

STUDI GASIFIKASI BERBAHAN BAKAR BRIKET BATUBARA TERHADAP TEMPERATUR PEMBAKARAN



Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata 1 pada
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik

oleh :

MUHAMMAD ABDUL AZIZ

NIM : D200 090 086

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2018

HALAMAN PERSETUJUAN

**STUDI GASIFIKASI BERBAHAN BAKAR BRIKET BATUBARA
TERHADAP TEMPERATUR PEMBAKARAN**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh :

Muhammad Abdul Aziz

D 200090086

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen Pembimbing



Ir. H. Subyoto, MT.

HALAMAN PENGESAHAN

**STUDI GASIFIKASI BERBAHAN BAKAR BRIKET BATUBARA
TERHADAP TEMPERATUR PEMBAKARAN**

Oleh :

Muhammad Abdul Aziz

D 200090086

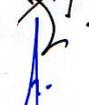
Telah Dipertahankan Didepan Dewan Penguji Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada hari Kamis, 22 Maret.....2018

Dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat.

Dewan Penguji :

Ketua : Ir. H. Subroto, MT. ()
Anggota 1 : Ir. Sunardi Wiyono, MT. ()
Anggota 2 : Amin Sulistyanto, ST., MT. ()



Ir. H. Sri Sunarjono, MT. Ph.D.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang sepengetahuan 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 ketidak benaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 10 April 2018
Penulis



MUHAMMAD ABDUL AZIZ
D 200090086

STUDI GASIFIKASI BERBAHAN BAKAR BRIKET BATUBARA TERHADAP TEMPERATUR PEMBAKARAN

ABSTRAKSI

Beberapa tahun terakhir ini energi merupakan persoalan yang krusial di dunia. Krisis energi yang disebabkan oleh pertumbuhan populasi penduduk dan menipisnya sumber cadangan minyak dunia serta permasalahan emisi dari bahan bakar fosil memberikan tekanan kepada setiap negara untuk segera memproduksi dan menggunakan energi terbarukan. Briket batubara merupakan energi yang dapat diperbaharui dan sangat potensial di Indonesia. Melalui teknologi gasifikasi, briket batubara dibakar dengan oksigen terbatas untuk menghasilkan gas metan yang mempan bakar. Pengujian gasifikasi briket batubara ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran partikel terhadap temperatur pembakaran, temperatur pendidihan air, nyala efektif dan efisiensi thermal tungku.

Penelitian diawali dengan menyuplai udara dari blower diberi kecepatannya 6.5 m/s. kemudian digunakan variasi ukuran partikel pada briket batubara. Ukuran partikel yang digunakan adalah berdiameter 10 mm, 15 mm, 30 mm, kemudian diukur temperatur pembakaran dan temperatur pendidihan air tiap 1 menit.

Hasil penelitian menunjukkan variasi ukuran diameter sangat berpengaruh terhadap temperatur pembakaran, temperatur pendidihan air, nyala efektif serta efisiensi thermal tungku yang dihasilkan. Ukuran diameter 10 mm temperatur pembakaran tertinggi sebesar 588.33 °C, temperatur pendidihan air selama 94 menit, nyala efektif selama 94 menit, dan efisiensi thermal tungku sebesar 36.68 %. Ukuran diameter 15 mm temperatur pembakaran tertinggi sebesar 513.33 °C, air mendidih selama 78 menit, nyala efektif selama 78 menit dan efisiensi thermal tungku sebesar 38.95 %. Ukuran diameter 30 mm temperatur pembakaran tertinggi sebesar 705.66 °C, waktu pendidihan air selama 55 menit, nyala efektif selama 55 menit dan efisiensi thermal sebesar 40.01 %.

Kata kunci: *Gasifikasi, briket batubara, ukuran partikel*

ABSTRACT

In the recent years, energy has become a crucial issue in the world. The energy crisis caused by growth of population and depletion of world oil reserves along with the emission issue from the fossil fuels gives pressure to each country to immediately produce and use renewable energy. Coal briquette is a renewable energy which is also very potential in Indonesia. By using gasification technology, coal briquettes are burned with limited oxygen to produce a fuel-burning methane gas. The testing of coal briquette gasification aims to find out the effect of diameter size on combustion temperature, boiling temperature of water, effective flame and thermal efficiency of the furnace.

