

PENYINGKATAN WAKTU PENYALAN KOMPOR BRIKET BATUBARA

Dijan Supramono

Departemen Teknik Kimia FT-UI
Fakultas Teknik UI Kampus UI Depok 16424
Email: dsupramo@che.ui.ac.id

ABSTRAK

Penelitian pembakaran briket batubara untuk mempersingkat waktu penyalaan telah dilakukan dengan memanfaatkan briket promotor bentuk bola yang mengandung oksigenat etil asetat sebanyak 15% berat briket yang berfungsi sebagai penyedia oksigen secara internal dalam material briket karena ketidakcukupan oksigen saat briket promotor mengalami devolatalisasi (fungsi kinetika kimia) dan sebagai penguat terjadinya perpindahan panas konveksi dari bara api pada briket promotor ke briket pemasakan yang diletakkan di sekitarnya karena menambahkan cekukan (*dimples*) pada permukaan briket promotor berbentuk bola (fungsi perpindahan panas).

Penelitian dilakukan dengan menempatkan briket promotor di lapis pertama (atas) di atas dua lapis briket pemasakan dalam kompor briket. Penelitian ini bertujuan meneliti efek penambahan, loading dan bentuk briket promotor (bentuk bola, bola dengan *dimples*) terhadap waktu penyalaan. Penelitian ini menggunakan udara dengan kecepatan superfisial yang diukur pada kondisi dingin sebesar 1,1 m/s. Penelitian juga dilakukan dengan menempatkan briket promotor berbentuk bola dengan *dimples* di lapis kedua dengan loading 25% dari 3 lapis briket yang digunakan dengan lapis pertama, sisa lapis kedua dan lapis ketiga diisi briket pemasakan. Parameter kecepatan superfisial udara yang diukur pada kondisi dingin divariasikan pada harga-harga 0,6, 1,2 dan 1,8 m/s untuk melihat pengaruhnya terhadap waktu penyalaan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya briket promotor mempercepat waktu penyalaan briket pemasakan hingga 35 menit. Semakin besar loading briket promotor dalam kompor, waktu penyalaannya akan semakin cepat pula. Untuk loading 100%, 75%, 50% dan 25% waktu penyalaan masing-masing adalah 18, 22, 23 dan 25 menit. Dalam hal efek bentuk briket promotor, bentuk bola dengan *dimples* memiliki waktu penyalaan lebih cepat daripada bentuk bola dengan waktu penyalaan masing-masing 11 menit dan 18 menit. Jadi, waktu penyalaan semakin singkat dengan loading briket promotor semakin besar dan dengan menggunakan briket promotor berbentuk bola dengan cekukan daripada tanpa cekukan.

Hasil penelitian dengan menempatkan briket promotor berbentuk bola dengan *dimples* menunjukkan bahwa waktu penyalaan pada kompor dengan kecepatan superfisial udara 0,6 dan 1,2 m/s hampir sama sebesar 8 menit, sedang dengan kecepatan superfisial 1,8 m/s sebesar 13 menit. Variasi kecepatan superfisial memberi 2 efek yang berlawanan yang bekerja bersamaan terhadap perpindahan panas konveksi yaitu efek turbulensi dan efek *quenching*. Efek turbulensi mempercepat penyalaan, sedang efek *quenching* memperlambat penyalaan. Diperkirakan bahwa kecepatan superfisial 1,8 m/s memberi efek *quenching* lebih besar dibanding efek turbulensi sehingga waktu penyalaan lebih lama.

Kata kunci: Waktu penyalaan, Briket batubara, Kecepatan superfisial, *Dimples*, *Loading*

ABSTRACT

Research of coal briquette combustion to take a short cut time of ignition have been conducted by the use of a spherical promoter briquette containing oxygenate of acetate ethyl of as much 15% briquette

weight. This promoter briquette functioned as oxygen supplier internally in briquette material due to the lack of oxygen when the promoter briquette experienced devolatilization (function of chemical kinetics) and as enhancer of convection heat transfer from the ember of promoter briquette to cooking briquette placed around because increasing dimples at the surface of spherical promoter briquette (function of heat transfer).

Research conducted by putting a promoter briquette in the upper first layer above two layer-cooking briquettes in briquette stove. This research aimed to check the effect of promoter briquette addition, loading and shape (spherical, spherical with dimples) to the ignition time. This research used air with superficial velocity measured at cool condition equal to 1.1 m/s. Research was also conducted by putting a spherical promoter briquette with dimples in the second layer by loading 25% of the 3 briquette layers used with first layer, the rest of second layer and the third layer filled with cooking briquette. The superficial velocity of air measured at cool condition was set at 0.6, 1.2 and 1.8 m/s to see its influence to ignition time.

Research result indicated that the existence of promoter briquette quickened ignition time of cooking briquette up to 35 minutes. The greater the promoter briquette loading in stove, the quicker the ignition time. For loading 100%, 75%, 50% and 25% ignition time were 18, 22, 23 and 25 minute respectively. In the case of promoter briquette shape, spherical with dimples shape had quicker ignition time than that of spherical shape with ignition time of each 11 minutes and 18 minutes, respectively. It could be said that ignition time was progressively shorten by loading greater promoter briquette and by using spherical promoter briquette with dimples than without dimples.

Research result with putting a spherical promoter briquette with dimples indicated that the ignition time at stove with air superficial velocity of 0.6 and 1.2 m/s almost the same to as much as 8 minutes, on the other hand with the air superficial velocity of 1.8 m/s reached to 13 minutes. The variation of superficial velocity gave two adversative effects which done simultaneously to the convection heat transfer that were turbulence effect and quenching effect. Turbulence effect quickened ignition, while quenching effect slowed down ignition. It was estimated that superficial velocity of 1.8 m/s gave higher quenching effect than turbulence effect so that ignition time became longer.

