

PENGARUH VARIASI *FLOWRATE* UDARA BAKAR TERHADAP TEMPERATUR GASIFIKASI BIOMASSA DAN KESTABILAN GAS PRODUK

Rudi Hariyanto *

Abstraksi

Gasifikasi biomassa merupakan salah satu metode untuk merubah bahan bakar padat seperti tandan kelapa sawit, sekam padi, kayu dan sampah organik lainnya menjadi gas mampu bakar seperti CO, CH₄ dan H₂. Selama proses gasifikasi biomassa mengalami urutan reaksi yang kompleks (*drying* / pengeringan, pirolisis, *combustion* / pembakaran, reduksi). Daerah-daerah gasifikasi tersebut yaitu pengeringan, pirolisa, pembakaran dan reduksi diidentifikasi berdasar jangkauan temperatur pada daerah tersebut. Temperatur daerah pengeringan, pirolisa dan reduksi sangat tergantung pada tingginya temperatur pada daerah pembakaran. Oleh karenanya kecepatan reaksi pembakaran yang terjadi di daerah pembakaran merupakan salah satu faktor penting yang menentukan tingginya temperatur di daerah tersebut. Penambahan *flowrate* udara bakar merupakan salah satu metode yang mudah dan murah untuk meningkatkan kecepatan pembakaran. Dari hasil pengujian yang dilakukan ternyata didapatkan bahwa penggunaan *flowrate* udara bakar 292,49 - 413,73 lpm untuk proses gasifikasi biomassa 50% tandan kosong dan 50% tempurung kelapa sawit adalah yang mampu menghasilkan temperatur gasifikasi yang paling stabil dan mampu menghasilkan gas produk dengan nyala paling lama yaitu 25 menit.

Kata kunci: Biomassa, gasifikasi, *drying*, pirolisis, *combustion*, reduksi, *flowrate*.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Gasifikasi merupakan satu langkah luar biasa dalam menkonversi biomassa menjadi bahan bakar gas karena proses pembakarannya terkendali [Fadjri Vidian, 2004]. Gasifikasi biomassa merupakan salah satu metode untuk merubah bahan bakar padat seperti tandan kelapa sawit, sekam padi, kayu dan sampah organik lainnya menjadi gas mampu bakar seperti CO, CH₄ dan H₂ [<http://www.tarweb.net>].

Dalam proses gasifikasi, diharapkan temperatur pembakaran bisa diatas 1000^oC, sehingga disamping tar yang dihasilkan akan terpecah sempurna, juga akan menghasilkan daerah pirolisa yang semakin luas. Secara teoritis, semakin luas daerah pirolisa maka kualitas gas yang dihasilkan akan lebih baik, karena akan menghasilkan lebih banyak produk pirolisa terutama gas mampu bakar dan char yang digunakan pada proses berikutnya.

Kecepatan reaksi pembakaran yang terjadi di daerah pembakaran merupakan salah satu faktor penting yang menentukan tingginya temperatur di daerah tersebut. Dan salah satu metode yang paling sederhana, mudah dan murah untuk meningkatkan kecepatan pembakaran adalah dengan penambahan *flowrate* udara bakar. Idealnya, proses pembakaran yang berlangsung lebih cepat maka temperatur pembakaran yang dihasilkan akan lebih tinggi.

Tujuan Penelitian

Tujuan utama dalam penelitian ini adalah meneliti seberapa besar pengaruh *flowrate* udara bakar terhadap temperatur gasifikasi di dalam gasifier dan terhadap kestabilan gas produk yang dihasilkan berdasar lama dan intensitas nyala api berdasar pengamatan visual.

* Dosen Jurusan Mesin Fak. Teknik Univ. Merdeka Malang

KAJIAN PUSTAKA

Udara sebagai Media Gasifikasi

Penggunaan udara sebagai media gasifikasi adalah yang paling mudah dan murah. Udara mengandung 79% volume nitrogen yang tidak bereaksi dengan bahan bakar (biomassa). Idealnya jumlah nitrogen dalam gas produk 45%. Sehingga penggunaan udara sebagai media gasifikasi dengan nitrogen ikut dalam gas produk nilai panas dari gas produk lebih rendah berkisar 4 – 5 MJ/m³. Gas produk dengan nilai panas ini sesuai untuk aplikasi pada ketel uap dan *engine*. Komposisi gas produk dari media gasifikasi udara adalah CO, CO₂, H₂, CH₄, N₂ dan tar.

