

# FLUIDIZED BED GASIFICATION BERBAHAN BAKAR BIOMASSA DAN BATUBARA DENGAN VARIASI KOMPOSISI BAHAN BAKAR

I Putu Angga Sukma Primantara<sup>1)</sup>, I Nyoman Suprpta Winaya<sup>2)</sup> dan I Made Widiyarta<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Pasca Sarjana Teknik Mesin, Kampus Sudirman Denpasar Bali

<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362

e-mail: anggasukma@gmail.com

**Abstrak** :Gasifikasi merupakan sistem konversi bahan bakar mentah untuk dirubah menjadi gas yang mampu bakar, di beberapa negara gas ini akan digunakan untuk bahan bakar mesin diesel pada pembangkit listrik. Batubara biasanya digunakan sebagai bahan bakar utama dalam proses gasifikasi karena memiliki karbon dan nilai kalor yang cukup tinggi, namun di sisi lain batubara memiliki tingkat polusi yang cukup besar jika digunakan terus menerus dan batubara merupakan unrenewable energi dan ketersediaanya mulai menipis. Untuk mengatasi masalah tersebut dapat dilakukan dengan cara co-gasifikasi, dimana sistem ini adalah pencampuran dua bahan bakar atau lebih yang bertujuan untuk meningkatkan performansi proses gasifikasi. Penelitian ini menggunakan empat jenis biomassa dicampur dengan batubara pada variasi komposisi massa (50%-50%, 60%-40%, 70%-30%) dengan temperatur operasi 600<sup>o</sup>C. Reaktor gasifikasi berteknologi fluidized bed dengan diameter gasifier 96cm dan tinggi 162 cm menggunakan *oil burner* untuk memanaskan hamparan bed hingga mencapai teperatur operasi agar dapat terjadinya *auto ignition*. Keunggulan reaktor ini dapat digunakan untuk mengkonversi berbagai jenis bahan bakar dengan nilai kalor yang rendah untuk menghasilkan gas mampu bakar. Distribusi temperatur yang merata sepanjang reaktor diperoleh pada semua penelitian, persentase gas mampu bakar mengalami peningkatan dalam setiap penelitian, efisiensi konversi karbon tertinggi sebesar 86.10% dan efisiensi gasifikasi sebesar 95.09% pada penelitian komposisi 70% cangkang kelapa sawit dengan 30% batubara. Gas mampu bakar dan efisiensi gasifikasi mengalami peningkatan ketika bertambahnya massa biomassa pada perbandingan komposisi massa bahan bakar.

**Keywords:** Co-Gasifikasi, Fluidized Bed Gasification, Biomassa, Batubara

**Abstract:** *Gasification is the conversion of raw fuel system to be converted into fuel gas, in some countries this gas will be used to fuel diesel engines in power generation. Coal is typically used as the primary fuel in the gasification process because it has carbon and high calorific value, but the level of pollution is quite large if used continuously and its availability is unrenewable. To overcome these problems can be solve by co-gasification, where the system is mixing two or more fuels to improve the performance of the gasification process. This study uses five types of biomass mixed with coal at a mass composition variation (50%-50%, 60%-40%, 70%-30%) with operating temperature 600<sup>o</sup>C. Fluidized bed gasification reactor with a diameter of 96cm and height of the gasifier 162 cm using an oil burner to heating the expanse of the bed until it reaches operating teperatur to be able the auto ignition. The advantages of this reactor can be used to convert various types of fuels with low calorific value and gas is able to produce as fuel. Uniform temperature distribution throughout the reactor was obtained in all studies were influenced by the volatile content of the fuel. Percentage of CO, H<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> have increased in each study are influenced by the content of fixed carbon in the fuel mixture. The highest carbon conversion efficiency of 86.10% and 95.09% for the cold gas efficiency at 70% composition studies palm shells with 30% coal. Flame gas and gasification efficiency increased when increasing the ratio of the mass of biomass on fuel composition.*

**Keywords:** *co-gasification, fluidized bed gasification, biomass, coal*

## I. PENDAHULUAN

Biomasa dimanfaatkan sejak masa peradaban manusia sebagai sumber energi dalam melakukan beberapa aktifitas. Di masa depan biomassa akan turut berperan penting dalam pertumbuhan ekonomi karena berpotensi sebagai sumber bahan bakar alternatif. Kandungan *volatile matter* (VM) pada limbah biomassa sekitar 60-80% memberikan keuntungan yaitu menyebabkan bahan bakar ini lebih reaktif walaupun memiliki kandungan karbon (C) yang

dimiliki relatif lebih rendah dibandingkan batubara. *Co-gasification*/pencampuran dua bahan bakar atau lebih menggunakan biomassa dengan batubara dapat meningkatkan nilai kalor selama proses konversi energi juga dapat mengendalikan kandungan VM yang tinggi dari biomassa dan limbah. *Co-gasification* biomassa dengan batubara diharapkan dapat menurunkan emisi CO<sub>2</sub> dan jumlah polutan NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> dari bahan bakar fosil.

