

Co-Gasifikasi Batubara-Serbuk Kayu Dengan Variasi *Equivalence Ratio* Pada Reaktor *Fluidized Bed Gasifier*

Niko Haryanto¹, Nur Aklis²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

Email : D200130081@student.ums.ac.id

Abstrak

Dalam beberapa tahun terakhir, produksi bahan bakar minyak di Indonesia terus mengalami penurunan. Maka dari itu, bahan bakar jenis lain yang masih jarang dimanfaatkan seperti batubara dan biomassa sangat diperlukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak. Teknologi yang dapat digunakan untuk mengkonversi dua jenis bahan bakar yang berbeda seperti batubara dan biomassa adalah co-gasifikasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *equivalence ratio* (ER) terhadap beberapa parameter yang mempengaruhi kinerja dari suatu reaktor gasifikasi. Reaktor yang digunakan pada penelitian ini berjenis bubbling fluidized bed dengan diameter 160 mm dan tinggi 1230 mm. Bahan bakar yang digunakan adalah campuran batubara-biomassa dengan komposisi 50%-50% dan partikel bed yang digunakan adalah pasir silika dengan diameter rata-rata partikel 0,385 mm. Hasil penelitian dengan metode pendidihan air menunjukkan bahwa *equivalence ratio* berpengaruh terhadap beberapa parameter yang mempengaruhi kinerja suatu reaktor gasifikasi seperti : temperatur reaktor, nyala efektif api, kalor yang dihasilkan, dan efisiensi. Pada ER 0,40 nyala efektif api dapat berlangsung selama 39 menit dengan efisiensi sebesar 13,29 %. Untuk ER 0,68 nyala efektif api adalah selama 46 menit dengan efisiensi sebesar 24,76%. Sedangkan untuk ER 0,88 nyala api efektif adalah selama 34 menit dengan efisiensi sebesar 15,63 %.

Kata Kunci: *fluidized bed co-gasification*, batubara, serbuk kayu, *equivalence ratio*

Abstracts

In the last few years, the production of oil fuels in Indonesia continues to decline. Other alternative energy sources that are still underutilized such as coal and biomass are needed to reduce dependency on oil fuel. Technology that can convert two different types of fuels such as coal and biomass are co-gasification. The purpose of this study is to determine the effect of equivalence ratio (ER) on the gasification performance. The reactor used in this research is fluidized bed type with 160 mm diameter and 1230 mm height. While the fuel used is a mixture of coal-biomass with the composition of 50% -50% and the bed particle used is silica sand with mean diameter 0,385 mm. The results using the water-boiling test method show that the equivalence ratio had an effect on some parameters affecting the performance of the reactor such as reactor temperature, effective flame fire, heat generated, and efficiency. At ER 0.40 the effective flame fire can last for 39 minutes with an efficiency of 13.29%. For ER 0.68 the effective flame of fire was for 46 minutes with an efficiency of 24.76%. As for ER 0.88 the effective flame was for 34 minutes with an efficiency of 15.63%.

Keywords: *fluidized bed co-gasification, coal, sawdust, equivalence ratio*

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya pertumbuhan ekonomi serta populasi penduduk berdampak pada meningkatnya konsumsi energi di Indonesia. Untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia, jenis sumber energi yang paling banyak dikonsumsi adalah sumber energi minyak bumi yaitu sebesar 48 %. Tingginya konsumsi energi minyak bumi disebabkan oleh subsidi oleh pemerintah sehingga harga energi menjadi murah dan masyarakat yang menjadi boros dalam pemanfaatannya (Dewan Energi Nasional 2014).

Di sisi lain, tingginya laju konsumsi BBM (Bahan Bakar Minyak) hasil pengolahan Minyak Bumi tidak

diikuti dengan meningkatnya laju produksinya. Hal ini membuat pemerintah harus mengimpor BBM dari negara lain untuk memenuhi kebutuhan energi dalam negeri. Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi minyak bumi adalah dengan memanfaatkan sumber energi lain yang cadangannya masih tersedia cukup banyak namun kurang dimanfaatkan, yaitu batubara. Perlu diketahui, untuk saat ini sebesar 79,5 % dari produksi batubara di Indonesia adalah untuk keperluan ekspor.

Selain batubara, sumber energi lain yang dapat digunakan sebagai energi alternatif adalah biomassa. Sebagai negara agraris, potensi biomassa di Indonesia sangatlah besar. Berbagai macam limbah hasil pertanian maupun kehutanan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Selain itu, pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi masih sangat terbatas. Hal ini tentunya menjadi tantangan bagi peneliti dalam mengembangkan teknologi yang dapat memanfaatkan sumber energi biomassa

Teknologi yang dapat digunakan untuk mengonversi sumber energi batubara dan biomassa adalah dengan metode gasifikasi. Gasifikasi merupakan proses termokimia yang mengkonversi bahan bakar padat menjadi bahan bakar gas. Batubara maupun biomassa yang sudah menjadi bahan bakar gas mempunyai kelebihan dibandingkan batubara yang masih berbentuk padat karena penggunaannya akan lebih fleksibel sehingga dapat dimanfaatkan pada beberapa teknologi.

Penggunaan dua jenis bahan bakar pada teknologi gasifikasi disebut dengan *co-gasification*. Gasifikasi batubara dan biomassa yang memiliki karakteristik yang berbeda cukup menarik untuk diteliti. Batubara di satu sisi mempunyai kandungan *fixed carbon* yang tinggi dan tidak mudah terbakar, sedangkan pada biomassa memiliki kandungan *volatile matter* yang tinggi sehingga mudah terkonversi menjadi gas.

