



## Gasifikasi Cangkang Sawit dalam *Updraft Fixed Bed Gasifier*: Pengukuran Laju Gasifikasi Spesifik

Renardi Andhika dan Herri Susanto \*

Program Studi Teknik Kimia, FTI, ITB, Jl.Ganesha No.10 Bandung 40132, Indonesia

\*E-mail: [herri@che.itb.ac.id](mailto:herri@che.itb.ac.id)

### Abstract

*Gasification is process conversion solid material into fuel gas. This study were carried on updraft fixed bed gasifier. Commercial application for updraft gasifier is used in Asphalt Mixing Plant at Ngawi with the capacity 1 ton/hour. Palm shell was used as feedstock in this study with air as gasifying agent. Feeding conducted as batch and intermittent (0.5 kg every 12 minute in certain time). Gasification process also produced an undesirable product called tar. The analysis of tar measurement and gas composition was performed by impinger bottle method and GC-TCD respectively. Gasification performance observed includes flare ignition, temperature progress, tar quantity, and specific gasification rate. Biomass with high moisture content produces producer gases that will be difficult to burnt because producer gases carried moisture content from biomass. Flare ignition on biomass with moisture content 7,01% would be slower 2 minutes than moisture content 4%. Flammable producer gases when net calorific value more than 3500 kJ/Nm<sup>3</sup>. Temperature progress with intermittent feeding increase faster than batch feeding. However, temperatur progress decreases when biomass was fed into the reactor. Tar content with high temperature on intermittent feeding (4.8 mg/Nm<sup>3</sup>) was smaller than batch feeding (14 mg/Nm<sup>3</sup>). In this study, spesific gasification rate (SGR) about 47.7 - 65.4 kg/m<sup>2</sup>h.*

**Keywords:** biomass, gasification, spesific gasification rate, temperature progress, tar

### Pendahuluan

Pemanasan global merupakan isu hangat yang sedang dialami dunia. Emisi gas rumah kaca dapat dikurangi dengan pemanfaatan sumber energi terbarukan. Salah satu sumber energi terbarukan adalah biomassa. Biomassa merupakan bahan organik *non-fosil* dan *biodegradable*. Jenis - jenis biomassa yang tersedia di Indonesia adalah limbah kelapa sawit, batok, sabut kelapa, sekam padi, dan tongkol jagung.

Badan Pusat Statistik (2014) melaporkan bahwa produktivitas tandan buah segar (TBS) mengalami peningkatan setiap tahunnya, produktivitas TBS mencapai 120.000.000 ton pada tahun 2013. Proses pengolahan kelapa sawit menjadi *crude palm oil* (CPO) akan menghasilkan produk samping berupa limbah padat dan cair. Dalam satu ton pengolahan TBS menghasilkan 21% CPO; 0,05% palm kernel oil (PKO); 23% tandan kosong sawit (TKS); 13,5% sabut; dan 6,5% cangkang (Fauzi, 2004).

Gasifikasi merupakan proses konversi bahan baku padat menjadi bahan bakar gas. Bahan bakar gas hasil gasifikasi diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan penggunaan *gasifying agent*. Gasifikasi dengan *gasifying agent* udara menghasilkan gas produser yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bahan bakar solar. Gasifikasi dengan *gasifying agent* O<sub>2</sub>/ *steam* menghasilkan *syngas*, pemanfaatan *syngas* sebagai bahan baku sintesis methanol; dimetil eter; serta *Fisher Tropsch fuel* (FT-fuel). Kendala utama dalam aplikasi gas hasil yaitu tar. Tar terbentuk pada tahapan pirolisis di dalam *gasifier*. Tar tersusun dari senyawa kompleks yang dapat terkondensasi pada sistem perpipaan. Penyumbatan peralatan akibat tar akan menurunkan kinerja dari instrumen.

