



Kinerja kolom bahan isian penyerap tar hasil gasifikasi kulit buah kakao berbasis minyak pelumas bekas

Sunu Herwi Pranolo^{1,a}, Joko Waluyo^{1,b}, Imaduddin Ahsan², Muhamad Abdul Aziz²

¹ Program Studi Sarjana Teknik Kimia, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36A, Surakarta 57126

² Program Studi Diploma Tiga Teknik Kimia, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36A, Surakarta 57126

Email: ^asunu_pranolo@staff.uns.ac.id, ^bjokowaluyo@staff.uns.ac.id (*Corresponding author)

Abstrak. Gas produser hasil gasifikasi biomassa tidak hanya mengandung gas mempan bakar saja namun juga tar yang bersifat merugikan. Penelitian ini menyajikan metode penyisihan tar dari gas produser hasil gasifikasi kulit buah kakao dengan kolom bahan isian menggunakan penyerap berbasis minyak pelumas bekas. Gas produser dikontakkan dengan minyak pelumas bekas secara berlawanan arah di dalam sebuah kolom silinder berbahan isian berbentuk bola dan *raschig ring*. Variabel penelitian yaitu laju alir minyak pelumas bekas masuk kolom pada kisaran 0,029 m³/jam sampai 0,326 m³/jam dan bentuk bahan isian. Bahan isian kelereng memiliki luas permukaan 2,27 m²/m dan 1,08 m²/m. Permukaan *raschig ring* seluas 0,73 m²/m. Hasil percobaan menunjukkan gas produser hasil gasifikasi kulit buah kakao mengandung 0,013 gram tar setiap liter. Penggunaan bahan isian berbentuk sama tetapi luas permukaan lebih besar akan berakibat pada penyerapan tar lebih banyak. Walaupun luas permukaan lebih kecil tetapi penggunaan bahan isian *raschig ring* mampu menunjukkan kinerja penyerapan paling baik, yaitu sebesar 90,6%.

Kata Kunci: *gasifikasi, kulit buah kakao, penyisihan tar, kolom bahan isian, minyak pelumas bekas*

1. Pendahuluan

Gasifikasi merupakan proses pengkonversian bahan bakar padat menjadi gas mampan bakar (CO, CH₄, dan H₂) melalui proses pembakaran dengan *suplay* udara terbatas antara 20% sampai 40% udara stoikiometri. Gasifikasi berlangsung pada suhu 100°C-1200°C dan terjadi di dalam reaktor yang disebut *gasifier*. Pada proses gasifikasi terjadi reaksi bertingkat jika disederhanakan dapat dituliskan sebagai berikut.



Bahan baku gasifikasi berupa biomassa seperti limbah pertanian dan perkebunan. Kulit buah kakao merupakan bahan potensial yang dapat digunakan sebagai bahan baku gasifikasi karena jumlahnya banyak dan belum dimanfaatkan dengan baik. Kulit kakao tergolong dalam limbah lignoselulosa yaitu serat kasar yang terdiri dari tiga penyusun utama, yaitu selulosa (31,25%), hemiselulosa (48,64%), dan lignin (20,11%).

Selain menghasilkan gas produser/*syngas*, proses gasifikasi biomassa juga menghasilkan produk samping berupa tar yang menjadi masalah pada proses-proses hilir pemanfaatan gas. Tar yang terkondensasi dapat menyumbat saluran dingin pada rangkaian alat pembersih gas, hal ini sering terjadi pada penerapan proses gasifikasi yang terintegrasi dengan mesin *diesel-genset* [1].

Terdapat 2 metode penyisihan tar, primer dan sekunder. Metode primer adalah metode yang dilakukan dalam reaktor *gasifier* seperti penambahan zat aditif, rekayasa proses maupun modifikasi *gasifier*. Metode sekunder dibagi menjadi 2 teknik, *dry teknik* dan *wet teknik*. *Dry teknik* dilakukan secara kimia dengan proses perengkahan tar melalui *thermal cracking*, *catalytic cracking*, dan *plasma*

cracking. Wet teknik umumnya dilakukan dengan proses absorpsi menggunakan berbagai jenis absorben [2]. Tujuan penelitian ini adalah melakukan uji kinerja kolom bahan penyerap tar dengan menggunakan medium penyerap. Tar merupakan campuran berbagai komponen hidrokarbon berat yang sebagian memiliki sifat larut dalam air dan sebagian lain tidak larut dalam air (*hydrophobic compound*). Oleh karena itu, perlu dicari absorben yang memiliki sifat *hydrophobic* seperti berbagai senyawa minyak [3]. Minyak pelumas bekas (*waste engine oil*) merupakan salah satu jenis absorben yang diteliti sebagai salah satu jenis absorben tar.