The research began by supplying air from the blower with 6.5 m/s speed. Then, diameter sizes variations on coal briquettes were applied. The diameter size used were 10 mm, 15 mm, and 30 mm. Afterwards, combustion temperature and boiling temperature of water were measured per one minute.

The findings showed that variations on diameter size were highly significant on the combustion temperature, boiling temperature of water, effective flame and thermal efficiency of the furnace produced. In the diameter size of 10 mm, the highest burning temperature was

588.33 °C, the boiling temperature was for 94 minutes, the flame effective was for 94 minutes, and the thermal efficiency of furnace was by 36.88 %. Next, in the diameter size of 15 mm, the highest burning temperature was 513.33 °C, the boiling temperature was for 78 minutes, the flame effective was for 78 minutes, and the thermal efficiency of furnace was by 39,14 %. Lastly, in the diameter size of 30 mm, the highest burning temperature was 705.66 °C, the boiling temperature was for 55 minutes, the flame effective was for 55 minutes, and the thermal efficiency of furnace was by 40.11 %.

Keywords : gasification, coal briquette, diameter size

1. Pendahuluan

1.1 Latar belakang

Beberapa tahun terakhir ini energi merupakan persoalan yang krusial di dunia. Krisis energi yang disebabkan oleh pertumbuhan populasi penduduk dan menipisnya sumber cadangan minyak dunia serta permasalahan emisi dari bahan bakar fosil memberikan tekanan kepada setiap negara untuk segera memproduksi dan menggunakan energi terbarukan. Selain itu, peningkatan harga minyak dunia juga menjadi alasan yang serius yang menimpa banyak negara di dunia terutama Indonesia. Lonjakan harga minyak dunia akan memberikan dampak yang besar bagi pembangunan bangsa Indonesia. Konsumsi BBM yang tidak seimbang dengan produksinya sehingga terdapat defisit yang harus dipenuhi melalui impor. Menurut data ESDM (2006) cadangan minyak Indonesia hanya tersisa sekitar 9 miliar barel. Apabila terus dikonsumsi tanpa ditemukannya cadangan minyak baru, diperkirakan cadangan minyak ini akan habis dalam dua dekade mendatang.

Mengantisipasi hal itu, pemerintah Indonesia telah mengeluarkan blueprint pengelolaan energi nasional 2005 - 2025. Kebijakan ini ditekankan pada usaha menurunkan ketergantungan penggunaan energi hanya pada minyak bumi. Salah satu energi terbarukan yang mempunyai potensi besar di Indonesia adalah gasifikasi. Hal ini tercantum dalam Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (energi hijau) Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, misalkan briket batubara. Briket batubara dikonversi menjadi energi dalam bentuk bahan bakar cair, gas, panas, dan listrik. Teknologi konversi briket batubara menjadi bahan bakar padat, cair, dan gas, antara lain teknologi pirolisa (bio-oil), esterifikasi (bio-diesel), teknologi fermentasi (bio-

etanol), anaerobik digestion (biogas). Teknologi konversi briket batubara menjadi energi panas yang kemudian dapat diubah menjadi energi mekanis dan listrik, antara lain, teknologi pembakaran dan gasifikasi. Teknologi konversi termal briket batubara meliputi pembakaran langsung, gasifikasi, dan pirolisis atau karbonisasi. Masing-masing metode memiliki karakteristik yang berbeda dilihat dari komposisi udara dan produk yang dihasilkan.

1.2 Pembatasan masalah

- 1) Pengujian tidak membahas tentang pembuatan alat gasifikasi reaktor updraft.
- 2) Bahan yang dipakai untuk pengujian adalah briket batu bara
- 3) Kecepatan yang digunakan adalah 6.5 m/s
- 4) Variasi ukuran diameter yang digunakan adalah dengan diameter 10 mm, 15 mm, 30 mm.

1.3 Tujuan penelitian

- 1) Untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran diameter bahan terhadap temperatur pembakaran.
- 2) Untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran diameter bahan terhadap waktu pendidihan air.
- 3) Untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran diameter bahan terhadap waktu nyala efektif produk gas metana.
- 4) Untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran diameter bahan terhadap efisiensi thermal tungku.