Perumusan masalah penelitian ditinjau dari beberapa variabel meliputi kadar air, laju udara, dan pengumpanan biomassa. Biomassa dengan kadar air tinggi memiliki *Low Heating Value* (LHV) yang rendah karena gas produser membawa uap air dari tahapan pengeringan pada gasifikasi. Penyalaan *flare* lebih mudah ketika LHV > 3500 kJ/Nm<sup>3</sup>. Laju udara tinggi akan menurunkan LHV gas produser karena CO terkonversi menjadi CO<sub>2</sub>. Dengan pengumpanan *intermittent* diharapkan LHV yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan pengumpanan *batch*. Ikatan pada tar akan terputus pada temperatur tinggi, kadar tar pada pengumpanan *intermittent* akan lebih rendah karena *progress* temperatur meningkat lebih tinggi dibandingkan pengumpanan *batch*.

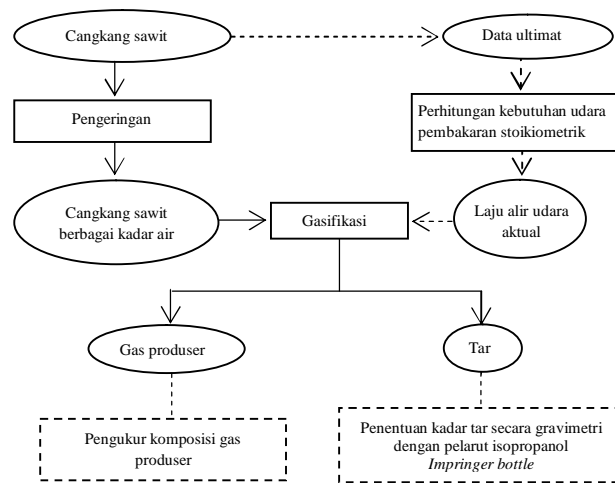
Tujuan penelitian mengevaluasi pengaruh laju udara dan waktu pengaliran pada pengumpanan *batch* dan *intermittent* terhadap *progress* temperature, nyala *flare*, kadar tar dan laju gasifikasi spesifik pada *updraft fixed bed gasifier*.



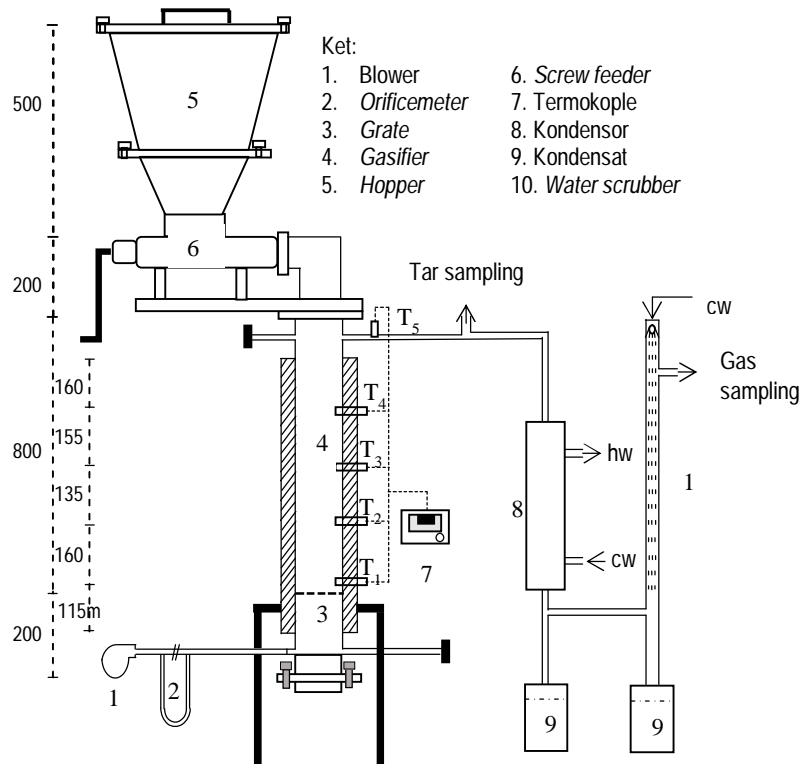
Penelitian ini dilangsungkan pada *updraft fixed bed gasifier* dengan biomassa cangkang sawit. Variasi penelitian berupa kadar air, massa arang, laju udara, dan waktu pengaliran. Pengumpanan dilakukan secara *batch* dan *intermittent* (0,5 kg setiap 12 menit). *Gasifying agent* yang digunakan berupa udara. Komposisi gas hasil dianalisis dengan *Gas Chromatography - Thermal Conductivity Detector* (GC-TCD). Untuk sifat kelarutan tar dalam larutan *isopropil alkohol* dilakukan secara *gravimetri* dengan metode *impinger bottle*.