Key words: Ignition time, Coal briquette, Superficial velocity, Dimples, Loading

1. LATAR BELAKANG

Indonesia memiliki cadangan batubara yang cukup besar, yaitu sebesar 6.759 juta ton [1]. Cadangan tersebut sebagian besar terdapat di Sumatera Selatan (39,64%), Kalimantan Timur (30,65%) dan Kalimantan Selatan (27,64%). Sebagian besar cadangan batubara mengandung batubara yang berkalori rendah atau batubara jenis lignit (bernilai kalori kurang dari 5100 kal/gram) sebanyak 43,88% dari total cadangan dan bernilai kalori medium atau berjenis sub-bituminus (5100-6100 kal/gram) sebanyak 36,10% [1]. Di tahun 2005, dari 149,67 juta ton batubara yang diproduksi, sebanyak 36,80 juta ton digunakan di dalam negeri dan hampir 1 juta ton diantaranya digunakan untuk briket batubara yang banyak digunakan sebagai bahan bakar padat di industri kecil dan rumah tangga. Briket batubara dibuat dari lignit dan sub-bituminus[2]. Data statistik tahun 2004 dari Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral menunjukkan bahwa briket batubara sebagian besar digunakan sebagai pemanas di peternakan ayam (65%), untuk pemasakan di rumah tangga dan warung makan (12%), untuk pengeringan tembakau dan karet (7%), serta untuk

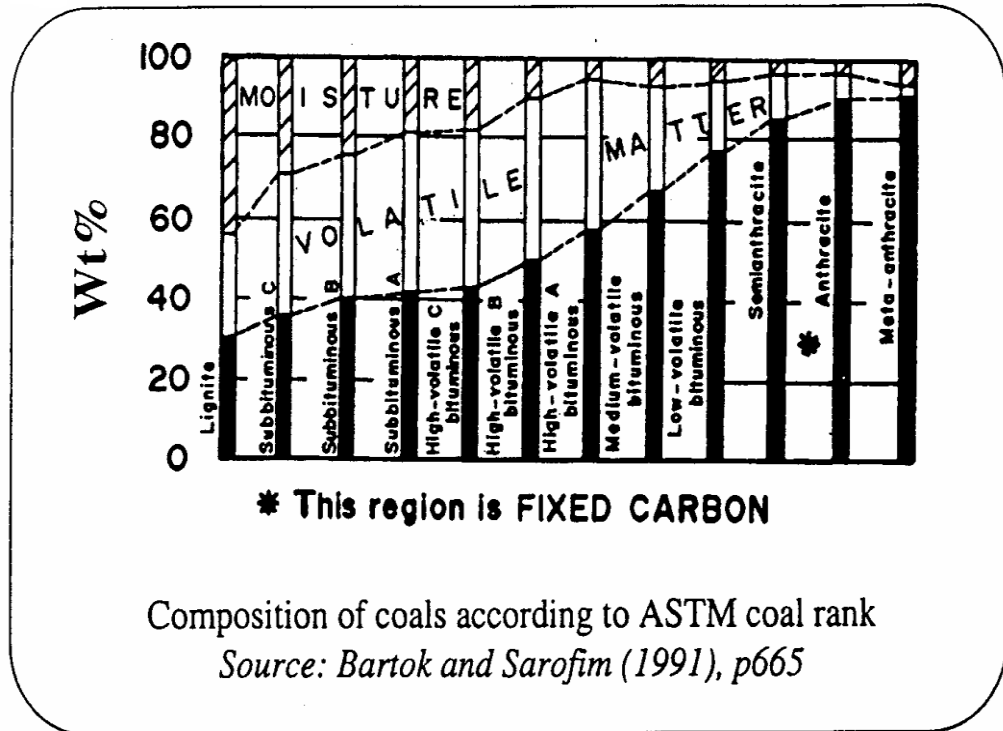
pembakaran bata, genteng dan kapur (8%) [3]. Penggunaannya diperkirakan akan meningkat menjadi 2 ton di tahun 2010 [3].

Walaupun prospek penggunaannya sangat baik karena besarnya cadangan batubara Indonesia, tetapi pemanas briket maupun kompor briket masih mempunyai kelemahan dalam penyalaan. Penyalaan kompor briket batubara membutuhkan waktu yang relatif lebih lama (sekitar 30 menit) [4] dibanding dengan kompor gas yang hampir seketika. Selama ini penyalaan briket batubara dilakukan dengan mencelupkan lebih dahulu briket ke dalam minyak tanah selama lebih kurang 5 menit. Kemudian briket disulut dengan korek api dan diletakkan di atas unggun briket yang telah ada di dalam kompor briket. Unggun briket kemudian dikipas hingga terbentuk bara api dan mulai saat itu penggunaan kompor briket untuk memasak dimulai. Semua tahapan ini membutuhkan waktu sekitar 30 menit.