2. Metodologi

2.1 Bahan percobaan

Kulit buah kakao sebagai bahan baku pembuatan gas produser didapatkan dari petani di daerah Kadipiro, Jumapolo, Karanganyar. Kulit kakao dikeringkan sampai kadar air 8% dengan penjemuran di bawah sinar matahari selama 8 x 7 hari. Kulit kakao kering dicecilkan ukurannya menjadi rata-rata diameter 3 cm agar mempermudah pengumpanan ke *gasifier* serta mempermudah terjadinya proses gasifikasi. Penampakan kulit kakao kering dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kulit kakao kering umpan gasifikasi

Kulit kakao diumpankan ke gasifier dengan kecepatan 3 kg/jam. Uji proksimat dan ultimat terhadap kulit kakao menunjukkan hasil sebagai berikut (Tabel 1).

Tabel 1. Uji proksimat dan ultimat kulit kakao

Analysis Parameters	Sample marks 1836/2018 Kulit kakao (%)	Basis
<i>Total moisture</i>	14,53	ar
proximate		
<i>Moisture in air dried</i>	12,66	adb
<i>Asb</i>	7,97	adb
<i>Volatile matter</i>	60,95	adb
<i>Fixed carbon</i>	18,42	adb
Ultimate		
<i>Total sulfur</i>	0,13	adb
<i>Carbon</i>	39,87	adb
<i>Hydrogem</i>	5,96	adb
<i>Nitrogen</i>	0,74	adb
<i>Oxygen</i>	45,33	adb



Gross Calorific Value

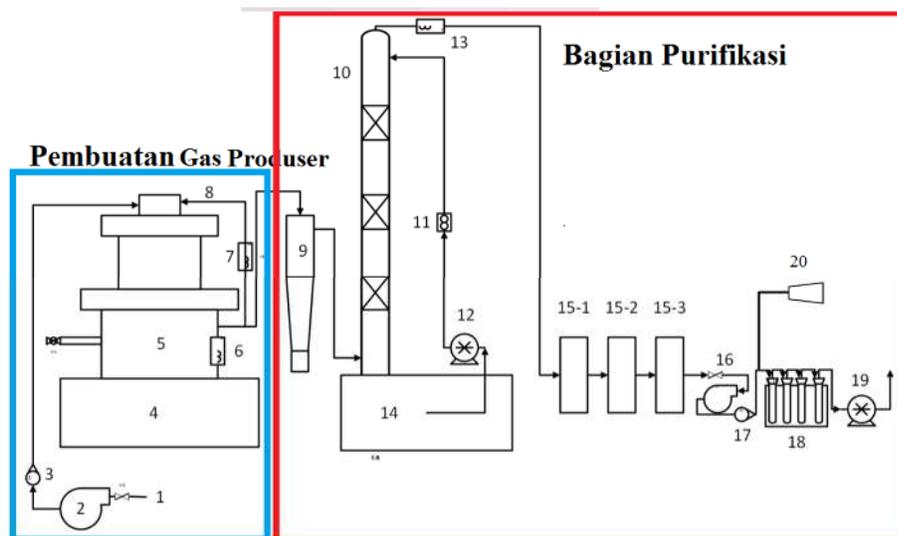
3,692

adb

Minyak pelumas bekas didapatkan dari pengepul terdekat di daerah Pucang Sawit, Jebres, Surakarta. Minyak Pelumas bekas didiamkan selama 1 hari untuk memisahkan impuritasnya. Minyak pelumas bekas memiliki densitas 0,8848 g/L dengan viskositas 175 cP. Selama percobaan, digunakan minyak pelumas bekas sebanyak 100 liter.

