

PEMBAKARAN BERSAMA TEPUNG BATUBARA DAN SERBUK GERGAJI MENGGUNAKAN PEMBAKAR SIKLON SEDERHANA

Co-Firing Coal Powder and Sawdust Using Simplified Cyclone Burner for Small and Medium Industries

IKIN SODIKIN

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211
Tlp. (022) 6030483, Fax. (022) 6003373
Email : ikin@tekmira.esdm.go.id

SARI

Saat ini di daerah padat penduduk mulai dari Lampung, Jawa, Bali dan Nusatenggara Barat, limbah kayu berupa serbuk gergaji relatif melimpah, karena berkembangnya industri kayu albasia setelah surutnya pasokan kayu dari Kalimantan. Serbuk gergaji dapat dibakar secara efektif dan efisien melalui pembakaran bersama (*co-firing*) dengan batubara. Pembakaran bersama dapat dilakukan melalui briket *biocoal* atau melalui pembakaran kombinasi kayu gelondongan dengan batubara bongkah yang telah banyak diteliti dan menghasilkan efisiensi energi yang tinggi. Pembakaran bersama ini dapat juga dilakukan melalui pembakaran serbuk gergaji dengan tepung batubara. Alat pembakar yang digunakan adalah pembakar siklon tipe sederhana yang terjangkau harganya untuk Industri Kecil Menengah (IKM) di pedesaan, sehingga dapat menunjang program desa mandiri energi. Pembakar siklon merupakan alat pembakar tepung bahan bakar padat yang efektif, karena kondisi turbulensi yang tinggi. Dari hasil percobaan yang dilakukan, pembakaran bersama antara tepung batubara dan serbuk gergaji dengan komposisi 25% : 75% telah memberikan efisiensi energi sebesar 56-69%. Hal ini mendekati efisiensi energi penggunaan bahan bakar gas untuk penggunaan dalam rumah tangga dengan efisiensi $\pm 65\%$. Efisiensi energi sebesar ini dicapai penghematan $\pm 50\%$ dibanding penggunaan Bahan Bakar Gas (BBG) bersubsidi 3 kg. Kelebihan lain, dengan penggunaan teknik pembakaran bersama ini, proses pembakaran dapat dilakukan pada skala yang lebih besar, sehingga lebih efektif untuk pengembangan IKM di pedesaan, maupun untuk menunjang program desa mandiri energi. Selain itu, pembakaran bersama tetap layak untuk industri di perkotaan karena secara ekonomis dapat bersaing dengan gas bersubsidi maupun bahan bakar lainnya.

Kata kunci : pembakaran bersama, serbuk gergaji, tepung batubara, pembakar siklon

ABSTRACT

Currently, in dense populated areas such as Lampung, Java, Bali and West Nusa Tenggara, wood industrial wastes such as sawdust is relatively abundant, due to the development of albasia timber industry after the decline of timber supply from Kalimantan. Sawdust may be burned efficiently and effectively through co-firing burning with coal. Co-firing combustion may be performed through the bio-coal briquettes or combination burning between firewood and lumpy coal that had been investigated obtains high energy efficiency. Co-firing combustion can also be done through the combustion of powdered coal and sawdust. The burner used is a simple type of cyclone burner affordable for industry in rural areas, so it may support the program of self supporting energy villages. A cyclone burner may combust solid fuel effectively due to its high turbulence condition in its combustion chamber. The results of the experiment, the co-firing burning between powdered coal and sawdust with a composition of 25% coal and 75% sawdust in water evaporation process, high energy efficiency of 56-69% was obtained, which was close to gas fuel utilization efficiency which is about 65 % in house hold use. With this level of energy efficiency more and less of 50% savings may be achieved compared to

the use of the subsidized 3 kg Fuel Gas (CNG). Other advantages of the use of co-firing technique, are the combustion process can be done on larger scales, making it more effective for the development of industry in the country, as well as to support programs of self-sufficient energy villages. Besides that, the co-firing technique is viable for urban industry because its economically compete with subsidized gas and other fuels.

Keywords: co-firing, sawdust, coal powder, cyclone burner

PENDAHULUAN

Saat ini di daerah padat penduduk mulai dari Lampung, Jawa, Bali dan Nusatenggara Barat, potensi serbuk gergaji mulai melimpah, hal ini terjadi karena surutnya pasokan kayu dari Kalimantan. Setelah kayu Kalimantan menjadi mahal, masyarakat beralih ke kayu albasia yang lebih murah, sehingga budidaya kayu albasia menjamur, yang mengakibatkan industri penggergajian kayu meningkat dengan produk samping serbuk gergaji yang melimpah. Selain itu industri budidaya jamur tiram, serbuk gergaji bekas sebagai media semai jamur belum banyak dimanfaatkan dengan baik. Padahal serbuk gergaji dapat dibakar secara efektif dan efisien melalui pembakaran bersama (*co-firing*) dengan batubara. Proses pembakaran bersama batubara dan kayu sudah lama diketahui, menghasilkan efisiensi energi yang tinggi (Sumaryono, 2012).

