

**STUDI EKSPERIMEN CO-GASIFIKASI BATUBARA-
TEMPURUNG KELAPA DENGAN VARIASI *EQUIVALENCE
RATIO(ER)* PADA REAKTOR BUBBLING *FLUIDIZED BED
GASIFIER***



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh:

NUR SHODIQ

D 200 130 054

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2017

HALAMAN PERSETUJUAN

STUDI EKSPERIMEN CO-GASIFICATION BATUBARA-TEMPURUNG
KELAPA DENGAN VARIASI EQUIVALENCE RATIO (ER) PADA
REAKTOR BUBBLING FLUIDIZED BED GASIFIER

**STUDI EKSPERIMEN CO-GASIFICATION BATUBARA-TEMPURUNG
KELAPA DENGAN VARIASI EQUIVALENCE RATIO (ER) PADA
REAKTOR BUBBLING FLUIDIZED BED GASIFIER**

D 200 130 054

Telah dipertimbangkan di organ Dewan Pengaji

PUBLIKASI ILMIAH

Universitas Mahadewa di Sukakarta

Pada hari Sabtu, 2 September 2017

Dan dinyatakan sah secara akademik

oleh:

Dewan Pengaji

1. Nur Shodio, S.T., M.Eng

NUR SHODIO

2. Nur Aklis, S.T., M.Eng

D 200 130 054

3. Nur Aklis, S.T., M.Eng

4. Nur Aklis, S.T., M.Eng

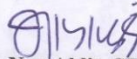
Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

5. Nur Aklis, S.T., M.Eng

6. Nur Aklis, S.T., M.Eng

Dosen

Pembimbing



Nur Aklis, S.T., M.Eng.

NIDN. 0001037801

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, Desember 2017

Penulis



NUR SHODIQ

D 200 130 054

HALAMAN PENGESAHAN

**STUDI EKSPERIMEN CO-GASIFICATION BATUBARA-TEMPURUNG KELAPA
DENGAN VARIASI EQUIVALENC RATIO (ER) PADA REAKTOR BUBBLING
FLUIDIZED BED GASIFIER**

OLEH

NUR SHODIQ

D 200 130 054

Telah di pertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik

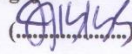
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Sabtu, 2 Desember 2017

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

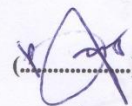
Dewan Penguji :

1. Nur Akli S.T.,M.Eng


(.....)

(Ketua Dewan Penguji)

2. Patna Partono, ST, MT


(.....)

(Anggota I Dewan Penguji)

3. Ir.Tri Tjahjono, MT


(.....)

(Anggota II Dewan Penguji)

Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, MT. Ph. D

NIK. 682

STUDI EKSPERIMEN CO-GASIFICATION BATUBARA-TEMPURUNG KELAPA DENGAN VARIASI *EQUIVALENCE RATIO (ER)* PADA REAKTOR *BUBBLING FLUIDIZED BED GASIFIER*

Abstrak

Biomassa adalah satu sumber energi terbarukan, biomassa dapat menjadi energi alternatif pengganti bahan bakar fosil. Bahan bakar biomassa mudah terbakar namun densitas rendah. Batubara memiliki *Heating Value* tinggi tapi memiliki kelemahan kesulitan pada penyalaan awal. Salah satu konversi batubara dan biomassa adalah dengan metode gasifikasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa co-gasifikasi dengan menggunakan bahan batubara dan biomassa tempurung kelapa pada beberapa parameter operasi *equivalence ratio (ER)*. Reaktor yang digunakan adalah reaktor *bubbling fluidized bed* dengan spesifikasi Diameter reaktor:160 mm,Tinggi :1230mm diameter lubang gas output:30mm dan tebal:3mm, setiap variasi *equivalence ratio(ER)* hasil gas di ukur dengan metode pendidihan air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Equivalent Ratio berpengaruh terhadap beberapa parameter yang dilakukan antara lain waktu nyala efektif, kalor dan efisiensi yang dihasilkan.

Kata Kunci: Biomassa, Batubara, Energi Fosil, *Co-Gasifikasi*, *Equivalence Ratio*,*Fluidized Bed*

Abstract

Biomass is a renewable energy source, biomass can be an alternative energy to replace fossil fuels. Combustible biomass fuel but low density. Coal has a high Heating Value but has a weakness of difficulty on initial startup. One of the conversion of coal and biomass is the gasification method. This research aims to determine the performance of co-gasification using coal and biomass materials coconut shell on several operating parameters Equivalent Ratio (ER). The reactor used is a fluidized bed bubbling reactor with a specification. Reactor diameter: 160 mm, Height: 1230mm diameter output gas hole: 30mm and thickness: 3mm, each variation Equivalent Ratio (ER) gas is measured by boiling method.. The results showed that the Equivalent Ratio effect on several parameters performed, among others, effective flame time, calorific value and the resulting efficiency.