2.2 Alat percobaan

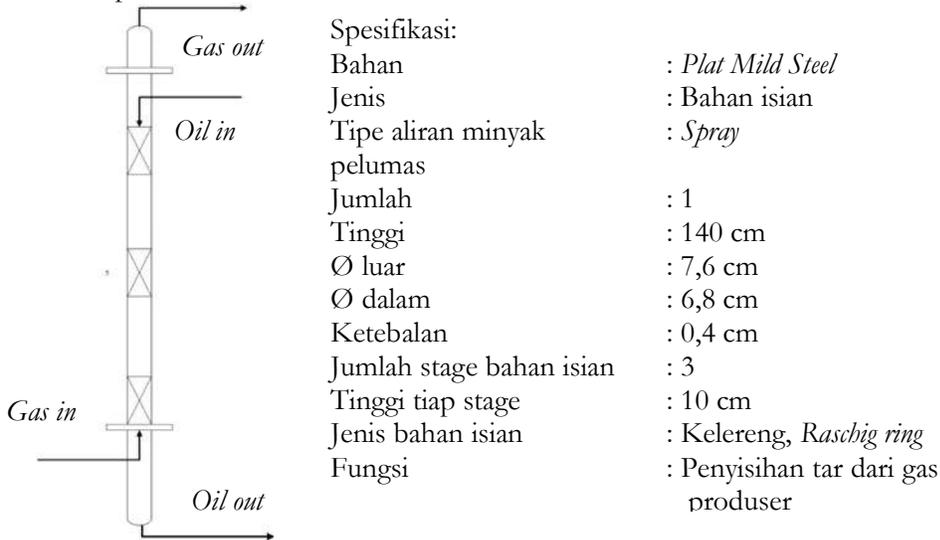
Gas produser dikontakkan secara berlawanan arah dengan minyak pelumas bekas di dalam kolom vertikal yang diisi dengan bahan isian. Bahan isian terdiri dari 3 jenis dengan total permukaan yang berbeda, kelereng diameter 1,5 cm dengan luas permukaan 2,27 m²/m, kelereng diameter 2,4 cm dengan luas permukaan 1,08 m²/m, dan *raschig ring* diameter 1,4 cm dengan luas permukaan 0,73 m²/m. Laju alir minyak pelumas masuk kolom juga divariasikan dengan kisaran antara 0,029 m³/jam sampai 0,326 m³/jam dengan tujuan mencari kondisi terbaik pada tiap jenis bahan isian. Rangkaian alat percobaan terbagi dalam dua bagian, yaitu bagian pembuatan gas produser dan bagian purifikasi. Rangkaian alat percobaan dapat dilihat pada Gambar 2 dan keterangan gambar dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 2. Rangkaian alat percobaan penyerapan tar dengan minyak pelumas bekas
Tabel 2. Keterangan gambar alat percobaan

Nomor Alat	Keterangan Alat	Nomor Alat	Keterangan Alat
1	Input Udara	11	Flowmeter
2	Blower	12	Pompa minyak pelumas
3	Rotameter	13	Bimetallic Thermometer
4	Water Seal	14	Tangki minyak pelumas
5	Fix Bed Downd draft Gasifier	15	Filter
6	Thermocouple	16	Valve
7	Bimetallic Thermometer	17	Rotameter
8	Pipa aliran gas recycle	18	Impinger
9	Siklon	19	Pompa vakum
10	Kolom bahan isian	20	Burner

Kolom bahan isian sebagai tempat terjadinya penyerapan tar memiliki spesifikasi yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Spesifikasi kolom bahan isian penyerap tar

Proses gasifikasi terjadi pada suhu 800°C dengan laju alir udara berkisar 10 L/menit-15 L/menit. Kulit kakao kering diumpungkan ke dalam gasifier dengan kecepatan 3 kg/jam.

2.3 Pengambilan sampel dan uji gravimetric

Pengambilan sampel tar dilakukan dengan menggunakan *impinger*. Enam tabung silinder diletakkan dalam *water bath* bersuhu 0°C agar tar dapat terkondensasi. Lima botol pertama diisi isopropanol masing-masing 50 mL sebagai medium penyerap tar dan botol lainnya diisi kapas. Laju alir gas masuk *impinger* diatur 0,75 NL/menit untuk mengetahui volume gas sampel. Waktu penyerapan dihitung selama 50 menit. Tar yang terserap dalam isopropanol kemudian diuji gravimetri. Uji gravimetri dilakukan dengan menguapkan isopropanol pada suhu 85°C-90°C kemudian menimbang berat tar sisa (m_{tar}). Perhitungan konsentrasi tar dalam gas sampel (W_{tar}) menggunakan persamaan (1).

$$\text{Konsentrasi Tar} = \frac{m_{tar \text{ uji gravimetri}}}{V_{gas \text{ sampel}}} \quad (1)$$

Konsentrasi tar terserap minyak pelumas dihitung berdasarkan konsentrasi tar yang terserap isopropanol dan konsentrasi tar dalam gas produser mula-mula. Perhitungan menggunakan persamaan 2.

