

## Pengaruh *cyclone* dan peletakannya terhadap karakteristik gasifikasi dengan menggunakan filter zeolit alam

Afrizal Ikhwahyudin<sup>1\*</sup>, Kemas Ridhuan<sup>2</sup>, Eko Nugroho<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Prodi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro  
Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Kota Metro, Lampung, Indonesia

<sup>2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro  
Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Kota Metro, Lampung, Indonesia

\*Corresponding author: [afrizalikhwahyudin241@gmail.com](mailto:afrizalikhwahyudin241@gmail.com)

### Abstract

*The gas product from the gasification process contains tar content that is not thermally appropriately degraded before it leaves the reactor; for efficiency, the gasification process must go through filtering or separation using filters and cyclones. This process is essential because of the increase in the gas producer's energy density through the syn-gas filtering and purification process or syn-gas combustion. This study aimed to determine the effect of the cyclone and its placement on the combustion characteristics of gasification using natural zeolite filters, the length of time for the product gas, and how much cyclones and filters can separate tar in updraft type gasification process. In this study, the gasification process uses an updraft type reactor, biomass fuel using rubberwood, filters using natural zeolite media, and adding a coolant (condenser). Testing by varying the addition and placement of the cyclone position. The test results show that the use of cyclone variations does not affect the Temperatur in the reactor. A cyclone's effect using a natural zeolite filter on the characteristics of the combustion product (flame) is very large; namely, the color of the fire is bluish and clean with little smoke and the size of the flame coming out of the burner. The effect of a series of cyclones and natural zeolite filters on the flame duration of Syn-Gas on the burner is  $\pm 44$  minutes. Without using the cyclone series, the flame time in the burner only reaches  $\pm 28$  minutes. The tar that can be separated by the burner and filter without using a cyclone is 381 grams, and the tar that is separated by the cyclone in the cyclone series after the condenser can accommodate as much as 450 grams.*

**Keywords:** Biomass, Filter, Gasification, Cyclone, Syn-Gas, Updraft.

### Pendahuluan

Di tengah ancaman krisis energi, Indonesia sesungguhnya menyimpan banyak potensi energi terbarukan di antaranya adalah biomassa. Salah satu proses biomassa yaitu gasifikasi. Gasifikasi merupakan metode mengkonversi secara termokimia bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas (syn-gas) dalam wadah gasifier dengan menyuplai agen gasifikasi seperti uap panas, udara dan lainnya.

Produk gas hasil gasifikasi merupakan gas mampu bakar seperti karbon monoksida (CO), Hidrogen (H<sub>2</sub>), gas metan, pengotor inorganik seperti NH<sub>3</sub> dan HCN, kandungan

H<sub>2</sub>S, debu halus, dan pengotor organik seperti tar [1].

Produk gas dari proses gasifikasi terdapat kandungan tar yang tidak terdegradasi thermal dengan baik sebelum keluar dari reaktor. Jika gas dibakar diburner untuk aplikasi thermal tidak terlalu menimbulkan masalah namun dalam pengopersianya pada jangka panjang kandungan tar yang tidak dipisahkan dari gas pembakaran akan berdampak buruk pada komponen alat karena tar tersebut bersifat korosif dan mampu menyumbat pipa pengumpan gas ke burner, yang mengakibatkan penurunan efisiensi pada alat.

Dan untuk mencapai parameter tersebut produser gas wajib melalui pengkondisian seperti penyaringan dengan menggunakan filter dan proses pemurnian gas yang masih bercampur tar dengan menggunakan zeolite sebagai media filtersai atau pemurnian setelah proses pembakaran yang terjadi di dalam reaktor.

Dilihat dari beberapa sifat zeolite yaitu adsorpsi, bahwa zeolite mampu menyerap hasil gas atau cairan, zeolit juga mampu memisahkan molekul dan kepolarannya, meskipun ada 2 molekul atau lebih yang dapat melintas tetapi hanya sebuah saja yang dapat lolos. Hal ini dikarenakan factor selektivitas dari mineral zeolit tersebut yang tidak ditemukan pada adsorben padat lainnya [2].