Keywords: Biomass, Coal, Fossil Energy, *Co-Gasification*, *equivalent ratio*, *Fluidized Bed*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia baik dari zaman pra sejarah sampai pada masyarakat modern saat ini. Meningkatnya pertumbuhan ekonomi serta jumlah penduduk Indonesia dari tahun-ketahun turut memicu peningkatan kebutuhan energi di Indonesia. Untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia, sebagian besar sumber energi yang digunakan adalah sumber energi fosil. Bahan bakar fosil adalah bahan bakar yang terbentuk dari jasad makhluk hidup yang mati pada jutaan tahun lalu. Setelah ratusan juta tahun, semua organisme itu tergecet di bawah panas dan tekanan yang hebat dan terkonversi menjadi sumber energi yang berwujud padat, cair, atau gas, masing-masing adalah batu bara (padat), minyak bumi (cair), dan gas alam (gas). Pada tahun 2014, cadangan terbukti minyak bumi sebesar 3,6 miliar barel, gas bumi sebesar 100,3 TCF dan cadangan batubara sebesar 32,27 miliar ton. Bila diasumsikan tidak ada penemuan cadangan baru, berdasarkan rasio R/P (Reserve/Production) tahun 2014, maka minyak bumi akan habis dalam 12 tahun, gas bumi 37 tahun, dan batubara 70 tahun. Cadangan ini bahkan akan lebih cepat habis dari tahun yang disebut di atas karena kecenderungan produksi energi fosil yang terus meningkat[1]

Minyak bumi adalah energi fosil yang cadangannya paling cepat habis jika dibandingkan batubara dan gas alam. Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi minyak bumi adalah dengan memanfaatkan sumber energi lain yang jumlahnya masih banyak, yaitu batubara. Dimana untuk saat ini cadangan batubara adalah cadangan terbesar dan sebagian besar 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.[2]

Biomassa merupakan bahan organik yang didapatkan melalui proses fotosintetik pada tumbuhan baik berupa produk maupun buangan. Meliputi tanaman, pepohonan, rumput, atau limbah pertanian. Pusat data statistik menyatakan bahwa luas lahan pertanian tahun 2008-2013 adalah 39.5 Juta Ha dengan pembagian Lahan Sawah 8.1 Juta Ha, Tegal/Kebun 11.9 Juta Ha, Ladang 5.25 Juta Ha, dan, Lahan yang sementara tidak diusahakan 14.25 Juta Ha[3]. Teknologi yang dapat digunakan untuk mengonversi sumber energi batubara dan biomassa adalah dengan metode gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (CO , CH_4 , dan H_2) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas (20%-40% udara stoikiometri)[4]. Penggunaan dua jenis bahan bakar dimana salah satu bahan bakar yang digunakan adalah batu bara pada teknologi gasifikasi disebut dengan co-gasification. Berdasarkan terjadinya kontak antara bahan bakar dan gas reaktor gasifikasi dikategorikan dalam 3 jenis yaitu: entrained flow, fixed/moving bed gasifier, dan fluidized bed, dan jika ditinjau dari arah aliran udara, gasifier dibagi menjadi tiga tipe, yakni downdraft, updraft, dan crossdraft[5]. Fluidized bed gasification adalah metode gasifikasi dengan memfluidisasi partikel bahan bakar dengan gas pendorong seperti udara ataupun oksigen[6]. Fluidisasi adalah metoda pengontakan butiran-butiran padat dengan fluida baik cair maupun gas. Dengan metoda ini diharapkan butiran-butiran padat memiliki sifat seperti fluida dengan viskositas tinggi