Gasifikasi merupakan sistem pengolahan biomasa yang memanfaatkan gas hasil pembakaran yang terjadi pada biomasa, bahan bakar dipanaskan dan dibakar dengan keadaan oksigen 1/3 dari jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran penuh. Proses ini menghasilkan gas utama yang dapat dibakar seperti H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO. Proses gasifikasi dengan teknologi *Fluidized Bed Gasification* muncul sebagai alternatif yang memiliki kelebihan mengkonversi berbagai jenis bahan bakar baik sampah, limbah, biomasa ataupun bahan bakar fosil berkalori rendah. Partikel dan gas yang memasuki hamparan terfluidisasi segera mencapai suhu seragam yang menyebabkan partikel dalam hamparan bersifat isothermal pada semua situasi. Material hamparan (*bed material*) yang digunakan pada *fluidized bed gasification* sangat berpengaruh terhadap berhasil tidaknya proses fluidisasi yang dihasilkan. dimana pada temperatur pemanasan mencapai 1250°C belum terjadi perupahan aspek perilaku dan juga perubahan warna sehingga sangat cocok digunakan untuk aplikasi gasifikasi *fluidized bed* (Galindo, 2005). Pasir silika dipanaskan hingga mencapai temperatur operasi 600°C didalam gasifier, dimana temperatur ini pasir silika sudah mampu mengakibatkan terjadinya *auto ignition* sehingga reaksi gasifikasi dapat berlangsung.

Pengaruh variasi komposisi perbandingan massa biomassa dengan batubara sebagai bahan bakar proses gasifikasi terhadap distribusi temperatur sepanjang gasifier, kandungan gas hasil penelitian serta efisiensi gasifikasi akan dibahas di dalam laporan ini.

**II. DASAR TEORI**

**2.1 Dimensi Reaktor**

Sebuah reaktor gasifikasi berfungsi sebagai tempat terjadinya proses gasifikasi bahan bakar batubara dan sampah dengan pasir silika, sebagai material hamparan. Bahan yang digunakan untuk membuat reaktor adalah plat *stainless steel sc 20* dengan ketebalan 3 mm dengan tinggi 162 cm, diameter 96 cm yang tahan panas sampai suhu 1400°C.

Sebelum melakukan penelitian co-gasifikasi, ada langkah – langkah perhitungan awal yang harus dilakukan diantaranya :

- Fraksi Ruang Kosong / *Bed Voidage* ( $\epsilon$ )

$$\epsilon_{mf} = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \dots\dots\dots 2$$

dimana :

- $\epsilon_{mf}$  = Fraksi ruang kosong
- $\rho_b$  = Massa jenis *bed*/hamparan (kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_s$  = Massa jenis solid/padatan (kg/m<sup>3</sup>)

- *Sphericity*/faktor kebolaan silika ( $\phi$ )

$$\phi = \frac{0,071}{(\epsilon_{mf})^3} \dots\dots\dots 2$$

- Menentukan bilangan *Archimedes* ( $Ar$ )

$$Ar = \frac{g \times d_p^3 \times \rho_g \times (\rho_p - \rho_g)}{(\mu)^2} \dots\dots\dots 3$$

dimana:

- $Ar$  = bilangan *Archimedes*
- $g$  = percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s)
- $d_p$  = diameter pasir silika (0,0005 m)
- $\rho_g$  = densitas udara (1,25 kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_p$  = densitas pasir silika (1527,78 kg/m<sup>3</sup>)
- $\mu$  = viskositas udara (1,82 x 10<sup>-5</sup> kg/m.detik)

- Menentukan bilangan *Reynolds* ( $Re_{mf}$ )  
Menggunakan *Ergun Equation* :

$$Ar = 150 \frac{(1 - \epsilon_{mf})}{\phi^2 \epsilon_{mf}^3} Re_{mf} + \frac{1,75}{\phi \epsilon_{mf}^3} Re_{mf}^2 \dots\dots\dots 4$$

Lalu gunakan rumus *abc* untuk menghitung besarnya  $Re_{mf}$ .