Dibanding dengan waktu memasak yang mungkin kurang dari 15 menit untuk skala rumah tangga, waktu penyalaan yang lama menjadikan kompor briket tidak praktis. Emisi polutan yang mungkin timbul akibat pembakaran briket batubara antara lain CO, sisa hidrokarbon tak terbakar yang berupa asap, dan SO₂ jika batubara mengandung sulfur [5]. Selama proses penyalaan di mana kondisi temperatur tinggi belum tercapai, gas CO dan asap yang berasal dari hidrokarbon yang tak terbakar akan banyak dikeluarkan dari kompor briket. Penelitian yang intensif untuk mengurangi emisi gas CO dari kompor briket batubara telah dilakukan oleh penulis untuk mendekati kadar ambang batas sebesar 25 ppm di lingkungan di mana kompor briket digunakan [6]. Semakin cepat waktu penyalaan, semakin singkat pengguna kompor briket terpapar dengan gas CO dan asap yang konsentrasinya harus dijaga sangat rendah dalam dapur. Karena itu waktu penyalaan yang cepat mempunyai 2 keuntungan, yaitu menghemat waktu memasak dan mengurangi terpaparnya pengguna kompor briket terhadap emisi gas CO dan asap (hidrokarbon yang tak terbakar).

2. STUDI LITERATUR

Batubara mengandung 3 komponen utama, yaitu karbon, air (*moisture*) dan material mudah menguap (*volatile matter*). Tergantung jenis batubara proporsi antara ketiga komponen tersebut berbeda-beda. Gambar 1 menunjukkan proporsi yang umumnya ditemukan di kebanyakan batubara [7]. Gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai kalori batubara, semakin tinggi kandungan karbon, semakin rendah kandungan *volatile matter* dan semakin kecil kandungan *moisture*. Batubara lignit dan sub-bituminus pada umumnya mengandung karbon kurang dari 40%. Panas pembakaran diperoleh baik dari reaksi antara karbon dan oksigen pada permukaan batubara maupun dari reaksi antara senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam *volatile matter* [8]. *Volatile matter* mempunyai nilai kalori per satuan massa lebih rendah dibanding karbon. *Moisture* cenderung menurunkan nilai kalor batubara karena dalam pembakaran batubara *moisture* membutuhkan kalor untuk berubah fasa dari cair ke uap.

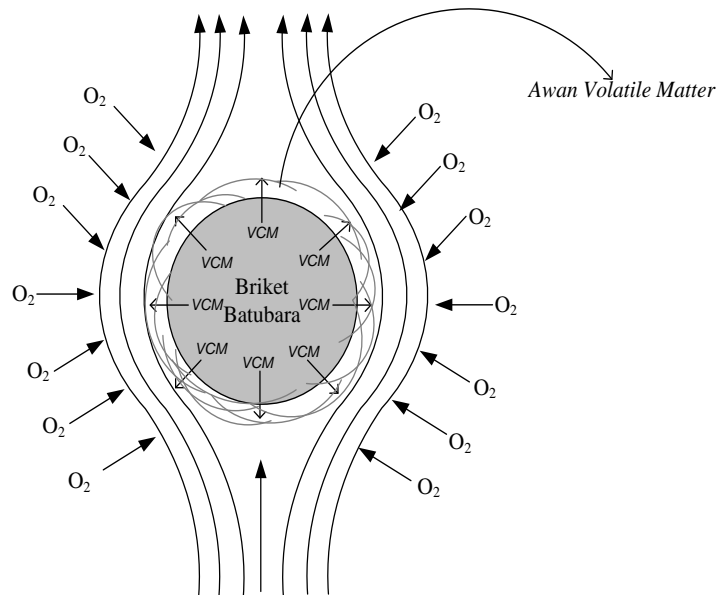


Gbr. 1. Proporsi kandungan karbon, *moisture* dan *volatile matter* pada berbagai jenis batubara [7]

Dengan adanya komposisi tersebut, pembakaran material karbon mengalami beberapa proses yang berbeda yang berlangsung secara berurutan seiring dengan kenaikan temperatur material karbon, yaitu proses penguapan kandungan air permukaan yang terjadi pada temperatur titik didih air yaitu sekitar 100°C ; proses pirolisa (*devolatilization*), yang terjadi ketika material *volatile* (material yang mudah menguap) termasuk tar terlepas dari permukaan dan pori-pori partikel material karbon, sehingga terbentuk *char* (arang) dengan kecepatan pelepasan material *volatile* maksimum terjadi pada temperatur antara 300 hingga 400°C [9]; dan pembakaran *char* setelah material *volatile* terlepas dari permukaan briket di mana terbentuk gas CO dan CO₂ [10].

Dibandingkan dengan bahan bakar cair yang dibakar dalam bentuk butiran cairan yang berukuran kecil, bahan bakar padat berukuran besar seperti briket batubara mempunyai temperatur permukaan material yang lebih rendah. Dengan ukuran briket batubara yang besar (30 hingga 50mm), *volatile matter* yang terlepas dari permukaan material briket per satuan luas permukaan briket kecil. Nyala api yang terjadi oleh reaksi oksidasi *volatile matter* pada permukaan briket tidak cukup memberi panas kepada material briket yang berukuran besar untuk memulai penyalaan dalam pengertian memulai reaksi oksidasi material karbon briket. Di samping itu pelepasan *volatile matter* menghalangi penetrasi udara ke permukaan briket [11] yang secara deskriptif terlihat di Gbr. 2. Karena itu

penyalaan karbon material briket terjadi setelah *volatile matter* habis terlepas dari permukaan briket di mana halangan terhadap difusi oksigen ke permukaan briket sudah tidak ada lagi padahal terbakarnya *volatile matter* mempunyai potensi memberikan panas radiasi kepada material briket. Disamping itu dibutuhkan penyalaan *volatile matter* lebih dari satu material briket untuk penyalaan satu material briket karena rasio massa *volatile matter* yang dikeluarkan terhadap massa briket yang akan dibakar sangat kecil. Dua hal inilah yang menyebabkan penyalaan briket batubara terjadi jauh lebih lambat yang bisa mencapai 30 menit dibanding penyalaan LPG atau kerosin yang cepat berubah fasa menjadi uap yang mudah terbakar [4].