Riskitianto (2017) melakukan penelitian dengan memvariasikan kecepatan udara yang masuk kedalam reaktor gasifikasi tipe fluidized bed dengan variasi kecepatan udara yang digunakan adalah 1 m/s, 1,5 m/s, 2 m/s, Pada kecepatan udara 1 m/s menghasilkan temperatur reaktor sebesar $386,6^{\circ}\text{C}$ jumlah kalor yang dihasilkan sebesar 933,6566 Kj dengan waktu nyala efektif selama 40 menit. Kecepatan udara 1,5 m/s menghasilkan temperatur reaktor sebesar $454,4^{\circ}\text{C}$ jumlah kalor yang dihasilkan sebesar 1.023,9417 Kj dengan waktu nyala efektif selama 38 menit. Kecepatan udara 2 m/s menghasilkan temperatur reaktor sebesar $487,5^{\circ}\text{C}$ jumlah kalor yang dihasilkan sebesar 1.227,0724 Kj dengan waktu nyala efektif selama 34 menit. Hasil dari penelitian menunjukkan variasi kecepatan udara berpengaruh terhadap temperatur

reaktor, jumlah kalor yang dihasilkan dan waktu nyala efektif yang dihasilkan[7]

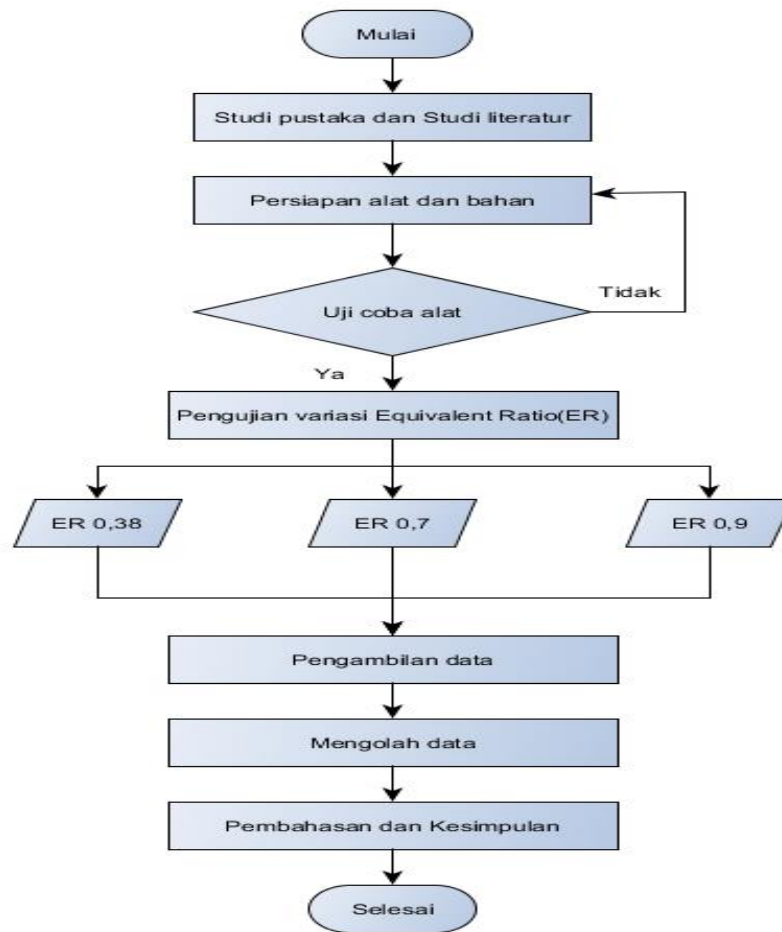
Rinath Suranani dan Venkat Reddy Goli (2012) dalam penelitiannya yang berjudul *Fuel Particle Size Effect on Performance of Fluidized Bed Combustor Firing Ground Nutshells* menyatakan bahwa Efisiensi pembakaran terutama dipengaruhi oleh ukuran partikel bahan bakar biomassa dan kecepatan udara di ruang bakar Pembakaran sempurna dari Karbon dalam bahan bakar memberikan efisiensi pembakaran tertinggi. Pembakaran karbon yang tidak sempurna terhadap karbon Monoksida dan Karbon yang tidak terbakar di abu akan mempengaruhi Efisiensi pembakaran dari pembakaran *fluidized bed* terfluidisasi[8]

Dalam penelitian ini hasil akhir yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik yang dihasilkan dari proses *co-gasifikasi* dengan memvariasikan *Equivalent Ratio (ER)*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari reaktor *co-gasifikasi* tipe *fluidized bed* dengan variasi *Equivalence Ratio (ER)* antar 3,8 ,7.0 dan 9,0 dengan bahan batubara dan tempurung kelapa.