$$W_{tar \text{ terserap minyak pelumas}} = W_{tar \text{ mula-mula}} - W_{tar \text{ terserap isopropanol}} \quad (2)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Percobaan pada penggunaan 3 jenis bahan isian menunjukkan hasil yang berbeda. Beberapa variabel dipantau untuk mengetahui variabel yang berpengaruh terhadap kinerja kolom bahan isian dan kondisi operasi terbaik. Variabel yang dipantau berupa luas permukaan total bahan isian, laju alir minyak pelumas masuk kolom, lama waktu tinggal, dan konsentrasi tar terserap minyak pelumas. Pada percobaan tanpa proses penyerapan dengan minyak pelumas di dapat data konsentrasi tar mula-



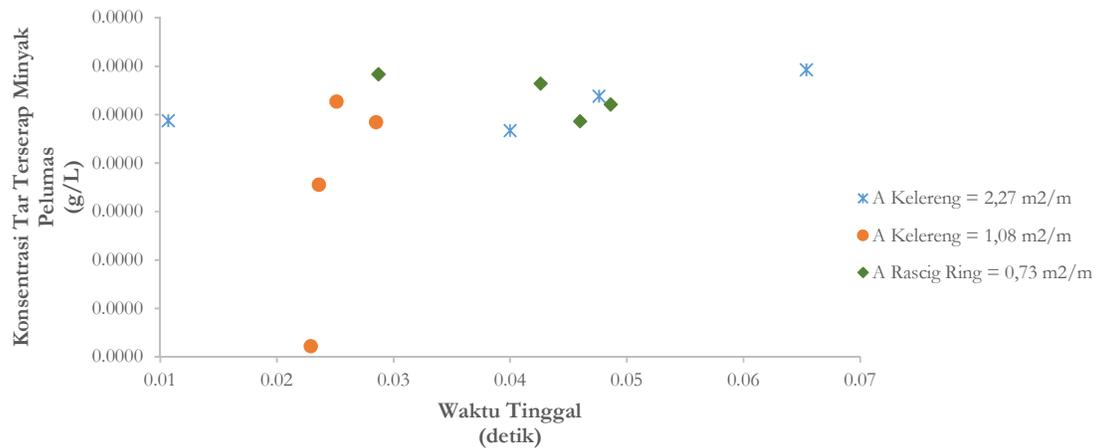
mula sebesar 0,013 g/L, sedangkan data percobaan dengan proses penyerapan dapat dilihat pada Tabel 2.

Bentuk dan luas permukaan total bahan isian mempengaruhi banyaknya tar terserap minyak pelumas. Pada penggunaan kelereng berbentuk bola, kelereng dengan luas permukaan 2,27 m²/m menunjukkan semakin lama waktu tinggal maka semakin besar kandungan tar terserap minyak pelumas. Kinerja terbaik didapat pada variasi laju alir 0,053 m³/jam dengan waktu tinggal selama 6,54 detik. Kandungan tar terserap minyak pelumas sebesar 0.0128 g/L dengan efisiensi penyerapan rata-rata sebesar 86,78%. Penggunaan kelereng dengan luas permukaan total 1,08 m²/m menunjukkan hasil yang serupa. Efisiensi penyerapan tar pada penggunaan bahan isian ini sebesar 61,13%. Hasil berbeda ditunjukkan pada penggunaan *raschig ring* semakin lama waktu tinggal maka semakin kecil kandungan tar terserap minyak pelumas. Kondisi terbaik pada didapat pada variasi laju alir 0,154 m³/jam dengan total waktu tinggal selama 2,87 detik. Tar yang terserap minyak pelumas sebanyak 0.0127 g/L. Meskipun demikian, secara umum penggunaan *raschig ring* rata-rata mampu mengurangi konsentrasi tar lebih besar dibanding dengan penggunaan bahan isian kelereng berbentuk bola. Efisiensi yang dicapai pada penggunaan *raschig ring* sebesar 90,6%.

Tabel 2. Data hasil percobaan penyerapan tar dan uji gravimetri

	Percobaan-1	Percobaan-2	Percobaan-3	Percobaan-4
1. Kelereng 1 ($\varnothing = 1,5$ cm)				
a. A_{kontak}	2,27 m ² /m			
b. $V_{\text{Minyak pelumas}}$	0,053 m ³ /jam	0,117 m ³ /jam	0,144 m ³ /jam	0,326 m ³ /jam
c. t_{tinggal}	6,54 detik	4,76 detik	4 detik	1,07 detik
d. $W_{\text{tar terserap minyak pulumas}}$	0.0128 g/L	0.0118 g/L	0.0103 g/L	0.0107 g/L
2. Kelereng 2 ($\varnothing = 2,4$ cm)				
a. A_{kontak}	1,08 m ² /m			
b. $V_{\text{Minyak pelumas}}$	0,053 m ³ /jam	0,089 m ³ /jam	0,105 m ³ /jam	0,113 m ³ /jam
c. t_{tinggal}	2,85 detik	2,51 detik	2,36 detik	2,29 detik
d. $W_{\text{tar terserap minyak pulumas}}$	0.0107 g/L	0.0115 g/L	0.0081 g/L	0.0014 g/L
3. <i>Raschig Ring</i> ($\varnothing = 1,4$ cm)				
a. A_{kontak}	0,73 m ² /m			
b. $V_{\text{Minyak pelumas}}$	0,029 m ³ /jam	0,053 m ³ /jam	0,101 m ³ /jam	0,154 m ³ /jam
c. t_{tinggal}	4,60 detik	4,26 detik	4,26 detik	2,87 detik
d. $W_{\text{tar terserap minyak pulumas}}$	0.0107 g/L	0.0114 g/L	0.0123 g/L	0.0127 g/L