Gasifikasi Biomassa

Gasifikasi adalah proses dimana bahan organik diuraikan melalui reaksi termal, dengan suplai udara terbatas yaitu 20% s/d 40% udara stoikiometri sebagai perantara oksidasi sehingga terjadi pembakaran tak sempurna (*partial combustion*). Proses ini menghasilkan campuran gas yang mudah menyala (*carbon monoksida, hydrogen, methane*), emisi (CO₂, NO_x), bahan padat (*Char, Ash*), dan bahan cair (*steam, tar*). Umumnya gas hasil gasifikasi disebut *biogas, producer gas* atau *syngas* [Peter Luby, 2003]

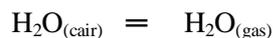
Selama proses gasifikasi biomassa mengalami urutan reaksi yang kompleks (*drying* /pengeringan, *pyrolysis, combustion* / pembakaran, reduksi). Dimana reaksi tersebut dapat dibagi menjadi dua proses [Robert Manurung, 1981].

- **Proses pragasifikasi yang terdiri dari dua phase**

Phase I → Pengeringan / *Drying* (25°C s/d 150°C)

Moisture (kebasahan) yang terkandung didalam bahan bakar (biomassa) dipisahkan kedalam bentuk uap, tanpa penguraian secara kimia dari bahan bakar.

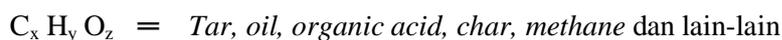
Biomassa dengan *moisture* + panas = Biomassa tanpa *moisture* + *steam*



Phase II → Pirolisis (150°C s/d 900°C)

Bahan baku yang turun lebih ke bawah akan mengalami pemanasan pada temperatur yang lebih tinggi lagi, yang menyebabkan bahan baku terpecah menjadi arang (*char*), *tar*, minyak dan produk pirolisa lain.

Biomassa tanpa *moisture* + panas = limbah carbon (*charcoal*), *Tar, water, ash, CO, CO₂, CH₄, H₂, hydrocarbon* dan senyawa organik lainnya.



- **Proses Gasifikasi yang terdiri dari dua phase**

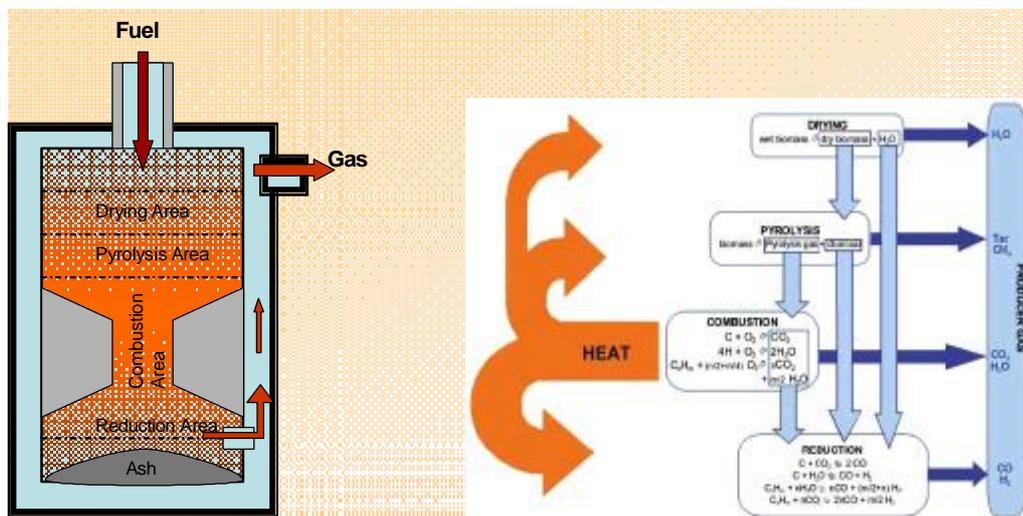
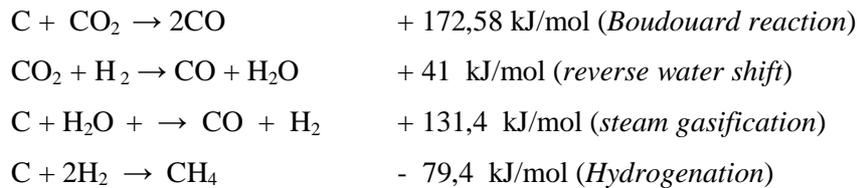
Phase I → Pembakaran (*combustion*) (900°C s/d 1400°C)

Arang (C), *tar*, minyak dan gas hasil tahap pirolisa kemudian akan teroksidasi oleh oksigen dari udara bakar. Panas yang dihasilkan dari reaksi ini digunakan untuk proses pengeringan, pirolisa dan reaksi *endoterm* lainnya.