- Kecepatan minimum fluidisasi ( $U_{mf}$ )

Setelah mendapat akar positif dari rumus *abc*, maka kecepatan minimum fluidisasi dapat dihitung menggunakan rumus :

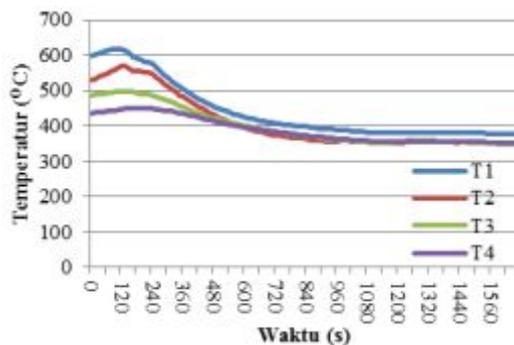
$$U_{mf} = \frac{Re_{mf} \times \mu}{\rho_g \times d_p} \dots\dots\dots 5$$

**2.2 Hamparan Bed**

Dalam studi ini akan digunakan pasir silika (*quartz sand*) sebagai material hamparan, karena memiliki kalor jenis (*specific heat*), merupakan material yang sangat baik dalam menyimpan kalor. Pasir silika yang merupakan mineral alam berasal dari kuarsa mengandung yang silikon dioxide murni. Pasir silika memiliki titik lebur yang cukup tinggi sekitar 1700°C, dimana pada temperatur pemanasan mencapai 1250°C belum terjadi perupahan aspek perilaku dan juga perubahan warna. (Galindo, 2005).

**2.3 Sistem Start-Up**

Proses gasifikasi terjadi pada reaksi endotermis, dimana dibutuhkannya energi panas agar proses gasifikasi dapat berlangsung. Pada reaktor ini digunakan *oil burner* untuk memanaskan hamparan bed dari pasir silika hingga mencapai temperatur 600°C, sehingga hamparan pasir silika mampu untuk melakukan *auto ignition* ketika bahan bakar dimasukan kedalam gasifier. Setelah tercapainya temperatur operasi gasifikasi, *oil burner* dimatikan hingga akhir proses gasifikasi. Distribusi temperatur sepanjang reactor ketika bahan bakar mulai dimasukan didapat dilihat pada Gambar 1.

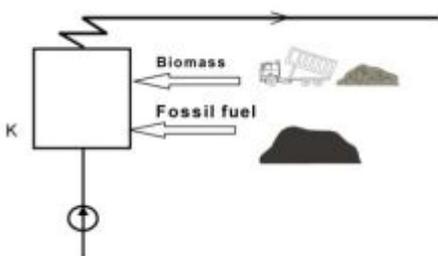


Gambar 1. Distribusi temperatur operasi gasifikasi

**2.4 Gasifikasi dan Co-gasifikasi**

Gasifikasi merupakan sistem pengolahan bahan bakar yang memanfaatkan gas hasil pembakaran yang terjadi pada gasifier, bahan bakar dipanaskan dan dibakar dengan keadaan oksigen 1/3 dari jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran penuh. Pembakaran dilakukan dengan sistem udara *supply* dibatasi/dikurangi yang disebut pirolisis

*Co-gasification* merupakan suatu proses pembakaran dua material yang berbeda secara bersamaan agar emisi dari pembakaran suatu bahan bakar fosil dapat dikurangi. *Co-gasification* batubara dan biomassa menyebabkan menurunnya emisi CO<sub>2</sub> dan jumlah polutan NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> dari bahan bakar fosil Maciejewska dkk. (2006). Pada penelitian ini menggunakan *direct Co-gasification*, biomassa (sebagai bahan bakar sekunder) dimasukkan bersamaan dengan batubara (sebagai bahan bakar primer) ke dalam gasifier yang sama Gambar 1. Perlakuan awal biomassa dan batubara dilakukan secara terpisah, kemudian baru diumpankan ke reaktor.



Gambar 2. *Direct Co-gasification*

Kandungan gas yang paling penting dihasilkan dari proses gasifikasi adalah CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> selain kandungan gas lainnya. Gas ini dihasilkan dari reaksi endotermik yang disokong oleh panas yang diproduksi dari reaksi pembakaran. Untuk menghasilkan kandungan gas CO, H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> terdapat beberapa yang terjadi didalam gasifier, diantaranya adalah :

- Oksidasi / Pembakaran*
- $C + O_2 \rightarrow CO_2 + 401.9 \text{ kJ/mol}$  ..... 6
- $H_2 + 1/2 O_2 \rightarrow H_2O + 241.1 \text{ kJ/mol}$  ..... 7
- Water-gas reaction*
- $C + H_2O \rightarrow CO + H_2 - 131.38 \text{ kJ/kg mol karbon}$  ..... 8
- Boudouard reaction*
- $CO_2 + C \rightarrow 2CO - 172.58 \text{ kJ/mol}$  ..... 9
- Water-gas shift*
- $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 - 41.98 \text{ kJ/mol}$  ..... 10
- Methanation*
- $C + 2H_2 \rightarrow CH_4 + 70.90 \text{ kJ/mol}$  ..... 11

**2.5 Efisiensi gasifikasi**

Parameter yang digunakan adalah efisiensi karbon (*carbon conversion efficiency*) dan efisiensi gasifikasi (*cold gas efficiency*) Cao dkk.(2006).