### Metode Penelitian

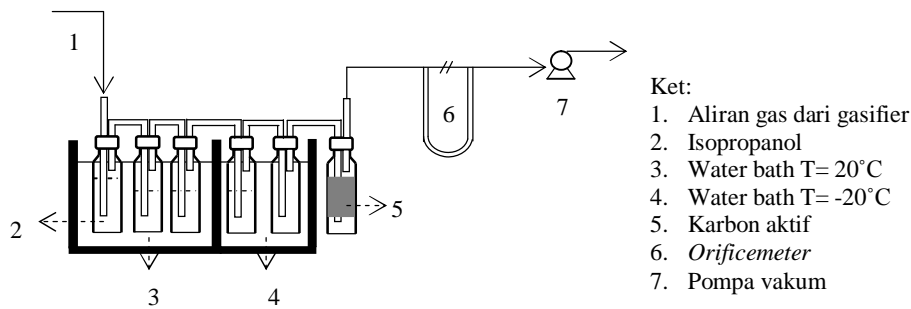
Tahapan persiapan proses gasifikasi meliputi perhitungan kadar air sampel, kalibrasi *orificemeter* pengukur laju alir udara, dan perhitungan laju alir udara stoikiometri. Dalam penentuan kadar air, sampel dikeringkan secara *oven-dry* sebelum biomassa diumpankan dalam reaktor. Perhitungan kebutuhan alir udara *stoikiometrik* dengan bantuan *microsoft excel*. Metodologi penelitian dan rangkaian alat disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Kadar tar dianalisis dengan *impinger bottle* pada pendinginan bertahap 20 dan  $-20^{\circ}\text{C}$ , absorber yang digunakan berupa *isopropanol* (Neef dkk., 2001). Rangkaian alat *tar sampling* disajikan pada Gambar 3.



Gambar 1. Metodologi penelitian



Gambar 2. Rangkaian unit gasifier



Gambar 3. Rangkaian unit tar sampling

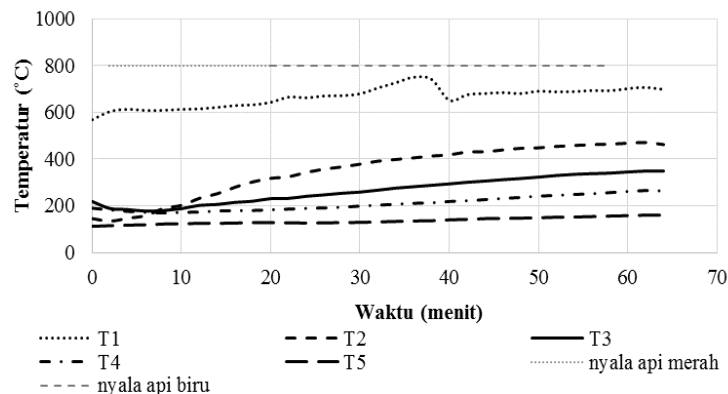
### Hasil dan Pembahasan

Biomassa yang digunakan berupa cangkang sawit dengan variasi kadar air, massa arang, laju udara, awal gasifikasi (*starter* arang), dan waktu pengaliran udara. Data yang diperoleh berupa *equivalent ratio*, *progress* temperatur, nyala *flare*, dan kuantitas tar. Rincian percobaan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rincian percobaan