Phase II → Reduksi (600°C s/d 1400°C)

Dibawah daerah oksidasi terjadi reaksi reduksi, reaksi tukar dan metanasi. Gas yang bernilai kalor terutama dihasilkan di daerah ini.



Gambar 1. Skema Reaksi Gasifikasi dan Pembentukan Tar

Dalam proses gasifikasi jumlah udara pembakaran dibatasi antara 20% - 40% udara stoikiometri atau dengan equivalensi ratio (ER) 0,2 – 0,4.

Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Bakar

Industri pengolahan tandan buah segar (*fresh fruit bunches/FFB*) kelapa sawit untuk menghasilkan *crude palm oil* (CPO) akan menghasilkan limbah padat berupa tandan kosong (*empty fruit bunches/EFB*), serabut (*fiber*) dan tempurung (*shell*).

Satu ton tandan buah segar akan menghasilkan [Cogens, 2001]:

- 230 – 250 kg EFB ~ 35 kWh
- 130 – 50 kg fiber ~ 45 kWh
- 60 – 65 kg shell
- 160 – 200 kg CPO

Jika tandan kosong dimanfaatkan untuk menghasilkan energi maka setiap 1 (satu) ton tandan buah segar akan menghasilkan 230 – 250 kg tandan buah kosong yang ekuivalen terhadap energi yang dapat dihasilkan sebesar 35 kWh.

Tabel 1. Analisa Proximat & Ultimat Limbah Kelapa Sawit [Indarti, 2001, Robert M, 1981]

Parameter (% berat)	Tandan Kosong	Tempurung	50% Tandan 50% Tempurung
C	49,6	47,62	48,61
H	6,26	6,2	6,23
S	0,1	0	0,05
O	38	43,38	40,69
Moisture	42,65	8,6	25,63
Ash	4,34	2,1	3,22
LHV (kCal/kg)	4534	4565	4549

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah Gasifikasi

Daerah gasifikasi dalam gasifier selama proses pembakaran berlangsung diperlihatkan pada gambar 2a-c. Gambar tersebut, menjelaskan adanya daerah-daerah gasifikasi dari masing-masing variasi kapasitas udara bakar yang digunakan yaitu pengeringan, pirolisa, pembakaran dan reduksi yang diidentifikasi dengan jangkauan temperatur pada daerah tersebut.

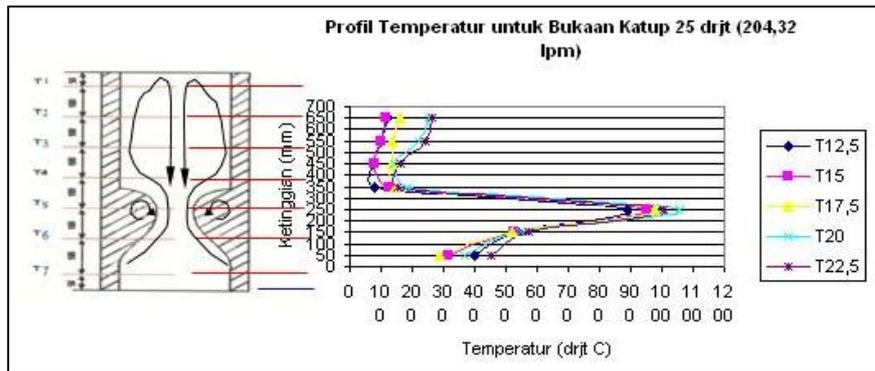
Ada perbedaan yang menarik dari profil temperatur untuk penggunaan kapasitas udara sampai dengan 292,49 lpm dengan yang menggunakan kapasitas udara bakar 413,73 lpm keatas. Daerah pengeringan untuk kapasitas udara bakar 413,73 lpm sampai 515,46 lpm terlihat lebih sempit (mulai ketinggian 450 mm keatas) dibanding dengan yang 292,49 lpm kebawah (mulai ketinggian 350 mm keatas). Dengan demikian daerah pirolisa untuk kapasitas pembakaran diatas 413,73 lpm menjadi lebih luas. Sedangkan untuk daerah reduksi, terlihat bahwa penggunaan kapasitas udara bakar 413,73 lpm sampai 515,46 lpm mampu menghasilkan temperatur daerah reduksi yang lebih tinggi yaitu diatas 400°C. Hal ini disebabkan oleh nilai ER yang tinggi yaitu kurang lebih 0,6 untuk kapasitas udara 413,73 lpm keatas.