Untuk memanfaatkan limbah serbuk gergaji tersebut, telah dicoba pembakaran bersama dengan tepung batubara, sehingga diharapkan campuran tepung batubara dan serbuk kayu tersebut dapat dibakar dengan efektif dan efisien. Salah satu teknik pembakaran bahan ini adalah teknik pembakar siklon dengan meniupkan tepung bahan bakar ke dalam silinder siklon dalam suasana turbulensi yang tinggi, sehingga mendorong proses pembakaran yang efektif. Untuk keperluan IKM, digunakan pembakar siklon sederhana dengan biaya yang terjangkau oleh masyarakat dan industri kecil, yaitu konstruksi pembakar siklon tanpa kerangka besi. Dengan pengembangan teknologi pembakaran bersama tepung batubara – serbuk gergaji maka hal ini sejalan dengan program pemerintah untuk menggalakkan energi terbarukan (biomassa) dan meningkatkan peran batubara dalam bauran energi nasional sesuai PP no. 5 tahun 2006 menjadi 33% pada tahun 2025. Selain untuk IKM, teknik pembakaran bersama ini dapat juga dikembangkan untuk industri – industri di perkotaan, yang saat ini masih banyak yang menggunakan Bahan Bakar Gas (BBG) bersubsidi.

METODOLOGI

Pembakaran bersama (*co-firing*), yaitu sistem pembakaran dua tipe bahan bakar atau lebih yang berbeda karakteristiknya secara bersamaan, dengan tujuan untuk menggantikan sebagian dari bahan bakar fosil, terutama batubara. Tipe tungku pembakaran yang digunakan dalam penelitian ini adalah tungku pembakar siklon.

Dalam melaksanakan kegiatan penelitian teknologi pembakaran bersama batubara dengan serbuk gergaji, khususnya dengan pembakar siklon sederhana, kegiatan yang dilakukan adalah :

1. Pembuatan tungku pembakar siklon dengan peralatan pengumpan batubara, peniup udara, cerobong dan alat penguji.
2. Uji efisiensi awal penggunaan tungku pembakar siklon untuk penguapan air dengan menggunakan wajan.
3. Modifikasi tungku untuk mengoptimalkan beberapa parameter seperti *draft*, pemerataan panas dan hambatan peniup udara, untuk perbaikan unjuk kerja.
4. Uji efisiensi penguapan dengan tungku termodifikasi dan teknik pembakaran bersama serbuk gergaji dan tepung batubara dan evaluasi selanjutnya

Pembuatan Tungku Pembakar Siklon

Tungku siklon yang dibuat berdiameter dalam 40 cm dan tinggi 60 cm. Di bagian bawah terdapat jendela untuk pengeluaran abu dan pipa untuk pemasukan bahan bakar dengan diameter 5 cm. Lingkaran kedua berupa butiran pecahan genteng dan bata disusun melingkar dengan ketebalan 5 cm, dan lingkaran terluar dibuat selimut tungku yang berukuran lebih besar dari diameter selinder tungku siklon yang dibuat dari susunan bata merah.

Pembakar siklon adalah pembakar batubara berupa silinder yang bagian dalamnya dilapisi dengan lining refraktori yang tahan sampai dengan temperatur

1550 °C. Pembakaran batubara dilakukan dengan meniupkan tepung batubara -30 mesh secara tangensial ke dalam silinder pembakar siklon sehingga dalam ruang silinder dihasilkan suasana turbulensi tinggi pada temperatur 1175 – 1500°C atau lebih. Dalam keadaan ini dicapai efisiensi pembakaran yang tinggi dengan gas emisi yang bersih dan tidak mengandung gas hidrokarbon (Sumaryono, 2009).

Untuk membakar biomassa pada pembakar siklon, bahan baku biomassa perlu dipersiapkan dalam bentuk partikel-partikel kecil sehingga mempermudah pengumpanannya secara otomatis.

Uji Efisiensi Energi Awal Penggunaan Tungku Pembakar Siklon

Uji efisiensi penguapan awal penggunaan tungku pembakar siklon dilakukan dengan menggunakan wajan ukuran 110 cm dan bahan bakar batubara. Proses pembakaran bahan bakar padat berupa batubara dan biomassa berlangsung secara bertahap yaitu pengeringan, pelepasan zat terbang (devolatilisasi) dan pembakaran arang.