## Tinjauan Pustaka

### 1. Biomassa

Biomassa adalah proses daur ulang pada tumbuhan melalui fotosintesis di mana energi surya memegang peranan. Daun menyerap energi surya untuk proses pertumbuhannya dan mengeluarkan gas CO<sub>2</sub>. Pada tumbuhan-tumbuhan, energi surya diproses menjadi kimia sebagai energi dalam bentuk tersimpan. Tumbuhan-tumbuhan tersebut akan mengeluarkan energi tersimpannya pada proses pengeringan maupun saat dibakar langsung dan dapat pula melalui berbagai proses untuk menghasilkan bahan bakar yang cukup potensial seperti etanol, metana, atau gas lain, bahan bakar dalam bentuk cair (minyak nabati) [3]. Adapun produk yang dihasilkan biomassa dalam bentuk padatan yaitu torefaksi biomassa dan charcoal [4].

### 2. Gasifikasi

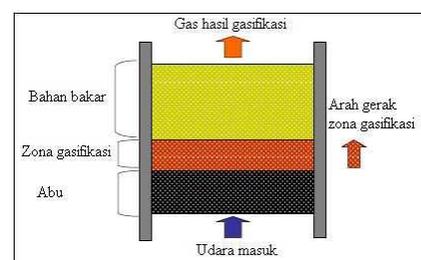
Gasifikasi adalah proses yang berbeda dengan proses pembakaran maupun proses pembentukan biogas. Gasifikasi adalah proses pengubahan materi yang mengandung karbon seperti batubara, minyak bumi, maupun biomassa ke dalam bentuk karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H<sub>2</sub>) dengan mereaksikan bahan baku yang digunakan pada temperatur tinggi

dengan jumlah oksigen yang diatur. Tujuan dari proses ini adalah untuk mengubah unsur-unsur pokok dari bahan bakar yang digunakan ke dalam bentuk gas yang lebih mudah dibakar, sehingga hanya menyisakan abu dan sisa-sisa material yang tidak terbakar (*inert*).

Proses gasifikasi biomassa dilakukan dengan cara melakukan pembakaran secara tidak sempurna di dalam sebuah ruangan yang mampu menahan temperatur tinggi yang disebut reaktor gasifikasi. Agar pembakaran tidak sempurna dapat terjadi, maka udara dengan jumlah yang lebih sedikit dari kebutuhan stokiometrik pembakaran dialirkan ke dalam reaktor untuk mensuplai kebutuhan oksigen menggunakan kipas atau blower. Proses pembakaran yang terjadi menyebabkan reaksi termo-kimia yang menghasilkan CO, H<sub>2</sub>, dan gas metan (CH<sub>4</sub>). Selain itu, dalam proses ini juga dihasilkan uap air (H<sub>2</sub>O) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang tidak terbakar [5].

### 3. Reactor Gasifikasi Updraft

Pada reaktor gasifikasi tipe ini, zona pembakaran (sumber panas) terletak di bawah bahan bakar dan bergerak ke atas seperti tampak dalam Gambar. Dalam gambar ini tampak bahwa gas panas yang dihasilkan mengalir ke atas melewati bahan bakar yang belum terbakar sementara bahan bakar akan terus jatuh ke bawah. Melalui pengujian menggunakan sekam padi, reaktor gasifikasi ini dapat bekerja dengan baik [5].



Gambar 1. Reaktor Gasifikasi *Updraft*

### 4. Filter

Filter merupakan bahan berpori yang memungkinkan gas untuk menembus

namun mencegah berlalunya partikel. Filter ini secara efektif menghilangkan partikel berdiameter dalam kisaran 0,5-100 $\mu$ m yang terdapat pada aliran gas. Filter dapat dirancang untuk menghapus hampir semua ukuran partikel, termasuk menjangkau ukuran sub-mikron, tetapi perbedaan tekanan di filter akan meningkat sejalan dengan pengecilan ukuran pori-pori. Akibatnya, ada kendala teknis dan ekonomis pada pemisahan partikel berukuran sekitar 0,5  $\mu$ m, terutama jika volume gas yang harus ditangani berjumlah besar. filter secara berkala dibersihkan dengan cara mengalirkan gas pada arah yang berlawanan dari proses filtrasi. Untuk mengurangi beban partikel secara keseluruhan, filter ini biasanya ditempatkan setelah *cyclone*. Beberapa contoh Filter yang digunakan dalam proses gasifikasi adalah Rigid barrier filters, Bag filters, dan Packed-bed filters.

