

PENGARUH DIAMETER LUBANG *NOZZLE SPRAY WATER* PADA *REACTOR TRAPPING* GASIFIKASI BIOMASSA TEMPURUNG KELAPA TERHADAP KUALITAS NYALA API DAN KUANTITAS *FLAMMABLE SYNGAS*

Ryan Effendi

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: ryaneffendi16050754066@mhs.unesa.ac.id

Indra Herlamba Siregar

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: indrasiregar@unesa.ac.id

Abstrak

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk maupun buatan. Biomassa tempurung kelapa dapat dimanfaatkan lebih optimal, yaitu sebagai sumber energi alternatif dengan cara gasifikasi. Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar padat (biomassa) menjadi *syngas*. Proses gasifikasi terdiri dari beberapa peralatan utama, yaitu *gasifier*, blower, *cyclone*, dan *reactor trapping*. *Reactor trapping* berfungsi sebagai penyaring akhir *syngas* dengan menggunakan air melalui *nozzle spray water*, agar *syngas* yang dihasilkan lebih bersih. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh diameter lubang *nozzle spray water* terhadap kualitas nyala api dan kuantitas *flammable syngas* dengan cara membakar *syngas* yang keluar dari *burner*. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen. Vairabel bebas pada penelitian ini yaitu diameter lubang *nozzle spray water* pada *reactor trapping* sebesar 0,4 mm, 0,3 mm, dan 0,2 mm, sedangkan variabel terikatnya adalah tinggi nyala api, temperatur nyala api, visualisasi warna nyala api, dan kuantitas *flammable syngas* (H_2 , CO, dan CH_4). Instrumen penelitian yang digunakan yaitu timbangan, anemometer, *box acrylic*, *thermocouple*, *thermocontrol*, kamera, dan kromatografi gas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tinggi nyala api pada diameter lubang *nozzle spray water* 0,4 mm, 0,3 mm, dan 0,2 mm masing-masing sebesar 23 cm; 23 cm; dan 24 cm; rata-rata temperatur nyala api masing-masing sebesar 471°C; 504°C; dan 534°C; visualisasi warna nyala api secara keseluruhan berwarna jingga; dan hasil kuantitas *flammable syngas* (H_2 , CO, dan CH_4) masing-masing dengan total sebesar 22,16%; 22,87%; dan 23,62%.

Kata kunci: Tempurung kelapa, gasifikasi, *downdraft*, *nozzle spray water*, *reactor trapping*

Abstract

Biomass is organic material that is produced through the process of photosynthesis, either in the form of products or artificial. Coconut shell biomass can be utilized more optimally, namely as an alternative energy source by means of gasification. Gasification is a process of converting solid fuel (biomass) into syngas. The gasification process consists of several main equipment, namely a gasifier, blower, cyclone, and reactor trapping. Reactor trapping functions as a fine syngas filter using water through a nozzle spray water, so that the resulting syngas is cleaner. The purpose of this research was to determine the effect of nozzle spray water hole diameter on the quality of the flame and the quantity of flammable syngas by burning the syngas that comes out the burner. This type of research is experimental research. The independent variables in this research is the nozzle spray water hole diameter in the reactor trapping of 0.4 mm, 0.3 mm, and 0.2 mm, while the dependent variables is flame height, flame temperature, visualization of flame color, and quantity. flammable syngas (H_2 , CO, and CH_4). The research instrument used was a scale, anemometer, acrylic box, thermocouple, thermocontrol, camera, and gas chromatography. The results showed that the flame height at 0,4 mm, 0,3 mm, and 0,2 mm of nozzle spray water hole diameter was 23 cm; 23 cm; and 24 cm; the average flame temperature is 471°C; 504°C; and 534°C; visualization of the overall flame color in orange; and the resulting quantity of flammable syngas (H_2 , CO, and CH_4) with a total of 22,16%; 22,87%; and 23,62%.