1.4 Tinjauan pustaka

Proses gasifikasi pada *gasifier* terdiri beberapa tahapan. Menurut Mathieu dan Dubuisson (2002), proses gasifikasi berlangsung dengan empat tahapan dasar yaitu *pyrolysis*, *combustion*, *boudouard reaction*, dan *gasification processes*. Perbedaan gasifikasi dengan pembakaran langsung terletak pada jumlah oksigen yang dipakai untuk reaksi pembakaran. Gasifikasi dikondisikan kurang O₂, besarnya sekitar 25% dari kebutuhan O₂ untuk pembakaran sempurna. Apabila jumlah O melebihi dari 25% efisiensi gasifikasi turun. Pemanasan awal udara juga berpengaruh menaikkan efisiensi gasifikasi.

Penelitian parameter-parameter yang mempengaruhi efisiensi *gasifier* dilakukan oleh Jayah, dkk (2003). Parameter-parameter tersebut yaitu kandungan moistur, temperatur udara masuk, dan *heat loss*. Mereka menyimpulkan bahwa kandungan moistur bahan-bakar semakin tinggi, nilai kalor *syngas* semakin rendah, dengan kata lain efisiensi gasifikasi semakin kecil dengan tingginya kandungan moisture bahan bakar. Nilai tertinggi dari kandungan moistur dari bahan-bakar tidak boleh lebih dari 33%. Untuk pengaruh temperatur udara masuk, semakin tinggi temperatur udara masuk *gasifier* akan menaikkan efisiensi gasifikasi. Disamping itu, pemanasan udara masuk bisa menurunkan *air fuel ratio*. Sedangkan pengaruh besarnya *heat loss*, semakin kecil *heat loss* semakin besar pengaruhnya terhadap efisiensi konversi gasifikasi.

1.5 Dasar teori

1.5.1 Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar, disertai timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor. Tujuan dari pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Pembakaran terjadi karena bahan bakar bertemu dengan udara dan api/suhu tinggi. Berdasarkan gas sisa yang dihasilkan dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

- 1) Pembakaran sempurna, yaitu pembakaran dimana semua konstituen yang terbakar membentuk gas karbondioksida (CO_2), air (H_2O) dan sulfur (SO_2) sehingga tidak ada lagi bahan yang tersisa.
- 2) Pembakaran tidak sempurna, yaitu pembakaran yang menghasilkan gas karbonmonoksida (CO) dimana salah satu penyebabnya adalah kekurangan jumlah oksigen.

1.5.2 Briket Batubara

Briket Batubara adalah bahan bakar padat yang terbuat dari Batubara dengan sedikit campuran seperti tanah liat dan tapioka. Briket Batubara mampu menggantikan sebagian dari kegunaan Minyak Tanah seperti untuk : Pengolahan Makanan, Pengeringan, Pembakaran dan Pemanasan. Bahan baku utama Briket Batubara adalah Batubara yang sumbernya berlimpah di Indonesia dan mempunyai cadangan untuk selama lebih kurang 150 tahun. Teknologi pembuatan Briket tidaklah terlalu rumit dan dapat dikembangkan oleh masyarakat maupun pihak swasta dalam waktu singkat. Sebetulnya di Indonesia

telah mengembangkan Briket Batubara sejak tahun 1994 namun tidak dapat berkembang dengan baik mengingat Minyak Tanah masih disubsidi sehingga harganya masih sangat murah, sehingga masyarakat lebih memilih Minyak Tanah untuk bahan bakar sehari-hari. Namun dengan kenaikan harga BBM per 1 Oktober 2005, mau tidak mau masyarakat harus berpaling pada bahan bakar alternatif yang lebih murah seperti Briket Batubara.

1.5.3 Jenis Briket Batubara

- 1) Jenis Berkarbonisasi (super), jenis ini mengalami terlebih dahulu proses dikarbonisasi sebelum menjadi Briket. Dengan proses karbonisasi zat-zat terbang yang terkandung dalam Briket Batubara tersebut diturunkan serendah mungkin sehingga produk akhirnya tidak berbau dan berasap, namun biaya produksi menjadi meningkat karena pada Batubara tersebut terjadi rendemen sebesar 50%. Briket ini cocok untuk digunakan untuk keperluan rumah tangga serta lebih aman dalam penggunaannya.
- 2) Jenis Non Karbonisasi (biasa), jenis yang ini tidak mengalami dikarbonisasi sebelum diproses menjadi Briket dan harganya pun lebih murah. Karena zat terbangnya masih terkandung dalam Briket Batubara maka pada penggunaannya lebih baik menggunakan tungku (bukan kompor) sehingga akan menghasilkan pembakaran yang sempurna dimana seluruh zat terbang yang muncul dari Briket akan habis terbakar oleh lidah api dipermukaan tungku. Briket ini umumnya digunakan untuk industri kecil.