No.	No Perc.	1	2	3	4	5
1	Metode pengumpanan	<i>Batch</i> 1,5 kg pada menit 0	<i>Batch</i> 2,5 kg pada menit 0	<i>Intermittent</i> 0,5 kg pada menit 0 0,5 kg setiap 12 menit <i>Input</i> akhir 0,5 kg pada menit 62	<i>Intermittent</i> 0,5 kg pada menit 0 0,5 kg setiap 12 menit <i>Input</i> akhir 1 kg pada menit 194	<i>Intermittent</i> 2 kg pada menit 0 0,5 kg setiap 12 menit <i>Input</i> akhir 0,5 kg pada menit 204
2	Massa cangkang sawit (kg)	1,5	2,5	2,5	9	11
3	Kadar air (%)	8,01	7,01	4	14	1,51
4	Massa arang (kg)	1	0,5	0,5	0,5	1
5	Laju udara (m <sup>3</sup> /jam)	11	2,5	2,5	2,5	3,5
6	Waktu pengaliran (jam)	1	1,4	1,3	4,5	7
7	Waktu <i>flare</i> nyala (menit)	4	6	2	2	2
8	Waktu <i>flare</i> mati (menit)	54	76	80	260	420
9	T <sub>2</sub> saat <i>flare</i> mati (°C)	483	517	584	628	522

*Progress* temperatur gasifikasi *batch* 1,5 kg dengan laju udara 11 m<sup>3</sup>/jam disajikan pada Gambar 4. Kadar air cangkang sebesar 8,01%. *Flare* mulai menyala di menit ke-2 dengan warna merah dilanjutkan dengan warna biru pada menit ke-20. Dengan laju udara 11 m<sup>3</sup>/jam, biomassa masuk ke daerah pembakaran. Namun, *flare* tetap menyala karena reaktor berada dalam tahapan reduksi ditandai dengan temperatur yang rendah saat awal operasi. Peningkatan waktu operasi akan memanaskan reaktor sehingga reaktor berada dalam tahapan pembakaran. *Flare* mati pada menit ke-54.

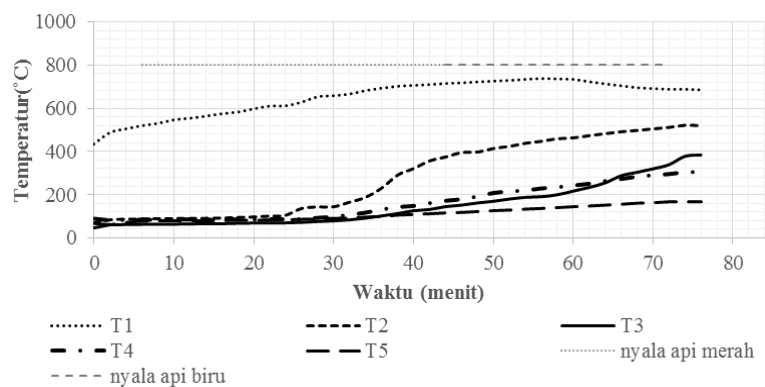


Gambar 4. *Progress* temperature pengumpanan *batch* 1,5 kg

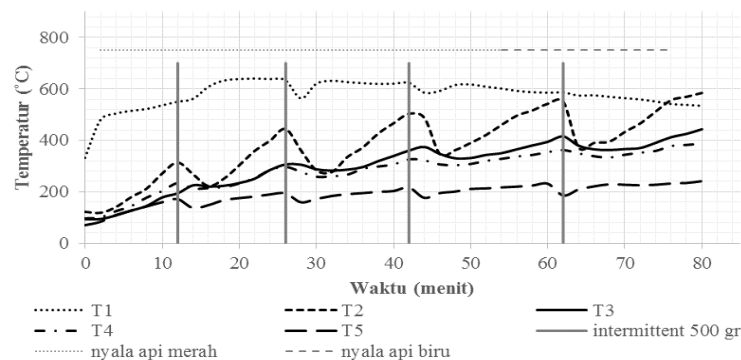
*Progress* temperatur gasifikasi *batch* dan *intermittent* 2,5 kg dengan laju udara 2,5 m<sup>3</sup>/jam disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Percobaan kedua dan ketiga dilakukan untuk menghitung laju konsumsi biomassa. Laju