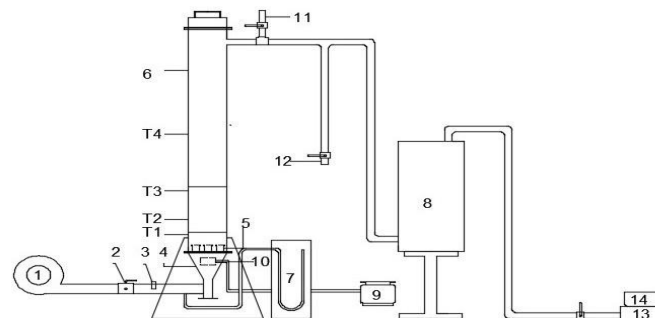
Reaktor gasifikasi dapat dikategorikan ke dalam beberapa jenis antara lain : berdasarkan arah aliran (*downdraft* dan *updraft*), berdasarkan gas medium gasifikasi (udara, oksigen dan uap) dan berdasarkan mode fluidisasi (*fixed bed*, *entrained bed* dan *fluidized bed*). *Fluidized bed gasification* adalah metode gasifikasi dengan memfluidisasi partikel bahan bakar dengan gas pendorong seperti udara ataupun oksigen. Sedangkan fluidisasi adalah metode pengontakan butiran-butiran padat dengan fluida sehingga diharapkan butiran fluida tersebut dapat memiliki sifat seperti fluida. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian mengenai co-gasifikasi seperti (Angga, Primantara, and Winaya 2014), (Wijaya and Winaya 2017) dan (Nugroho and Rochmadi 2016)

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kinerja suatu reaktor gasifikasi adalah *equivalence ratio (ER)*. *ER* merupakan perbandingan antara jumlah udara aktual yang disuplai kedalam reaktor dengan jumlah kebutuhan udara stoikiometri. Penelitian mengenai pengaruh *equivalence ratio* pada *fluidized bed gasifier* telah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain (Kumar et al. 2009), (Kim et al. 2013), serta (Sarker et al. 2015).

Hasil akhir yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah mengetahui karakteristik yang dihasilkan dari proses co-gasifikasi dengan memvariasikan *equivalence ratio*. Kemudian dari latar belakang tersebut, maka dapat dituliskan rumusan masalah sebagai berikut “bagaimana pengaruh *equivalence ratio* terhadap kinerja reaktor co-gasifikasi tipe *fluidized bed*”.

2. METODE

2.1 Skema Alat Penelitian



Gambar 1 Skema Alat Fluidized Bed Gasifier

Keterangan :

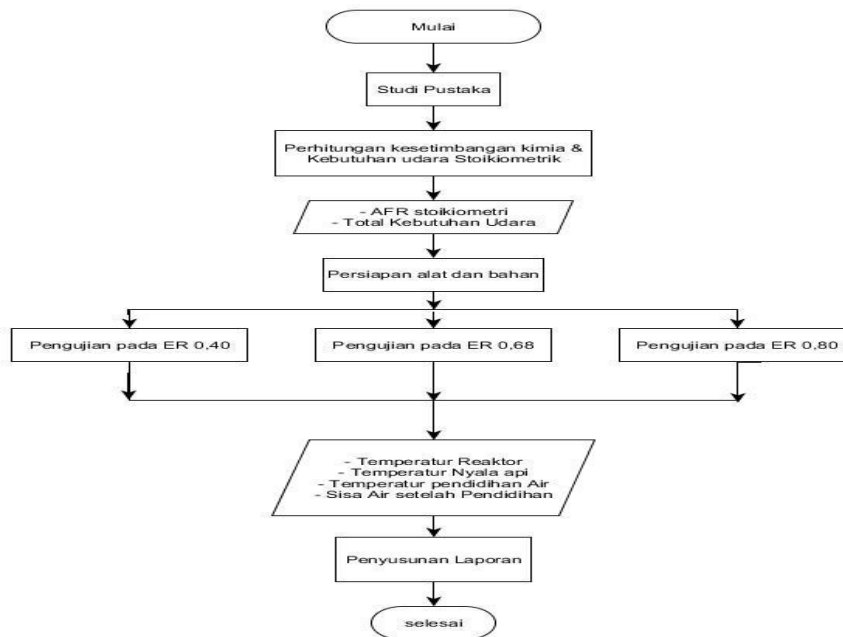
- | | | |
|-----------|-------------------|-----------------------|
| 1. blower | 2. Katup pengatur | 3. anemometer |
| 4. plenum | 5. Distributor | 6. Reaktor gasifikasi |

- | | | |
|--------------|-------------------|--------------------|
| 7. manometer | 8. Filter | 9. Tabung LPG |
| 10. burner | 11. saluran buang | 12. pembuangan tar |
| 13. kompor | 14. Panci air | |

2.2 Tahapan Penelitian

Gambar 2 menunjukkan diagram alir dari penelitian ini. Penelitian ini diawali dengan mencari literatur mengenai co-gasifikasi batubara dan biomassa terutama pada reaktor *fluidized bed gasifier*. Kemudian proses selanjutnya adalah menghitung persamaan stoikiometri pada batubara maupun biomassa serbuk kayu, sehingga dapat diketahui total kebutuhan udara stoikiometrik pada proses gasifikasi. Langkah berikutnya adalah persiapan alat dan bahan. Untuk bahan partikel bed yang digunakan adalah pasir silika dengan ukuran rata-rata partikel 0,385 mm yang sebelumnya di lakukan pengayakan dengan jaring mesh 35 dan 50. Sedangkan bahan bakar yang digunakan adalah batubara jenis sub-bituminus dan serbuk kayu jati.

Setelah semua bahan siap, langkah berikutnya adalah melakukan persiapan pada alat meliputi reaktor, blower, katup serta beberapa alat ukur lainnya seperti anemometer, termokopel serta gelas ukur. Persiapan alat yang paling awal adalah menghitung kecepatan rata-rata angin pada blower yang sudah terpasangi katup pengatur. Setelah mengetahui kecepatan angin, dapat diketahui *air mass flow rate* atau suplai udara yang masuk dari blower. Dengan tiga titik yang berbeda dari katup pengatur didapatkan 3 variasi kecepatan rata-rata yang kemudian digunakan untuk menghitung *air mass flow rate*. Nilai *air mass flow rate* yang didapatkan adalah 0,0026 kg/s, 0,0052 kg/s, 0,0076 kg/s.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Setelah alat dan bahan sudah siap, langkah berikutnya adalah ujicoba pada reaktor. Reaktor yang digunakan adalah tipe *fluidized bed gasifier* dengan diameter 160 mm dan tinggi 1230 mm. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin UMS. Apabila reaktor reaktor bekerja dengan baik maka akan dilanjutkan pada proses penelitian. Namun, apabila reaktor tidak dapat bekerja dengan baik. Langkah yang kemudian diambil adalah melakukan pengecekan alat untuk memperbaiki permasalahan pada reaktor.

Percobaan diawali dengan memasukkan pasir silika sebagai partikel bed sejumlah 800 ml kedalam reaktor. Kemudian blower dan burner dinyalakan untuk memanaskan pasir silika hingga mencapai temperatur 400 °C. Setelah temperatur bed mencapai 400 °C, burner dimatikan disertai dengan pemasukan bahan bakar campuran batubara dan serbuk kayu yang telah diukur masing-masing 1,5 kg kedalam reaktor. Kemudian, katup pengatur udara diatur sesuai dengan *air mass flow* yang sebelumnya telah diukur. Temperatur di dalam reaktor diukur tiap 5

menit pada 4 titik pengukuran. Titik pertama (T1) adalah temperatur bed, titik kedua (T2) dan ketiga (T3) adalah temperatur bahan bakar serta titik keempat (T4) adalah temperatur *free board*.