1.5.4 Gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu proses perubahan bahan bakar padat secara termokimia menjadi gas, dimana udara yang diperlukan lebih rendah dari udara yang digunakan untuk proses pembakaran.

Jenis reaktor gasifikasi berdasarkan arah aliran :

- 1) *Updraft gasifier*
- 2) *Downdraft gasifier*
- 3) *Crosdraft gasifier*

Tahapan Proses gasifikasi

- 1) Tahap Pengeringan
- 2) Tahap Pirolisis

- 3) Tahap Reduksi
- 4) Tahap Oksidasi

1.6 Gas metana

Metana adalah hidrokarbon paling sederhana yang berbentuk gas dengan rumus kimia CH_4 . Metana murni tidak berbau, tidak berwarna dan mudah terbakar.

- 1) Reaksi pembakaran gas metana dengan oksigen murni.



- 2) Reaksi pembakaran gas metana dengan udara di alam.

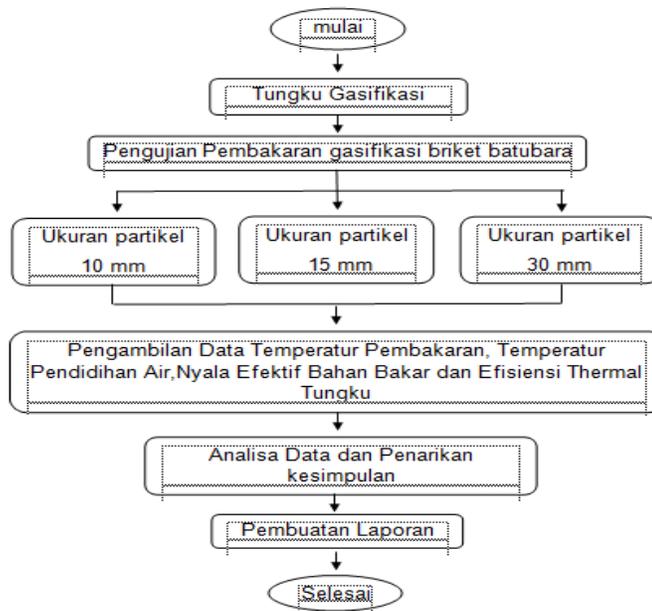


1.7 Kalor

Kalor adalah suatu bentuk energi yang berpindah dari benda yang suhunya lebih tinggi ke benda yang suhunya lebih rendah jika kedua benda berentuhan. Kalor berbeda dengan suhu, karna suhu adalah ukuran dalam satuan derajat panas.

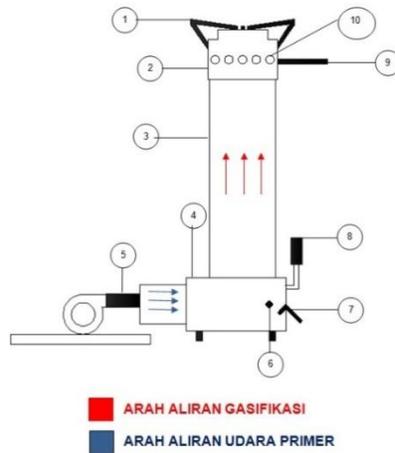
2. Metode Penelitian

2.1 Diagram Alir



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Instalasi pengujian



Gambar 2. Instalasi alat pengujian

Keterangambar:

- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1) <i>Pot holder</i> | 6) Pegangan pintu |
| 2) <i>Burner</i> | 7) Pengunci |
| 3) <i>Reactor</i> | 8) <i>Ash discharge lever</i> |
| 4) <i>Ash chamber</i> | 9) <i>Handle burner</i> |
| 5) Pipa saluran udara blower | 10) <i>Secondary air hole</i> |