Efisiensi karbon (*carbon conversion efficiency*) dapat dihitung dengan persamaan:

$$CCE = \frac{\text{total karbon bereaksi dalam sistem (kg)}}{\text{total karbon masuk kedalam sistem (kg)}} \dots\dots\dots 12$$

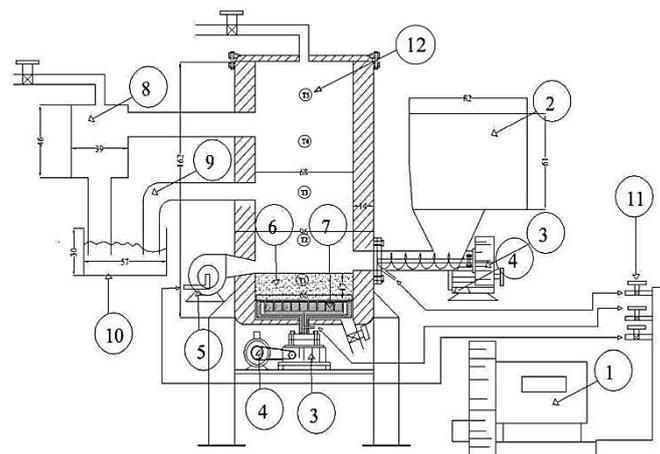
Efisiensi gasifikasi (*cold gas efficiency*) dapat dihitung dengan persamaan

$$CGE = \frac{LHV \text{ fuel gas } (\frac{kJ}{Nm^3}) \times \text{fuel gas production } (\frac{Nm^3}{kg})}{LHV \text{ biomass of feed in the system } (\frac{kJ}{kg})} \dots\dots\dots 13$$

**III. METODE PENELITIAN**

**3.1 Deskripsi Alat**

Dalam penelitian ini reaktor gasifikasi (*gasifier*) yang digunakan menggunakan sistem *fluidized bed* sedangkan metode yang digunakan adalah metode secara eksperimen (*truth experimental*). Batubara dan empat jenis biomassa yang digunakan sebagai bahan bakar utama dalam penelitian ini adalah sampah kota, sekam padi, serbuk kayu dan cangkang kelapa sawit dengan tiga jenis variasi komposisi perbandingan massa antara biomassa dan batubara (50%-50%, 60%-40%, 70%-30%) dengan total massa bahan bakar 20kg. Penelitian ini menggunakan sebuah reaktor dengan mode udraft gasifier seperti yang ditampilkan pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Skematik Fluidized bed gasification

Keterangan :

- 1. Blower
- 2. Fuel feed
- 3. Gear ratio
- 4. Dynamo motor
- 5. Burner
- 6. Material hampan
- 7. Plat distributor
- 8. Cyclone
- 9. Safety valve
- 10. Water tank
- 11. Gate valve
- 12. Thermocouple

**3.2 Tahapan Pengujian**

Biomassa dan batubara yang akan digunakan sebagai bahan bakar diuji terlebih dahulu secara proksimate, ultimate dan nilai kalor untuk mengetahui karakteristik dari masing – masing bahan bakar yang digunakan.

Proses gasifikasi dimulai dengan melakukan persiapan alat dan bahan bakar yang akan digunakan, kemudian masukan pasir silica ke dalam gasifier sebanyak 55kg. Kalibrasi semua thermo couple dengan mencelupkan kedalam ember yang berisi es,

pastikan semua pembacaan temperatur sama semua. Pasir silika dimasukkan ke dalam reaktor dengan massa 55 kg. Isi water tank dengan air sesuai hingga tingi yang ditentukan. Pasang tutup ruang bakar. Periksa saluran distribusi udara dari blower menuju reaktor. Periksa panel kelistrikan, pastikan semua komponen dapat hidup. Hidupkan data loger untuk thermocople. Hidupkan burner untuk memanaskan ruang bakar secara internal hingga temperatur operasi gasifikasi tercapai, misal 600 °C. Hidupkan motor yang berfungsi untuk memutar plat distributor. Setelah temperatur gasifikasi tercapai, matikan burner. Hidupkan motor yang berfungsi untuk mendorong bahan bakar menuju reaktor. Masukkan semua bahan bakar co-gasifikasi (campuran biomassa dengan batubara) dengan perbandingan yang telah ditentukan. Hidupkan blower kemudian buka gate valve yang menuju reaktor selama proses gasifikasi terjadi. Amati distribusi temperatur pada T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, dan T<sub>5</sub> pada data logger selama proses gasifikasi berlangsung hingga akhir proses gasifikasi. Ambil sampel gas hasil penelitian gasifikasi yang ditandai dengan adanya gas yang mampu nyala pada saluran gas buang.