Gas hasil gasifikasi akan mengalir menuju filter kemudian kompor. Fungsi filter adalah untuk menyaring partikel yang dapat mengurangi kualitas gas yang menuju kompor, kemudian gas yang keluar dari kompor akan langsung dibakar untuk memanaskan air hingga mendidih. Proses pemanasan air hingga mendidih ini akan menghasilkan waktu yang berbeda pada masing-masing variasi, sehingga waktu yang dibutuhkan pada masing-masing variasi akan diukur waktunya. Selain mengukur waktu pemanasan air parameter lain yang diukur untuk menentukan kualitas gas adalah lama nyala efektif api serta sisa air setelah api mati. Setelah data diperoleh dari percobaan tersebut kemudian akan dilakukan analisa serta pembuatan laporan.

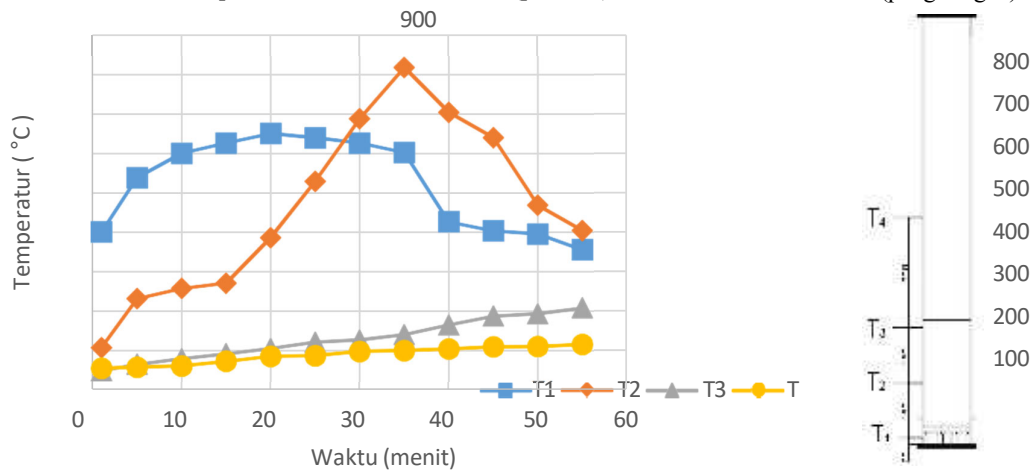
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Temperatur Reaktor

3.1.1 Temperatur Reaktor Pada ER 0,40

Gambar 3 menunjukkan profil temperatur reaktor pada 4 titik pengukuran yaitu T1 (partikel bed), T2, T3 (bahan bakar) dan T4 (*free board*). Pada awal percobaan partikel bed akan dipanaskan hingga mencapai temperatur 400 °C. Angka tersebut dipilih agar saat bahan bakar dapat langsung terbakar saat dimasukkan ke dalam reaktor.

Pengukuran temperatur pada masing-masing titik tersebut bertujuan untuk memantau tahapan gasifikasi yang terjadi pada bahan bakar, yaitu pengeringan, pirolisis, gasifikasi dan pembakaran. Pada variasi ER 0,40 nyala api dimulai pada menit 19 saat temperatur T2 sebesar 380 °C (pirolisis), dan T3 sebesar 100 °C (pengeringan).



Gambar 3 Profil Temperatur Reaktor Pada ER 0,40

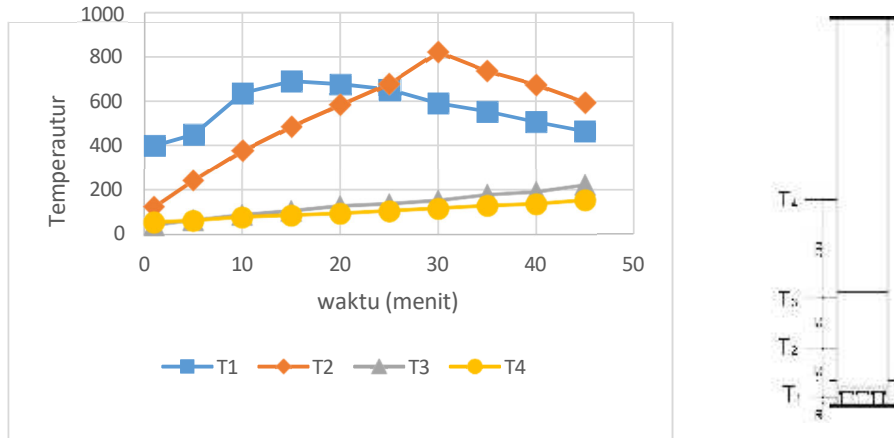
Pada menit ke 35 temperatur pada titik T2 mencapai 818°C, sehingga proses yang terjadi pada T2 mulai berubah menjadi pembakaran. Pada bahan bakar di Titik T3, perubahan proses terjadi pada menit ke 45 saat temperatur pada titik tersebut mencapai 164,4 °C yang menunjukkan proses yang terjadi adalah pirolisis.

Nyala api pada variasi ER 0,40 berlangsung hingga menit 55. Pada menit tersebut temperatur T2 adalah sebesar 404°C, namun temperatur pada titik tersebut sudah mengalami penurunan karena bahan bakar pada titik tersebut sudah habis terbakar. Sedangkan pada titik T3, temperatur yang tercatat pada saat nyala api mati adalah 207,5 °C. Temperatur pada titik T3 tidak sampai mengalami penurunan, hal ini dikarenakan sebelum bahan bakar habis terbakar dengan sempurna proses gasifikasi sudah berakhir. Hal tersebut dapat diidentifikasi karena gas yang dihasilkan bukanlah gas yang dapat terbakar. Proses gasifikasi tersebut berakhir karena jumlah bahan bakar yang tersisa atau yang belum terbakar jumlahnya terlalu sedikit sehingga jumlah udara menjadi berlebih. Hal ini yang menjadikan proses yang berlangsung berubah menjadi pembakaran.