Keywords: coconut shell, gasification, *downdraft*, *nozzle spray water*, *reactor trapping*

PENDAHULUAN

Energi merupakan unsur terpenting bagi kehidupan manusia, khususnya bagi masyarakat Indonesia. Seiring bertambahnya jumlah penduduk dan kemajuan teknologi,

kebutuhan energi telah mengalami peningkatan yang cukup signifikan setiap tahunnya. Kebutuhan energi yang sangat tinggi ini menimbulkan suatu pemikiran untuk mencari alternatif sumber energi yang dapat membantu mengurangi pemakaian energi dari bahan bakar fosil.

Energi alternatif membawa dampak yang lebih baik terhadap lingkungan dan bahan baku yang digunakan mudah didapat, sehingga dapat digunakan secara terus-menerus. Salah satu sumber energi alternatif yang dapat dikembangkan adalah biomassa.

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk maupun buangan. Indonesia merupakan negara agraris, sehingga memiliki sumber energi biomassa yang melimpah, salah satunya adalah tempurung kelapa. Menurut Kementerian Pertanian Direktorat Jenderal Perkebunan mencatat bahwa pada tahun 2019, Provinsi Jawa Timur termasuk 3 besar daerah penghasil kelapa di Indonesia sebesar 259.858 Ton (Kementerian Pertanian Direktorat Jenderal Perkebunan, 2019). Pertumbuhan pohon kelapa yang cukup pesat dan melimpah ini dikarenakan pohon kelapa memiliki banyak manfaat, mulai dari daun, batang, hingga buahnya. Buah kelapa sendiri terdiri dari serabut, air, daging, dan tempurung. Pemanfaatan tempurung kelapa sampai saat ini masih belum maksimal, yaitu masih sebatas dibakar dan digunakan sebagai arang. Pemanfaatan tempurung kelapa dapat ditingkatkan lagi dengan menjadikan tempurung kelapa sebagai biomassa untuk energi alternatif.

Menurut Rinovianto (2012), terdapat beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengubah biomassa menjadi energi alternatif, salah satu caranya yaitu dengan cara gasifikasi. Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar padat (biomassa) menjadi gas mampu bakar (H_2 , CO, dan CH_4) yang biasa disebut *syngas* (gas hasil sintesa) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas (20%-40% udara stoikiometri).

Menurut Nurjito (2018), gasifikasi dapat dibedakan berdasarkan arah alirannya menjadi tiga jenis, yaitu gasifikasi *updraft*, *crossdraft*, dan *downdraft*. Gasifikasi tipe *downdraft* adalah gasifikasi yang memiliki arah padatan (biomassa) dan aliran udara yang sama, yaitu ke bawah menuju zona gasifikasi yang panas. Keuntungan gasifikasi tipe *downdraft* adalah dapat dioperasikan secara kontinyu atau dapat terus diisi ulang bahan bakarnya tanpa harus menghentikan penyalan.

Proses gasifikasi terdiri dari beberapa peralatan utama, yaitu *gasifier*, *blower*, *cyclone*, dan *reactor trapping*. *Reactor trapping* berfungsi untuk membersihkan *syngas* dari *cyclone* dengan menggunakan air dengan cara menyemprotkan air ke dalam *reactor trapping* agar *syngas* yang dihasilkan lebih bersih.

Penelitian yang dilakukan oleh Najib dan Darsopuspito (2012) yang melakukan penelitian proses gasifikasi biomassa tempurung kelapa sistem *downdraft* kontinyu dengan variasi perbandingan udara-bahan bakar (AFR) dan ukuran biomassa. Semakin besar AFR, semakin kecil komposisi *flammable syngas* dan LHV

syngas, dan semakin kecil biomassa mempunyai efisiensi gasifikasi lebih besar.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Suhendi, dkk (2016), yaitu penelitian gasifikasi *downdraft* dengan menggunakan biomassa bonggol jagung, yang memperlihatkan perbandingan komposisi *syngas* pada AFR 1,04 dengan masing-masing konsentrasi gas CH_4 2,02%, H_2 4,033%, dan CO 9,13%.