Selama proses gasifikasi dilakukan pencatatan hasil pengukuran parameter:

1. Waktu operasi gasifikasi
2. Waktu nyala api
3. Distribusi temperatur gasifikasi
4. Hasil gas produksi gasifikasi
5. Efisiensi Gasifikasi

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam penelitian ini akan dibahas mengenai pengaruh variasi komposisi massa bahan bakar terhadap distribusi temperatur sepanjang reaktor, jumlah gas mampu bakar, dan efisiensi gasifikasi untuk mengetahui performansi dari reaktor gasifier.

**4.1 Karakteristik Bahan Bakar**

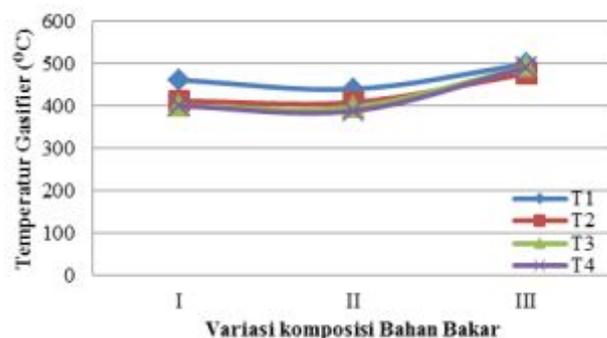
Biomassa dan batubara diuji terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan bakar dalam proses gasifikasi. Bahan bakar diuji secara proksimat, pada analisa ini bahan bakar diuji setelah kandungan moisture dihilangkan terlebih dahulu (dry base) sebelum uji kandungan abu, volatile dan fix carbon. Hasil analisis karakteristik bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 1.

**4.2 Distribusi Temperatur**

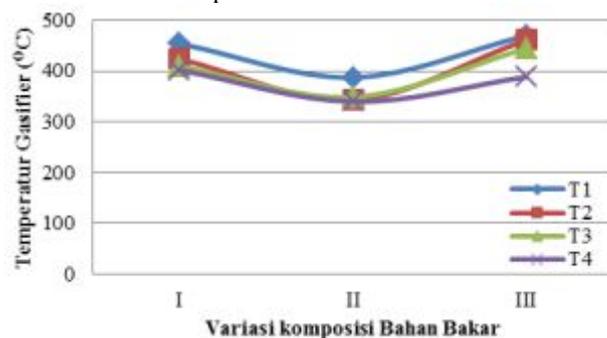
Pencatatan distribusi temperatur sepanjang gasifier dimulai ketika temperatur operasi 600°C telah tercapai dan bahan bakar mulai dimasukan kedalam gasifier. Selama proses penelitian co-gasifikasi dari pembacaan thermocouple T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> dan T<sub>4</sub> yang berjarak 25 cm sepanjang reaktor gasifier dengan waktu pencatatan setiap 15 detik oleh data loger. Data hasil pembacaan data loger dirata – ratakan untuk mendapatkan temperatur gasifikasi pada setiap penelitian, kemudian ditampilkan dalam sebuah gambar seperti di bawah ini

