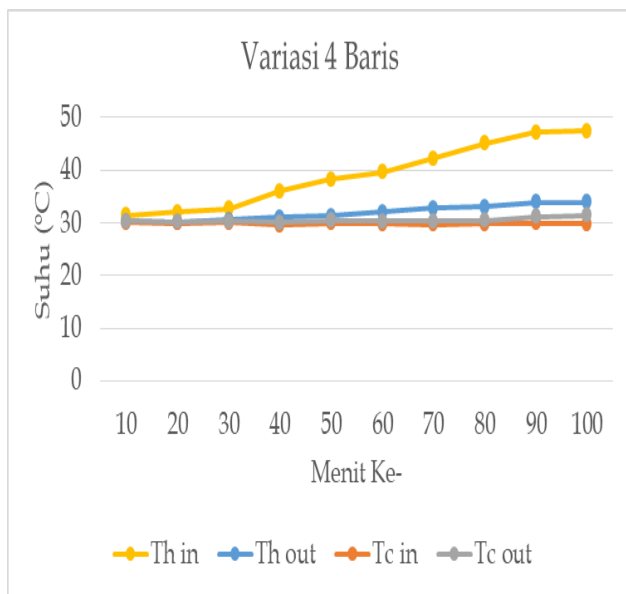
Pembahasan

• Persebaran Suhu Kondensor

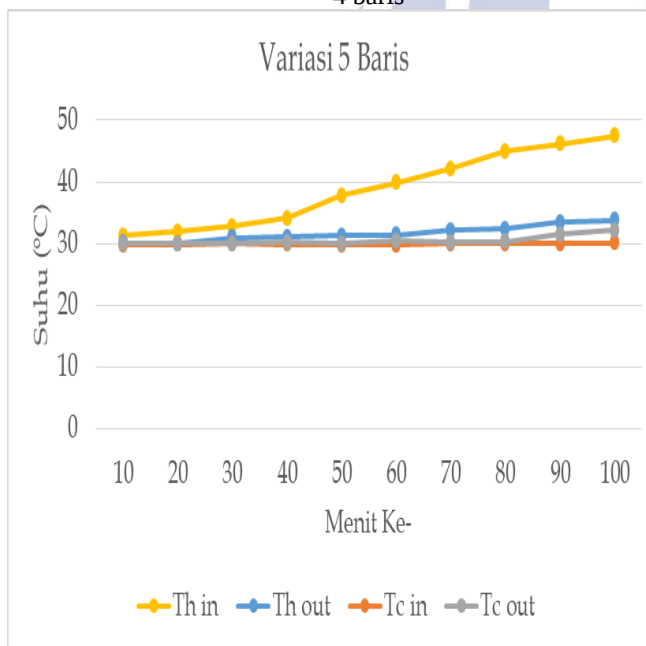
Pada penelitian ini guna mendapatkan hasil data yang valid peneliti melakukan pengambilan data sebanyak 3 kali pada setiap variasi, kemudian dari 3 kali pengambilan data tersebut diambil nilai rata – ratanya. Berikut adalah persebaran suhu kondensor setiap 10 menitnya pada setiap variasi penelitian.