Penelitian yang dilakukan Riansyah (2015), yang melakukan penelitian pada *reactor trapping* gasifikasi biomassa dengan melakukan perbaikan dan pengembangan. Penelitian dilakukan dengan menambahkan *spray nozzle* pada *reactor trapping* yang berfungsi untuk mengikat polutan berupa tar dan debu.

Penelitian lanjutan dilakukan oleh Wicaksono (2019), yang melakukan penelitian *updraft gasifier* dengan menggunakan biomassa cangkang sawit pada beberapa variasi diameter *nozzle* yang bertujuan agar *syngas* yang dihasilkan lebih bersih.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Bagaimana pengaruh diameter lubang *nozzle spray water* pada *reactor trapping* gasifikasi tipe *downdraft* dengan biomassa tempurung kelapa terhadap tinggi nyala api?
- Bagaimana pengaruh diameter lubang *nozzle spray water* pada *reactor trapping* gasifikasi tipe *downdraft* dengan biomassa tempurung kelapa terhadap temperatur nyala api?
- Bagaimana pengaruh diameter lubang *nozzle spray water* pada *reactor trapping* gasifikasi tipe *downdraft* dengan biomassa tempurung kelapa terhadap visualisasi warna nyala api?
- Bagaimana pengaruh diameter lubang *nozzle spray water* pada *reactor trapping* gasifikasi tipe *downdraft* dengan biomassa tempurung kelapa terhadap kuantitas *flammable syngas* (H_2 , CO, dan CH_4) yang dihasilkan?

Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Mengetahui pengaruh diameter lubang *nozzle spray water* pada *reactor trapping* gasifikasi tipe *downdraft* dengan biomassa tempurung kelapa terhadap tinggi nyala api.
- Mengetahui pengaruh diameter lubang *nozzle spray water* pada *reactor trapping* gasifikasi tipe *downdraft* dengan biomassa tempurung kelapa terhadap temperatur nyala api.
- Mengetahui pengaruh diameter lubang *nozzle spray water* pada *reactor trapping* gasifikasi tipe *downdraft*

dengan biomassa tempurung kelapa terhadap visualisasi warna nyala api.

- Mengetahui pengaruh diameter lubang *nozzle spray water* pada *reactor trapping* gasifikasi tipe *downdraft* dengan biomassa tempurung kelapa terhadap kuantitas *flammable syngas* (H_2 , CO , dan CH_4) yang dihasilkan.

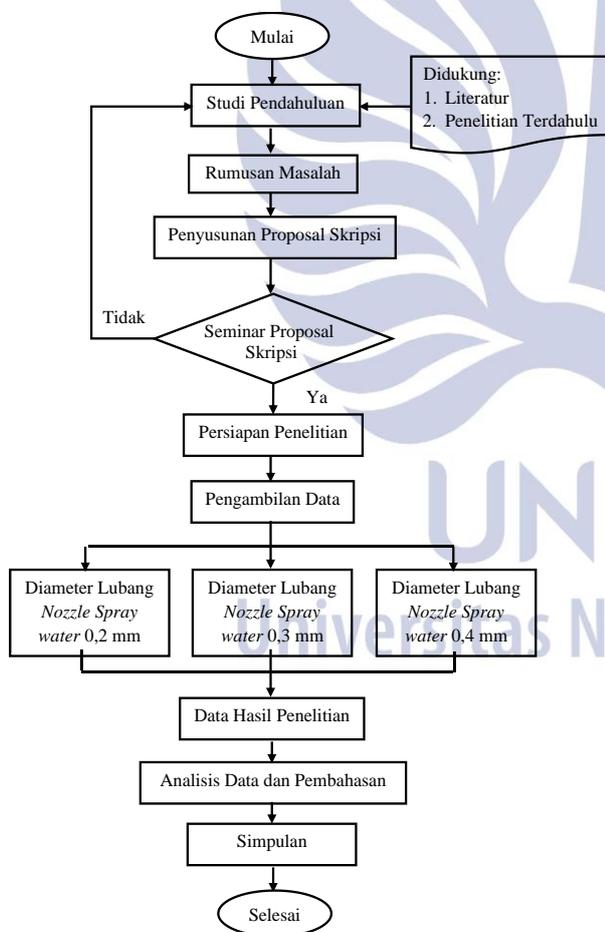
Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini antara lain:

- Pemanfaatan tempurung kelapa dapat lebih optimal yaitu dengan cara gasifikasi biomassa.
- Dengan penerapan gasifikasi biomassa dapat mengurangi ketergantungan manusia terhadap bahan bakar fosil, agar beralih menggunakan sumber energi yang bersifat *renewable*.
- Sebagai referensi untuk mengembangkan penelitian selanjutnya.