Tabel 2. Pengaruh Kapasitas Udara Bakar Terhadap Laju Pemakaian Bahan Bakar dan Nilai ER

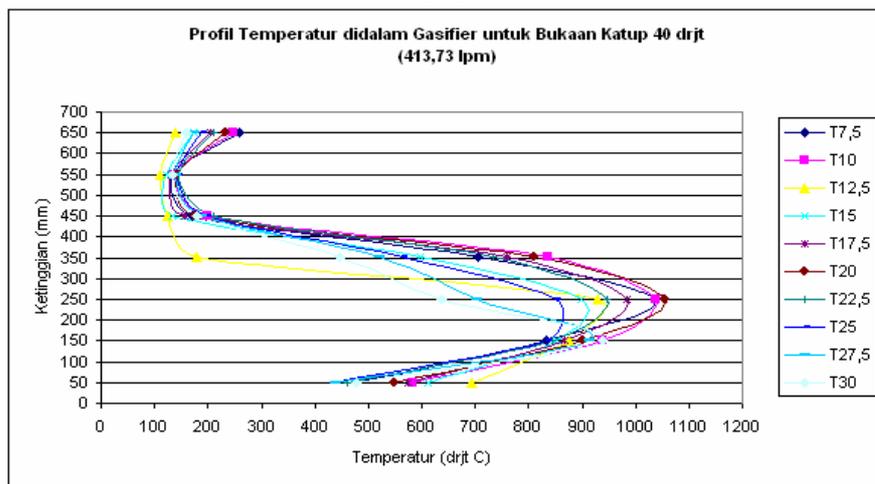
Bukaan Valve (drjt)	Kapasitas Udara Bakar (lpm)	Lama Bahan Bakar Habis (menit)	Masukkan Bahan Bakar (kg)	Lama Nyala (menit)	A/F untuk $\varnothing = 1$ (m ³ /kg)	nilai ER
15	53.41	-	4	-	5,01	-
20	100.89	50	4	-	5.01	0.25
25	204.32	35	4	12,5	5.01	0.36
30	292.49	35	4	25	5.01	0.44
40	413.73	30	4	25	5.01	0.62
50	471.38	25	4	20	5.01	0.59
85	500.2	25	4	17,5	5.01	0.62
90	515.46	22.5	4	15	5.01	0.58

Semakin tinggi nilai ER berarti total suplai udara bakar aktual selama waktu operasi untuk proses pembakaran tersedia lebih besar (tabel 2.). Sehingga selama waktu operasi pembakaran, jumlah bahan bakar yang terbakar semakin banyak. Dengan demikian jumlah bara yang dihasilkan didaerah pembakaran dan reduksi juga akan lebih banyak. Kemudian ketika kondisi

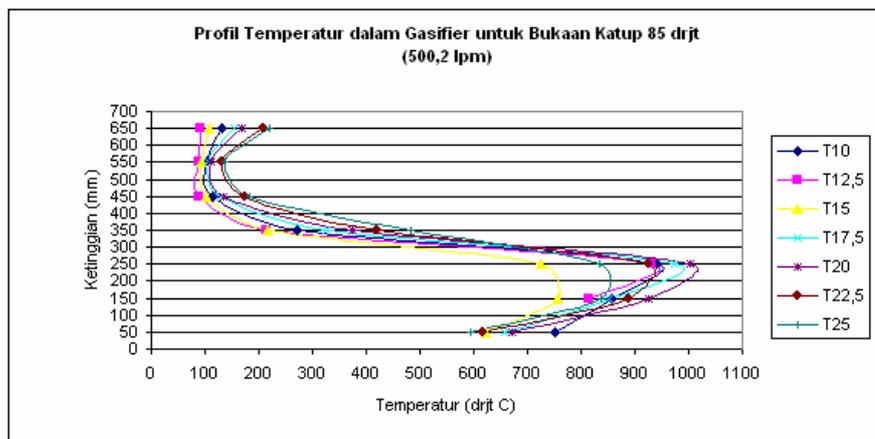
ini ditunjang dengan kecepatan pembakaran yang sesuai/ideal sebagaimana penggunaan kapasitas udara bakar 413,73 lpm maka akan dihasilkan proses pembakaran yang stabil dan temperatur pembakaran yang tinggi di daerah pembakaran, yang akhirnya berpengaruh terhadap tingginya temperatur dan luas dari daerah pirolisa serta daerah reduksi. Hal tersebut merupakan modal penting bagi proses gasifikasi dalam menghasilkan gas produk dengan kualitas seperti yang diharapkan.