## 5. Kondensor

Kondensor adalah suatu alat yang terdiri dari jaringan pipa dan digunakan untuk mengubah uap menjadi zat cair (air). dapat juga diartikan sebagai alat penukar kalor (panas) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida. Dalam penggunaannya kondensor diletakkan diluar ruangan yang sedang didinginkan supaya panas yang keluar saat pengoperasiannya dapat dibuang keluar sehingga tidak mengganggu proses pendinginan.

## 6. Siklon (*cyclone*)

*Cyclone* adalah suatu metoda pembuangan partikel-partikel dari aliran udara atau gas, tanpa menggunakan penyaring, melalui pemisah pusaran. Gravitasi dan pengaruh putaran digunakan untuk memisahkan campuran fluida dan padatan. Suatu aliran udara kecepatan putaran tinggi yang terbentuk dalam suatu wadah silinder atau kerucut dinamakan sebuah *cyclone*. Aliran-aliran udara pola spiral, simulasi pada bagian atas (sisi akhir) dari *cyclone* dan berakhir pada bagian bawah (batas) akhir sebelum keluar *cyclone* dalam aliran lurus sampai pusat *cyclone* dan

keluar keatas. Partikel-partikel yang lebih besar (tebal) dalam putaran aliran udara lebih lamban mengalir melengung sulit dari aliran udara dan mencapai dinding luar, jatuh kemudian ke bagian bawah *cyclone* yang mana partikel ini dapat terbuang [1].

## 7. Zeolite

Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensinya. Ion-ion logam tersebut dapat diganti dengan kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan dapat menyerap air secara reversible. Zeolit merupakan bahan tambang kelompok mineral yang kegunaannya sangat beragam dan merupakan batuan lapuk hasil letusan gunung berapi pada zaman Cenozoicum. Di Indonesia banyak dijumpai di pulau Jawa bagian Selatan, Lampung, dan Sumatera Utara [2]. Dan untuk sifat-sifat zeolite di antaranya dehidrasi, adsorbs, penukaran ion, katalis, penyaring dan pemisah.

## 8. Syn-gas

Syn-gas merupakan gas campuran yang komponen utamanya adalah gas karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H<sub>2</sub>) yang dapat digunakan sebagai bahan bakar dan juga dapat digunakan sebagai bahan baku dalam proses pembuatan zat kimia baru seperti metana, amonia, dan urea. Produksi syn-gas melalui gasifikasi biomassa kualitas rendah yang jumlahnya di Indonesia mencapai 70 % akan mampu memperkecil ketergantungan terhadap penggunaan sumber energi fosil [1].

## 9. Nyala Api Pembakaran

Dari proses pembakaran tentunya akan menghasilkan nyala api yang berbeda tergantung proses pembakaran itu sendiri. Beberapa pembagian jenis nyala api berdasarkan warnanya [1]:

- 1) Api merah yaitu api berwarna merah/kuning ini biasanya bersuhu dibawah 1000°C, api jenis ini termasuk api yang "kurang panas".

- 2) Api biru yaitu api berwarna biru sering kita lihat di kompor gas. Rata-rata suhu api yang berwarna biru kurang dari 2000°C,
- 3) Api putih ini merupakan api paling panas yang ada di bumi, warna putih dari api dikarenakan suhunya melebihi 2000°C.

### Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Metro. Penelitian dimulai dengan perancangan desain dan ukuran kapasitas reactor gasifikasi. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatannya dan dilakukan pengujian. Pada penelitian ini dikonsentrasikan pada hasil dan karakteristik gas pembakaran yang dihasilkan pada proses gasifikasi. Pada pengujian memvariasikan penambahan *cyclone* dan peletaknya yaitu yang pertama tanpa menggunakan siklon, kedua penambahan *cyclone* sebelum kondensor, dan yang ketiga penambahan *cyclone* setelah kondensor. Untuk bahan baku yang digunakan menggunakan kayu karet yang sudat terpotong ukuran 10 cm dan sudah dikeringkan.