METODE

Rancangan Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Variabel Penelitian

• Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahan atau timbulnya variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi ukuran diameter lubang *nozzle* yaitu sebesar 0,4 mm, 0,3 mm, dan 0,2 mm.

• Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi adanya variabel bebas. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat yaitu tinggi nyala api, temperatur nyala api, visualisasi warna nyala api, dan kuantitas *flammable syngas*.

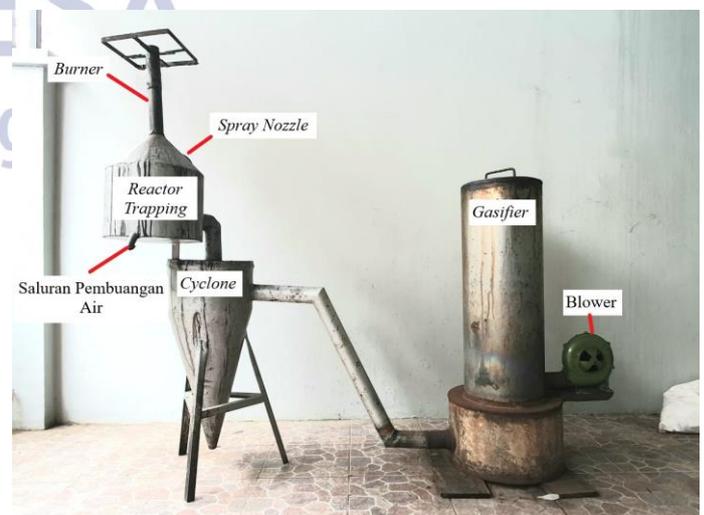
• Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dikendalikan sehingga pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu massa tempurung kelapa sebesar 5,5 kg, gasifikasi tipe *downdraft*, 0,4 kg arang, *air fuel ratio* (AFR) 0,72, air pembersih *syngas* pada *reactor trapping* air PDAM Surabaya, dan bukaan katup *nozzle spray water* 90°.

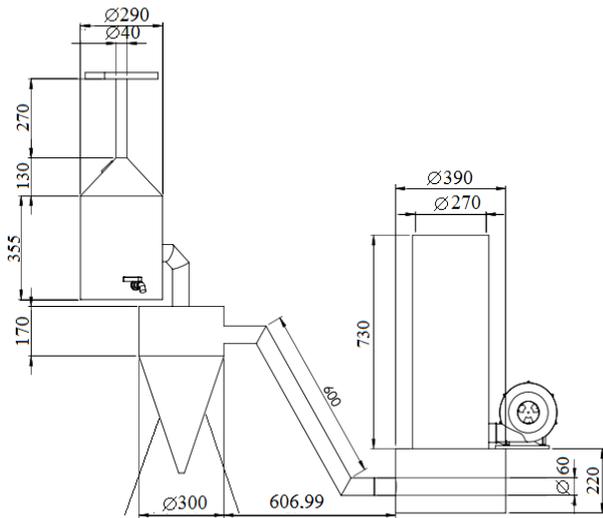
Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

- *Gasifier*, *Cyclone*, *Reactor trapping*, dan *Burner*
- Blower dan Dimmer
- *Nozzle spray water* dan *valve*
- Pompa air DC *high pressure* dan *power supply*
- Pemantik api
- Tripod
- Corong dan *Urine bag*



Gambar 2. Skema alat uji



Gambar 3. Dimensi alat uji

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

- Air
- Tempurung kelapa



Gambar 4. Tempurung kelapa

Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- Timbangan
- Anemometer
- *Box acrylyc*
- *Thermocouple*
- *Thermentrol*
- Kamera
- Kromatografi gas

Prosedur Penelitian

Tahap Preparasi Sampel

- Menjemur tempurung kelapa dengan panas matahari selama 5 hari pada pukul 11.00 – 14.00.
- Membersihkan serabut kelapa yang terdapat pada tempurung kelapa.
- Mempersiapkan tempurung kelapa dan air yang akan digunakan.