Jika disajikan dalam kurva hubungan antara konsentrasi tar terserap minyak pelumas dengan lama waktu tinggal, penggunaan 3 jenis bahan isian menunjukkan kecenderungan yang berbeda.



Gambar 3. Kurva hubungan antara konsentrasi tar terserap minyak pelumas dengan lama waktu tinggal

4. Kesimpulan

Hasil percobaan menunjukkan luas permukaan total bahan isian, bentuk bahan isian, laju alir minyak pelumas, dan lama waktu tinggal berpengaruh terhadap kinerja bahan isian. Penggunaan kelereng berbentuk bola dengan luas kontak $2,27 \text{ m}^2/\text{m}$ lebih banyak menyerap tar dibanding dengan kelereng dengan luas kontak $1,08 \text{ m}^2/\text{m}$. Penggunaan *raschig ring* dengan luas permukaan total lebih sempit dibanding kelereng ternyata rata-rata pada percobaan dengan berbagai laju alir minyak pelumas mampu menyerap tar lebih banyak dibanding kelereng berbentuk bola. Luas permukaan total bahan isian berbanding lurus dengan lama waktu tinggal. Semakin besar luas permukaan total bahan isian maka waktu tinggal semakin lama. Penyerapan tar semakin efisien dengan semakin lamanya waktu tinggal minyak dalam kolom bahan isian.

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa variabel yang harus di perhatikan yaitu temperatur minyak pelumas bekas dan kondisi minyak pelumas bekas. Suhu minyak pelumas bekas berpengaruh terhadap efisiensi absorpsi karena proses absorpsi semakin baik terjadi pada suhu yang rendah dengan tekanan tinggi. Selain itu, kondisi minyak pelumas juga perlu diperhatikan untuk mengidentifikasi terjadinya kejenuhan sehingga menyebabkan proses absorpsi kurang maksimal.

Daftar pustaka

- [1] D. Hantoko, T. Suria, J. Waluyo, H. Susanto, “*Simulasi Termodinamika Perengkahan Tar pada Keluaran Tar Fixed Bed Gasifier*”, dalam Seminar Teknik Kimia “Kejuangan”, Yogyakarta., 2015.
- [2] P. Nicolaou, “Removal Utilization/Separation of Tar from Syngas”, Department of Science in Sustainable Energy., Delft University of Technology., Delft., 2016.
- [3] T. Phuphuakrat, T. Namioka, K. Yoshikawa, “*Absorbitive Removal of Biomass Tar Using Water and Oily Materials*”, Biosource Technology, 102, 543-549, July, 2010.



Pemakalah :
Imaduddin Ahsan, Muhamad Abdul Aziz
11.48- 12.03 WIB

Pertanyaan :	Jawaban :
<ol style="list-style-type: none">1. Pada penelitian ini digunakan pelumas, apakah ada bahan lain yang bisa digunakan untuk absorben? Apa dasarnya memilih minyak? (Bagas)2. Mengapa dipilih oli mesin bekas? Pada penelitian sebelumnya, lebih baik yang mana? (Wusana)	<ol style="list-style-type: none">1. Karena didasarkan pada sifat tar itu sendiri, senyawa organik polar larut dalam polar juga. Sehingga dicari absorben yg bisa melarutkan tar yang bersifat polar. Bahan lain yang pernah diteliti adalah oli, biodiesel, dsb.2. Karena ketersediaan yang mudah didapatkan. Oli bekas untuk medium penyerapan tidak memerlukan treatment yang banyak. Kalau biodiesel, harus dibuat biodieselnnya terlebih dahulu. Oli bekas hanya perlu diendapkan untuk memisahkan minyak dan kotorannya. Penelitian lain menunjukkan minyak jelantah efisiensinya terbaik, baru oli bekas.