konsumsi tidak dapat ditentukan pada percobaan pertama karena percobaan berada di daerah pembakaran. Kadar air cangkang pada pengumpanan *batch* sebesar 7,01%. Pengumpanan *batch* dengan total ketinggian arang dan biomassa yaitu 29 cm dari *grate* (berada diantara  $T_2$  dan  $T_3$ ). *Progress* temperatur  $T_1$  terlihat terlihat naik kemudian turun pada menit ke-62 karena abu yang menumpuk pada bagian bawah gasifier akan menurunkan temperatur oksidasi. *Progress*  $T_2$  hingga  $T_5$  terlihat konstan lalu naik saat menit ke-30 karena pada menit ke-0 hingga 30, panas dari tahapan oksidasi digunakan untuk menguapkan kandungan air yang berada pada biomassa, tahapan pirolisis dan reduksi ditandai dari peningkatan *progress* temperatur.

Pengumpanan *intermittent* dilakukan setiap 12 menit sebanyak 0,5 kg hingga menit ke-62. Kadar air cangkang yang diumpankan sebesar 4%. *Flare* mulai menyala di menit ke-2 dengan warna merah dilanjutkan dengan warna biru pada menit ke-54. Kadar air pada pengumpanan *intermittent* lebih rendah dibandingkan pengumpanan *batch* sehingga *flare* dengan pengumpanan *intermittent* lebih mudah menyala. Biomassa dengan kadar air rendah menghasilkan LHV lebih tinggi. Kadar air tinggi membutuhkan waktu yang lama dalam penyalaan *flare*, gas produser membawa kadar air yang berasal dari pengeringan biomassa (Guangul dkk., 2014). Sisa arang pada menit ke-80 sebesar 135 g. *Progress* temperatur dengan pengumpanan *intermittent* meningkat lebih cepat dibandingkan *batch* sehingga percobaan selanjutnya dilakukan secara *intermittent*.