Gbr. 2. Deskripsi penyalaan *volatile matter* pada permukaan material briket

Untuk mengatasi halangan penetrasi udara ke permukaan material briket, material briket promotor dibuat dengan mencampurkan oksigenat dengan material briket di mana oksigenat ini merupakan penyedia oksigen secara internal untuk reaksi oksidasi material karbon briket promotor sehingga penyalaan briket batubara bisa segera dimulai. Gibson and Cleary [12] telah memperkenalkan penggunaan oksigenat dalam briket material karbon untuk mempercepat penyalaan briket material tersebut. Mereka menggunakan KNO_3 , $KClO_3$ atau $KMnO_4$ sebagai oksigenat sebanyak 10% berat material karbon. Pengujian mereka menghasilkan bara merah pada material karbon setelah 3 menit. Tetapi, penggunaan oksigenat ini tidak aman dalam penyiapan briket promotor karena sangat reaktif dan tanpa penanganan yang memadai akan menimbulkan kebakaran. Hasibuan [13] mengadopsi teknik ini dengan menambahkan oksigenat yang kurang reaktif yaitu etil asetat sebanyak 15% berat material briket batubara. Hasil pengukuran waktu penyalaan pada briket bentuk telur secara individual dengan tebal, lebar dan panjang masing-masing 20, 20 dan 40mm menunjukkan bahwa briket tanpa oksigenat membutuhkan waktu 16 menit untuk terbentuk

titik bara api pada temperatur sekitar 130°C, sedang briket yang mengandung 15% etil asetat membutuhkan waktu 5 menit. Temperatur ini dianggap merupakan temperatur awal terjadinya penyalaaan.

Supramono dan Suminar (2008) [14] telah mengaplikasikan penggunaan briket promotor dalam kompor briket batubara. Untuk tujuan tersebut, briket promotor dinyalakan di luar kompor selama 5 menit dengan menggunakan pembakar alkohol. Penyalaaan ini menghasilkan satu titik bara api di permukaan briket promotor. Setelah itu briket promotor dipindahkan ke kompor briket sehingga dalam kompor briket terdapat satu lapis briket promotor atau campuran briket pemasakan dan briket promotor dan beberapa lapis briket pemasakan. Dengan pengaliran udara dengan blower dari bagian bawah kompor briket, proses pembakaran briket pemasakan yang berdekatan dengan briket promotor dimulai. Prinsip yang digunakan pada penyiapan dan penyalaaan briket promotor adalah mengubah waktu penyalaaan material briket dari setelah nyala api *volatile matter* berhenti menjadi saat nyala api tersebut masih ada di permukaan briket. Dalam kondisi demikian, radiasi panas nyala api material *volatile* bisa dimanfaatkan untuk memulai penyalaaan material karbon pada briket promotor [11]. Kirshenbaum [15] mendemonstrasikan bahwa adanya *volatile matter* saat penyalaaan akan mempercepat terjadinya penyalaaan.

Secara ideal, setiap material briket seharusnya mengandung oksigenat untuk mempercepat waktu penyalaaan. Tetapi hal ini terlalu mahal karena harga briket akan menjadi 2,5 kali harga briket tanpa mengandung oksigenat. Karena itu aspek aerodinamika dieksploitasi pada pembakaran kompor briket batubara untuk mempercepat waktu penyalaaan. Hal ini bisa dilakukan dengan membuat briket promotor berbentuk bola dengan beberapa cekukan pada permukaannya (*dimples*). Penelitian oleh Altun *et.al.* [16] dan Wibowo [17] menunjukkan bahwa briket berbentuk bola mempunyai waktu penyalaaan yang lebih cepat dibanding dengan briket bentuk lainnya, misalnya bentuk bantal atau telur. Besarnya Reynolds number yang dihitung berdasarkan kecepatan superfisial gas yang harganya sekitar 1,1 m/s dan ukuran briket promotor yang berdiameter 40 mm adalah 780. Hal ini berlaku jika briket promotor diletakkan di lapisan paling bawah (lapisan ketiga) unggun briket. Harga Reynolds number ini menjadi lebih besar dengan peletakan briket promotor di lapisan lebih atas (lapisan pertama atau kedua) pada kompor yang ditunjukkan di Gbr. 3b dan 3c, karena kecepatan aliran udara menjadi lebih besar setelah melalui ruang sempit antar material briket.

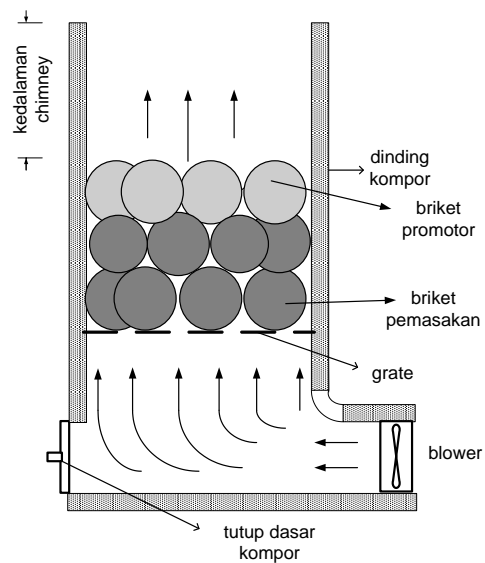
3. METODOLOGI PENELITIAN

Kompor yang ditunjukkan di Gbr. 3a adalah kompor briket yang digunakan pada penelitian ini dengan susunan briket sepertiditunjukkan di Gbr. 3b dan 3c. Secara teoritis, aliran udara superfisial yang mengalir di sisi bawah unggun briket adalah aliran laminar, *boundary layer* (lapisan udara yang melingkupi bagian depan dan sisi material briket) yang terjadi juga laminar dan aliran resirkulasi udara di *wake* (bagian belakang material briket) merupakan aliran turbulen (lihat Gbr. 4) [18]. Dengan menempatkan briket promotor di lapis pertama