2. METODE

2.1 Diagram Alir

Dalam penelitian ini ada beberapa tahapan yang dilakukan,berikut diagram alir tahapan penelitian



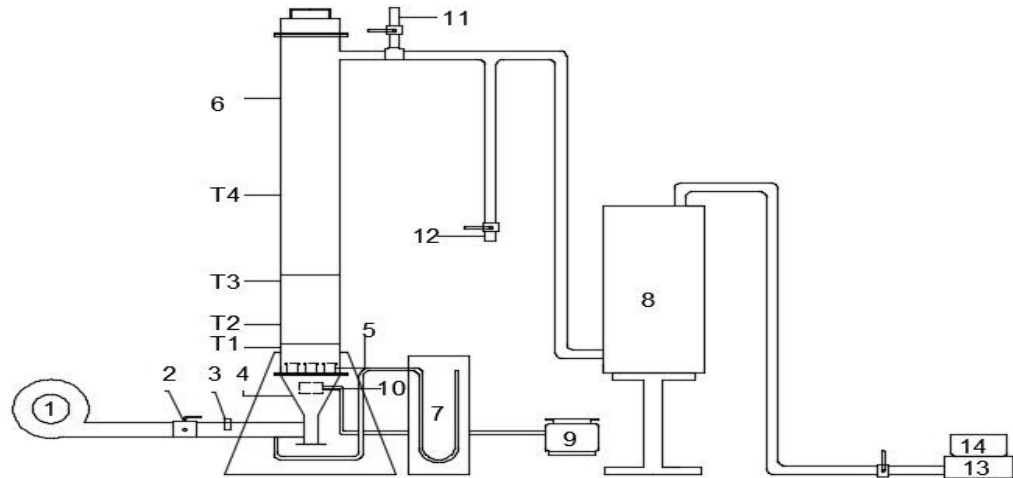
Gambar 1 Diagram alir penelitian

2.2. Instalasi Penelitian

1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan bakar biomassa tempurung kelapa, batubara dan pasir silika ukuran mesh 40. Dalam setiap satu kali proses percobaan bahan yang digunakan masing masing sebanyak 1,5 kg tempurung kelapa, 1,5 kg batubara dan 0,8 kg pasir silika.

2. Alat Penelitian



Gambar 2 desain reaktor *fluidized bed*

NO	Nama	Fungsi
1	Blower	Penyuplai udara sebagai medium kedalam reaktor/media pengasifikasi
2	Katup pengatur	Mengatur kecepatan udara yang mengalir dari blower menuju reaktor
3	Anemometer	mengukur kecepatan udara yang mengalir dari <i>blower</i> menuju reaktor.
4	Plenum	Plenum berfungsi sebagai saluran penghubung antara blower dengan distributor
5	Distributor	mengalirkan udara dari blower menuju reaktor sehingga dapat terjadi peristiwa fluidisasi
6	Reaktor gasifikasi	tempat berlangsungnya reaksi gasifikasi pembakaran
7	Manometer	Alat pengukur tekanan udara didalam plenum
8	Filter	menyaring atau memurnikan produk gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi
9	Tabung gas LPG	berfungsi sebagai sumber atau suplai kalor yang

		dihubungkan ke burner
10	Burner	digunakan untuk memanaskan pasir di dalam reaktor.
11	Saluran lubang	Saluran buang alternatif jika gas yang dihasilkan terlalu banyak
12	Pembuangan tar	Membung tar yang dihasilkan dari proses pembakaran gasifikasi
13	Kompur modifikasi	untuk membakar produk gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi
14	Panci air	Mengukur perubahan temperatur dalam reaktor saat terjadinya pembakaran