Gambar 5. *Progress* temperatur pengumpanan *batch* 2,5 kg

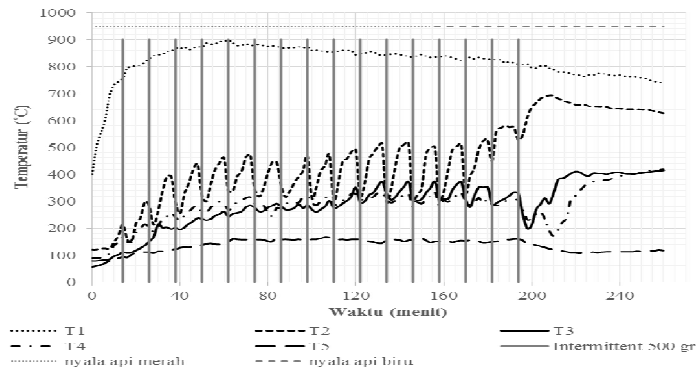


Gambar 6. *Progress* temperatur pengumpanan *intermittent* 2,5 kg

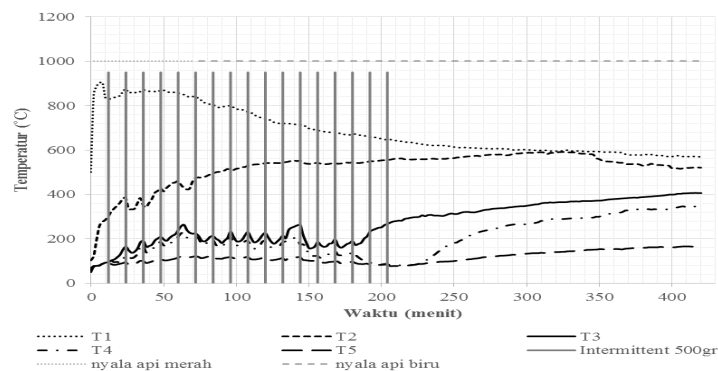
*Progress* temperatur gasifikasi *intermittent* 9 kg dengan laju udara  $2,5 \text{ m}^3/\text{jam}$  disajikan pada Gambar 7. Input arang dan biomassa awal sebesar 500 g, total ketinggian arang dan biomassa awal sebesar 10 cm dari *grate* (berada diantara  $T_1$  dan  $T_2$ ). Kadar air cangkang yang diumpankan sebesar 14,49%. LHV meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur, temperatur tinggi menunjukkan reaktor berada dalam tahapan reduksi sehingga komposisi  $\text{H}_2$  dan  $\text{CO}$  yang dihasilkan semakin tinggi (Ismail dkk., 2016). *Flare* mulai menyala pada menit ke-6 dengan warna merah dilanjutkan dengan warna biru pada menit ke-190. Warna *flare* dapat mengidentifikasi komposisi gas produser. *Flare* biru menunjukkan gas produser mengandung komposisi  $\text{H}_2$  tinggi.

*Progress* temperatur gasifikasi *intermittent* 11 kg dengan laju udara  $3,5 \text{ m}^3/\text{jam}$  disajikan pada Gambar 8. Biomassa input pada menit ke-0 sebesar 2 kg dilanjutkan dengan 500 g setiap 12 menit hingga menit ke-204. Jumlah arang sebesar 1 kg dengan tinggi 8 cm. Total ketinggian arang dan biomassa awal sebesar 28 cm dari *grate* (berada diantara  $T_2$  dan  $T_3$ ). Dengan ketinggian unggun tinggi, jika diberi gangguan *intermittent* diharapkan *progress* temperatur tidak mengalami gangguan.

Percobaan dihentikan pada menit ke-420. Peningkatan temperatur *gasifier* meningkat seiring dengan meningkatnya laju udara karena suplai  $O_2$  yang berasal dari udara bertambah (Kirsanovs dkk., 2014). Dengan laju udara  $3,5 \text{ m}^3/\text{jam}$ , *progress*  $T_1$  mencapai  $900^\circ\text{C}$  pada menit ke-12, *progress*  $T_1$  meningkat lebih cepat dibandingkan laju udara  $2,5 \text{ m}^3/\text{jam}$ . Kadar air cangkang sawit sebesar 1,51% memberikan penyalan *flare* lebih cepat dibandingkan kadar air tinggi, *flare* mulai menyala pada menit ke-2 dengan warna merah dilanjutkan dengan warna biru pada menit ke-72.



Gambar 7. *Progress* temperatur pengumpanan *intermittent* 9 kg



Gambar 8. *Progress* temperatur pengumpanan *intermittent* 11 kg

Laju gasifikasi spesifik menentukan kecepatan gasifikasi per satuan luas reaktor. Parameter ini dapat digunakan untuk perancangan *gasifier*. Laju gasifikasi spesifik dipengaruhi oleh biomassa dan waktu operasi gasifikasi. Semakin tinggi waktu operasi maka laju gasifikasi spesifik akan berkurang (Wibowo, 2014).