Komponen yang digunakan:

- 1) Reactor gasifikasi tipe updraft dengan ukuran tinggi 72 cm, dan diameter tabung reactor 38 cm, dengan kapasitas biomassa kayu karet 12 kg.
- 2) Siklon yang berbentuk silinder, pada bagian dalam silinder dipasang pipa untuk mengalirkan udara dan memisahkan syn-gas dari tar setelah proses gasifikasi dengan tinggi 20 cm dan diameter 14 cm.
- 3) Filter berbentuk silinder, pada bagian dalam filter diberi zeolite alam sebagai penyaring dan pemurnian syn-gas dari tar dan abu setelah proses gasifikasi dengan panjang 30 cm dan diameter 10 cm.
- 4) Rangkaian pipa sebagai saluran udara ke reactor dan saluran syn-gas dari reactor ke burner berdiameter 2,54 cm.

- 5) Blower yang berfungsi untuk mendorong laju aliran gas pembakaran menuju burner.
- 6) Lubang pembuangan abu berdiameter 14 cm.

### Langkah Pengujian

- 1) Pengumpulan bahan yang akan dipakai seperti kayu karet dan zeolite alam.
- 2) Setelah bahan sudah terkumpul proses selanjutnya adalah mengeringkan semua bahan baku sampai semua bahan baku benar-benar kering.
- 3) Memasukkan bahan biomassa ke dalam reactor pembakaran sedikit demi sedikit kemudian nyalakan pada bahan biomassa menggunakan kertas atau minyak tanah sebagai pemantik api pada penyalakan awal.
- 4) Setelah beberapa menit hidupkan blower sebagai pemasok udara pada reactor, temperatur reactor mulai dicatat sejak blower dinyalakan setiap 3 menit. Dan variasikan putaran blower untuk mengatur laju aliran udara yang masuk ke dalam reactor.
- 5) Tunggu sebentar hingga mencapai temperatur rata-rata pada proses gasifikasi, kemudian syn-gas yang keluar melalui pipa keluaran dipantik hingga menyalakan api yang stabil.

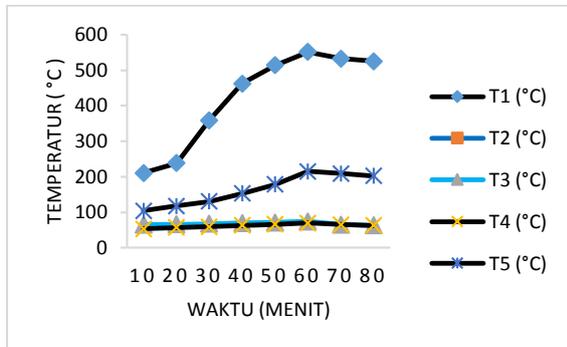
### Hasil dan Pembahasan

Dari pengujian yang telah dilakukan pada masing-masing variasi yaitu, kayu karet 12 kg dengan menggunakan filter zeolit alam, kayu karet 12 kg dengan menggunakan filter zeolite alam dan siklon sebelum kondensor, dan kayu karet 12 kg dengan menggunakan filter zeolite alam dan siklon setelah kondensor menghasilkan syngas yang dimanfaatkan untuk keperluan rumah tangga atau industri. Pada penelitian ini menghasilkan tiga jenis karakteristik syngas yang berbeda setiap variasi siklon, adapun karakteristiknya yaitu lama nyala api dan tar yang dihasilkan.

Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali pada proses pengujian untuk mendapatkan data yang lebih akurat.