3.1.2 Temperatur Reaktor Pada ER 0,68

Gambar 4 menunjukkan profil temperatur reaktor pada 4 titik pengukuran yaitu T1 (partikel bed), T2, T3 (bahan bakar) dan T4 (*free board*). Pengukuran temperatur pada masing-masing titik tersebut bertujuan untuk memantau tahapan gasifikasi yang terjadi pada bahan bakar, yaitu pengeringan, pirolisis, gasifikasi dan pembakaran. Pada variasi ER 0,68 nyala api dimulai pada menit 7 saat temperatur T2 sebesar 300

°C (pirolisis), dan T3 sebesar 75 °C (pengeringan).

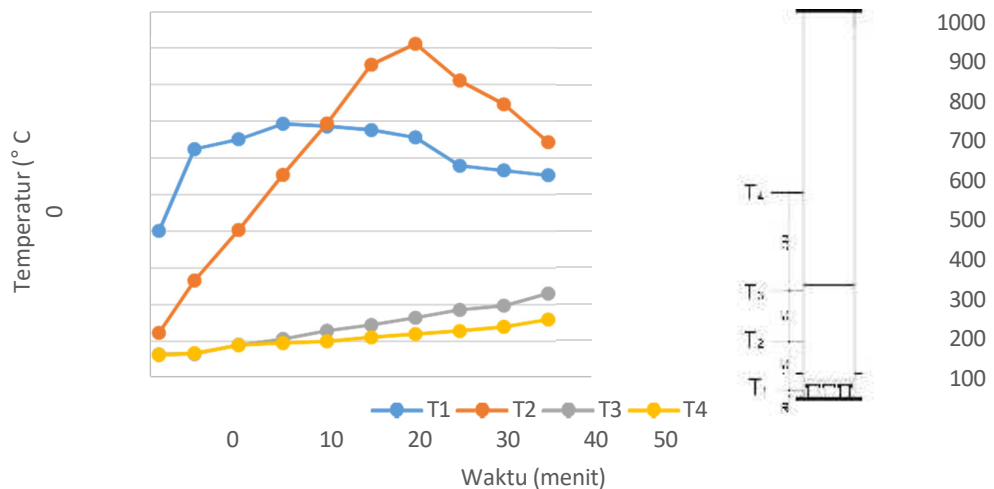


Gambar 4 Profil Temperatur Reaktor pada ER 0,68

Pada menit ke 30 temperatur pada titik T2 mencapai 824 °C , sehingga proses yang terjadi pada T2 mulai berubah menjadi pembakaran. Pada bahan bakar di Titik T3, perubahan proses juga terjadi pada menit ke 30 saat temperatur pada titik tersebut mencapai 150,9 °C yang menunjukkan proses yang terjadi adalah pirolisis. Nyala api pada variasi ER 0,68 berlangsung hingga menit ke 46. Pada menit tersebut temperatur T2 adalah sebesar 595 °C, namun temperatur pada titik tersebut sudah mengalami penurunan karena bahan bakar pada titik tersebut sudah habis terbakar. Sedangkan pada titik T3 , temperatur yang tercatat pada saat nyala api mati adalah 220,5 °C. Temperatur pada titik T3 tidak sampai mengalami penurunan, hal ini dikarenakan sebelum bahan bakar habis terbakar dengan sempurna proses gasifikasi sudah berakhir. Hal tersebut dapat diidentifikasi karena gas yang dihasilkan bukanlah gas yang dapat terbakar. Proses gasifikasi tersebut berakhir karena jumlah bahan bakar yang tersisa atau yang belum terbakar jumlahnya terlalu sedikit sehingga jumlah udara menjadi berlebih. Hal ini yang menjadikan proses yang berlangsung berubah menjadi pembakaran.

3.1.3 Temperatur Reaktor Pada ER 0,88

Gambar 5 menunjukkan profil temperatur reaktor pada 4 titik pengukuran yaitu T1 (partikel bed), T2, T3 (bahan bakar) dan T4 (free board). Pengukuran temperatur pada masing-masing titik tersebut bertujuan untuk memantau tahapan gasifikasi yang terjadi pada bahan bakar, yaitu pengeringan, pirolisis, gasifikasi dan pembakaran. Pada variasi ER 0,88 nyala api dimulai pada menit 7 saat temperatur T2 sebesar 330 °C (pirolisis), dan T3 sebesar 85 °C (pengeringan).



Gambar 5 Profil Temperatur Reaktor Pada ER 0,88

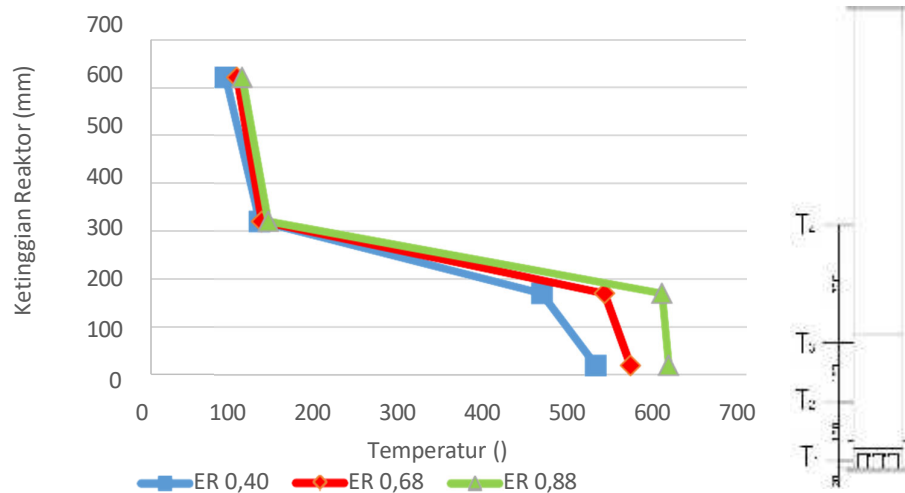
Pada menit ke 25 temperatur pada titik T₂ mencapai 853 °C, sehingga proses yang terjadi pada T₂ mulai berubah menjadi pembakaran. Pada bahan bakar di Titik T₃, perubahan proses terjadi pada menit ke 30 saat temperatur pada titik tersebut mencapai 164,2 °C yang menunjukkan proses yang terjadi adalah pirolisis.