2.3 Alat dan bahan penelitian



Gambar 3. Reaktor pembakaran



Gambar 4. *Ash chamber*



Gambar 5. Burner



Gambar 6. Blower



Gambar 7. Termometer rider



Gambar 8. Anemometer *digital*



Gambar 9. Timbangan analog



Gambar 10. *Stopwatch*



Gambar 11. Thermometer



Gambar 12. Briket Batubara

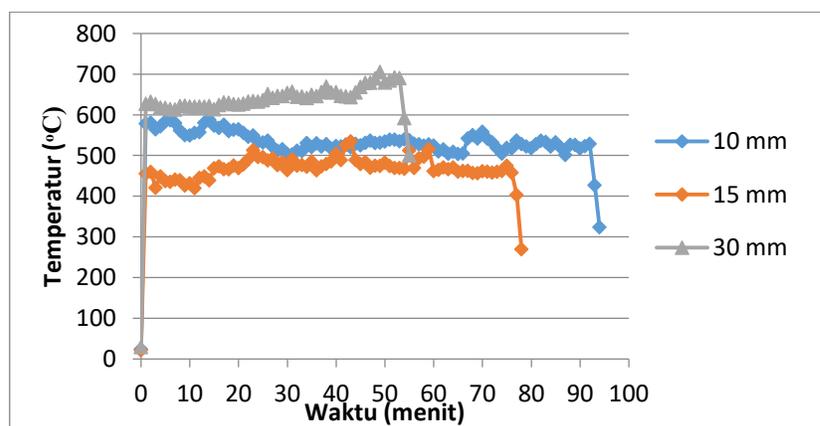
2.4 Langkah penelitian

Langkah – langkah yang dilakukan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

- 1) Mengisi reaktor pembakaran dengan briket batubara sesuai dengan variasi diameter yang telah ditentukan pada tiap – tiap pengujian.
- 2) Gunakan potongan kertas atau dedaunan kering dan minyak lalu letakan di atas briket batu bara yang berada pada reaktor pembakaran.
- 3) Bakar kertas tersebut , agar menghasilkan bara api dari briket batu bara, kemudian hidupkan blower dengan kecepatan udara yang telah direncanakan.
- 4) Kemudian tutup reaktor pembakaran dengan burner.
- 5) Setelah gas metana terbakar secara sempurna letakan panci yang terisi air 5 kg di atas burner.
- 6) Mengambil dan mencatat data dari temperatur pembakaran, temperatur pendidihan air, temperatur dinding isolasi,dan masing – masing, dalam waktu 1 menit, kemudian pada hasil akhir didapatkan nyala efektif dari bahan bakar.

3. Hasil dan pembahasan

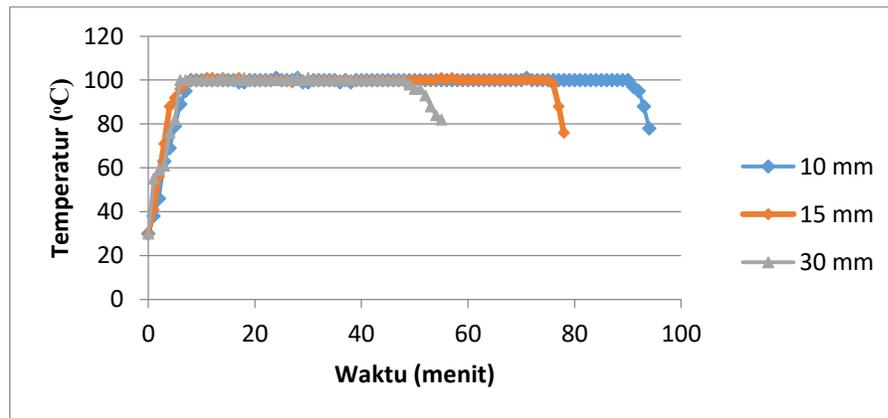
3.1 Perbandingan Temperatur Pembakaran pada Ukuran Berdiameter 10 mm, 15 mm, 30 mm



Gambar 13. Perbandingan temperatur pembakaran pada ukuran berdiameter 10 mm, 15 mm, 30 mm.