**Tabel 2.** Efek laju udara terhadap laju gasifikasi spesifik

No.	No Perc.	1	2	3	4	5			
1	Metode pengumpanan	<i>Batch</i> 1,5 kg pada menit 0	<i>Batch</i> 2,5 kg pada menit 0	<i>Intermittent</i> 0,5 kg pada menit 0  0,5 kg setiap 12 menit <i>Input</i> akhir 0,5 kg pada menit 62	<i>Intermittent</i> 0,5 kg pada menit 0  0,5 kg setiap 12 menit <i>Input</i> akhir 1 kg pada menit 194	<i>Intermittent</i> 2 kg pada menit 0  0,5 kg setiap 12 menit <i>Input</i> akhir 0,5 kg pada menit 204			
2	Massa cangkang sawit (kg)	1,5	2,5	2,5	9	11			
3	Waktu operasi (menit)	60	84	80	260	420			
4	Waktu tar sampling (menit)	-	40	40	58	120	72	120	184
5	Temperatur permukaan atas unggun (°C)	-	321	466	443	494	224	226	240
6	Laju udara (m <sup>3</sup> /jam)	11	2,5	2,5	2,5	3,5			
7	<i>Equivalent ratio</i> (ER)	1	0,33	0,31	0,29	0,53			
8	Laju gasifikasi spesifik (kg/jam.m <sup>2</sup> )	47,7	53,7	56,4	64,6	65,4			

Efek laju udara dan waktu pengaliran terhadap laju gasifikasi spesifik disajikan pada Tabel 2. Pada pengumpanan *batch* dengan biomassa 1,5 kg memberikan laju gasifikasi spesifik paling rendah karena kondisi reaktor masuk ke daerah pembakaran, waktu pengaliran menjadi lebih singkat karena biomassa mudah terbakar. Pada percobaan *batch* dan *intermittent* dengan total biomassa 2,5 kg memberikan ER yang berbeda karena koreksi analisis ultimat dengan kadar air yang diumpankan pada *gasifier*.

Laju gasifikasi spesifik juga dipengaruhi oleh pasokan laju udara. Semakin tinggi laju udara maka laju spesifik gasifikasi akan meningkat. Biomassa akan lebih cepat terkonsumsi pada laju udara tinggi sehingga laju spesifik gasifikasi akan meningkat. Pengumpanan *intermittent* dengan laju udara 3,5 m<sup>3</sup>/jam memiliki laju gasifikasi spesifik lebih tinggi dibandingkan laju udara 2,5 m<sup>3</sup>/jam. Basu (2013) melaporkan bahwa ratio tinggi/diameter *updraft fixed bed gasifier* berkisar 3 dengan diameter reaktor 3-4 cm agar laju gasifikasi spesifik mendekati 150 kg/m<sup>2</sup>.jam. Design *gasifier* percobaan memiliki tinggi dan diameter 80 dan 15,5 cm. Ratio tinggi/diameter reaktor yang digunakan yaitu 5,3. Laju gasifikasi spesifik percobaan lebih rendah dibandingkan pustaka karena ratio tinggi/diameter tidak memenuhi sehingga design reaktor perlu dimodifikasi agar laju gasifikasi spesifik tercapai.

Tar sampling merupakan penelitian pendukung untuk mengevaluasi tar yang terdapat pada gasifikasi dengan *updraft fixed bed gasifier*. Tar berhubungan erat dengan temperatur reaktor, temperatur yang tinggi akan memutuskan ikatan pada tar sehingga kadar tar akan semakin rendah. Tar *sampling* setiap percobaan disajikan pada Tabel 2.

Kadar tar yang diperoleh dari pengumpanan *intermittent* lebih rendah dibandingkan pengumpanan *batch* karena *progress T<sub>2</sub>* dengan pengumpanan *intermittent* lebih tinggi dibandingkan dengan pengumpanan *batch*. Ketinggian unggun pada gasifikasi 9 kg berada di bawah *T<sub>2</sub>* sehingga tar dalam fasa gas akan melewati *T<sub>2</sub>*. *Progress T<sub>2</sub>* pada pengambilan sampling menit ke-58 lebih rendah dibandingkan menit ke-120. Namun, *progress T<sub>2</sub>* pada menit ke-120 menghasilkan kadar tar yang lebih rendah diakibatkan tar ikut menguap saat penguapan *isopropanol*. Ketinggian unggun gasifikasi 11 kg berada di bawah *T<sub>3</sub>* sehingga tar yang terbawa dalam gas produser akan melewati *T<sub>3</sub>*.