Tahap Gasifikasi

- Menimbang tempurung kelapa hingga total berat 5,5 kg yang digunakan sebagai biomassa.
- Memasukkan 2,5 kg tempurung kelapa yang telah ditimbang ke dalam *gasifier* sebagai biomassa.
- Menimbang 0,4 kg tempurung kelapa untuk dijadikan bara yang berfungsi sebagai pemantik di dalam *gasifier*.
- Membakar tempurung kelapa sebesar 0,4 kg hingga menjadi bara yang digunakan sebagai pemantik di dalam *gasifier*.
- Memasukkan bara tempurung kelapa ke dalam *gasifier*.
- Menyalakan blower.
- Mengukur kecepatan udara blower menggunakan *anemometer*.
- Mengatur kecepatan udara yang telah ditentukan dengan cara mengatur kecepatan *blower* menggunakan katup yang dipasang setelah *blower* dan dimmer.
- Memasukkan sisa tempurung kelapa yang digunakan sebagai biomassa seberat 3 kg ke dalam *gasifier*.
- Menunggu hingga *syngas* diproduksi *gasifier*.
- Membakar *syngas* yang keluar pada *burner* dengan pemantik api.
- Membuka kran pompa sesuai sudut yang telah ditentukan, sehingga *nozzle spray water* dapat menginjeksikan air ke dalam *reactor trapping*.

Tahap Pengujian Kualitas Nyala Api

- Mengamati dan mencatat tinggi nyala api pada *box akrilik*.
- Mengamati dan mencatat temperatur nyala api pada *burner* yang telah diberikan *thermocouple* dan akan terbaca pada *thermocontrol*.
- Mendokumentasikan visualisasi warna nyala api pada *burner* dengan menggunakan kamera yang terpasang pada tripod.

Tahap Pengujian Kuantitas *Flammable Syngas*

- Memantik *syngas* yang keluar di *burner* guna memastikan *syngas* sudah terbentuk.
- Menampung *syngas* yang dihasilkan di *urine bag*.
- Menyimpan *urine bag* yang berisi *syngas* di *box styrofoam* sebelum dilakukan uji kromatografi gas.
- Melakukan pengujian ulang pada diameter lubang *nozzle spray water* 0,4 mm, 0,3 mm, dan 0,2 mm.

Teknik Analisis Data

Analisis data yang digunakan adalah dengan menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Data hasil penelitian yang diperoleh setelah melakukan eksperimen

akan dimasukkan kedalam tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafik, yang kemudian dideskripsikan dengan kalimat sederhana agar mudah dipahami dan mendapatkan jawaban dari permasalahan yang diteliti.

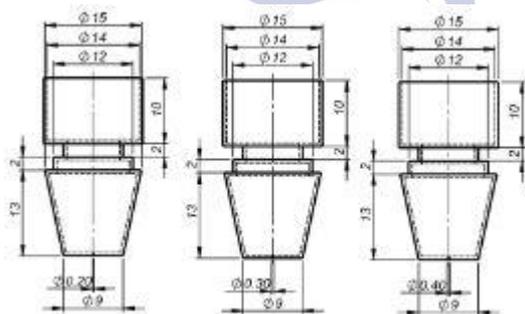
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian ini mengenai pengaruh diameter lubang *nozzle spray water* pada *reactor trapping* gasifikasi tipe *downdraft* dengan biomassa tempurung kelapa terhadap kualitas nyala api dan kuantitas *flammable syngas*. Variasi yang dilakukan yaitu pada diameter lubang *nozzle spray water* pada *reactor trapping*. Cara kerja dari *nozzle spray water* yaitu menyemprotkan air kedalam *reactor trapping* yang bertujuan untuk membersihkan partikel-partikel kecil dari *syngas* seperti abu dan tar sehingga *syngas* yang dihasilkan dapat lebih bersih.