Tabel 1. Hasil analisa karakteristik bahan bakar

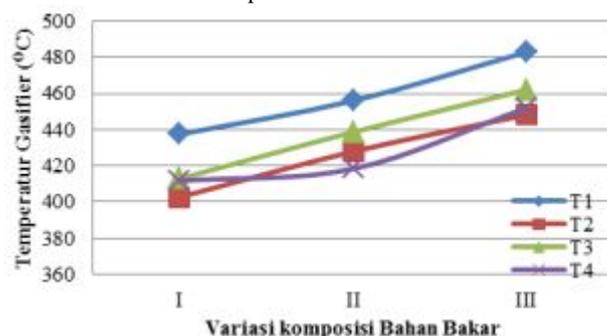
	Sampah Kota	Sekam Padi	Serbuk Kayu	Cangkang kelapa Sawit	Batubara
<b>Analisa Proksimat (dry base)</b>					
Abu	9.00%	14.87%	6.44%	2.73%	27.00%
Vollatile	77.38%	62.55%	83.96%	70.67%	32.29%
Fix Carbon	13.62%	22.58%	9.60%	26.60%	40.71%
<b>Analisa Ultimat</b>					
Karbon	64.46%	37.65	49.08	48.67	86.14
Hidrogen	11.50%	6.25%	6.83%	6.93%	0.75%
Oksigen	18.03%	39.43%	43.21%	41.82%	1.54%
Nitrogen	0.52%	0.97%	0.13%	0.31%	1.12%
Sulfur	0.05%	0.06%	*	0.01%	0.56%
<b>Analisa Nilai Kalor</b>					
MI/kg	16.08	17.72	14.7	14.6	20.24
Btu/lb	6.91	7.62	6.32	6.28	8.7



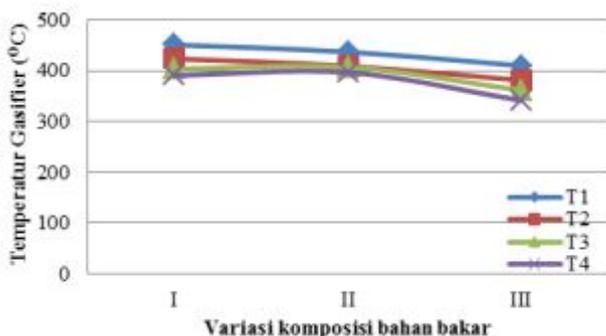
Gambar 4. Temperatur rata – rata penelitian co-gasifikasi sampah kota dan batubara



Gambar 5. Temperatur rata – rata penelitian co-gasifikasi sekam padi dan batubara



Gambar 6. Temperatur rata – rata penelitian co-gasifikasi serbuk kayu dan batubara



Gambar 7. Temperatur rata – rata penelitian co-gasifikasi cangkang kelapa sawit dan batubara

Proses gasifikasi pada penelitian co-gasifikasi biomassa sampah kota dan sekam padi dengan batubara memiliki profil distribusi temperatur rata-rata yang sama Gambar 4 dan Gambar 5. Pada semua penelitian proses operasi gasifikasi pada penelitian I terjadi ketika hamparan bed pasir silika mampu menghasilkan *auto ignition* pada karena kandungan volatile dari biomassa, proses pembakaran (oksidasi) yang terjadi pada saat pemasukan bahan bakar diikuti

oleh proses perambatan panas (pirolisis) pada batubara dibantu oleh udara yang dihembuskan oleh blower sehingga distribusi temperatur sepanjang gasifier cukup merata. Turunnya temperatur penelitian II pada biomassa sampah kota, sekam padi dan cangkang kelapa sawit disebabkan oleh panas yang dihasilkan ketika biomassa teroksidasi diserap oleh batubara pada proses pirolisis. Tingginya kandungan volatile pada serbuk kayu dan rendahnya massa partikel bahan bakar mengakibatkan distribusi temperatur sepanjang gasifier mengalami peningkatan pada penelitian II dan penelitian III Gambar 6, hal yang sama terjadi pada penelitian III proses gasifikasi sampah kota dan sekam padi. Penelitian III cangkang kelapa sawit mengalami penurunan distribusi temperatur rata-rata sepanjang gasifier, hal ini disebabkan oleh massa bahan bakar yang cukup tinggi mengakibatkan proses oksidasi dan gasifikasi berlangsung diatas hamparan bed. Udara yang dihembuskan oleh blower terhambat ketika terjadi tumpukan bahan bakar pada saat proses pirolisis cangkang kelapa sawit ke batubara.

Tabel 2. Massa bahan bakar dan persentase gas hasil penelitian

No	Bahan Bakar	Massa Bahan Bakar		Kandungan Gas (%)							Gas Mampu Nyala (Nm <sup>3</sup> /kg)
		Awal (kg)	Arang (kg)	CO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	
1	Sampah kota + Batubara	20	5	11.53	35.83	3.29	0.86	0.26	43.44	4.8	0.172
		20	4	12.09	36.61	3.45	1.02	0.19	41.01	5.62	0.187
		20	3.5	14.31	31.58	4.09	1.11	0	42.91	6	0.214
2	Serbuk kayu + Batubara	20	5.1	6.59	35.44	1.88	0.95	0.12	50.21	4.81	0.123
		20	4.73	8.81	30.6	2.52	1.17	0.14	52.64	4.11	0.141
		20	3.4	10.45	38.26	2.99	1.35	0.01	42.1	4.84	0.166
3	Sekam Padi + Batubara	20	5	12.09	38.3	2.88	0.85	0.1	41.65	4.12	0.171
		20	4.2	15.2	13.46	4.34	0.81	0.18	61.13	4.88	0.209
		20	3.15	16.72	20.9	4.78	0.15	0.15	51.65	5.64	0.225
4	Cangkang kelapa sawit + Batubara	20	4.82	16.31	31.92	11.25	0.63	0.48	36.71	2.7	0.196
		20	3.65	17.42	29.23	11.38	0.72	0.11	37.9	3.24	0.214
		20	2.78	18.4	27.13	11.34	0.85	0.1	38.54	3.64	0.229