2.3 Tahapan Pengujian

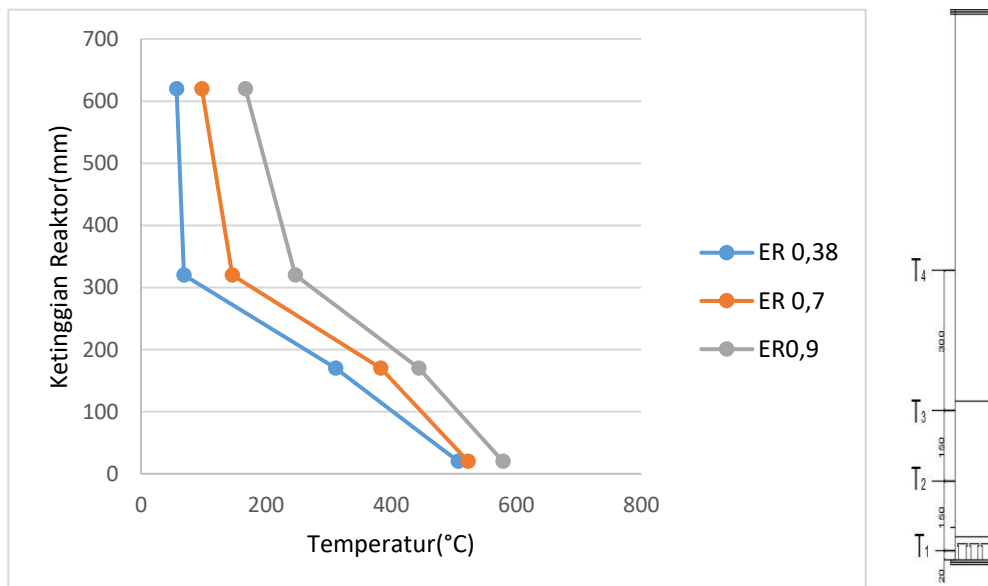
Sebelum pengambilan data dilakukan ada beberapa tahapan pengujian yang dilakukan

1. Memasukan partikel bed(pasir silika) dengan ukuran mesh 40 ke dalam reaktor *fluidized bed gasifier* sebesar 0,8 kg
2. Menimbang berat awal tabung gas LPG yang akan digunakan memanaskan bed(pasir silika) didalam reaktor
3. Menyalakan burner kemudian menghidupkan blower untuk memanaskan pasir didalam reaktor sampai temperatur 400°C. Setelah temperatur yang diinginkan sudah tercapai, matikan burner.
4. Memasukkan bahan bakar pengujian ke dalam reaktor, dimana bahan bakar yang digunakan adalah tempurung kelapa sebanyak 1,5 kg dan batubara 1,5 kg
5. Mengatur jumlah udar yang masuk ke dalam reaktor dengan katup pengatur
6. Mengatur Kecepatan udara rata-rata pada saluran masuk distributor untuk menentukan *equivalence ratio(ER)*

7. Mencatat data temperatur bed, temperatur reaktor, temperatur air dan temperatur nyala api pada termorider setiap 5 menit.
8. Mencatat waktu yang dibutuhkan untuk mendidihkan air
9. Mengukur nilai kalor dari gas yang dihasilkan dengan menggunakan sisa pendidihan air sebagai asumsi
10. Mengukur massa tabung gas LPG setelah proses pengujian berlangsung
11. Mengulangi langkah 1-9 dengan variasi *equivalence ratio (ER)* yang berbeda
12. Menganalisa dan membandingkan hasil percobaan pada variasi *equivalence ratio (ER)*

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Temperatur Reaktor



Gambar 3 Temperatur Reaktor

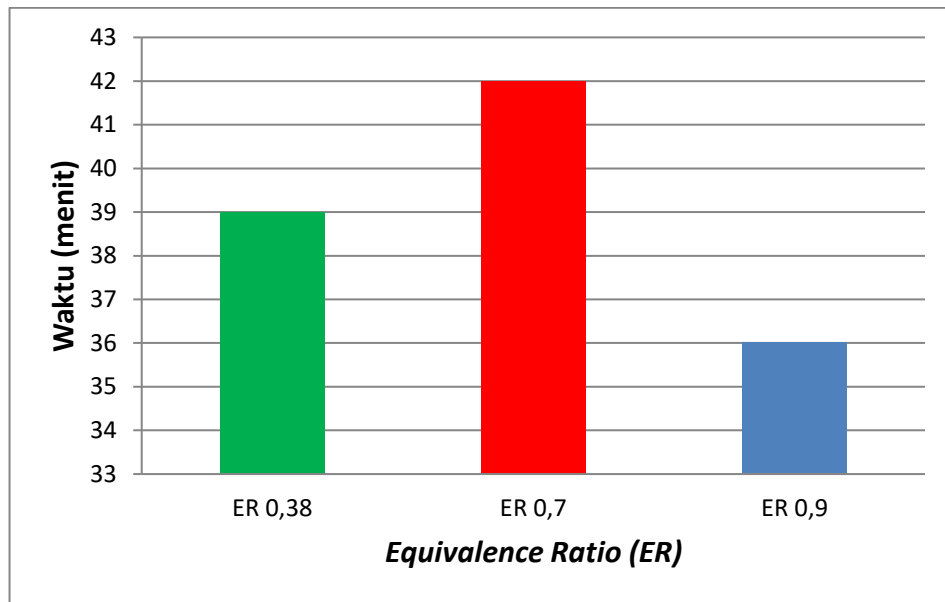
Pada gambar 3 menunjukkan hasil pengujian temperatur rata-rata reaktor pada 4 titik pengukuran reaktor (T_1, T_2, T_3 dan T_4) dengan tiga variasi Equivalence Ratio (ER). Besarnya temperatur reaktor pada masing-masing titik berbeda, hal ini disebabkan karena setiap titik pada reaktor terdapat perbedaan tahapan proses gasifikasi meliputi pengeringan, pirolisis (devolatilisasi), oksidasi dan reduksi. Pada variasi ER 0,38 didapatkan temperatur rata-rata pada titik T_1, T_2, T_3 dan T_4