Gambar 5. *Reactor Trapping* (kiri) dan *nozzle spray water* (kanan)



Gambar 6. Dimensi *nozzle spray water* (mm)

Tinggi Nyala Api

pengujian tinggi nyala api yaitu dengan menggunakan *box acrylic* yang permukaannya telah diberi sketsa ukur dengan bentuk persegi dengan ukuran 1 cm x 1 cm. Pengujian tinggi nyala api dilakukan untuk menentukan titik peletakkan *thermocouple* dalam melakukan pengukuran temperatur nyala api.

Tabel 1. Data Hasil Tinggi Nyala Api

Diameter Lubang <i>Nozzle Spray Water</i>	Tinggi Nyala Api	Dokumentasi
0,4 mm	23 cm	
0,3 mm	23 cm	
0,2 mm	24 cm	

Temperatur Nyala Api

Pengujian temperatur nyala api dari pembakaran *syngas* yaitu dengan menggunakan sensor *thermocouple* yang kemudian disambungkan ke *thermocontrol* untuk pembacaan temperatur nyala api. Pengukuran temperatur nyala api dilakukan pada tiga titik, yaitu bagian bawah, tengah, dan atas api.

Tabel 2. Data Hasil Temperatur Nyala Api

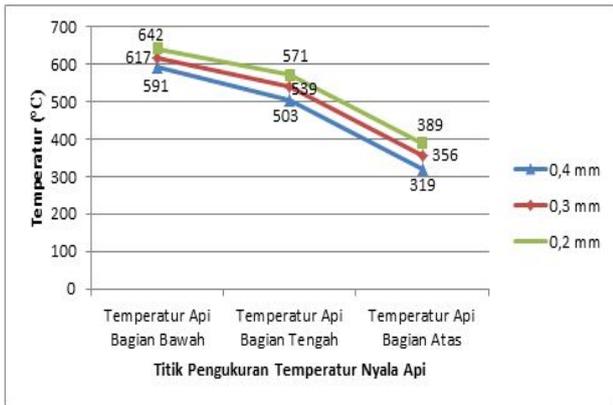
Diameter Lubang <i>Nozzle Spray Water</i>	T1	T2	T3	Rata-Rata
0,4 mm	591 °C	503 °C	319 °C	471 °C
0,3 mm	617 °C	539 °C	356 °C	504 °C
0,2 mm	642 °C	571 °C	389 °C	534 °C

Keterangan:

T1 = Temperatur api bagian bawah

T2 = Temperatur api bagian tengah

T3 = Temperatur api bagian atas



Gambar 7. Grafik data temperatur nyala api

Visualisasi Warna Nyala Api

Pengujian visualisasi warna nyala api yaitu dengan menggunakan kamera digital Pentax Optio WG-2 dengan perbesaran 1,5x, dan jarak kamera dengan burner sejauh 80 cm.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Visualisasi Warna Nyala Api

Diameter Lubang Nozzle Spray Water	Visualisasi Warna Nyala Api
0,4 mm	
0,3 mm	
0,2 mm	

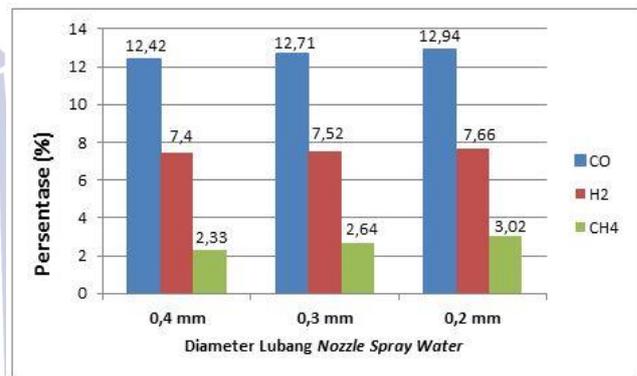
Kuantitas Flammable Syngas

Pengambilan syngas pada penelitian ini dengan menggunakan corong plastik yang diletakkan diatas burner, kemudian disambungkan dengan jalur inlet pada

urine bag agar syngas dapat mengalir dari burner menuju urine bag, dan dapat disimpan untuk kemudian dilakukan pengujian gas chromatography.