(a)



(b)

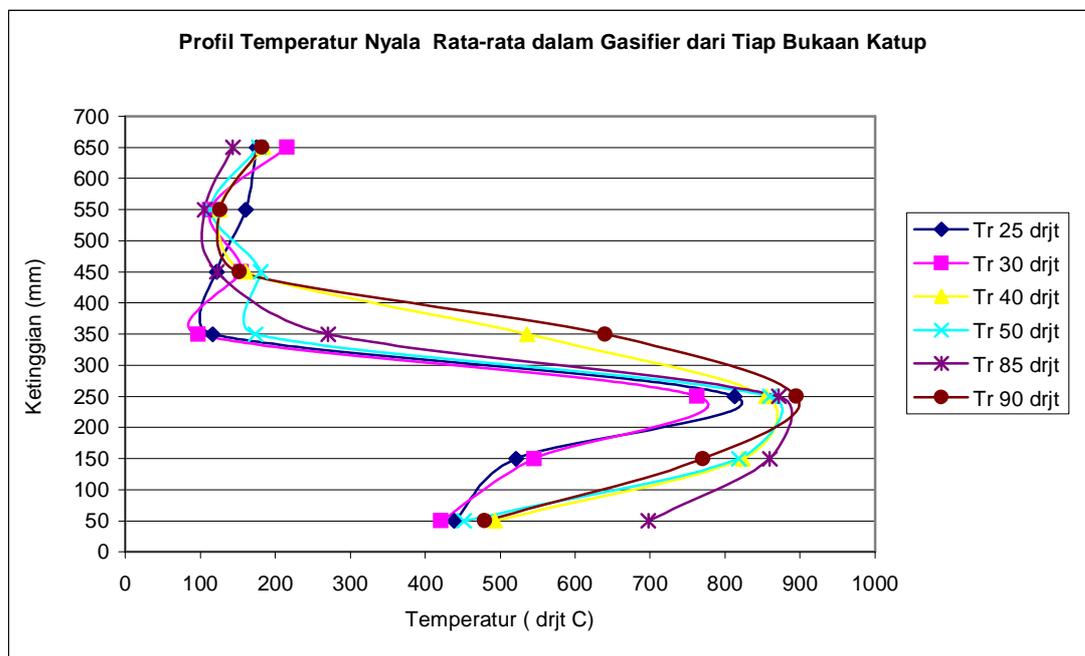


(c)

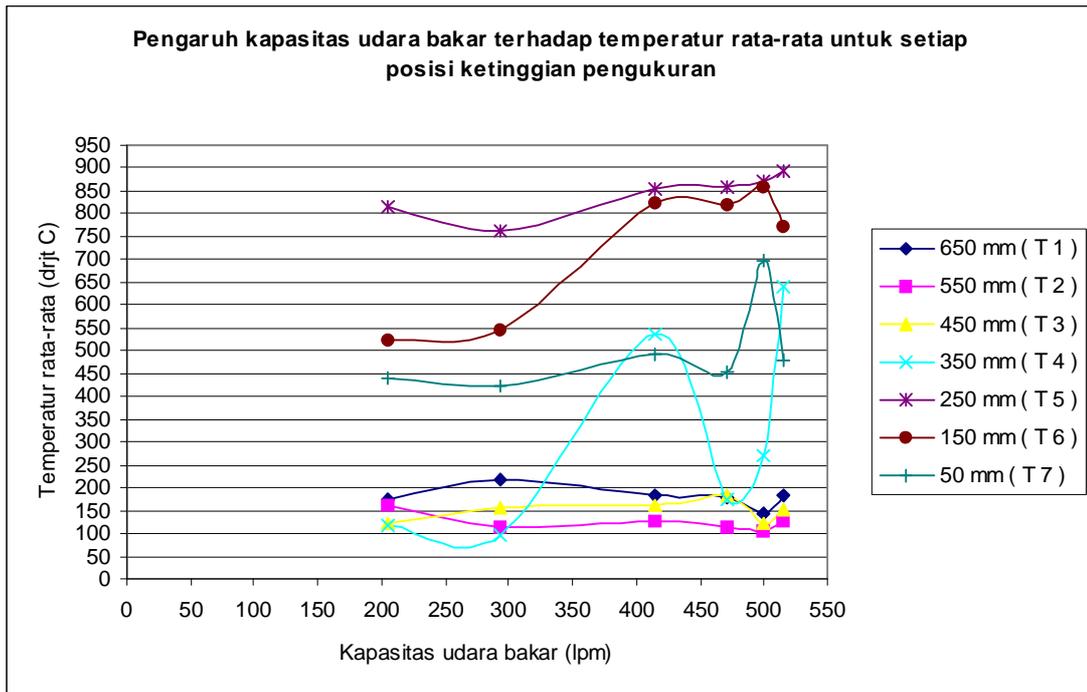
Gambar 2a-c. Profil Temperatur Dalam Gasifier Berbagai Flowrate Udara Bakar