Gambar 13. Adalah perbandingan temperatur pembakaran pada ukuran diameter 10 mm, 15 mm, 30 mm. Menjelaskan bahwa nyala efektif yang paling lama adalah dengan menggunakan ukuran diameter 10 mm yaitu selama 94 menit, ukuran diameter 15 mm selama 78 menit, dan ukuran diameter 30 mm selama 55 menit. Temperatur pembakaran tertinggi yaitu pada percobaan dengan menggunakan ukuran diameter 30 mm, pada menit ke-49 dengan temperatur 705.66 °C, untuk diameter 15 mm pada menit ke-23 sebesar 513.33 °C, dan pada diameter 10 mm pada menit ke-14 sebesar 588.33 °C. Dari perbandingan temperatur pembakaran antara diameter 10 mm, 15 mm, 30 mm, menunjukkan diameter terkecil akan menghasilkan nyala efektif yang lebih lama, sedangkan dengan menggunakan diameter paling besar akan diperoleh temperatur pembakaran yang besar.

3.2 Perbandingan Temperatur Pendidihan Air pada Ukuran Diameter 10 mm, 15 mm, 30 mm.



Gambar 14. Perbandingan temperatur pendidihan air pada ukuran diameter 10 mm, 15 mm, 30 mm.

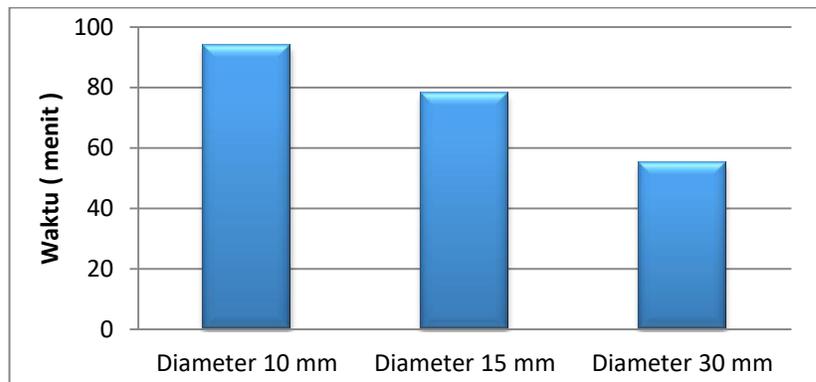
Gambar 14. menjelaskan bahwa waktu tercepat untuk menaikkan temperatur sampai 100 °C atau mencapai titik didih adalah dengan menggunakan diameter 30 mm yaitu dengan waktu 6 menit 30 detik, untuk ukuran diameter 15 mm mampu menaikkan temperatur sampai 100 °C dengan 8 menit, sedangkan pada ukuran diameter 10 mm mampu menaikkan temperatur 100 °C diperlukan waktu selama 8 menit. Hal ini dikarenakan temperatur pembakaran tertinggi adalah pada ukuran diameter 30 mm yaitu 705.66 °C, diameter 15 mm sebesar 513.33 °C, dan pada diameter 10 mm sebesar

588.33 °C, semakin tinggi temperatur pembakaran yang dihasilkan maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur 100 °C.

Tabel 1. Tabel perhitungan kalor laten air

d (mm)	m _{uap} (Kg)	h _{fg} (Kj/Kg)	Q _l (Kj)
10 mm	3.719 Kg	2333.0 Kj/Kg	8676.43 Kj
15 mm	3.987 Kg		9301.68 kj
30 mm	4.101 Kg		9567.64 j

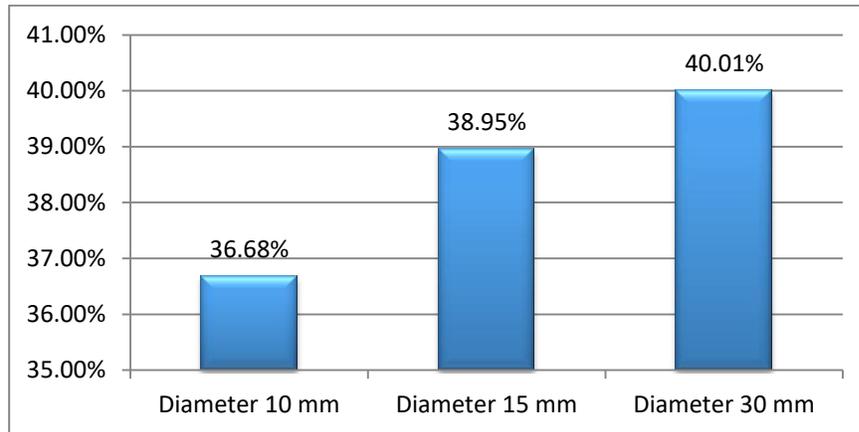
3.3 Perbandingan Nyala Efektif pada Ukuran Berdiameter 10 mm, 15 mm, 30 mm.