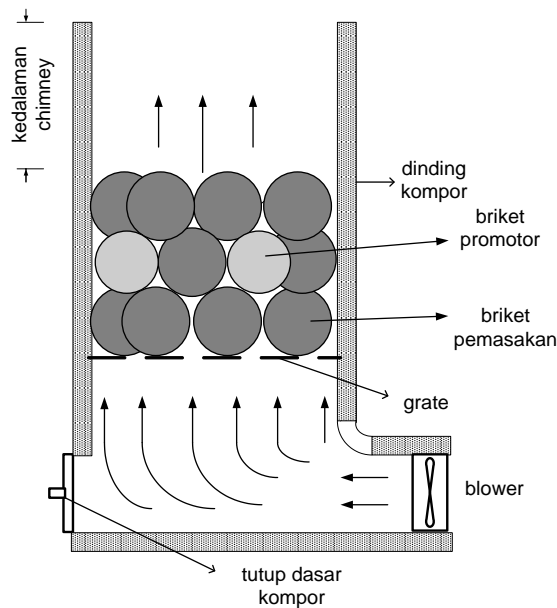
dan briket pemasakan di lapis kedua dan ketiga (Gbr. 3b), *wake* dari briket pemasakan di lapis kedua membentuk turbulensi pada titik pertemuan briket promotor dan briket pemasakan lapis kedua. Jika bara api telah tersedia di sisi bawah briket promotor, turbulensi ini akan memperkuat perpindahan panas secara konveksi dari briket promotor di lapis pertama ke briket pemasakan di lapis kedua di samping perpindahan secara radiasi. Pada kasus lain, dengan menempatkan briket promotor di lapis kedua (Gbr. 3c), briket promotor yang telah mempunyai bara api di sisi bawahnya akan memberikan panas secara konveksi ke briket pemasakan di lapis pertama dan ketiga dan panas secara radiasi ke briket pemasakan di lapis ketiga.



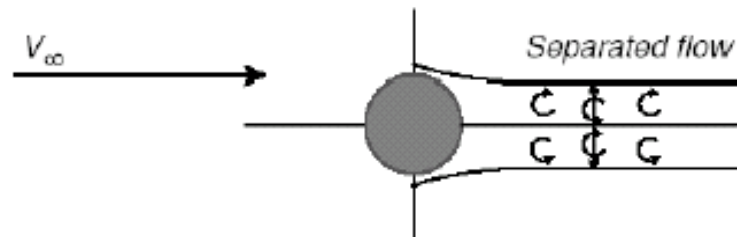
Gbr. 3a. Kompor briket eksperimen



Gbr. 3b. Susunan briket pemasakan dan briket promotor pada lapis pertama (atas) dalam kompor briket



Gbr. 3c. Susunan briket pemasakan dan briket promotor pada lapis kedua dalam kompor briket



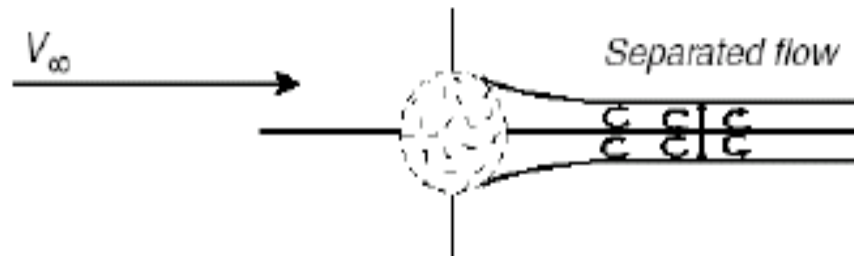
Gbr. 4. Lapisan batas laminar pada bagian depan dan sisi material briket dan turbulensi di bagian wake pada briket berbentuk bola [18]

Untuk meningkatkan perpindahan panas konveksi dari briket promotor ke briket pemasakan pada lapisan yang sama dengan briket promotor, pada permukaan briket promotor dibentuk cekukan-cekukan (*dimples*) sebagaimana bentuk permukaan bola golf. Sekitar 40% dari luas permukaan briket promotor diliputi oleh *dimples*. Contoh briket dengan *dimples* ditunjukkan di Gbr. 5. Dengan adanya *dimples*, *boundary layer* laminar yang terjadi setelah *volatile matter* di permukaan briket habis terbakar bisa diubah menjadi turbulen. Hal ini menyebabkan pemisahan *boundary layer* dari permukaan bola lebih ke arah *downstream* [19] sehingga daerah resirkulasi di *wake* menjadi lebih sempit (lihat Gbr. 6) [18]. Turbulensi pada *boundary layer* tersebut diperkirakan bisa memperkuat terjadinya perpindahan panas dari permukaan briket promotor ke permukaan briket pemasakan pada

lapis yang sama. Hal ini diperkirakan bahwa perpindahan panas konveksi secara keseluruhan akan menjadi lebih baik.