Pengeringan

Dalam proses pembakaran tahap pertama yang terjadi adalah proses pengeringan, yaitu ketika sebuah partikel dipanaskan pada temperatur tinggi atau radiasi api, air lembab di permukaan bahan bakar akan menguap, sedangkan yang berada di dalam akan mengalir keluar melalui pori-pori partikel dan menguap. Air lembab dalam bahan bakar padat terdapat dalam dua bentuk, yaitu sebagai air bebas (*free water*) yang mengisi rongga pori-pori di dalam bahan bakar dan sebagai air terikat (*bound water*) yang terserap di dalam struktur bahan bakar (Borman dan Ragland, 1998).

Pelepasan zat terbang (devolatilisasi)

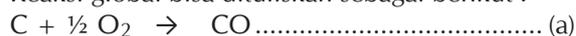
Setelah proses pengeringan berlangsung, maka dilanjutkan dengan proses pelepasan zat terbang (devolatilisasi/pirolisis). Bahan bakar mulai mengalami dekomposisi, yaitu pecahnya ikatan kimia secara termal dan zat terbang (*volatile matter*) akan keluar dari partikel. Zat terbang adalah hasil dari proses devolatilisasi. Zat terbang terdiri dari gas-gas yang bisa terbakar dan yang tidak bisa terbakar. Untuk partikel yang besar hasil devolatilisasi berpindah dari pusat partikel ke permukaan untuk kemudian keluar. Selama perpindahan ini, hasil devolatilisasi bisa pecah, mengembun, membentuk polimer dan mungkin membentuk endapan karbon sepanjang

lintasannya. Ketika zat terbang keluar dari pori-pori bahan bakar padat, oksigen dari udara luar tidak dapat menembus ke dalam partikel, sehingga proses devolatilisasi dapat dianggap sebagai tahap pirolisis (Susanto, 1990).

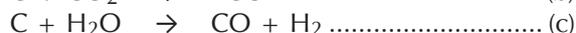
Pembakaran arang

Tahap selanjutnya adalah proses pembakaran arang yaitu sisa proses pengeringan dan devolatilisasi. Laju pembakaran arang tergantung pada konsentrasi oksigen, temperatur gas, bilangan Reynolds, ukuran, dan porositas arang. Arang mempunyai porositas yang tinggi, porositas arang kayu berkisar 0,9 (Borman dan Ragland, 1998). Secara teknis, untuk menunjukkan laju pembakaran partikel arang (*char*) lebih tepat menggunakan laju reaksi global (*global reaction rate*). Laju reaksi global adalah laju reaksi massa arang per satuan luas permukaan luar dan per satuan konsentrasi oksigen di luar lapis batas partikel.

Reaksi global bisa dituliskan sebagai berikut :



Selain itu permukaan karbon juga bereaksi dengan karbondioksida dan uap air dengan reaksi reduksi sebagai berikut :



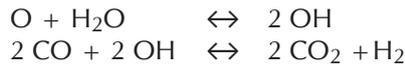
Reaksi reduksi (b) dan (c) secara umum lebih lambat daripada reaksi oksidasi (a), dan untuk pembakaran biasanya hanya reaksi (a) yang diperhitungkan (Sami dkk., 2000).

Uji Efisiensi Energi Pembakaran Bersama Serbuk Gergaji dan Tepung Batubara

Uji efisiensi energi melalui pendidihan/penguapan air dengan bahan bakar campuran kayu serbuk gergaji dengan tepung batubara menggunakan pembakar siklon dilakukan dengan menggunakan batubara dengan kalori sebesar 5.424 kal/gr,adb, serbuk gergaji jenis kayu mahoni dengan kalori sebesar 4.244 kal/gr,adb dan serbuk gergaji jenis kayu albasia dengan kalori sebesar 4.083 kal/gr,adb.

Biomassa dan batubara dalam pembakaran menghasilkan uap air. Kehadiran uap air dapat berfungsi sebagai katalis pada pembentukan radikal hidroksil (OH) dengan reaksi sebagai berikut (Setiawan dkk., 2008):





Radikal hidroksil tersebut selain bereaksi dengan gas CO bereaksi juga dengan partikel karbon dengan reaksi :



CO dengan mudah bereaksi dengan O_2 menghasilkan panas. Panas ini menguraikan hidrokarbon menjadi hidrokarbon dari molekul-molekul ringan dan C. Selanjutnya C bereaksi dengan radikal OH, demikian seterusnya pembakaran menjadi lebih baik dan asap karbon/hidrokarbon menjadi berkurang.