Pengukuran atau pencatatan data suhu diambil setiap sepuluh menit sekali. Adapun datanya sebagai berikut:

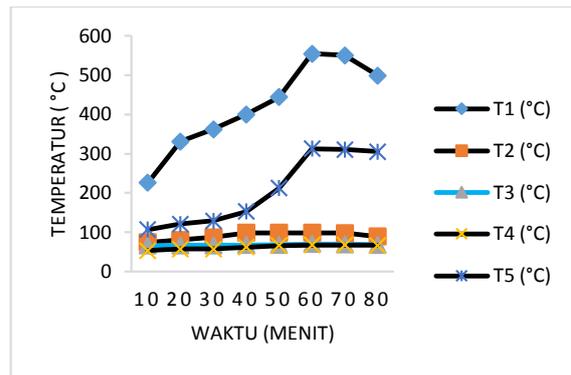
1. Distribusi Temperatur Gasifikasi Dengan Filter Zeolite Alam Tanpa Siklon



Gambar 2. Distribusi temperatur tanpa cyclone

Dari data yang didapat diketahui bahwa temperatur pembakaran dengan biomassa kayu karet dengan filter zeolite alam tanpa menggunakan siklon. Temperatur T1 (Temperatur Reaktor) menunjukkan 210,4°C sampai dengan temperatur tertinggi 551,8 °C dan terus mengalami penurunan pada menit ke 70-80 yang mengindikasikan bahwa biomassa sudah mulai habis. Temperatur T3 (Temperatur Kondensor) 65,2°C sampai dengan temperatur tertinggi 74,6 °C, gas yang didinginkan melalui kondensor air bersirkulasi menyebabkan temperatur menurun secara drastis dibandingkan dengan temperatur T1. Pada T4 (Temperatur filter) menunjukkan temperatur 53,3 °C sampai dengan temperatur tertinggi 69,7 °C pada zona ini syn gas melewati filter dengan media zeolite alam. Sedangkan pada T5 (Temperatur burner) menunjukkan temperatur 104,6 °C terus naik hingga temperatur tertinggi 215,5°C.

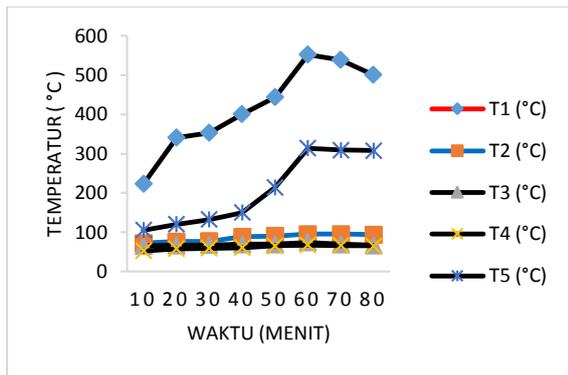
2. Distribusi temperatur gasifikasi dengan filter zeolite alam dan penambahan siklon sebelum kondensor.



Gambar 3. Distribusi temperatur penambahan siklon sebelum kondensor

Dari data yang didapat diketahui bahwa temperatur pembakaran dengan biomassa kayu karet dengan filter zeolite alam dengan menggunakan siklon sebelum kondensor. Temperatur T1 (Temperatur Reaktor) menunjukkan 225,7°C sampai dengan temperatur tertinggi 554,6°C dan terus mengalami penurunan pada menit ke 70-80 yang mengindikasikan bahwa biomassa sudah mulai habis. Temperatur T2 (Temperatur Siklon) mencapai 74,3°C sampai tertinggi mencapai 98,8°C dan mengalami penurunan di menit 80. Temperatur T3 (Temperatur Kondensor) 66,5°C sampai dengan temperatur tertinggi 70,3 °C, gas yang didinginkan melalui kondensor air bersirkulasi menyebabkan temperatur menurun. Pada T4 (Temperatur filter) menunjukkan temperatur 53,1 °C sampai dengan temperatur tertinggi 67,1 °C pada zona ini syn gas melewati filter dengan media zeolite alam. Sedangkan pada T5 (Temperatur burner) menunjukkan temperatur 106,7 °C terus naik hingga temperatur tertinggi 312,8 °C.