sebesar 507,23°C, 311,08°C, 68,67°C, dan 56,96°C. Pada variasi ER 0,7 didapatkan temperatur rata-rata pada titik T1,T2,T3 dan T4 sebesar 523,08°C, 383,39°C, 146,23°C, dan 97,38°C. Sedangkan pada variasi ER 0,9 didapatkan temperatur rata-rata pada titik T1,T2,T3 dan T4 sebesar 578,69°C, 444,3°C, 246,92°C, dan 167,01°C.

Besarnya equivalence ratio berpengaruh terhadap profil temperatur reaktor. Semakin besar suplai udara yang masuk ke dalam reaktor maka temperatur rata-rata pada *setiap* 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

3.2 Waktu Nyala Efektif Api

Pada gambar 4 menunjukkan perbedaan waktu nyala efektif api yang dihasilkan dari pengujian menggunakan biomassa tempurung kelapa dan batubara. Waktu nyala efektif api adalah waktu lama api menyala dimana waktu api mati dikurangi waktu api awal menyala . Pada variasi ER 0,38 didapatkan waktu nyala efektif api selama 39 menit yaitu pada menit 17 sampai menit 56 kemudian pada variasi ER 0,7 didapatkan waktu nyala efektif api selama 42 menit yaitu pada menit 10 sampai menit 52 dan pada variasi ER 0,9 didapatkan waktu nyala efektif api selama 36 menit yaitu pada menit 8 sampai menit 44. Besarnya ER berpengaruh terhadap nyala efektif api yang dihasilkan saat proses gasifikasi, Semakin besar nilai equivalence ratio tidak berbanding lurus dengan waktu nyala efektif api, jika nilai equivalence ratio terlalu besar maka nyala efektif akan semakin berkurang hal ini disebabkan karena suplai udara yang masuk ke dalam reaktor semakin banyak sehingga reaksi pembakaran lebih cepat berlangsung yang mengakibatkan bahan bakar lebih cepat habis terbakar. Sedangkan bila equivalence ratio terlalu kecil, maka akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menghasilkan sejumlah kalor yang dibutuhkan pada proses gasifikasi pendidihan air