**4.3 Gas Hasil Penelitian**

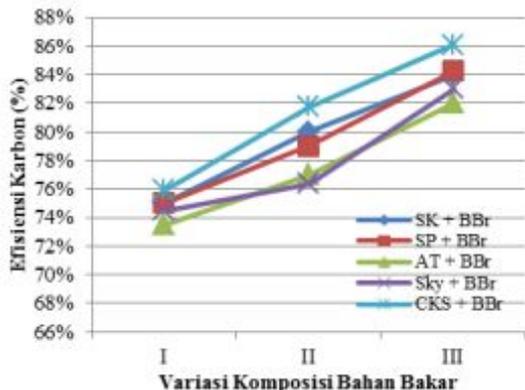
Kandungan gas yang paling penting dihasilkan dari proses gasifikasi adalah CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> yang dihasilkan dari reaksi karbon yang terjadi di dalam gasifier. Tabel 2. Menunjukkan komposisi gas yang dihasilkan pada proses gasifikasi penelitian ini. Dapat dilihat bahwa persentase gas mampu nyala CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> mengalami peningkatan disetiap penelitian, keadaan ini disebabkan oleh karbon yang terdapat pada biomassa mampu tergasifikasi dengan baik, sedangkan karbon yang berasal dari batubara tidak dapat tergasifikasi dengan baik dapat dilihat pada massa arang sisa proses gasifikasi (*karbon bereaksi*). Penelitian cangkang kelapa sawit, sampah kota dan sekam padi reaksi gasifikasi terjadi pada *Boudouard reaction* data dilihat bahwa persentase CO mengalami

peningkatan ketika CO<sub>2</sub> mengalami penurunan. Reaksi *Methanation* pada setiap penelitian terjadi pada proses gasifikasi sampah kota, sekam padi dan cangkang kelapa sawit mengalami peningkatan persentase CH<sub>4</sub>. Gas mampu nyala yang dihasilkan pada proses gasifikasi pada penelitian ini mengalami peningkatan pada setiap penelitian, hal ini berbanding lurus dengan bertambahnya jumlah massa biomassa pada perbandingan komposisi bahan bakar.

**4.4 Efisiensi Gasifikasi**

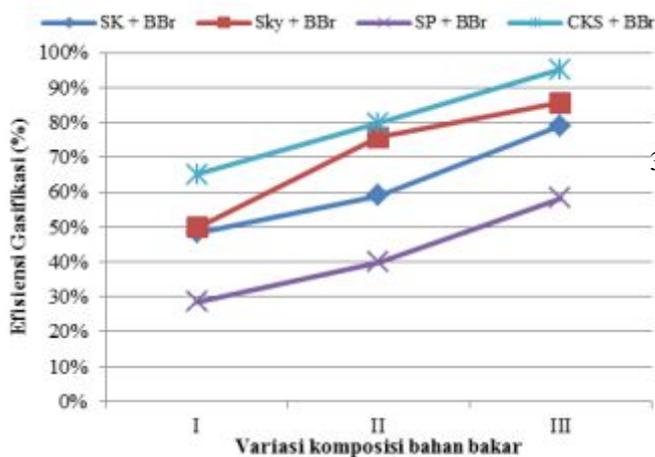
Efisiensi konversi karbon (carbon conversion efficiency) pada Gambar 6.8 dihitung berdasarkan jumlah karbon yang mampu bereaksi didalam sistem berbanding dengan karbon yang masuk kedalam sistem *Cao dkk.(2006)*, dan sangat dipengaruhi oleh kandungan *fix carbon* yang terdapat pada bahan bakar.

Efisiensi konversi karbon mengalami peningkatan pada semua penelitian berbanding lurus dengan bertambahnya jumlah massa biomassa pada perbandingan komposisi bahan bakar seperti data pada Tabel 2. Efisiensi konversi karbon tertinggi terjadi pada variasi komposisi 70% cangkang kelapa sawit dan 30% batubara sebesar 86.10%.