Nyala api pada variasi ER 0,68 berlangsung hingga menit ke 41. Pada menit tersebut temperatur T₂ adalah sebesar 675 °C, namun temperatur pada titik tersebut sudah mengalami penurunan karena bahan bakar pada titik tersebut sudah habis terbakar. Sedangkan pada titik T₃, temperatur yang tercatat pada saat nyala api mati adalah 196,8 °C. Temperatur pada titik T₃ tidak sampai mengalami penurunan, hal ini dikarenakan sebelum bahan bakar habis terbakar dengan sempurna proses gasifikasi sudah berakhir. Hal tersebut dapat diidentifikasi karena gas yang dihasilkan bukanlah gas yang dapat terbakar. Proses gasifikasi tersebut berakhir karena jumlah bahan bakar yang tersisa atau yang belum terbakar jumlahnya terlalu sedikit sehingga jumlah udara menjadi berlebih. Hal ini yang menjadikan proses yang berlangsung berubah menjadi pembakaran.

3.1.4 Temperatur Rata-Rata Reaktor

Gambar 6 menunjukkan perbandingan profil temperatur rata-rata reaktor pada 4 titik pengukuran reaktor (T₁, T₂, T₃ dan T₄) dengan 3 variasi ER yaitu 0,40; 0,68 dan 0,88. Pada ketiga variasi ER tersebut bahan bakar dimasukkan ke dalam reaktor saat temperatur bed mencapai 400 °C. Pada 3 variasi ER tersebut, profil temperatur reaktor pada masing-masing titik berbeda. Perbedaan tersebut dikarenakan pada masing-masing titik terdapat perbedaan tahapan gasifikasi (*drying, pyrolysis, gasification, combustion*). Pada ER 0,40 temperatur rata-rata pada titik T₁, T₂, T₃ dan T₄ masing-masing adalah 463,33 °C; 283,55 °C; 77,84 °C; 68,2 °C. Kemudian, pada ER 0,68 temperatur rata-rata pada titik T₁, T₂, T₃ dan T₄ masing-masing adalah 467,7 °C; 332,27 °C; 94,29 °C; 76,58 °C. Sedangkan pada ER 0,88 temperatur rata-rata pada titik T₁, T₂, T₃ dan T₄ masing-masing adalah 463,33 °C; 283,55 °C; 77,84 °C dan 68,2 °C.

Temperatur reaktor merupakan salah satu aspek penting dalam gasifikasi. Hal ini dikarenakan gasifikasi merupakan reaksi endotermik sehingga kalor yang dihasilkan pada pembakaran bahan bakar dalam reaktor akan mempengaruhi gas yang dihasilkan dari gasifikasi. Besarnya *equivalence ratio* berpengaruh terhadap profil temperatur reaktor. Dengan memperbesar suplai udara kedalam reaktor, temperatur rata-rata pada masing-masing titik reaktor akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin besar kalor yang dihasilkan pada proses pembakaran bahan bakar di dalam reaktor, sehingga temperatur pada reaktor menjadi lebih tinggi. Pada masing-masing titik reaktor, temperatur tertinggi diperoleh pada variasi ER 0,88.



Gambar 6 Profil Temperatur Rata-Rata Reaktor

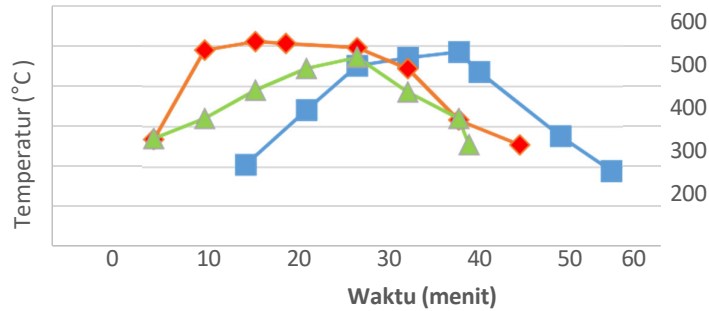
3.2 Temperatur Nyala Api

Gambar 7 menunjukkan perbandingan temperatur nyala api pada 3 variasi ER yaitu 0,40; 0,68 dan 0,88. Pada ER 0,40 api mulai menyala pada menit ke-19. Temperatur api terus mengalami kenaikan hingga temperatur maksimal yaitu sebesar 484,3 °C pada menit ke-40. Setelah menit ke-40 temperatur api mulai turun dikarenakan produksi *syn gas* hasil gasifikasi mulai berkurang. Pada ER 0,40 api padam pada menit ke-55. Sehingga pada ER 0,40 api menyala pada menit ke 19 hingga menit ke 55 atau selama 36 menit.

Pada ER 0,68 api mulai menyala pada menit ke-7. Temperatur api terus mengalami kenaikan hingga

temperatur maksimal yaitu sebesar 510 °C pada menit ke-20. Setelah menit ke-20 temperatur temperatur api mulai turun dikarenakan produksi *syn gas* hasil gasifikasi mulai berkurang. Pada ER 0,68 api padam pada menit ke - 46. Sehingga pada ER 0,40 api menyala pada menit ke 7 hingga menit ke-46 atau selama 39 menit.

Pada ER 0,88 api mulai menyala pada menit ke-7. Temperatur api terus mengalami kenaikan hingga temperatur maksimal yaitu sebesar 471,3 °C pada menit ke-30. Setelah menit ke-30 temperatur temperatur api mulai turun dikarenakan produksi *syn gas* hasil gasifikasi mulai berkurang. Pada ER 0,88 api padam pada menit ke-41. Sehingga pada ER 0,88 api menyala pada menit ke 7 hingga menit ke 41 atau selama 34 menit.