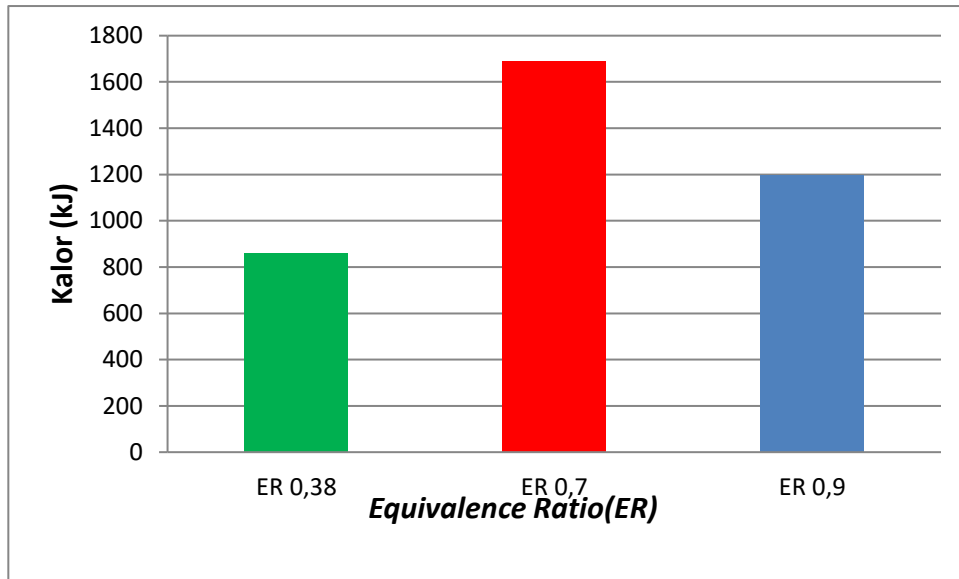
Gambar 4 Waktu Nyala Efektif Api

3.3 Nilai Kalor Total

Pada gambar 5 menunjukkan Nilai Kalor total yang dihasilkan dari pengujian menggunakan biomassa tempurung kelapa dan campuran batubara. Pada pengujian pertama dengan variasi ER 0,38 didapatkan hasil kalor sensibel sebesar 272,35 kj dan kalor laten sebesar 586,82 kj sehingga didapat kalor total sebesar 859,170 kj kemudian pengujian dengan variasi ER 0,7 didapatkan hasil kalor sensibel sebesar 289,89 kj dan kalor laten sebesar 1399,34 kj sehingga didapat kalor total sebesar 1689,23 kj dan pada pengujian dengan variasi ER 0,9 didapatkan hasil kalor sensibel sebesar 293,27 kj dan kalor laten sebesar 902,8 kj sehingga didapat kalor total sebesar 1196,07 kj.

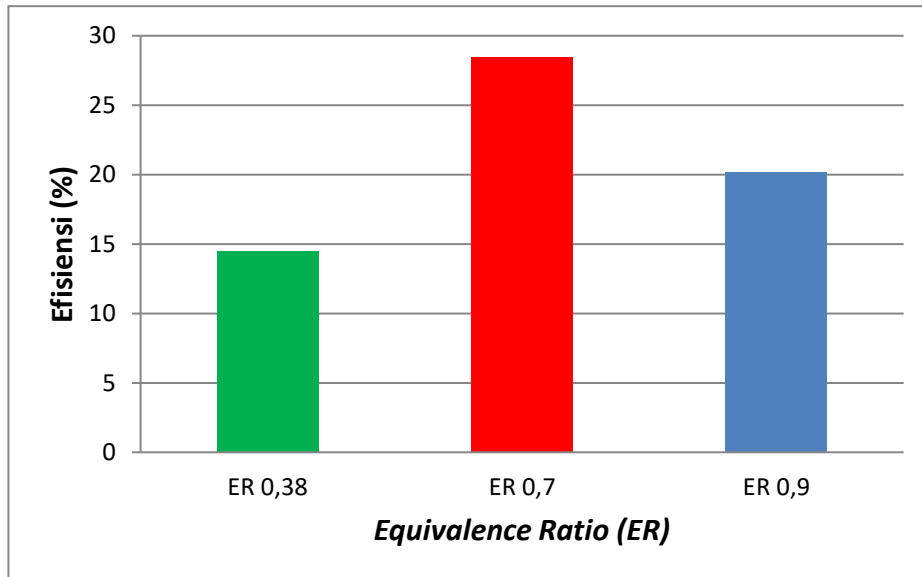
Dari ketiga pengujian dengan variasi ER yang dilakukan didapat nilai kalor tertinggi pada pengujian dengan variasi ER 0,7 sebesar 1689,23 kj. Pada ketiga variasi *ER* yang dilakukan jumlah kalor sensibel yang dihasilkan relatif hampir sama hal ini disebabkan karena pada ketiga variasi tersebut air digunakan untuk mendidihkan pada temperatur yang hampir sama. Sedangkan untuk kalor laten yang dihasilkan terjadi perbedaan yang cukup signifikan. 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.



Gambar 5 Nilai Kalor Total

3.4 Efisiensi Thermal



Gambar 6 Nilai Efisiensi Thermal

Pada gambar 6 menunjukkan nilai efisiensi yang dihasilkan dari pengujian menggunakan biomassa tempurung kelapa dan campuran batubara. Pada variasi ER 0,38 didapatkan efisiensi sebesar 14,48 % kemudian pada variasi ER 0,7 didapatkan efisiensi sebesar 28,47 % dan pada variasi ER 0,9 didapatkan efisiensi sebesar 20,16 %, dari pengujian ketiga variasi ER yang dilakukan didapatkan efisiensi terbesar pada variasi ER 0,7 yaitu sebesar 28,47%, besarnya efisiensi merupakan perbandingan antara kalor yang dihasilkan dengan kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan pasir dari temperatur normal (29°C) hingga temperatur 400 °C. Sehingga semakin tinggi nilai kalor yang dihasilkan maka efisiensi yang didapat juga semakin tinggi.