Gambar 6. Grafik Rata-Rata Persebaran Suhu Variasi 3 Baris



Gambar 7. Grafik Rata-Rata Persebaran Suhu Variasi 4 baris



Gambar 6. Grafik Rata-Rata Persebaran Suhu Variasi 5 baris

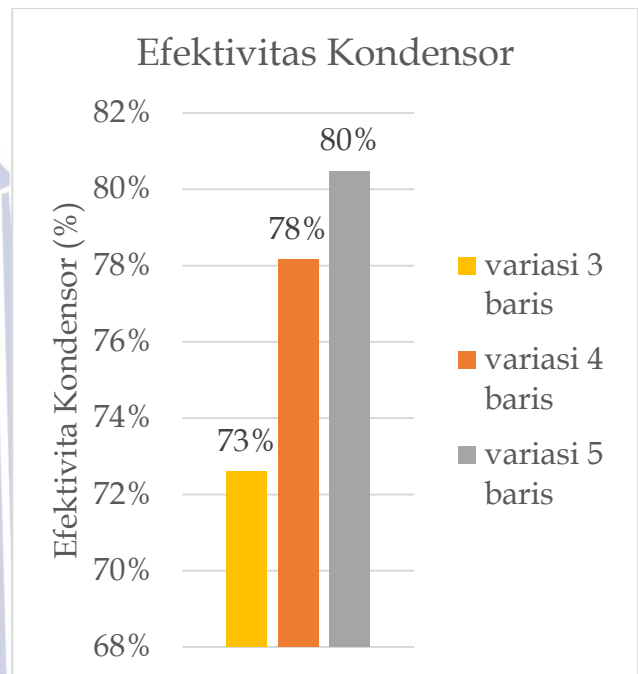
Pada gambar ketiga grafik di atas bisa kita lihat bahwasannya setiap variasi memiliki perubahan suhu yang konstan pada setiap 10 menitnya. Dimana suhu tertinggi pada fluida gas yang masuk terdapat pada variasi 5 baris dengan nilai 47,5°C, dan untuk suhu terendah pada fluida gas yang masuk terdapat pada variasi 5 baris juga dengan nilai 31,3°C. Untuk perubahan suhu dari fluida gas yang masuk dan keluar pada setiap variasi memiliki perbedaan yang tidak begitu signifikan, akan tetapi penyerapan panas terbesar terjadi pada variasi 5 baris pada menit ke 100 yang mana kondensor mampu mendinginkan gas dari 47,5°C ke 33,8°C. hal tersebut karena perbedaan luas area pendinginan pada gas yang melalui kondensor lebih luas dibandingkan dengan variasi yang lainnya.

Untuk fluida pendingin yang masuk dan keluar pada kondensor untuk suhunya cukup konstan di kisaran 29°C -

30°C. Hal tersebut sudah sesuai dengan batasan masalah penelitian ini mana saat pengambilan data suhu lingkungannya di setting pada suhu normal lingkungan. Karena pada penelitian kali ini untuk pendingin fluida airnya tidak menggunakan bantuan radiator dan peneliti hanya mengandalkan dari reservoir air pada penampungan.

• Efektivitas Kondensor

Berikut adalah grafik efektivitas kondensor dari setiap variasi.

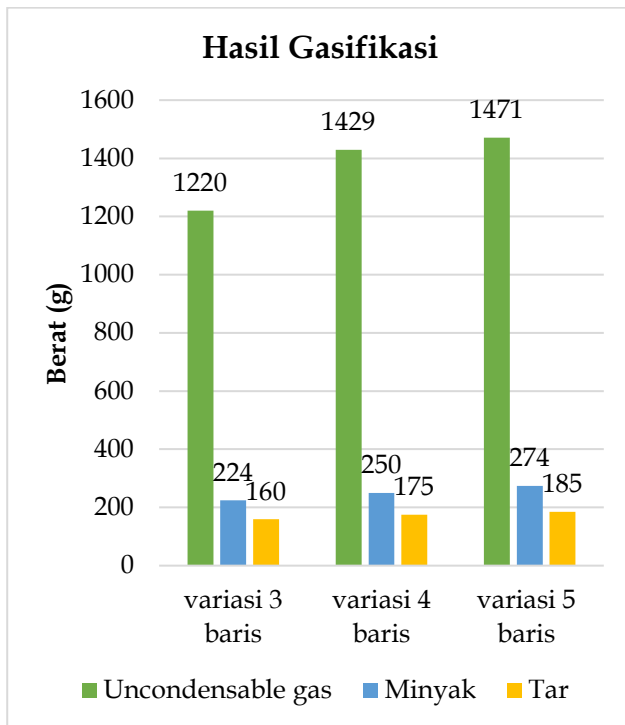


Gambar 7. Grafik Efektivitas Kondensor

Pada gambar di atas bisa kita lihat bahwa setiap kondensor memiliki perbedaan efektivitas yang mana efektivitas tertinggi terjadi pada variasi 5 baris dengan nilai 80% kemudian pada variasi 4 baris memiliki nilai 78% dan efektivitas terendah terjadi pada variasi 3 baris dengan nilai 73%. Untuk efektivitas kondensor tertinggi pada variasi 5 baris bisa tercapai karena dipengaruhi oleh luasnya area pendinginan pada gas ketika melalui kondensor tersebut sehingga pendinginannya juga maksimal.