Gbr. 5. Briket promotor berbentuk bola dengan *dimples*



Gbr. 6. *Wake* menyempit karena *boundary layer* menjadi turbulen pada briket berbentuk bola dengan *dimples* [18]

Uraian di atas memberikan gambaran bahwa setidaknya ada 2 hal yang mempercepat terjadinya penyalaan, yaitu tersedianya oksigenat dalam material briket promotor (fungsi kinetika kimia) dan terbentuknya *turbulent boundary layer* pada permukaan briket promotor dengan *dimples* (fungsi perpindahan panas). Pemanfaatan oksigenat di atas untuk mempercepat waktu penyalaan merupakan pemecahan masalah dengan memanfaatkan aspek kimia sedangkan pembuatan briket promotor dengan *dimples* adalah pemecahan masalah dengan memanfaatkan aspek aerodinamika.

Kecepatan superfisial sebagaimana ditulis di butir 2 mempengaruhi turbulensi lapisan batas dan besarnya *wake* sebagai hasil interaksi antara aliran udara dengan cekukan. Kecepatan superfisial didasarkan pada pengukuran pada kondisi dingin (belum dilakukan pembakaran). Kecepatan superfisial yang terukur pada kondisi panas (pembakaran) berbeda dengan kecepatan pada kondisi dingin.

4. PROSEDUR PENGUJIAN

Penelitian ini menggunakan briket batubara sub-bituminous PT Bukit Asam. Hasil analisa proksimat batubara ditunjukkan di Tabel 1. Analisa proksimat didasarkan pada kondisi permukaan batubara kering.

Tabel 1. Analisa proksimat sampel batubara

Parameter	% berat
Kadar air	5,23
Kadar <i>volatile matter</i>	26,03
Kadar abu	12,88
Kadar karbon	55,86

Penentuan waktu penyalaan dilakukan dengan mengamati waktu penyalaan pada briket pemasakan dengan menempatkan termokopel tipe K pada permukaan beberapa briket pemasakan. Korelasi antara temperatur dengan waktu akan memberikan data waktu penyalaan, yaitu waktu dari sejak penempatan briket promotor ke dalam kompor hingga waktu saat temperatur bara mulai terbentuk pada permukaan briket pemasakan, yaitu sekitar 130°C. Pada kasus penempatan briket promotor di lapis pertama (Gbr. 3b), penelitian ditekankan pada efek turbulensi *wake* terhadap waktu penyalaan briket pemasakan pada lapis kedua. Karena itu beberapa ujung termokopel ditempatkan pada sisi samping briket pemasakan di lapis kedua. Pada kasus penempatan briket promotor di lapis kedua (Gbr. 3c), penelitian ditekankan pada efek turbulensi *wake* terhadap briket pemasakan di lapis pertama. Karena itu beberapa ujung termokopel ditempatkan pada sisi bawah briket pemasakan tersebut. Dari beberapa kurva, kurva dengan waktu penyalaan tersingkat dipilih sebagai waktu penyalaan kompor briket.

Untuk memulai penyalaan salah satu sisi sejumlah briket promotor yang akan digunakan dinyalakan menggunakan pembakar alkohol selama 5 menit, di mana saat itu titik bara api terbentuk. Briket- briket promotor tersebut kemudian ditempatkan pada kompor di lapis pertama atau kedua. Sisa ruangan diisi briket pemasakan bentuk bola. Temperatur diukur dengan termokopel yang dihubungkan dengan *data logger* ADAM 4018M yang datanya langsung disimpan di komputer.

Empat jenis pengujian untuk mengetahui pengaruh terhadap waktu penyalaan yaitu:

- 1) Pengujian pengaruh ada tidaknya briket promotor.
- 2) Pengujian pengaruh *loading* briket promotor (persentase luasan lapisan briket pemasakan dalam kompor yang ditempati briket promotor).
- 3) Pengujian pengaruh ada tidaknya cekukan pada briket promotor.
- 4) Pengujian pengaruh kecepatan superfisial udara.

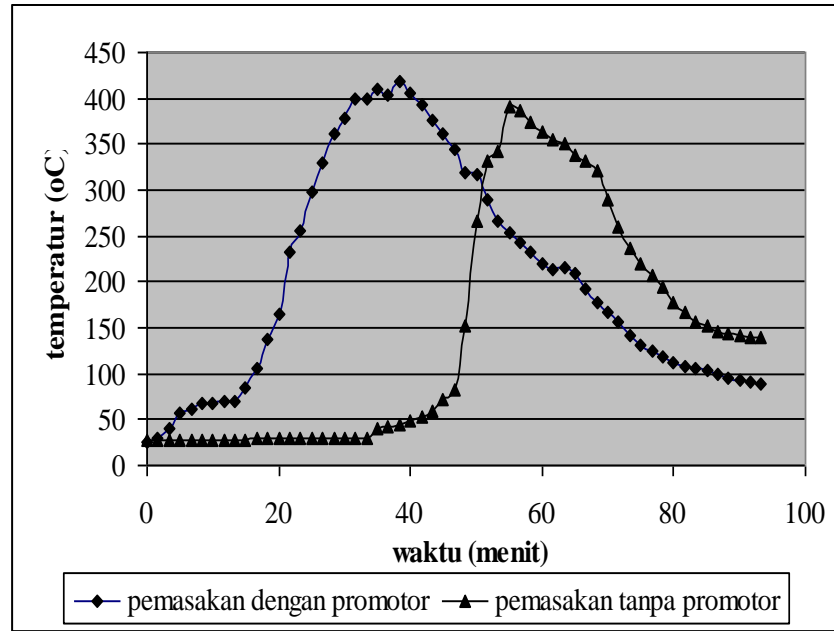
Pengujian 1), 2) dan 3) menempatkan briket promotor di lapis pertama tumpukan briket pemasakan pada kompor, sedang pengujian 4) menempatkan briket promotor di lapis kedua tumpukan briket pemasakan. Kecepatan superfisial udara divariasikan pada kecepatan 0,6; 1,2 dan 1,8 m/s.