Pembakaran campuran batubara – biomasa dapat menghasilkan efisiensi pembakaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan pembakaran batubara atau biomasa yang dilaksanakan secara individual (Sumaryono, 1994; Sumaryono dkk, 1997). Hasil Penelitian penggunaan *biocoal* yang merupakan briket campuran batubara dengan serbuk gergaji di Hokaido, Jepang, memberikan efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan briket batubaranya saja atau serbuk gergaji saja (Maruyama dan Chui Chi, 1985). Hasil penelitian di Indonesia, efisiensi penggunaan briket *biocoal* dapat mencapai 47% dibandingkan briket batubara dengan efisiensi energi 35 % dan serbuk gergaji dibawah 25 % (Sumaryono,dkk, 1997). Hasil penelitian sistem pembakaran bersama batubara – kayu bakar pada

industri bata, genteng dan kapur, menunjukkan efisiensi energi sistem pembakaran bersama jauh lebih tinggi dibanding pembakaran individu batubara atau kayu bakar saja, misal untuk pembakaran kapur dengan kayu bakar diperoleh efisiensi energi 27%, dengan batubara saja 35%, sedangkan kombinasi batubara – kayu bakar dicapai efisiensi energi 52% (Sumaryono, 2012). Hal ini diperkirakan karena sifat kayu yang lebih reaktif dari batubara dapat berfungsi untuk menstabilkan pembakaran. Selain itu kadar air dalam kayu dapat memperbaiki proses pembakaran hidrokarbon dari batubara karena dengan adanya air, maka akan dihasilkan radikal – radikal yang dapat memperbaiki proses pembakaran (Setiawan dkk.,2009).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Bahan Bakar

Dalam penelitian ini digunakan bahan bakar berupa satu jenis batubara dan dua jenis biomassa berupa serbuk kayu mahoni dan albasia. Dari hasil karakterisasi dapat diketahui sifat-sifat dasar dari bahan bakar tersebut seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Hasil analisis proksimat dan ultimat seperti terlihat pada Tabel 1, nilai kalori batubara sebesar 5.424 kal/gr,adb yang dapat dikategorikan sebagai batubara jenis sub bituminus. Sedangkan nilai kalori biomassa serbuk gergaji kayu jenis mahoni sebesar

Tabel 1. Hasil analisis proksimat dan ultimat bahan bakar

Parameter	Satuan	Batubara	Kayu Mahoni	Kayu Albasia
Nilai Kalor	kal/gr,adb	5.424	4.244	4.083
Air lembab	%, adb	14,14	11,01	43,36
Analisis Proksimat				
Zat terbang	%, adb	43,32	71,37	72,41
Karbon padat	%, adb	39,49	16,64	14,37
Abu	%, adb	6,65	0,98	1,38
Analisis Ultimat				
Karbon (C)	%, adb	59,26	46,45	46,56
Hidrogen (H)	%, adb	5,49	6,28	5,95
Nitrogen (N)	%, adb	0,80	0,31	1,49
Oksigen (O)	%, adb	27,53	45,92	44,44
Sulfur (S)	%, adb	0,25	0,06	0,18

4.244 kal/gr,adb dan serbuk gergaji kayu jenis albasia sebesar 4.083 kal/gr,adb.

Jika dipandang dari hasil analisis ultimat dengan parameter-parameternya yang terdiri atas C, H, O, N, dan S, yang dianggap sebagai unsur-unsur yang mempengaruhi nilai kalori adalah C, H dan O karena unsur C dan H adalah senyawa hidrokarbon dan unsur H dan O dapat membentuk air. Sedangkan unsur-unsur S dan N akan membentuk emisi gas-gas asam. Dari berbagai biomassa yang ada, material kayu cenderung mengandung nitrogen lebih rendah dibandingkan dengan material biomassa limbah pertanian. Secara umum, kecilnya kandungan unsur N dan S pada semua material biomassa bila dibandingkan dengan kandungan unsur nitrogen N dan S pada batubara menjadi suatu kelebihan dari material biomassa. Pada saat digunakan sebagai bahan bakar campuran dengan batubara pada pembakaran bersama, biomassa memberikan andil yang kecil dalam pembentukan gas NO_x dan SO_x yang dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan (Baxter, 2004).

Kandungan abu sebesar 6,65% pada batubara, 0,98% pada biomassa jenis kayu mahoni dan 0,98% pada biomassa jenis kayu albasia. Kecilnya kandungan abu biomassa merupakan suatu kelebihan untuk digunakan sebagai bahan bakar pada pembakaran bersama (Tillman, 2000).