Gambar 6.8 Efisiensi karbon (*carbon conversion efficiency*)

Dimana : SK= Sampah Kota SP = Sekam Padi  
 AT = Ampas Tebu Sky= Serbuk kayu  
 CKS = Cangkang Kelapa Sawit  
 BBr = Batubara



Gambar 6.9 Efisiensi gasifikasi (*cold gas efficiency*)

Peningkatan efisiensi konversi karbon yang terjadi pada setiap penelitian variasi komposisi bahan bakar tidak berbanding lurus pada efisiensi gasifikasi. Hal ini disebabkan oleh tidak semua karbon yang bereaksi di dalam gasifier mampu menghasilkan gas mapu nyala seperti CO, H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> akan tetapi mungkin juga akan menghasilkan gas yang tidak mampu nyala seperti CO<sub>2</sub>. Efisiensi gasifikasi (*cold gas gasification*) pada Gambar 6.9 dipengaruhi oleh besar kecilnya jumlah gas mampu nyala yang dihasilkan dalam proses gasifikasi, selain itu dipengaruhi oleh LVH dari bahan bakar yang digunakan. Efisiensi gasifikasi tertinggi terjadi pada variasi komposisi 70% cangkang kelapa sawit dan 30% batubara sebesar 95.09%. Efisiensi gasifikasi pada penelitian ini sebagian besar dari biomassa pada

campuran komposisi bahan bakar, sesuai Tabel 2. masih terdapatnya arang sisa gasifikasi yang berasal dari batubara.

**V. SIMPULAN**

Setelah melakukan penelitian co-gasifikasi mengenai variasi komposisi massa bahan bakar antara biomassa dengan batubara, pada unit gasifier menggunakan teknologi *fluidized bed gasification* pada temperatur operasi 600°C dapat disimpulkan:

1. Distribusi temperatur sepanjang gasifier sangat dipengaruhi oleh kandungan volatile dari bahan bakar. Kandungan volatile pada bahan bakar mengakibatkan bahan bakar habis teroksidasi sebelum mencapai hamparan bed dan proses pirolisis pada batubara tidak dapat berlangsung secara merata, akan tetapi udara yang dihembuskan oleh blower membantu menjaga agar distribusi temperatur sepanjang reactor tidak mengalami perbedaan yang signifikan.
2. Proses gasifikasi akan menghasilkan beberapa komposisi gas mampu nyala yang terkandung di dalam sampel gas hasil penelitian, diantaranya CO, H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> dengan persentase lebih rendah dari gas yang tidak mampu nyala. Jumlah fix karbon yang terdapat pada bahan bakar berbanding lurus dengan peningkatan jumlah gas mampu nyala selama proses gasifikasi.
3. Efisiensi konversi karbon (CCE) dipengaruhi oleh banyak atau sedikitnya jumlah karbon yang mampu bereaksi didalam gasifier akan tetapi jumlah karbon yang bereaksi didalam gasifier tidak berbanding lurus dengan efisiensi gasifikasi. Efisiensi gasifikasi sangat dipengaruhi oleh jumlah gas mampu nyala yang dapat dihasilkan dalam proses gasifikasi.

**VI. DAFTAR PUSTAKA**

[1] Cao, Yan., Yang Wang., Jhon T. Riley., Wei-Ping Pan. 2006. A novel biomass air gasification process for producing tar-free higer heating value fuel gas. *Fuel Processing Technology* 87 (2006) 343-353

[2] Djokosotyardjo, M.J., (1989). *Ketel Uap*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.

[3] Galindo, Daniel Gracia. 2005. The Reduction Of The Agglomeration In FBG Based On Novel Bed Materials: Improvement Of Combustion Efficiency And Proposal Of New Materials.

[4] Jerkins,B,M., et. al., 1998. *Combustion Poperties of Biomass*. Elsevier, *Fuel Processing Technolgy* 54 (1998) 17-46

[5] Maphweli, N.S., Edson L. Meyer., 2010. Evaluation of The Conversion Efficiency of The 180Nm<sup>3</sup>/h Johansson Biomass Gasifier.

International Journal of Energy an  
Environment

- [6] Siedlecki, M., Wiebren de Jong, Adrian H.M Verkooijen., 2011. Fluidized Bed Gasification as a Mature and Reliable Technology for the Production of Bio-Syngas and Applied in the Production of Liquid Transportation Fuels- A Review. *Energies* 2011, 4, 389-434; doi:10.3390/en4030389
- [7] Vermani, O.P, Narula, A.K., 1995. *Aplied Chemistry Theory and Practice* Second Edition. New Age International Publisher. New Delhi