• Hasil dari Gasifikasi

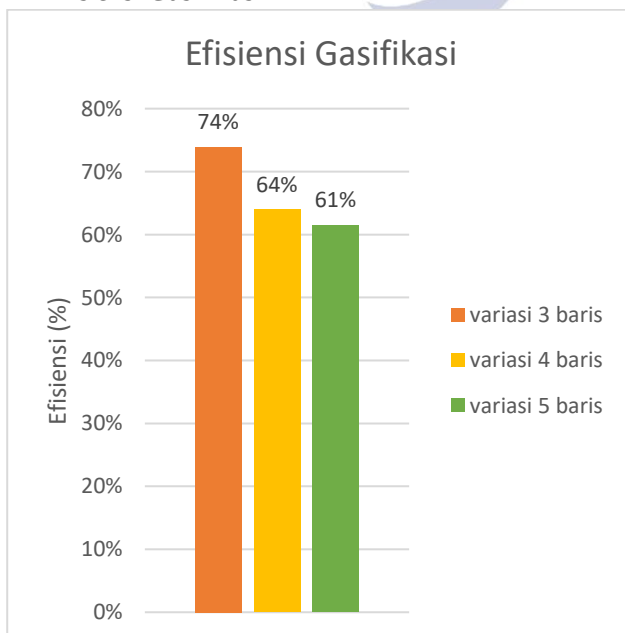
Berikut adalah grafik mengenai hasil dari proses gasifikasi yaitu berupa minyak, tar, arang, uncondensable gas, dan minyak.



Gambar 8. Grafik Hasil Gasifikasi

Pada gambar di atas menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah baris pipa kondensor yang digunakan berpengaruh terhadap jumlah minyak, tar, dan uncondensable gas yang dihasilkan. Sehingga bisa disimpulkan bahwa penambahan jumlah baris pipa kondensor berpengaruh terhadap hasil dari gasifikasi tempurung kelapa tersebut. Pada penelitian kali ini jumlah minyak dan tar tertinggi terjadi pada variasi 5 baris dengan jumlah minyak sebanyak 274 gram dan tar sebanyak 185 gram.

• Efisiensi Gasifikasi



Gambar 9. Grafik Efisiensi Gasifikasi

Berdasarkan grafik efisiensi yang dihasilkan menunjukkan bahwa variasi 1 dengan jumlah 3 baris memiliki nilai efisiensi tertinggi dengan nilai 74% kemudian tertinggi kedua pada variasi 2 dengan jumlah 4 baris sebesar 64% dan efisiensi terendah pada variasi 3 dengan jumlah 5 baris sebesar 61%. Hal ini berbanding terbalik dengan nilai efektivitas tertinggi yang terdapat pada variasi 3 dengan jumlah 5 baris. Oleh karena itu, bisa disimpulkan bahwa semakin luas area permukaan pendinginan belum tentu membuat efisiensi dari proses gasifikasi menjadi tinggi pula karena jumlah energi yang dihasilkan berdasarkan laju aliran udara dan laju aliran bahan bakar. Sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai bentuk geometri pada kondensor, nilai AFR dan kapasitas gasifier guna mendapatkan nilai efektivitas yang tinggi dan nilai efisiensi gasifikasi yang tinggi pula.

PENUTUP Simpulan

- Hasil pengujian pada kondensor dengan variasi jumlah baris pipa kondensor 12U terhadap kuantitas minyak gasifikasi memiliki pengaruh terhadap efektivitas kondensor dan kuantitas minyak yang dihasilkan. yang mana nilai efektivitas tertinggi terdapat pada variasi 5 baris dengan efektivitas sebesar 80%, sedangkan pada variasi 4 baris memiliki efektivitas sebesar 78%, dan efektivitas terkecil terdapat pada variasi 3 baris dengan efektivitas sebesar 73%. Untuk minyak tertinggi yang dihasilkan didapatkan pada variasi 5 baris dengan jumlah 274 gram, untuk variasi 4 baris didapatkan minyak sebanyak 250 gram dan minyak paling sedikit didapatkan pada variasi 3 baris didapatkan minyak sebanyak 224 gram.
- Pada pengujian kondensor jumlah baris pipa 12U juga berpengaruh terhadap efisiensi gasifikasi yang mana nilai tertinggi efisiensi gasifikasi terdapat pada variasi 3 baris dengan nilai 74% , untuk variasi 4 baris nilai efisiensinya sebesar 64%, dan nilai efisiensi terendah pada variasi 5 baris dengan nilai 61%.

Saran

- Berdasarkan nilai optimasi yang didapatkan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai tebal pipa kondensor, besar diameter pipa dan jumlah pipa U pada kondensor.
- Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan jenis fluida coolant pada kondensor guna mengetahui perbedaan minyak yang dihasilkan.
- Perlu dilakukan penelitian mengenai penggunaan arah aliran fluida pendingin searah pada kondensor guna mengetahui penggunaan arah aliran yang terbaik untuk kondensor jenis ini.