Hasil percobaan pembakaran dengan batubara pada tungku berdiameter 30 cm dengan tinggi 50 cm, memberikan kapasitas pembakaran optimal 8-12 kg/jam. Karena kalori campuran batubara – biomassa lebih rendah tetapi volumenya besar, maka dibuat tungku lebih besar. Tungku siklon yang dibuat berdiameter dalam 40 cm dan tinggi 60 cm. Selinder tungku siklon pertama berupa lingkaran batu kuarsa (batu tahan api) dengan diameter 40 cm disusun naik sampai setinggi 60 cm. Di bagian bawah terdapat jendela untuk pengeluaran abu dan pipa untuk pemasukan bahan bakar dengan diameter 5 cm. Lingkaran kedua berupa butiran pecahan genteng dan bata disusun melingkar dengan ketebalan 5 cm, dan lingkaran terluar dibuat selimut tungku yang berukuran lebih besar dari diameter selinder tungku siklon yang dibuat dari susunan bata merah, untuk menahan agar panas di dalam tungku tidak terbuang keluar. Ruang tungku dibuat sebagai ruang kontak antara lidah api dengan wajan dan dilengkapi dengan cerobong setinggi 2 meter. Ilustrasi tungku dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar pembuatan lobang tiup dan pemasukkan batubara, gambar tungku siklon tegak ukuran Ø 40 cm dan tinggi 60 cm yang sudah terbentuk dengan jendela untuk pembuangan abu, gambar pembuatan selimut, gambar pembuatan lobang nyala api, tempat dudukan wajan, dan gambar pemasangan cerobong setinggi 2 meter. Tungku sederhana ini tidak menggunakan konstruksi besi yang harganya mahal.

Ujicoba pembakaran tungku siklon dilakukan dengan menggunakan wajan ukuran 110 cm dan bahan bakar batubara. Ujicoba dilakukan dengan 3 parameter kecepatan pengumpanan batubara yang berbeda, yakni 8, 20 dan 30 kg/jam. Dari hasil percobaan tersebut diperoleh nilai-nilai efisiensi energi maksimal untuk tiap kecepatan umpan, masing-masing sebesar 34, 29 dan 23%. Rendahnya efisiensi kemungkinan disebabkan *output* energi yang terlalu tinggi, sehingga wajan yang berukuran 110 cm dengan kapasitas air 104 liter tidak mampu menyerap energi panas yang dihasilkan dari pembakaran batubara dengan sempurna, hal ini terlihat dari temperatur cerobong yang tinggi. Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa tungku ini akan lebih baik digunakan untuk bahan bakar yang lebih rendah energinya seperti serbuk gergaji yang dibakar bersama dengan batubara.

Pembakaran Campuran Serbuk Gergaji dengan Tepung Batubara

Uji pendidihan air dengan bahan bakar campuran kayu serbuk gergaji dengan tepung batubara menghasilkan data percobaan seperti dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil ujicoba pembakaran campuran kayu serbuk gergaji dengan tepung batubara seperti terlihat pada Tabel 2, telah menghasilkan efisiensi energi yang cukup tinggi, antara 56,33 sampai 69,86%. Kemungkinan penyebab naiknya efisiensi energi ini selain karena faktor kayu bakar sebagai bahan penstabil proses pembakaran karena sifatnya yang lebih reaktif, juga mungkin karena sifat H₂O yang terdapat pada kayu, yang pada temperatur tinggi dapat menghasilkan radikal-radikal yang dapat memperbaiki proses pembakaran hidrokarbon. Hal ini terindikasi pada pembakaran CWF (*coal water fuel*) yang ternyata lebih baik daripada pembakaran COM (*coal oil mixture*). Indikasi lain dipraktikkan pada stoker di Eropa di waktu yang lalu (Williams, 1992) yang ditambahkan air pada batubara bitumi-



A



B



C



D



E



F

Gambar 1. (A, B, C, D, E, F) Proses pembuatan tungku siklon Ø 40 cm, tinggi 60 cm

Tabel 2. Hasil pembakaran campuran tepung batubara dan serbuk gergaji

Jenis Serbuk Kayu	Kecepatan Umpan Bahan Bakar	Campuran 75% Serbuk Kayu & 25% Batubara Yang Terbakar	Efisiensi Energi
	Kg/Jam	Kg	%
Mahoni	10,0	3,40	67,08
	15,0	15,0	63,24
	18,0	18,0	61,30
Albasia	9,7	3,23	56,33
	17,6	3,80	69,86
	17,6	19,6	63,96

nus yang dibakar di atas *chaingrate*, untuk mengurangi terbentuknya asap (asap hidrokarbon).