3. Distribusi temperatur gasifikasi dengan filter zeolite alam dan penambahan siklon setelah kondensor.



Gambar 4. Distribusi temperatur penambahan siklon setelah kondensor

Dari data yang didapat diketahui bahwa temperatur pembakaran dengan biomassa kayu karet dengan filter zeolite alam dengan menggunakan siklon setelah kondensor. Temperatur T1 (Temperatur Reaktor) menunjukkan 223,4°C sampai dengan temperatur tertinggi 551,7°C dan terus mengalami penurunan pada menit ke 70-80 yang mengindikasikan bahwa biomassa sudah mulai habis. Temperatur T2 (Temperatur Siklon) mencapai 72,3°C sampai tertinggi mencapai 95,6°C dan mengalami penurunan di menit 80. Temperatur T3 (Temperatur Kondensor) 65,5°C sampai dengan temperatur tertinggi 74,3°C di menit ke 60, gas yang didinginkan melalui kondensor air bersirkulasi menyebabkan temperatur menurun. Pada T4 (Temperatur filter) menunjukkan temperatur 52,5 °C sampai dengan temperatur tertinggi 67,8 °C pada zona ini syn gas melewati filter dengan media zeolite alam. Sedangkan pada T5 (Temperatur burner) menunjukkan temperatur 105,8 °C terus naik hingga temperatur tertinggi 313,8°C di menit 60.

#### 4. Pengaruh Rangkaian Siklon Terhadap Lama Waktu Nyala Api Dan Warna Api.

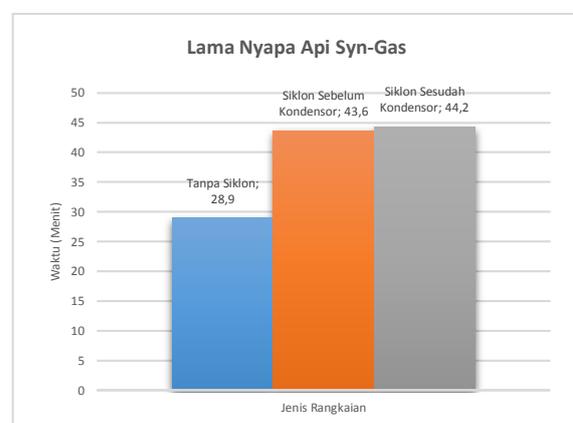
##### Lama waktu Nyala Api

Dari hasil pengujian pada masing-masing rangkaian siklon menunjukkan perbedaan lama waktu nyala api Syn Gas akibat pengaruh kandungan tar. Nyala api Syn Gas tanpa menggunakan siklon menghasilkan lama nyala api 28,9 menit

paling singkat di antara ketiga jenis rangkaian, hal ini disebabkan karena tersumbatnya filter dan burner akibat kandungan tar lebih banyak dan mengganggu proses nyala api.

Nyala api Syn Gas dengan rangkaian siklon sebelum kondensor menghasilkan lama nyala api selama 43,6 menit, hal ini dikarenakan dengan adanya siklon yang berada sebelum kondensor mampu memisahkan dan mengurangi antara pertikel campuran gas berupa tar yang mengganggu jalannya proses pendistribusian gas ke burner.

Sedangkan nyala api syn gas dengan rangkaian siklon yang berada setelah kondensor menghasilkan lama nyala api 44,2 menit tidak jauh berbeda dengan rangkaian siklon sebelum kondensor. Hanya saja untuk kandungan tar yang ada di siklon lebih banyak menggunakan rangkaian siklon sesudah kondensor. Karena gas yang melewati kondensor akan terkondensasi dan membuat fluida cair terpisah di siklon sehingga gas yang dihasilkan sangat minim bercampur dengan tar dan lebih bersih.



Gambar 5. Waktu nyala api Syn-Gas

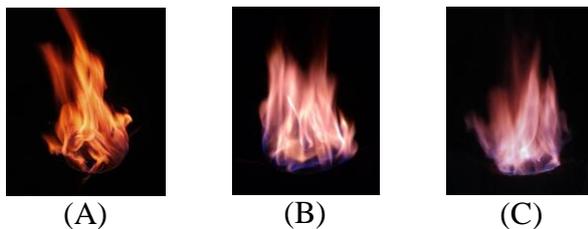
##### Warna Nyala Api

Dari hasil pengujian pada masing-masing jenis rangkaian menghasilkan nyala api yang berbeda beda baik dari besar api dan warna hal ini dipengaruhi kandungan tar pada syn gas. Nyala api syn gas tanpa menggunakan siklon berwarna jingga dan

tidak penuh pada burner hal ini disebabkan tar masih ikut tercampur dengan Syn-Gas.