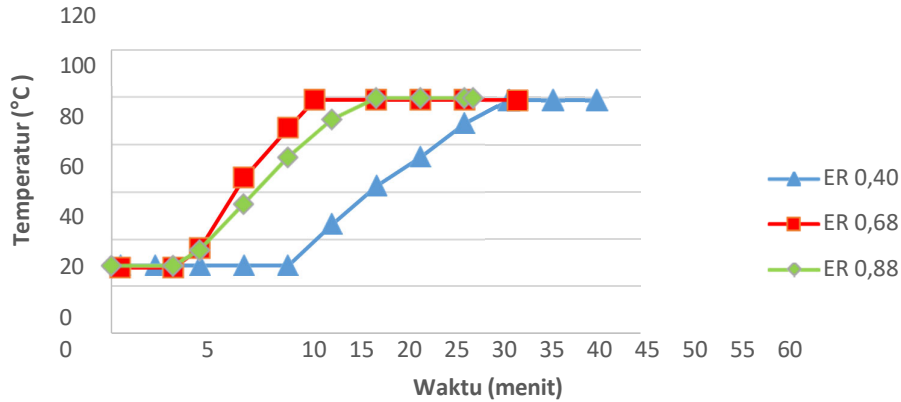


Gambar 7 Perbandingan Temperatur Nyala api

Api menyala lebih cepat pada ER 0,68 dan 0,88 yaitu pada menit ke 7. Sedangkan pada ER 0,40 api baru menyala pada menit ke-19. Hal ini disebabkan oleh suplai udara pada ER 0,68 dan 0,88 lebih banyak sehingga sejumlah kalor yang dibutuhkan untuk proses gasifikasi lebih cepat tercapai. Namun, karena suplai udara yang lebih banyak menyebabkan penyalaaan api lebih cepat padam pada ER 0,68 dan 0,88 yaitu menit ke-46 dan ke-41. Sedangkan pada ER 0,40 api baru padam pada menit ke-55. Hal ini disebabkan oleh bahan bakar yang lebih cepat habis terbakar di dalam reaktor karena suplai udara yang lebih banyak. Dari ketiga variasi ER tersebut nyala api paling lama didapatkan pada variasi ER 0,68 yaitu 39 menit. Kemudian diikuti dengan ER 0,88 selama 34 menit dan ER 0,40 selama 32 menit.

3.2 Pendidihan Air

Kalor yang dihasilkan dari proses gasifikasi diasumsikan dengan mendidihkan air sebanyak 1 kg. Gambar 4.6 menunjukkan perbandingan temperatur pendidihan air pada 3 variasi ER yaitu 0,40; 0,68 dan 0,88. Profil kualitas gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi dapat dilihat dari grafik pendidihan air tersebut. Distribusi temperatur dari ketiga variasi tersebut relatif sama (temperatur awal dan temperatur saat air mendidih). Namun, perbedaan hasil gas yang dihasilkan dapat dilihat dari waktu yang dibutuhkan untuk mendidihkan air. Waktu tercepat pendidihan air didapatkan pada variasi ER 0,68 yaitu selama 16 menit.



Gambar 8 Perbandingan Temperatur Pendidihan Air

3.3 Perhitungan Kalor

3.4.1 Perhitungan Kalor sensibel

Tabel 1 Perhitungan Kalor Sensibel pada Variasi ER 0,40

Waktu (Menit)	m (kg)	Cp (kJ/kg.C)	T Awal (°C)	Takhir (°C)	T Mean (°C)	ΔT (°C)	Q (kJ)
19-25	1	4,179	29,1	46,6	37,85	17,5	73,125
25-30	1	4,182	46,6	62,7	54,65	16,1	67,329
30-35	1	4,185	62,7	74,8	68,75	12,1	50,635
35-40	1	4,194	74,8	89	81,9	14,2	59,551
40-42	1	4,199	89	98,9	93,95	9,9	41,566
Total Kalor							292,207

Tabel 2 Perhitungan Kalor Sensibel pada Variasi ER 0,68

Waktu (menit)	m (kg)	Cp (kJ/kg.C)	T awal (°C)	Takhir (°C)	T mean (°C)	ΔT (°C)	Q (kJ)
7-10	1	4,178	28,2	36,3	32,25	8,1	33,842
10-15	1	4,181	36,3	66,1	51,2	29,8	124,608
15-20	1	4,194	66,1	87	76,55	20,9	87,660
20-23	1	4,209	87	98,8	92,9	11,8	49,672
Total Kalor							295,781

Tabel 3 Perhitungan Kalor Sensibel pada Variasi ER 0,88

Waktu (menit)	m (kg)	Cp (kJ/kg.C)	T awal (°C)	Takhir (°C)	T mean (°C)	ΔT (°C)	Q (kJ)
7-10	1	4,178	28,9	35,5	32,2	6,6	27,575
10-15	1	4,180	35,5	54,9	45,2	19,4	81,093
15-20	1	4,185	54,9	74,5	64,7	19,6	82,021
20-25	1	4,199	74,5	90,5	82,5	16	67,184
25-28	1	4,212	90,5	99,5	95	9	37,908
Total Kalor							295,78

3.4.2 Perhitungan Kalor Laten

Tabel 4 Hasil Perhitungan Kalor Laten pada ketiga variasi ER

ER	Massa Air Sebelum Dipanaskan (Kg)	Massa Air Setelah Mendidih (Kg)	hfg (kJ/kg)	QL (kJ)
0,40	1	0,78	2257	496,54
0,68	1	0,48	2257	1173,64
0,88	1	0,72	2257	631,96

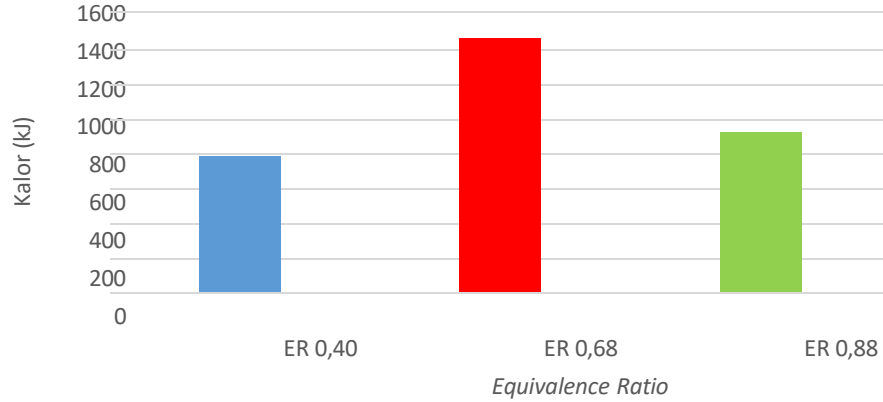
3.4.3 Perhitungan Kalor Total

Tabel 5 Perhitungan Kalor Total dari ketiga variasi ER

ER	Kalor Sensibel (kJ)	Kalor Laten (kJ)	Kalor Total (kJ)
0,40	292,207	496,54	788,747
0,68	295,781	1173,64	1469,421
0,88	295,781	631,96	927,741

Tabel 1,2,3,4 dan 5 menunjukkan jumlah kalor sensibel, kalor laten serta total kalor yang dihasilkan pada

ketiga variasi *ER*. Untuk kalor sensibel yang dihasilkan, pada ketiga variasi *ER* tersebut jumlah kalor yang dihasilkan relatif seimbang. Perbedaan signifikan terjadi pada kalor laten yang dihasilkan. Karena pada ketiga variasi tersebut jumlah air yang tersisa setelah mendidih berbeda. Hal ini mempengaruhi kalor laten yang dihasilkan karena jumlah air yang terkonversi menjadi uap bervariasi. Dari ketiga variasi tersebut, jumlah air yang terkonversi menjadi uap paling banyak diperoleh dari variasi *ER* 0,68 yaitu dengan sisa air sebanyak 480 gram.