5. HASIL DAN DISKUSI

5.1. Pengujian Pengaruh Penggunaan Briket Promotor Bola

Gambar 7 menunjukkan profil temperatur untuk penyalaan dan pembakaran briket pemasakan dengan menggunakan briket promotor yang berbentuk bola dan profil temperatur untuk penyalaan briket pemasakan tanpa menggunakan briket promotor bola. Pengujian penyalaan dan pembakaran untuk menentukan waktu penyalaan briket pemasakan yang dibantu dengan briket promotor dilakukan dengan cara menyulut 4 butir briket promotor di atas api pembakar alkohol selama 5 menit hingga terbentuk bara api pada satu titik di permukaan briket promotor, kemudian keempat briket tersebut diletakkan di atas permukaan briket pemasakan dalam kompor, sedemikian sehingga briket promotor menempati lapis pertama dan briket pemasakan menempati lapis kedua dan ketiga. Waktu penyalaan dihitung dari awal pembakaran hingga temperatur briket mencapai 130°C di mana pada temperatur itu bara api terbentuk di permukaan briket. Pengukuran temperatur selama waktu pembakaran dilakukan dengan menggunakan termokopel jenis K yang diletakkan di sisi samping briket pemasakan di lapis kedua. Sedangkan untuk pengujian waktu penyalaan briket pemasakan tanpa briket promotor dilakukan dengan cara merendam empat buah briket pemasakan bentuk bola di dalam minyak tanah selama 5 menit, kemudian membakarnya di atas api pembakar alkohol kurang lebih selama 20 menit sampai terbentuk bara api, kemudian keempat briket tersebut diletakkan di atas briket pemasakan dalam kompor sedemikian sehingga terbentuk 3 lapis briket pemasakan dan briket pemasakan yang sudah terbentuk bara di lapis pertama.

Di menit-menit awal pengujian terlihat temperatur briket pemasakan tanpa promotor bola ini cenderung konstan dan tidak menunjukkan kenaikan temperatur yang cukup signifikan. Hal ini menandakan titik pengujian pada briket tersebut belum mengalami penyalaan dan belum pula mengalami pemanasan yang cukup. Sedangkan untuk pengujian temperatur briket pemasakan dengan promotor bola pada kisaran menit ke 18, temperaturnya sudah mengalami kenaikan yang cukup cepat (temperatur penyalannya $\pm 130^{\circ}\text{C}$), sehingga dapat dikatakan waktu yang dibutuhkan untuk menyalakan briket pemasakan dalam kompor briket dengan menggunakan promotor bola memerlukan waktu sekitar 18 menit. Bila dibandingkan dengan waktu penyalaan untuk briket pemasakan tanpa promotor yang membutuhkan waktu sekitar 45 menit, karena kenaikan temperaturnya baru terlihat pada kisaran menit ke 45.



Gbr. 7. Grafik perbandingan temperatur briket pemasakan terhadap waktu dengan briket promotor berbentuk bola dengan *loading* 100% dan tanpa briket promotor dalam kompor

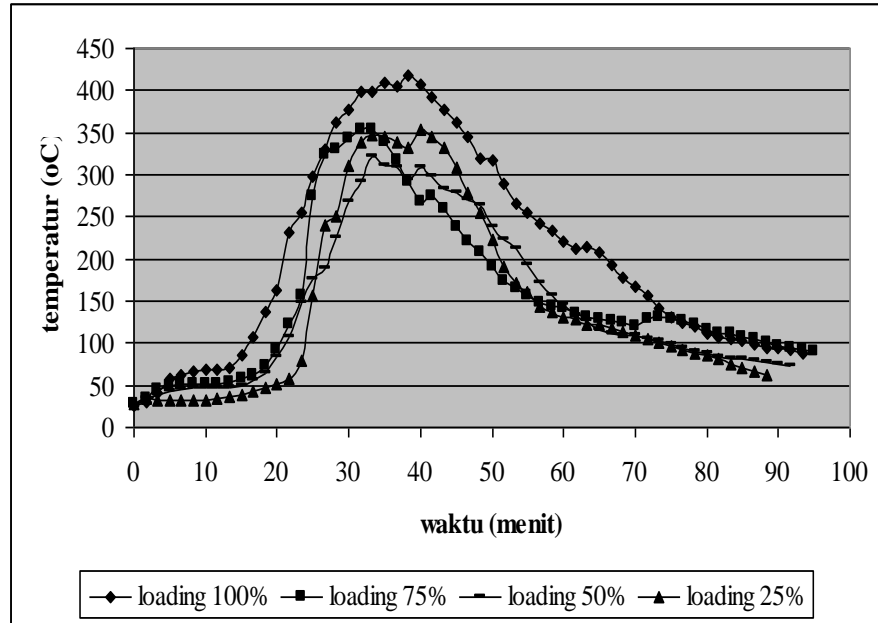
Dari hasil pengujian di atas dapat dilihat bahwa waktu penyalaan briket semakin cepat dengan adanya briket promotor. Hadirnya oksigenat di dalam briket dapat membuat reaksi pembakaran pada permukaan briket promotor tidak terhenti oleh kurangnya pasokan oksigen akibat terhambatnya penetrasi oksigen eksternal ke dalam briket promotor sehingga propagasi panas pada permukaan briket promotor mudah terjadi. Dengan adanya konveksi paksa udara dari blower, perpindahan konveksi panas ke briket pemasakan di bawahnya menjadi lebih mudah di samping perpindahan panas radiasi. Sebaliknya, briket pemasakan hasil penyulutan dengan pembakar alkohol tidak mengandung oksigenat sehingga pembakaran lebih lanjut pada permukaan briket pemasakan tersebut lebih sulit terjadi. Akibatnya perpindahan panas konveksi dan radiasi ke lapisan briket pemasakan di bawahnya juga lambat.