Pengaruh *Flowrate* Udara bakar terhadap Temperatur Gasifikasi

Bila dibandingkan, *tren* profil temperatur rata-rata untuk semua variasi kapasitas udara bakar sebagaimana terlihat pada gambar 3, maka daerah pengeringan dan pirolisa yang terbentuk sama. Daerah pengeringan terjadi pada ketinggian antara 350 – 700 mm dan daerah pirolisa pada ketinggian antara 250 – 350 mm. Menarik dicermati, pada ketinggian antara 0 – 350 mm (daerah reduksi, pembakaran dan pirolisa), temperatur gasifikasi didalam gasifier untuk kapasitas udara bakar diatas 413,73 lpm khususnya untuk yang nilai ER yang besar terlihat lebih tinggi. Jika dilihat secara sepintas pada grafik 3, seakan-akan kapasitas udara bakar terbesar (515,46 lpm), mampu menghasilkan temperatur rata-rata 5 (tenggorokan gasifier) tertinggi meskipun mempunyai nilai ER lebih kecil. Namun jika lebih dicermati lagi, daerah pembakarannya lebih sempit dibanding yang menggunakan kapasitas udara bakar dengan nilai ER lebih tinggi. Kondisi tersebut ditunjukkan oleh nilai temperatur rata-rata 6 untuk kapasitas udara 515,46 lpm bernilai lebih kecil dan pernyataan ini dikuatkan oleh gambar 4. Hal ini berarti semakin besar nilai udara bakar (ER) maka proses reaksi pembakaran akan berlangsung lebih baik. Dengan demikian energi panas yang dihasilkan di daerah pembakaran akan lebih besar dan ini semakin memungkinkan terjadinya reaksi yang memerlukan panas utamanya untuk daerah pirolisa dan reduksi yang merupakan tempat pembentukan gas mampu bakar dan penguraian unsur dari tar.

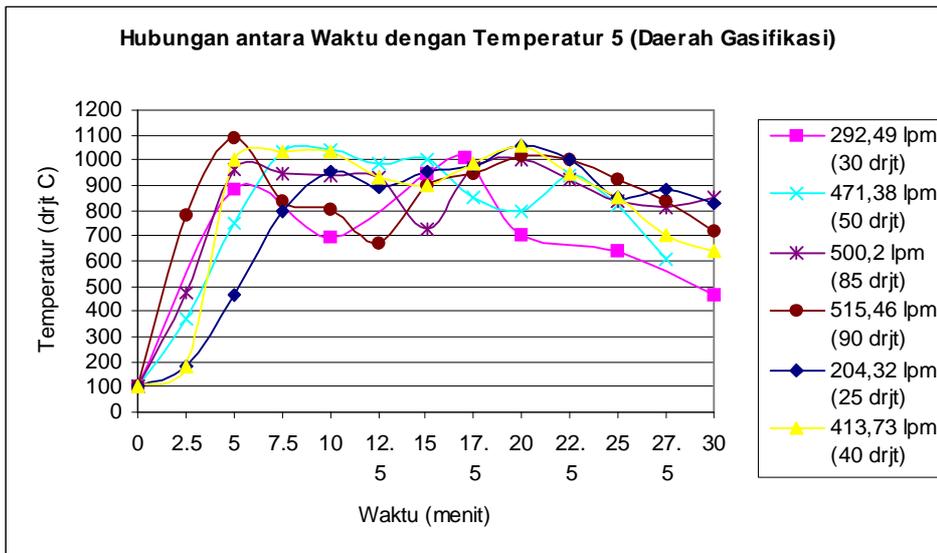


Gambar 3. Profil Distribusi Temperatur Nyala Rata-rata dalam Gasifier untuk Setiap Bukaannya Katup