Basu (2013) melaporkan bahwa kandungan tar dari *updraft gasifier* berkisar 30 - 150 g/Nm<sup>3</sup>. Tar yang didapat dari percobaan memiliki nilai yang lebih rendah dari literatur akibat sebagian kecil tar ikut menguap saat pengeringan dengan oven.

## Kesimpulan

Pengaruh berbagai variabel telah dikaji dalam penelitian ini untuk mengevaluasi kinerja gasifikasi. Biomassa dengan kadar air rendah akan memberikan penyalaan *flare* lebih cepat karena gas produser membawa sedikit uap air. *Progress* temperatur meningkat lebih cepat dengan pengumpanan *intermittent*, transfer panas dari tahapan oksidasi lebih cepat pada ketinggian unggun yang rendah. *Progress* temperatur pengumpanan *intermittent* lebih tinggi sehingga kadar tar bernilai rendah. Laju spesifik gasifikasi tertinggi diperoleh dengan pengumpanan *intermittent* yaitu 65,4 kg/jam.m<sup>2</sup>.



## Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai dengan Program Riset Dasar, Hibah Kompetensi, 2015-2016

## Daftar Pustaka

- Basu P. Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction. Amerika: Dalhousie University and Greenfield Research Incorporated. 2013: 291.
- BPS. Produksi Perkebunan Menurut Provinsi dan Jenis Tanaman, 2014. <http://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1672> (diakses 18 Maret 2016)
- Fauzi Y. Budidaya Pemanfaatan Hasil & Limbah Analisis Usaha & Pemasaran. Jakarta: Penebar Swadaya. 2004
- Guangul FM, Sulaiman SA, Ramli A. Study of the effects of operating factors on the resulting gas of oil palm fronds gasification with a single throat downdraft gasifier. *Renewable Energy* 2014; 72: 271 – 283
- Ismail TM, ElSalam MA. Parametric studies on biomass gasification process on updraft gasifier high temperature air gasification. *Applied Thermal Engineering* 2017; 112: 1460 – 1473.
- Kirsanovs V, Zandeckis A, Blumberga D, Veidenbergs I. The influence of process temperature, equivalent ratio, and fuel moisture content on gasification process: A review. *Research Gate* 2014.
- Neeft JPA, Knoef HAM, Zielke U, Sjöström K, Hasler P, Simell PA, Dorrington MA, Thomas L, Abatzoglou N, Deutch S, Greil C, Buffinga GJ, Brage, dan Suomalainen M. Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases. Energy project (Tar protocol), Canada: National Resources; 2001.
- Wibowo WA. Pengaruh Laju Alir Udara terhadap Kinerja Kompor Gasifikasi Tongkol Jagung. *Ekulibrium*. 2014; (13): 7-10.





## **Lembar Tanya Jawab**

### **Moderator: Abdullah Kunta-arsa (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)**

1. Penanya : Tedi (Universitas Parahyangan)

Pertanyaan : Penelitian ini menggunakan cangkang sawit. Lalu apakah dikeringkan dahulu? Dan berapa persen kadar air yang terkandung di dalamnya?

Jawaban : Cangkang sawit dikeringkan dengan oven dryer, dengan kadar air yang di variasikan.
2. Penanya : Arum Fajar (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)

Pertanyaan : Berapa lama proses dilakukan agar dapat dikatakan sebagai waktu optimum dan juga produk yang dihasilkan juga dapat maksimum?

Jawaban : Waktu operasi pada waktu 400 menit. Hal itu ditandai dengan produk CH<sub>4</sub> yang sedikit.
3. Penanya : Ramli Sitanggung (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)

Pertanyaan : Gasifikasi yang disebutkan itu seperti apa?

Jawaban : Cangkang di gasifikasi.