4 PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian reaktor *bubbling fluidized bed* dengan spesifikasi Diameter reaktor:160 mm,Tinggi : 1230 mm diameter lubang gas output: 30 mm dan tebal: 3 mm dengan media gasifikasi berupa air dengan temperatur awal 28°C - 29°C didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Besarnya *equivalence ratio* berpengaruh terhadap nyala efektif api yang dihasilkan saat proses gasifikasi. Jika nilai ER terlalu besar maka nyala efektif akan semakin berkurang hal ini disebabkan karena suplai udara yang masuk ke dalam reaktor semakin banyak sehingga reaksi pembakaran lebih cepat berlangsung yang mengakibatkan bahan bakar lebih cepat habis terbakar. Bila ER terlalu kecil, maka akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menghasilkan sejumlah kalor yang dibutuhkan pada proses gasifikasi pendidihan air .
2. Besarnya *equivalence ratio* berpengaruh terhadap karakteristik gas hasil gasifikasi dalam hal ini presentase kandungan *syngas*. Perbedaan presentase *syngas* yang dihasilkan ini akan berpengaruh terhadap nilai kalor dan efisiensi energi dari reaktor gasifikasi. Pada pengujian ER 0,38 didapatkan kalor total sebesar 859,170 kj kemudian pengujian ER 0,7 didapatkan kalor total sebesar 1399,34 kj dan pada pengujian ER 0,9 didapatkan kalor total sebesar 1196,07 kj. Semakin tinggi nilai

ER sampai mendekati reaksi pembakaran justru akan mengurangi kualitas *syngas* yang dihasilkan. Sehingga jumlah kalor yang dihasilkan kurang baik. Namun apabila suplai udara yang digunakan terlalu sedikit maka akan mengurangi kalor yang dihasilkan pada tahap pembakaran. Sehingga sumber kalor yang dibutuhkan untuk proses gasifikasi menjadi kurang maksimal.

3. Besarnya efisiensi merupakan perbandingan antara kalor yang dihasilkan dengan kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan pasir dari temperatur normal (29°C) hingga temperatur 400 °C. Sehingga semakin tinggi nilai kalor yang dihasilkan maka efisiensi yang didapat juga semakin tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Kumar, K. Eskridge, D. D. Jones, and M. A. Hanna, "Steam-air fluidized bed gasification of distillers grains: Effects of steam to biomass ratio, equivalence ratio and gasification temperature," *Bioresour. Technol.*, vol. 100, no. 6, pp. 2062–2068, 2009.
- A. R. Y. Descesar, P. Wibawa, P. Studi, T. Mesin, F. Teknik, and U. M. Surakarta, "BAKAR TERHADAP KERJA PADA REAKTOR FLUIDIZED," 2017.
- Aklis, Nur ., Riyadi, Rosyadi. G., Cahyono, W.T.2015. Studi Eksperimen KOnversi Biomassa menjadi Syngas Pada Reaktor Bubbling Fluidized Bed, Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi 2015, 19 Desember 2015. STTNas Yogyakarta. Hal 973-978
- Basu, Prabir.2006. "Combustion and Gasification of Fluidized Beds," p. 496.
- Dewan Energi Nasional. 2014. OUTLOOK ENERGI INDONESIA.
- Dwi Hadi Purnomo, Rizkitianto , P. Studi, T. Mesin, F. Teknik, and U. M. Surakarta, "pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Kinerja Fluidized Bed Gasifier Pada Distributor Udara Jenis Nozel."2017
- Gasifikasi. Diakses 27 september 2017 dari Wikipedia.

<https://id.wikipedia.org/wiki/Gasifikasi>

Proses Gasifikasi Konversi Baatubara Menjadi Gas. Diakses 28 September 2017 dari ardra.biz. <https://ardra.biz/sain-teknologi/ilmu-dan-teknologi-terapan/proses-gasifikasikonversi-batubara-menjadi-gas/>

S. Sarker, F. Bimbela, J. Luis, and H. Kofoed, “Characterization and pilot scale fluidized bed gasification of herbaceous biomass: A case study on alfalfa pellets. 2015.” *Energy Convers. Manag.*, vol. 91, pp. 451–458.

Types Of Gasifier(2013). Diakses pada 5 Oktober 2017 dari fao.org. <http://www.fao.org/docrep/t0512e/T0512e0a.htm>.