Tingkat efisiensi sebesar ini untuk pembakaran bersama termasuk relatif tinggi. Hal ini nampak jelas jika dibandingkan dengan hasil pembakaran bersama sebelumnya dalam beberapa sistem dengan batubara dan kayu bongkahan (Sumaryono, 2012). Untuk pembakaran bersama efisiensi energi pada berbagai komoditas tungku dengan sistem pembakaran batubara dan kayu masing – masing, untuk tungku bata merah 42,1% (batubara sub bituminus) dan 48% (batubara bituminus), tungku kapur 34,9% (batubara sub bituminus) dan 52,2% (batubara bituminus), serta tungku pendidihan air 47% (batubara su-bituminus).

Pada penelitian tersebut terutama dalam pembakaran bersama kedua bahan bakar dalam bentuk bongkah (*lumpy*), sedangkan dalam penelitian ini pembakaran bersama dilakukan dalam bentuk serbuk/tepung yang hasilnya cenderung efisiensi energinya lebih tinggi. Hal ini dapat dimengerti karena dalam bentuk tepung reaksi pembakaran lebih cepat sesuai dengan kaidah dalam kinetika kimia termasuk proses pembakaran.

Selain itu penelitian ini didukung oleh parameter-parameter percobaan dengan proses-proses yang berurutan, setiap prosesnya berlangsung dengan efisien. Urutan proses penguapan air dengan wajan ini adalah sebagai berikut :

1. Proses konversi energi dari campuran 75% serbuk gergaji dan 25% tepung batubara dengan energi potensial 4.350 kkal/kg (hasil perhitungan dari data analisis kimia pada Tabel 1), menjadi energi panas.

- ♦ Tungku pembakar siklon bertemperatur 1.200-1.240 °C dengan kandungan panas (*sensible heat*) yang besar karena dibuat dari refraktori yang tebal.
- ♦ Campuran serbuk gergaji dan tepung batubara, masuk ke dalam tungku pembakar siklon dalam kondisi turbulensi tinggi. Mula-mula kandungan air menguap dengan cepat sekali yang disebabkan adanya proses pemanasan oleh panasnya tungku dan panas pembakaran bahan bakar yang masuk sebelumnya. Keadaan turbulensi yang tinggi membantu penyaluran energi panas untuk penguapan yang terdiri dari hantaran konveksi dan radiasi serta konduksi.
- ♦ Setelah penguapan air, temperatur partikel batubara dan serbuk gergaji naik dengan cepat sekali sehingga mengalami pirolisis kilat (*flash Pyrolysis*) dan dengan segera mengeluarkan zat terbang dan terbakar dengan cepat karena tingginya kondisi turbulensi dengan menghasilkan energi panas.
- ♦ Setelah zat terbang hampir habis, proses pemanasan arang yang tersisa dimulai, terutama oleh radiasi dari lingkungan yang bertemperatur tinggi. Temperatur arang naik dengan cepat sekali dilanjutkan dengan proses pembakaran arang oleh difusi O₂ kedalam pori-pori arang. Pori-pori arang sisa dari pirolisis batubara dan serbuk gergaji ini besar volumenya sehingga terbakar dengan cepat karena proses difusi O₂ cepat sekali, sehingga dihasilkan energi panas.

2. Setelah energi tepung batubara dan serbuk gergaji diubah menjadi panas, maka tahap selanjutnya adalah memindahkan panas ke

sasaran yang memerlukan pemanasan yaitu wajan berisi air yang akan diuapkan. Panas dari pembakaran berpindah secara konveksi, berupa aliran gas hasil pembakaran, secara radiasi berupa radiasi dari api pembakaran ke permukaan wajan, kemudian dari permukaan wajan bagian luar panas merambat secara konduksi ke permukaan wajan bagian dalam. Selanjutnya dari permukaan bagian dalam wajan panas berpindah ke air melalui konveksi cairan dan konduksi. Dari proses-proses utama tersebut, kemungkinan proses yang paling lambat adalah proses hantaran panas dari permukaan luar ke permukaan dalam wajan, yang terutama secara konduksi. Sedangkan proses radiasi dan konveksi ke permukaan luar wajan yang dibatasi oleh luas permukaan wajan, keadaan ini mengakibatkan seluruh energi panas pembakaran tidak secara sempurna dapat diserap oleh air yang dididihkan, sehingga sebagian energi akan mengalir keluar sistem sebagai panas terbuang.

3. Tahap berikutnya adalah mengalirkan panas yang tidak terserap ke pembuangan atau ke luar sistem atau sering disebut rugi-rugi panas. Pengaliran panas melalui cerobong di pinggir yang dilengkapi dengan damper di bagian bawah untuk mengatur kecepatan aliran gas panas sehingga panas yang terbuang tidak terlalu banyak dan secara bersamaan proses pembakaran bahan bakar berlangsung dengan sempurna menggunakan udara lebih yang tidak terlalu banyak. Rugi-rugi panas dari dinding tungku diperkecil dengan isolator berupa butir-butir pecahan bata atau genteng sebelum dinding luar dari susunan bata yang tetap dingin selama proses pemanasan. Jadi terbuangnya panas sebagian besar terjadi melalui cerobong, sehingga untuk meningkatkan efisiensi, usaha harus difokuskan ke daerah ini, misalnya dengan dimanfaatkannya panas

yang terbuang dengan sistem tungku ganda.