Gambar 15. Diagram perbandingan nyala efektif pada ukuran diameter 10 mm, 15 mm, 30 mm.

Gambar 15 adalah perbandingan nyala efektif pada ukuran diameter 10 mm, 15 mm, 30 mm menjelaskan bahwa, pada diameter 10 mm nyala efektif yang dihasilkan selama percobaan adalah selama 94 menit, ukuran diameter 15 mm selama 78 menit dan ukuran diameter 30 mm selama 55 menit. Artinya semakin besar ukuran partikel yang digunakan akan semakin singkat nyala efektif yang dihasilkan.

3.4 Perbandingan Efisiensi Thermal Tungku pada Ukuran Diameter 10 mm, 15 mm, 30 mm.



Gambar 16. Diagram perbandingan efisiensi thermal tungku pada ukuran diameter 10 mm, 15 mm, 30 mm..

Gambar 16. menjelaskan bahwa efisiensi thermal tiap-tiap percobaan berbeda, pada percobaan dengan menggunakan ukuran diameter 10 mm efisiensi thermal sebesar 36.88%, untuk percobaan dengan menggunakan ukuran diameter 15 mm sebesar 39.14%, dan percobaan dengan menggunakan ukuran diameter 30 mm sebesar 40.11%. Sehingga efisiensi thermal terbesar adalah pada percobaan dengan menggunakan ukuran diameter 30 mm sebesar 40.11%. Hal ini dipengaruhi oleh temperatur api yang lebih tinggi, masa uap yang diuapkan pun lebih besar, sehingga kalor yang digunakan untuk pendidihan air lebih besar.

Tabel 2. Perhitungan efisiensi thermal tungku

d (mm)	Kalor Terpakai (Kj)	Kalor Bahan Bakar (Q) (Kj)	η_{th} (%)
10 mm	10140.83 Kj	27644.7 Kj	36.68 %
15 mm	10766.08 Kj		38.95 %
30 mm	11032.04 Kj		40.01

4. Penutup

Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan, yaitu:

- 1) Temperatur pembakaran tertinggi pada diameter 10 mm sebesar 588.33 °C, diameter 15 mm sebesar 513.33 °C, dan diameter 30 mm sebesar 705.66 °C
- 2) Waktu pendidihan air pada percobaan dengan menggunakan diameter 30 mm adalah yang paling cepat dengan waktu 6 menit, jika dibandingkan dengan ukuran diameter 15 mm dan 10 mm.
- 3) Nyala efektif produk gas metana gasifikasi briket batubara menggunakan ukuran diameter 10 mm selama 94 menit, 15 mm selama 78 menit, dan 30 mm selama 55 menit
- 4) Efisiensi thermal tungku gasifikasi briket batubara pada ukuran diameter 10 mm adalah sebesar 36.68%, ukuran diameter 15 mm sebesar 38.95%, dan ukuran diameter 30 mm sebesar 40.01%.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmoko, Yudhi A, 2010. *Pengaruh Variasi Distribusi Udara Terhadap Karakteristik Pembakaran Tungku Gasifikasi Batubara*. Skripsi. Yogyakarta : Fakultas Teknik, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto
- Belonio, Alexis T. 2005. *Rice Husk Gas Stove Handbook*. Philippines: College of Agriculture Central Philippine University Iloilo City.
- Habib, Z.A.G.A., 2008, *Gasifikasi batubara dengan unggun terfluidakan*, Diakses pada tanggal 27 maret 2014 jam 15.30 WIB.
- Handoyo. 2013., "Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Temperatur Pembakaran Pada Tungku Gasifikasi Sekam Padi", Tugas Akhir S-1, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.

<http://majarimagazine.com/2008/06/gasifikasi-batubara-dengan-unggun-terfluidakan/>

Mathieu, dkk, *Sasol Coal-to Liquids Developments*, Gasification Technologies Conference, San Francisco, 2002. Diakses pada tanggal 27 maret 2014 jam 16.00 WIB.

<http://imambudiraharjo.wordpress.com/2009/03/06/gasifikasi-batubara/>