- Perlu adanya pengujian nilai low heating value (LHV) pada gas dan minyak guna mengetahui energi yang dihasilkan.
- Perlu adanya kerjasama dengan pihak industri khususnya industri pembuatan arang guna mencegah polusi berlebih dari asap yang terbuang ke lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anam, I.S., Purwantana, B. and Radi, R., 2022. Karakteristik Proses Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan Updraft Gasifier Tipe Hisap. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 8(1), pp.34-42
- Andrian. 2015. Perbandingan Karakteristik Kondensor 13U dan 12U Pada Mesin Pendingin.
- Andromeda, Chandra, 2015. Pembuatan dan Pengujian Kondensor Tipe Spiral Untuk Menghasilkan Minyak Pirolisis. Jurusan Teknik Konversi Energi. Politeknik Negeri Bandung.
- Bahng, M. K., Mukarakate, C., Robichaud, D. J., & Nimlos, M. R. 2009. Current technologies for analysis of biomass thermochemical processing: A review. *Analytica Chimica Acta*, 651(2), 117–138.
- Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., dan Dewitt D.P. 2011. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer Seventh Edition*. John Wiley & sons, inc.
- Caglar, A., & Aydinli, B. 2009. Isothermal co-pyrolysis of hazelnut shell and ultra-high molecular weight polyethylene: The effect of temperature and composition on the amount of pyrolysis products. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 86(2), 304–309.
- Caglar, A., & Aydinli, B. 2009. Isothermal co-pyrolysis of hazelnut shell and ultra-high molecular weight polyethylene: The effect of temperature and composition on the amount of pyrolysis products. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 86(2), 304–309.
- Chaurasia, A. S., & Babu, B. V. 2004. *Modeling & simulation of pyrolysis of biomass: effect of thermal conductivity, reactor temperature and particle size on product concentration*. 333031(June 2014), 6.
- Draha, Nodali. 2009. Uji Komposisi Bahan Pembuat Briket Bioarang Tempurung Kelapa dan Serbuk Kayu terhadap Mutu yang Dihasilkan. Laporan Hasil Penelitian Program Studi Teknologi Petanian Universitas Sumatera Utara 2009.
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. 2014. Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748–764.
- Fajri Vidian. 2008. Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan Updraft Gasifier pada Beberapa Variasi Laju Alir Udara Pembakaran. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(2), 88–93.
- Goswami, Yogi. 1986. *Alternative Energy in Agriculture*, Vol. II. CRC Press. Halaman 83-102.
- Hadi, Sholehul., Dasopuspito, Sudjud. 2013. Pengaruh Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar Terhadap Kualitas Api Pada Gasifikasi Reaktor Downdraft Dengan Suplai Biomass Serabut Kelapa Secara Kontinyu. *Jurnal Teknik ITS*, 2(3), B384-B387.
- Haryadi, S., 2015. Pengaruh Arah Aliran Air Pendingin Pada Kondensor Terhadap Hasil Pengembunan Proses Pirolisis Limbah Plastik, Skripsi. Teknik Mesin Fakultas Teknik, UNS.
- Hermawati, W. 2014. Sumber Daya Biomassa untuk Energi Terbarukan di Indonesia: Potensi Biomassa Sektor Pertanian, Perkebunan, dan Sampah Kota. In *Konversi Biomassa untuk Energi Alternatif di Indonesia: Tinjauan Sumber Daya, Teknologi, Manajemen, dan Kebijakan*.
- Holman, J.P, 1994. Perpindahan Kalor, Edisi Keenam, Alih Bahasa Ir. E. Jasjfi, Msc, Erlangga, Jakarta: Penerbit Erlangga
- Luo, S., Xiao, B., Hu, Z., Liu, S., Guan, Y., & Cai, L. 2010. Influence of particle size on pyrolysis and gasification performance of municipal solid waste in a fixed bed reactor. *Bioresource Technology*, 101(16), 6517–6520. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.03.060>
- Montazeri, Mustafa. 2014. Makalah Cyclone. Makalah.
- Muhammad Ramadhan, Muhammad Saukani, A. S. 2021. Pengaruh Perbedaan Tipe Kondensor Terhadap Kuantitas Asap Cair Dari Limbah Serbuk Kayu Meranti. *Konversi*, 8(1), 39–43.
- 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*, 1(1), 12–15.
- Najib, Lailun., dan Dasopuspito, Sudjud. 2012. Karakterisasi Proses Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa Sistem Downdraft Kontinyu Dengan Variasi Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR) dan Ukuran Biomassa. *Jurnal Teknik ITS* 1 (1): B-12.
- Nur, R., Hamidi, N. and Yulianti, L., 2016. Karakteristik Pembakaran Droplet Campuran Bahan Bakar Solar–TPO (tyre pyrolysis oil). *Polhasains: jurnal sains dan terapan Politeknik Hasnur.*, 4(02), pp.1-8.
- Palungkun, R. 1999. Aneka Produk Olahan Kelapa. Penebar Swadaya, Bogor.
- Pramana Putra, Aji. dan Wayan Susila, I. 2020. *Pengaruh Variasi Laju Aliran Udara Pada Updraft Gasifier Sistem Semi Kontinyu Terhadap Kualitas Nyala Api Syn Gas Pada Gasifikasi Biomassa Limbah Cangkang Kemiri*. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(2).
- Pribadi, D., 2021. Analisis Perpindahan Panas Kondensor pada Alat Penyulingan Minyak Atsiri Kapasitas 5 Kilogram (Doctoral dissertation).
- Pritchard, Philip J. 2011. *Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics 8th Edition*. John Wiley & sons, inc.
- RAMADAN, R. R. 2018. *Modifikasi Kondensor Asap Pada Proses pengarangan Berbahan Tempurung Kelapa*.
- Rahmadin, R. 2010. *Heat Balance Dan Efisiensi Combustion Unit (Tempurung Kelapa) Dengan Menggunakan Fixed Bed Downdraft Gasifier*
- Ramadhan, S., Analisis Karakteristik Thermal Api Syn