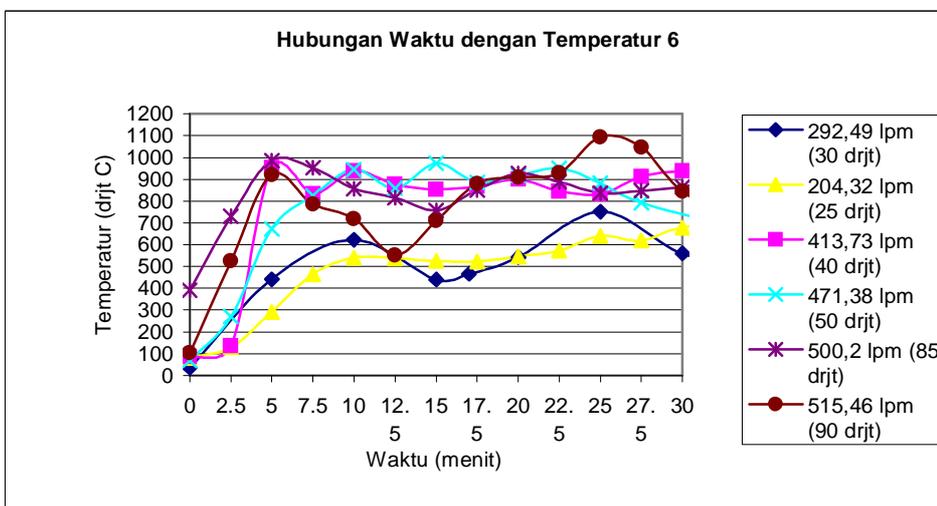


Gambar 4. Profil Pengaruh Kapasitas Udara Bakar Terhadap Temperatur Rata-Rata Untuk Setiap Posisi Pengukuran Dalam Gasifier

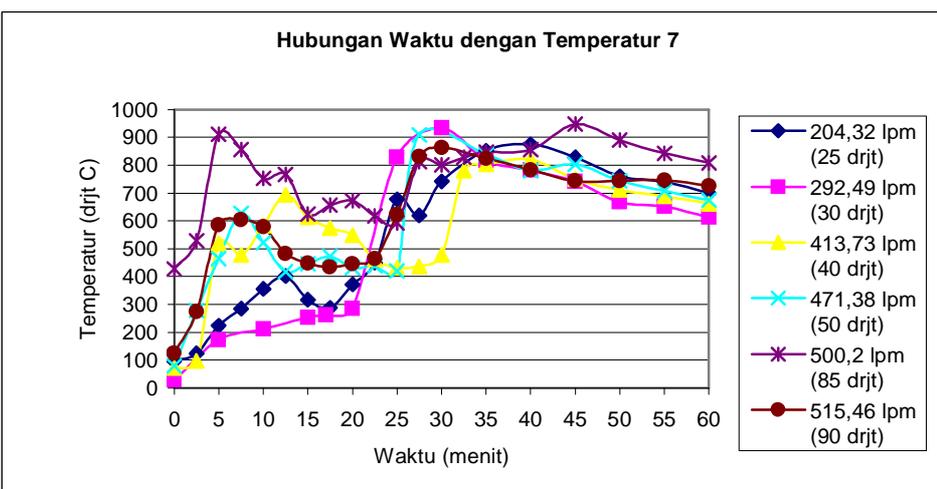
Bila kemudian grafik yang terbentuk dari masing-masing *flowrate* udara bakar dibandingkan, maka berdasar gambar 5a-c didapatkan bahwa proses pembakaran dengan nilai ER = 0,62 adalah yang terbaik, karena menghasilkan proses pembakaran yang stabil di daerah pembakaran (posisi pengukuran 5 dan 6) dan ini berpengaruh terhadap kestabilan temperatur didaerah reduksi (posisi 7). Adapun jika kemudian dihubungkan dengan tabel 2 dan gambar 6, maka sekalipun sama-sama memiliki nilai ER = 0,62 tapi penggunaan kapasitas udara 413,73 lpm terlihat lebih baik daripada 500,2 lpm. Hal ini didasarkan atas kecepatan menghasilkan gas mampu bakar, lama bahan bakar habis dan lama nyala api yang lebih baik serta lebih rendahnya temperatur gas produk sehingga memungkinkan bisa langsung digunakan pada aplikasi yang lain.