Tabel 4. Data Kuantitas Flammable Syngas

Diameter Lubang Nozzle Spray Water	CO (%)	H ₂ (%)	CH ₄ (%)	Total (%)	Nilai Kalor (kkal/kg)
0,4 mm	12,42	7,41	2,33	22,16	5865
0,3 mm	12,71	7,52	2,64	22,87	
0,2 mm	12,94	7,66	3,02	23,62	



Gambar 8. Grafik data kuantitas flammable syngas

Pembahasan

Tinggi Nyala Api

Berdasarkan tabel 1, didapatkan tinggi nyala api pada diameter lubang nozzle spray water 0,4 mm, 0,3 mm, dan 0,2 mm masing-masing adalah 23 cm, 23 cm, dan 24 cm. Berdasarkan data tersebut, semakin kecil diameter lubang nozzle spray water maka tinggi nyala api yang dihasilkan meningkat meskipun tidak signifikan. Semakin kecil diameter nozzle maka pengkabutan yang dihasilkan sangat halus, sehingga pembersihan syngas sangat maksimal yang dapat meningkatkan kandungan flammable syngas dan berpengaruh pada tinggi nyala api yang dihasilkan. Pada penelitian ini diameter lubang nozzle spray water 0,2 mm (diameter terkecil) menghasilkan tinggi nyala api terbaik sebesar 24 cm.

Temperatur Nyala Api

Berdasarkan tabel 2, temperatur rata-rata nyala api pada masing-masing diameter lubang nozzle spray water 0,4 mm, 0,3 mm, dan 0,2 mm adalah 471 °C, 504 °C, dan 534 °C. Temperatur nyala api rata-rata tertinggi yaitu pada diameter lubang nozzle spray water 0,2 mm sebesar 534 °C, yang terdiri dari temperatur api bagian bawah, tengah, dan atas masing-masing sebesar 642 °C, 571 °C, dan 391 °C. Pada data tersebut, semakin kecil diameter lubang nozzle spray water temperatur yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan semakin kecil diameter lubang nozzle spray water, maka semakin bersih

syngas yang dihasilkan dan nilai *flammable syngas* (CO, H₂, dan CH₄) meningkat. Hal inilah yang menyebabkan temperatur nyala api meningkat.

Pada tabel 2 dapat dilihat juga bahwa temperatur api bagian bawah hingga temperatur api bagian atas menurun. Hal ini dikarenakan kuantitas *flammable syngas* (CO, H₂, dan CH₄) semakin menuju puncak api semakin berkurang, sehingga menyebabkan temperatur api menurun.

Visualisasi Warna Nyala Api

Berdasarkan tabel 3, pada diameter lubang *nozzle spray water* 0,4 mm, 0,3 mm, dan 0,2 mm semuanya menghasilkan warna api jingga. Api yang memiliki warna cenderung merah atau jingga tersebut dapat diartikan bahwa udara yang mencampuri proses pembakaran hanya sedikit sehingga dikatakan campuran kaya. Meskipun tidak ada perubahan warna yang terjadi, diameter lubang *nozzle spray water* 0,2 mm memiliki visualisasi warna nyala api terbaik jika ditinjau dari temperatur nyala api dan kuantitas *flammable syngas* yang dihasilkan.