Dari tiga tahap proses pendidihan air tersebut, parameter penting yang menentukan efisiensi energi adalah pemindahan panas dari tungku pembakaran ke wajan dan menekan panas terbuang dari cerobong dengan mengatur damper cerobong. Dari hasil percobaan ini, efisiensi energi yang tinggi dicapai pada intensitas pendidihan yang sedang. Jika intensitas pendidihan tinggi atau gelembung – gelembung didih besar dan banyak, ternyata menghasilkan efisiensi energi yang lebih rendah dan temperatur gas buang yang lebih tinggi, artinya luas wajan kurang mampu untuk menyerap panas secara lebih sempurna, sehingga banyak panas yang terbuang. Jadi ada ukuran wajan yang optimal untuk setiap ukuran tungku pembakar siklon. Hal ini sesuai dengan hasil percobaan berikut dengan komposisi biomassa 25 dan 50%.

Dari Tabel 3 terlihat bahwa efisiensi energi pembakaran serbuk gergaji maupun batubara secara individu ataupun pembakaran bersama yang dicapai lebih rendah dari komposisi 25% batubara dan 75% serbuk kayu seperti terlihat pada Tabel 2. Hal ini menunjukkan untuk setiap *output* energi diperlukan parameter penerima energi yang optimal sehingga diperlukan ukuran wajan dan tungku tertentu untuk mendapatkan efisiensi yang maksimal. Kecenderungan ini tampak dengan campuran yang mempunyai nilai kalori semakin tinggi, dengan semakin tingginya persentase batubara, efisiensi energi penguapan air dalam sistem ini semakin menurun. Hal ini mungkin disebabkan setiap jumlah *output* energi dari tungku mempunyai parameter penerima energi yang optimal, sehingga dengan ukuran wajan dan isi airnya yang tertentu tidak bisa digunakan untuk mengukur efisiensi energi penguapan untuk *output* energi tungku yang berbeda – beda, atau dengan kata lain untuk setiap *output* energi memerlukan ukuran wajan dan jumlah air tertentu untuk memperoleh efisiensi energi penguapan yang maksimal.

Tabel 3. Hasil pembakaran campuran cerbuk gergaji dan tepung batubara

No	Serbuk Kayu	Tepung Batubara	Kecepatan Umpan Bahan Bakar (Kg/Jam)	Efisiensi Energi (%)
1	100 % (mahoni)	0 %	15	58,27
2	50 % (albasia)	50 %	10	47,45
3	50 % (albasia)	50 %	19	35,00
4	25 % (albasia)	75 %	20	32,00
5	0 %	100 %	20	30,00

Untuk 100% serbuk kayu mahoni, nilai kalorinya masih mendekati campuran 25% batubara dan 75% serbuk kayu, jadi efisiensi energinya masih dalam rentang 56,33% sampai 69,86% (Tabel 2).

Dengan efisiensi energi antara 56,33% sampai 69,86% seperti terlihat pada Tabel 2, sudah tergolong cukup tinggi dibanding sistem-sistem lain yang umumnya mencapai efisiensi energi antara 16 - 65%. Hasil ini juga paralel dengan hasil-hasil penelitian pembakaran bersama sebelumnya dengan sistem-sistem yang berbeda (Sumaryono, 2012 dan Sumaryono, 1997) yang menunjukkan pembakaran bersama telah memberikan efisiensi energi yang lebih tinggi. Untuk komposisi batubara – serbuk kayu yang berbeda memberikan efisiensi energi yang berbeda. Hal ini disebabkan dengan komposisi berbeda menghasilkan nilai kalori yang berbeda, sehingga memerlukan parameter optimal yang berbeda seperti ukuran tungku pembakar siklon, diameter tungku penopang wajan, diameter wajan dan pengaturan damper cerobong.