Nyala api syn gas dengan menggunakan siklon sebelum kondensor menghasilkan nyala api berwarna jingga kebiruan hal ini disebabkan tar yang terpisah dari Syn-Gas dan tertampung di dalam siklon dan Syn-Gas lebih bersih dari rangkaian tanpa siklon.

Sedangkan nyala api syn gas dengan menggunakan siklon sesudah kondensor menghasilkan nyala api berwarna jingga kebiruan tidak berbeda jauh dengan rangkaian siklon sebelum kondensor. Karena syn-gas yang tercampur dengan partikel tar akan terpisah dan berkurang setelah melewati siklon sehingga Syn-gas yang di hasilkan akan lebih bersih.



Gambar 6. Nyala api tanpa menggunakan cyclone

Keterangan Gambar:

- Gambar 2 (A) Nyala api tanpa menggunakan siklon
- Gambar 2 (B) Nyala api menggunakan siklon sebelum kondensor
- Gambar 2 (C) Nyala api menggunakan siklon sesudah kondensor

## 5. Pengaruh Rangkaian Siklon Terhadap Tar



Gambar 7. Perbandingan jumlah tar

Dari hasil pengujian masing-masing rangkaian bahwa rangkaian tanpa siklon menghasilkan tar 381 gram yang berada di filter dan burner berbentuk hitam kental, rangkaian siklon sebelum kondensor menghasilkan tar 385,5 gram berada di siklon berbentuk hitam kental, dan sedangkan rangkaian siklon setelah kondensor menghasilkan tar sebanyak 450 gram berbentuk cair bening yang berada di siklon. Dari data tersebut rangkaian siklon setelah kondensor mampu memisahkan syn-gas dengan partikel tar yang paling baik.

## Kesimpulan

Dari hasil pengujian gasifikasi tipe updraft menggunakan beberapa variasi penambahan siklon, dengan menggunakan biomassa kayu karet 12 kg, dapat disimpulkan bahwa penggunaan variasi rangkaian siklon tidak mempengaruhi temperatur di dalam reactor. Pengaruh penambahan siklon dengan menggunakan filter zeolite alam terhadap karakteristik hasil pembakaran (nyala api) sangat besar, yaitu pada warna api jingga kebiruan dan bersih dengan asap yang sedikit serta besar nyala api yang keluar dari burner. Untuk pendistribusian Temperatur pada proses gasifikasi, Temperatur tertinggi pada reactor mencapai 554,6°C dengan memvariasikan siklon sebelum kondensor.

Tar yang dapat di pisahkan si burner dan filter tanpa menggunakan siklon yaitu 381 gram, dan tar paling banyak di pisahkan oleh siklon pada rangkaian siklon sesudah kondensor dapat menampung sebanyak 450 gram. Pengaruh rangkaian siklon, dan filter zeolite alam terhadap lama waktu nyala api Syn-Gas pada burner yaitu mencapai  $\pm 44$  menit. Jika tanpa menggunakan rangkaian siklon lama waktu nyala api di burner hanya mencapai  $\pm 28$  menit.

## Referensi

- [1] Ridhuan K. dan Yudistira. 2017. Pengaruh Filter Dan Cyclone Pada Reaktor Gasifikasi Tipe Updraft Terhadap Hasil Pembakaran Syn-

- Gas. *Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*. Vol. 6 No. 1. 2017.
- [2] Said, M (dkk). 2008. Aktifasi Zeolit Alam Sebagai Adsorbent Pada Adsorpsi Larutan Iodium. *Jurnal Teknik Kimia*. No.4 Vol. 15.
- [3] Pudjanarsa, A. dan Nursuhud, D. 2008. *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: CV. ANDI OFFSIT.
- [4] Basu, P. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis*. Burlington: Elsevier.
- [5] Subroto. 2017. Kinerja Tungku Gasifikasi Downdraft Continue Bahan Bakar Sekam Padi. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. Vol. 18 No. 1 Januari 2017: 24-33