Gambar 8 Total Kalor Yang Dihasilkan

Total kalor yang dihasilkan paling banyak didapatkan variasi *ER* 0,68 dengan nilai total kalor sebesar 1469,421 kJ. Semakin tinggi nilai *equivalence ratio* hingga mendekati reaksi pembakaran justru akan mengurangi kualitas *syn gas* yang dihasilkan, sehingga jumlah kalor yang dihasilkan kurang maksimal. Namun, apabila suplai udara yang digunakan terlalu sedikit akan mengurangi kalor yang dihasilkan pada tahap pembakaran. Sehingga sumber kalor yang dibutuhkan untuk proses gasifikasi menjadi kurang maksimal dan mempengaruhi kualitas *syn gas* yang dihasilkan.

Hasil nilai kalor tersebut kemudian kami bandingkan kecenderungannya dengan penelitian (Dwi et al. 2017) yang melakukan penelitian mengenai pengaruh kecepatan udara terhadap gasifikasi. Karena sebenarnya dengan menambah kecepatan udara, juga akan meningkatkan *ER* pada gasifikasi. Pada hasil penelitian kami, meningkatkan nilai *ER* juga meningkatkan nilai kalor dari gasifikasi. Namun menambah nilai *ER* hingga mendekati pembakaran justru membuat nilai kalor menurun. Sedangkan pada penelitian (Dwi et al. 2017) nilai kalor akan bertambah seiring dengan penambahan kecepatan udara, namun pada penelitian tersebut belum sampai menghasilkan jumlah kalor yang menurun. Perbedaan kecenderungan tersebut diakibatkan oleh *range* yang berbeda pada variasi penelitian kami sehingga pada penelitian (Dwi et al. 2017) belum diketahui titik maksimum agar didapatkan nilai kalor yang paling maksimal.

3.5 Efisiensi

$$\frac{k}{k} \frac{y}{y} \frac{d}{d} \times 100 \%$$

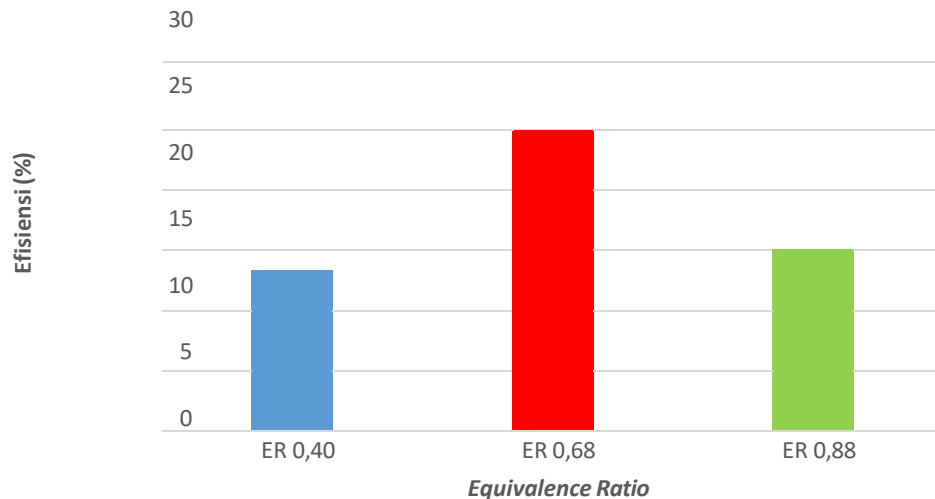
Dimana :

- Kalor yang digunakan = massa LPG x nilai kalor LPG
 - Jumlah LPG yang digunakan untuk memanaskan pasir hingga temperatur 400°C adalah 0,135 kg dengan waktu sepanjang 55 menit
 - nilai kalor LPG = 43953 kJ/kg (Yudisworo n.d.)
 - kalor yang digunakan = jumlah LPG yang digunakan x nilai kalor LPG
- = 0,135 kg x 43953 kJ/kg
- = 5933,656 Kj

Tabel 6 Tabel Efisiensi Thermal

ER	Kalor Total (kJ)	Kalor yang digunakan (kJ)	Efisiensi (%)
0,40	788,747	5933,65	13,29
0,68	1469,421	5933,65	24,76
0,88	927,741	5933,65	15,63

Tabel 4.6 serta gambar 4.8 menunjukkan efisiensi thermal yang dihasilkan dari ketiga variasi ER. Besarnya efisiensi merupakan perbandingan antara kalor yang dihasilkan dengan kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan pasir dari temperatur normal (29°C) hingga temperatur 400 °C. Waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan pasir adalah 55 menit dan menghasbiskan 0,135 kg LPG. Dengan nilai kalor LPG yang diketahui sebesar 43953 kJ/kg, maka nilai total kalor yang digunakan untuk memanaskan pasir adalah sebesar 5933,65 kJ.



Gambar 10 Efisiensi Thermal

Pada masing-masing variasi ER besarnya nilai Efisiensi berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh jumlah kalor yang dihasilkan pada masing-masing efisiensi yang berbeda. Besarnya *equivalence ratio* besarnya berpengaruh terhadap efisiensi thermal dari proses gasifikasi. Pada ER 0,40 nilai efisiensi yang didapatkan adalah 13,29 %. Pada ER 0,68 nilai efisiensi adalah sebesar 24,76 %. Sedangkan pada ER 0,88 nilai efisiensi yang didapatkan adalah sebesar 15,64 %. Efisiensi tertinggi didapatkan pada percobaan ER 0,68 dengan sebesar 24,76 %. Semakin besar *equivalence ratio* hingga mendekati proses *combustion* justru akan mengurangi efisiensi gasifikasi. Namun apabila *equivalence ratio* terlalu kecil, juga akan mengurangi efisiensi gasifikasi, karena membutuhkan waktu yang lebih panjang untuk menghasilkan sumber kalor yang dibutuhkan untuk proses gasifikasi.

4 PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan data yang diperoleh melalui percobaan pada reaktor *fluidized bed co gasification* dengan diameter 160 mm dan tinggi 1230 mm. Serta bahan bakar campuran batubara-serbuk kayu dan partikel bed jenis pasir silika dengan rata-rata ukuran 0,385 mm. Pengaruh *equivalence ratio* terhadap kinerja *fluidized bed gasifier* dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Besarnya *equivalence ratio* berpengaruh terhadap temperatur reaktor. Semakin tinggi *equivalence ratio*, temperatur rata-rata pada masing-masing titik reaktor akan semakin meningkat, sehingga kalor yang dihasilkan pada pembakaran bahan bakar dalam reaktor akan semakin tinggi dan mempengaruhi gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi.