Dalam penelitian ini ternyata penggunaan serbuk gergaji dari kayu albasia memberikan efisiensi energi yang mendekati penggunaan kayu mahoni yang merupakan kayu kelas I, sementara kayu albasia adalah kayu kelas III. Hal ini disebabkan kondisi serbuk gergaji berbeda dengan kayu gelondongan. Untuk kayu gelondongan, kayu mahoni mempunyai kualitas pembakaran lebih bagus dibandingkan dengan kayu albasia, karena untuk kondisi ini nilai kalori albasia gelondongan adalah \pm 3000 kalori/gram sedang kayu mahoni gelondongan lebih dari 4000 kal/g. Tetapi ternyata untuk serbuk gergaji, jika sudah kering serbuk gergaji dari kayu albasia dan dari kayu mahoni nilai kalorinya hampir sama (Tabel 1) sehingga kualitas pembakarannya ternyata juga mendekati (Tabel 2).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pembakaran campuran 75% kayu serbuk gergaji dan 25% tepung batubara pada tungku pembakar siklon berdiameter 40 cm dengan tinggi 60 cm, menghasilkan pembakaran yang stabil dengan efisiensi energi yang tinggi berkisar antara 56% sampai 69%. Penggunaan campuran kayu serbuk gergaji dengan tepung batubara untuk bahan bakar pembakar siklon merupakan langkah maju yang signifikan secara teknis karena telah dihasilkan efisiensi energi yang tinggi, selain itu banyak kayu serbuk gergaji

yang belum dimanfaatkan di masyarakat seperti di industri jamur dan penggergajian kayu. Kayu yang berkalori rendah dapat dicampur dengan tepung batubara untuk menaikkan efektifitas penggunaannya sebagai bahan bakar.

Saran

Penggunaan teknik pembakar siklon untuk membakar campuran serbuk gergaji dengan tepung batubara secara bersamaan, perlu dioptimalkan parameter-parameter operasionalnya seperti ukuran pembakar siklon, kapasitas penerima energi dalam bentuk wajan, drum, oven, pengering, tungku kalsinasi, tungku pembakar bata, genteng, kapur, otoklaf minyak atsiri, boiler dan lain – lain yang diperlukan di industri kecil dan menengah. Hal ini penting karena pada tahap awal ini, efisiensi energi yang dicapai telah mendekati efisiensi energi penggunaan gas elpiji yaitu antara 56 sampai 69%, sehingga sistem ini potensial untuk substitusi BBM, gas dan bahan bakar lain di industri. Selain efisiensi dari segi energi, secara ekonomis juga tinggi efisiensinya karena berasal dari limbah biomasa serbuk gergaji.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Drs. Sumaryono, M.Sc. peneliti senior di Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara yang dengan tidak bosan-bosannya memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis, selama melakukan kegiatan penelitian. Selain itu penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Tatang Koswara dan Engkos Kosasih yang telah membantu dalam setiap percobaan yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Baxter L., 2004. Biomass-coal co-combustion: Opportunity for affordable renewable energy, *Fuel*, Elsevier Ltd.
- Borman, G.L., dan Ragland, K.W., 1998. *Combustion engineering*, McGraw-Hill Book Co., Singapore.
- Maruyama, T., Chuichi, M., 1985. Briquetting and combustion characteristics of coal wood composite fuel (biocoal) in *4TH International Symposium on Agglomeration*, Toronto.
- Sami, M., Annamalai, K., Wooldridge, M., 2000. *Co-firing of coal and biomass fuel blends*, Department of

- Mechanical Engineering Texas A & M University – USA, Pergamon 171 – 214
- Setiawan. L., Umar D.F., Kunrat.T.S., Hanafiah.N., dkk., 2008. Teknologi pembuatan dan pembakaran CWF skala pilot 4 ton/hari dari batubara hasil proses upgraded brown coal, Laporan Intern, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara.
- Setiawan. L., Umar D.F., Kunrat.T.S., dkk., 2009. Optimalisasi teknologi pembuatan dan pembakaran CWF, Laporan Intern, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara.
- Sumaryono, 1994. *Efisiensi energi beberapa jenis bahan bakar untuk pemakaian di rumah tangga*, Berita PPTM, Bandung, no 65.
- Sumaryono, Basyuni, Y., Suropto, 1997. Biocoal sebagai bahan bakar alternatif untuk industri kecil, *Riset Unggulan Terpadu II*, Jakarta.
- Sumaryono, 2009. Development of cyclone coal burner for fuel oil burner substitution in industries, *Indonesian Mining Journal*, Vol. 12, Number 13, Bandung.
- Sumaryono, 2012. The use of sub-bituminous coal in combination firing for tile, brick and limestone burning, *Indonesian Mining Journal*, vol 15 (33 – 41), Bandung.
- Susanto, H., 1990. Permodelan matematik tungku Unggun pancar, *Seminar Pemodelan-Simulasi dan Optimasi Sistem Teknik Kimia*, Bandung.
- Tillman. D.A., 2000., *Co-firing benefit for coal and biomass*, Elsevier Science Ltd.
- Williams. A.W., 1992., *Coal manual for industry*. New York., CMP Inc.