(a)

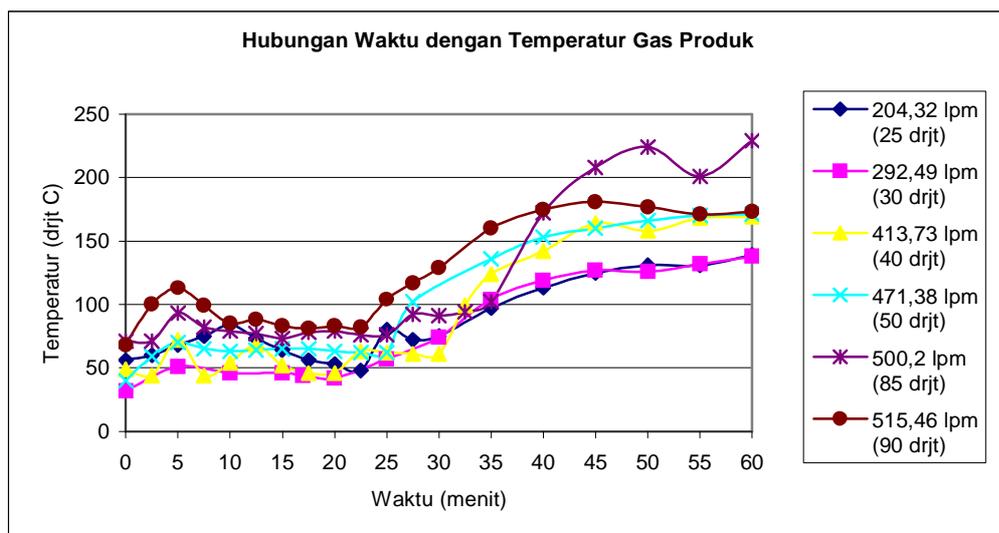


(b)



(c)

Gambar 5 a-c Pengaruh Kapasitas Udara Bakar Terhadap Temperatur 5, 6 Dan 7 Berdasar Waktu Pengamatan



Gambar 6. Pengaruh Kapasitas Udara Bakar Terhadap Temperatur Gas Produk Berdasar Waktu Pengamatan

SIMPULAN

Hasil pengujian yang dilakukan ternyata didapatkan bahwa penggunaan *flowrate* udara bakar 292,49 - 413,73 lpm untuk proses gasifikasi biomassa 50% tandan kosong dan 50% tempurung kelapa sawit adalah yang mampu menghasilkan temperatur gasifikasi yang paling stabil dan mampu menghasilkan gas produk dengan nyala paling lama yaitu 25 menit.

DAFTAR PUSTAKA

A thermie Programme Action, 1995, *Combustion and Gasification of Agricultural Biomass – Technologies & Application*, Journal, Desember.

[http:// www.tarweb.net](http://www.tarweb.net)

Indarti, Paper, 2001, *Regional Seminar on Commercialization of Biomass echnology*, Guangzhou, China.

JH. Howson, K, Cosnello, 2002, *Risk Reduction Measures For The Development of Biomass Rotary Kiln Gasification*, Journal, ETSU B/U1/00646/REP.

Lacrose, Indovics, Cogens, 2001, *Involvement in Promoting Clean (Green) and Effisiensi Biomass Cogeneration Project in Asean*, Umro Expert Group Meeting on Industry and Clean Development Mechanism.

Luby, Peter, 2003, *Advanced System in Biomass Gasification – Commercial Reality & Outlook*, Paper, The III International Slovak Biomass Forum, Bratislava, February 3 – 5.

Manurung, Robert. 1981, *Gasification and Pyrolitik Conversion of Agriculture and Forestry Wastes*, Renewable Energy Review, Journal: Vol. 3, No. 1.

Surjosatyo, Adi. Ani, F.N, 2002, *Development of Two Stage Biomass Combustion System on Reduction The Gas Emission*, Paper, Journal Teknologi (A) Universitas Teknologi Malaysia.

SVB, Van Passen, JHA Kiel, 2004, *Tar Formation in Fluidised Bed Gasification – Impact of gasifier Operating Conditions*, Paper, Presented at The 2nd World Conference & Technology Exhibition on Biomass for Energy Industry & Climate Protection, Rome, Italy, 10 – 14 May.

- Vidian, Fadji, 2004, **Studi Gasifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Gasifier Unggun Tetap Aliran Ke bawah**, Tesis, Program Pascasarjana Bidang Ilmu Teknik, Universitas Indonesia.
- ZA, Zaenal, Rifau, Ali, GA, Quadir, KN, 2003, Seetharamu, ***Eksperimental Investigation of a Downdraft Biomass Gasifier***, Paper, Biomass Bioenergi Journal, Januari.