- 2) Besarnya *equivalence ratio* berpengaruh terhadap nyala api proses gasifikasi. pada ER 0,40 api menyala selama 36 menit, pada ER 0,40 api menyala selama 39 menit. pada ER 0,88 api menyala selama 34 menit. Semakin tinggi nilai *equivalence ratio* lama nyala efektif akan semakin berkurang. Karena suplai udara yang masuk ke dalam reaktor semakin banyak sehingga reaksi pembakaran lebih cepat berlangsung. Namun, bila *equivalence ratio* terlalu kecil, akan membutuhkan waktu yang lebih banyak untuk menghasilkan sejumlah kalor yang dibutuhkan pada proses gasifikasi. Sehingga dibutuhkan optimasi untuk mendapatkan nyala api efektif maksimal
- 3) Besarnya *equivalence ratio* berpengaruh terhadap jumlah kalor yang dihasilkan. Nilai *equivalence ratio* hingga mendekati reaksi pembakaran justru akan mengurangi kualitas *syn gas* yang dihasilkan, sehingga jumlah kalor yang dihasilkan kurang baik. Sedangkan disisi lain, apabila suplai udara yang digunakan terlalu sedikit akan mengurangi kalor yang dihasilkan pada tahap pembakaran. Hal ini menyebabkan sumber kalor yang dibutuhkan untuk proses gasifikasi menjadi kurang maksimal dan mempengaruhi kualitas *syn gas* yang dihasilkan.
- 4) Besarnya *equivalence ratio* besarnya berpengaruh terhadap efisiensi thermal dari proses gasifikasi. Semakin besar *equivalence ratio* hingga mendekati proses pembakaran justru akan mengurangi efisiensi gasifikasi. Namun apabila *equivalence ratio* terlalu kecil, juga akan mengurangi efisiensi gasifikasi, karena membutuhkan waktu yang lebih panjang untuk menghasilkan sumber kalor yang dibutuhkan untuk proses gasifikasi.

4.2 Saran

Setelah melakukan penelitian co-gasifikasi batubara-serbuk kayu dengan reaktor *fluidized bed gasifier*, didapatkan beberapa saran sebagai berikut :

- 1) Karena proses gasifikasi merupakan proses endotermik, yaitu proses yang membutuhkan panas. Maka, sebaiknya pada dinding luar reaktor dipasang isolator agar tidak banyak kalor yang keluar dari reaktor ke luar reaktor
- 2) Pastikan alat ukur yang digunakan sudah dikalibrasi dan dapat digunakan dengan baik.
- 3) Saluran pembuangan gas yang tidak terbakar sebaiknya diarahkan ke area yang aman atau jauh dari jangkauan makhluk hidup. Karena gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi tersebut akan berbahaya bila dihirup langsung
- 4) Gunakan masker dan perlengkapan keamanan saat pengujian.
- 5) Untuk kedepannya semoga peralatan dalam penelitian jenis gasifikasi dapat lebih baik misal gas yang dihasilkan diteliti komposisi penyusunnya.

Daftar Pustaka

- Ahn, D. H., B. M. Gibbs, K. H. Ko, and J. J. Kim. 2001. "Gasification Kinetics of an Indonesian Sub-Bituminous Coal-Char with CO₂ at Elevated Pressure." *Fuel* 80(11):1651–58.
- Angga, I.Putu, Sukma Primantara, and I.Nyoman Suprpta Winaya. 2014. "FLUIDIZED BED GASIFICATION BERBAHAN BAKAR BIOMASSA DAN BATUBARA DENGAN VARIASI KOMPOSISI BAHAN BAKAR." 14(3):177–83.
- Badan Pusat Statistik. 2016. *Statistik Produksi Kehutanan 2015*.
- Basu, Prabir. 2006. "Combustion and Gasification of Fluidized Beds." 496.
- Basu, Prabir. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis Handbook*. Dewan Energi Nasional. 2014. *OUTLOOK ENERGI INDONESIA*.
- Dwi, Rizkitianto et al. 2017. "Pengaruh Kecepatan Udara terhadap KINERJA reaktor FLUIDIZED BED GASIFIER ."
- Han, Long et al. 2011. "Hydrogen Production via CaO Sorption Enhanced Anaerobic Gasification of Sawdust in a Bubbling Fluidized Bed." *International Journal of Hydrogen Energy* 36(8):4820–29.
- Kim, Young Doo et al. 2013. "Air-Blown Gasification of Woody Biomass in a Bubbling Fluidized Bed Gasifier." *Applied Energy* 112:414–20.

- Kumar, Ajay, Kent Eskridge, David D. Jones, and Milford A. Hanna. 2009. "Steam- Air Fluidized Bed Gasification of Distillers Grains: Effects of Steam to Biomass Ratio, Equivalence Ratio and Gasification Temperature." *Bioresource Technology* 100(6):2062–68.
- L.A.C Tarelho, J.P.S.P.O. Ribeiro, D.T. Pio, C.A.R. Ribeiro, M. A. A.Matos. 2015. "Characteristics of Producer Gas and Ash during Biomass (Direct) Gasification in an Autothermal Pilot-Scale Bubbling Fluidized Bed Reactor." *23rd European Biomass Conference and Exhibition, 1-4 June, Vienna, Austria* (June):1–4.
- Nugroho, Agus and Joko Rochmadi. 2016. "Gasifikasi Batubara Dan Limbah Pertanian Guna Mendapatkan Bahan Bakar Gas Alternatif." XV(2).
- Sarker, Shiplu, Fernando Bimbela, José Luis, and Henrik Kofoed. 2015. "Characterization and Pilot Scale Fluidized Bed Gasification of Herbaceous Biomass : A Case Study on Alfalfa Pellets." *Energy Conversion and Management* 91:451–58.
- Wijaya, I.Ketut and I.Nyoman Suprapta Winaya. 2017. "PENGARUH KOMPOSISI BIOMASSA DAN BATUBARA TERHADAP PERFORMANSI CO-GASIFIKASI SIRKULASI FLUIDIZED BED." 3(1):65–70.
- Yudisworo, W.Djoko. n.d. "STUDI ALTERNATIF PENGGUNAAN BBG GAS ELPIJI UNTUK BAHAN BAKAR MESIN BENSIN KONVENSIONAL