Kuantitas *Flammable Syngas*

Berdasarkan tabel 4, total persentase kuantitas *flammable syngas* (H₂, CO, dan CH₄) yang dihasilkan setelah uji kromatografi gas pada diameter lubang *nozzle spray water* 0,4 mm, 0,3 mm, dan 0,2 mm yaitu sebesar 22,16%, 22,87%, dan 23,62%. Total kuantitas *flammable syngas* (H₂, CO, dan CH₄) yang paling banyak terdapat pada diameter lubang *nozzle spray water* 0,2 mm sebesar 23,62%. Semakin kecil diameter lubang *nozzle spray water* maka persentase kandungan *flammable syngas* (CO, H₂, dan CH₄) mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan semakin kecil diameter lubang *nozzle spray water*, maka *droplet* (tetesan air) yang dihasilkan semakin banyak dan lebih halus, sehingga mampu membersihkan *syngas* dari partikel-partikel kecil seperti abu dan tar, dan total kandungan *flammable syngas* semakin meningkat. Hal inilah yang menyebabkan diameter lubang *nozzle spray water* 0,2 mm memiliki temperatur nyala api tertinggi.

PENUTUP

Simpulan

Simpulan dari hasil pengujian yaitu sebagai berikut:

- Tinggi nyala api terbaik yaitu pada diameter lubang *nozzle spray water* 0,2 mm sebesar 24 cm.
- Temperatur nyala api terbaik yaitu pada diameter lubang *nozzle spray water* 0,2 mm dengan temperatur nyala api rata-rata sebesar 534 °C, yang terdiri dari temperatur api bagian bawah, tengah, dan atas sebesar 642 °C, 571 °C, dan 391 °C.

- Visualisasi warna nyala api terbaik yaitu pada diameter lubang *nozzle spray water* 0,2 mm dengan warna nyala api jingga, dan juga ditinjau berdasarkan temperatur nyala api dan kuantitas *flammable syngas* yang dihasilkan.
- Persentase kuantitas *flammable syngas* (CO, H₂, CH₄) tertinggi yaitu pada diameter lubang *nozzle spray water* 0,2 mm sebesar 23,62%, yang terdiri dari 12,94% CO, 7,66% H₂, dan 3,02% CH₄. Semakin kecil diameter lubang *nozzle spray water* persentase kuantitas *flammable syngas* yang dihasilkan semakin meningkat yaitu CO 0,52%, H₂ 0,25%, dan CH₄ 0,69%.

Saran

Saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Wajib menggunakan masker guna mengingat resiko yang ditimbulkan sangat besar terutama penyakit pada pernafasan.
- Perlu menyediakan alat pemadam api ringan (APAR) untuk mencegah hal-hal yang tidak diinginkan. Membersihkan peralatan setelah melakukan pengujian.
- Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh jumlah sisi pemasukan udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2018. *Statistik Perkebunan Indonesia 2017-2019*. Jakarta.
- Hadi, Sholehul dan 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 POMITS*. Vol. 2 (3):B-384-B-387.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2018. *Handbook Of Energy & Economic Statistics Of Indonesia (Final Edition)*. Jakarta.
- Najib, Lailun, dan Darsopuspito, Sudjud. 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 (01): B-12-B-15.
- Nurjito, Agung. 2018. *Kinerja Tungku Gasifikasi Tipe Downdraft Terhadap Bahan Bakar Sekam Padi, Bonggol Jagung, Dan Batok Kelapa*. Skripsi. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Riansyah, Diky. 2015. "Rancang Bangun Perbaikan Dan Pengembangan Reactor Trapping Pada Gasifikasi Biomassa". *Jurnal JTM*. Vol. 02 (03): hal. 47-52.

Rinovianto, Guswendar. 2012. *Karakteristik Gasifikasi Pada Updraft Double Gas Outlet Gasifier Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.

Suhendi, Endang, Rosyadi, Imron, Nasorudin, Tb. Ahmad. 2016. "Uji Kualitas Syngas Bahan Bakar Bonggol Jagung Terhadap Air Fuel Ratio (AFR) Dan Kadar Air Dengan Gasifikasi Downdraft". *Jurnal Integrasi Proses*. Vol. 6 (2): hal. 95-99.

Wicaksono, M. Farrasiandi Huda. 2019. "Pengaruh Buka-an Katup Air Dan Variasi Diameter Nozzle Pada Reactor Trapping Gasifikasi Biomassa Cangkang Sawit Terhadap Kualitas Nyala Api". *Jurnal JTM*. Vol. 07 (03): hal. 73-78.