Gas Pada Gasifikasi Biomassa Tipe *Downdraft* Dengan Oksidator Oksigen.

- Ridhuan, K., & Juniawan, I. G. A. 2014. Pengaruh Media Pendingin Air Pada Kondensor Terhadap Kemampuan Kerja Mesin Pendingin. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 3(2), 1–6.
- Rohmad, D.D., Nur Akli, S.T. and Eng, M., 2018. Pengaruh Komposisi Biomassa Batok Kelapa dan Batubara Terhadap Performa Co-Gasifikasi Reaktor *Bubbling Fluidized Bed Gasifier*.
- Satriono, A. and Siregar, I., 2021. Pengaruh Variasi Air *Fuel Ratio* (AFR) Pada *Gasifier Tipe Downdraft* Terhadap Kadar *Syngas* Dan Nyala Api Pada Gasifikasi Biomassa Tempurung Kelapa. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(01), pp.57-64.
- Sugiyono. 2011. Metode Penelitian Kualitatif, Kuantitatif, dan R&D. Jakarta: Alfabeta.
- Sutawijaya, J., 2015. perbandingan Karakteristik Kulkas 2 Pintu Dengan Kondensor 14U dan 12U.
- Sutrisno, T., 2016. Pembuatan Briket Arang dari Tempurung Kelapa dengan Perlakuan Penambahan Solar dan Kanji pada Konsentrasi yang Berbeda (*Doctoral dissertation*, Universitas Muhammadiyah Purwokerto).
- Velghe, I., Carleer, R., Yperman, J., & Schreurs, S. 2011. *Study of the pyrolysis of municipal solid waste for the production of valuable products*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 92(2), 366–375.
- Wibisono, Y., 2012. Rancang Bangun Alat Destilasi Bioetanol Model Kolom Destilasi Spiral (*Doctoral dissertation*, Universitas Brawijaya).
- Yahya, A., Kristianta, F.X. and Ilminnafik, N., 2020. Analisa Laju Pelepasan Kalor Kondensor 10 U dan *Separation Condenser* Dengan Penambahan *Subcooler* Terhadap Koefisien Prestasi Mesin Pendingin *Refrigerator* Menggunakan *Refrigerant Liquefied Petroleum Gas*.
- Yerizam, M., Faizal, M., Marsi, M., & Novia, N. 2013. Composition Variation Effect of Rice Straw and Coconut Shell to Biobriquette Characteristics as Alternative Fuel. *The 7th International Conference of Chemical Engineering on Science and Applications Composition*, 253–259.
- Yulistiani, R., Darmadji, P. and Harmayani, E., 1997. Kemampuan penghambatan asap cair terhadap pertumbuhan bakteri patogen dan perusak pada lidah sapi.