5.2. Pengujian Pengaruh *Loading* Briket Promotor Dalam Kompor

Gambar 8 menunjukkan perbandingan korelasi temperatur permukaan briket pemasakan di lapisan pertama terhadap waktu pembakaran dengan *loading* promotor di lapis pertama yang divariasikan 100%, 75%, 50% dan 25%. Korelasi tersebut menunjukkan bahwa semakin besar *loading*, semakin cepat pula waktu penyalaan.

Dalam tiap variasi *loading* briket promotor dalam kompor, sejumlah briket promoter yang tergantung pada % *loading*nya disulut dengan pembakar alkohol sebagai penyalaan awal. Temperatur nyala api dari pembakar alkohol adalah sekitar $\pm 300^{\circ}\text{C}$, briket-briket promotor

tersebut dibakar di atas pembakar alkohol selama ± 5 menit sampai timbul bara api yang cukup besar. Briket promoter yang membara di satu titik permukaannya kemudian dipindahkan ke bagian atas unggun briket pemasakan. Dengan adanya aliran udara dari blower, perpindahan panas konveksi dari briket promoter ke briket pemasakan di bawahnya akan terjadi di samping perpindahan panas radiasi. Urutan waktu penyalaan adalah sebagai berikut: $t_{ignition}$ (waktu penyalaan) *loading* briket promoter 100 % : 18 menit > $t_{ignition}$ *loading* promoter 75 % : 22 menit > $t_{ignition}$ *loading* promoter 50 % : 23 menit > $t_{ignition}$ *loading* promoter 25 % : 25 menit.



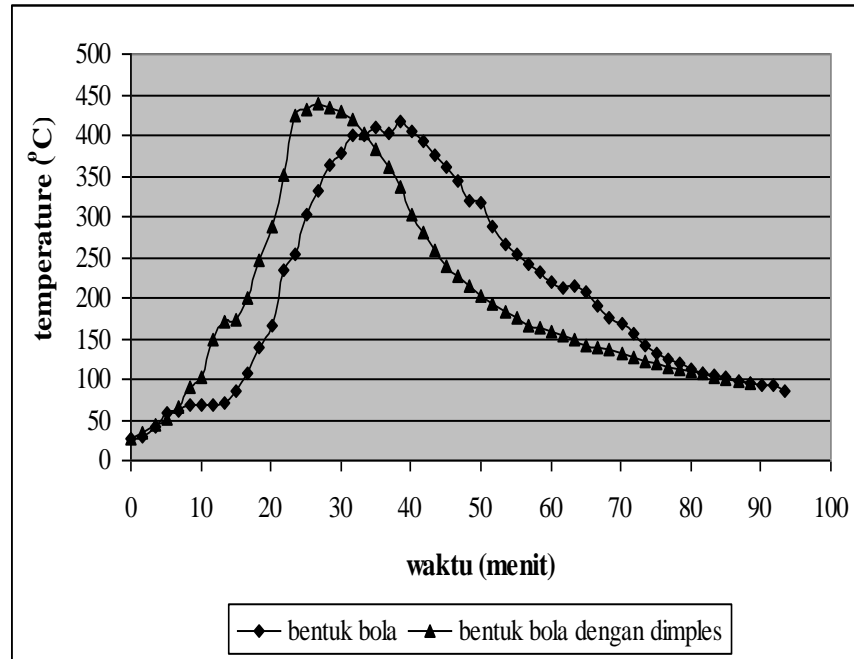
Gbr. 8. Grafik perbandingan temperatur briket pemasakan terhadap waktu dengan variasi *loading* briket promoter berbentuk bola dalam kompor

Secara umum profil temperatur di Gbr. 8 menunjukkan bahwa kenaikan temperatur mencapai puncaknya kemudian menurun secara gradual. Penurunan ini terjadi karena berkurangnya *volatile matter* yang terlepas dari permukaan briket yang menghasilkan nyala api setelah sebagian besar terlepas saat temperatur briket mengarah ke temperatur puncak. Di samping itu berkurangnya massa briket pemasakan yang terbakar juga menyebabkan penurunan temperatur.

5.3. Pengujian pengaruh bentuk briket promoter dalam kompor

Gambar 9 menunjukkan pengaruh bentuk briket promoter (bentuk bola dan bentuk bola dengan cekukan) terhadap waktu penyalaan. Gambar tersebut menunjukkan bahwa briket berbentuk bola dengan cekukan mengalami kenaikan temperatur lebih cepat jika dibandingkan dengan briket bentuk bola. Waktu nyala yang lebih cepat pada briket bentuk

bola dengan cekukan karena cekukan di permukaan briket membentuk lapisan batas yang turbulen pada sisi sampingnya sehingga perpindahan panas konveksi dari briket promotor ke briket pemasakan di bawahnya menjadi lebih baik karena turbulensi terjadi hampir semua permukaan briket promotor. Adanya cekukan juga memperpanjang waktu tinggal/kontak antara udara volatile matter yang menguntungkan terhadap perpindahan panas konveksi. Waktu penyalaan briket pemasakan di lapis kedua karena adanya briket promotor bentuk bola dan bentuk bola dengan cekukan masing-masing adalah: 18 menit dan 11 menit.



Gbr. 9. Grafik perbandingan temperatur briket pemasakan terhadap waktu dengan briket promotor berbentuk bola dan bola dengan cekukan dalam kompor dengan loading briket promotor 100%

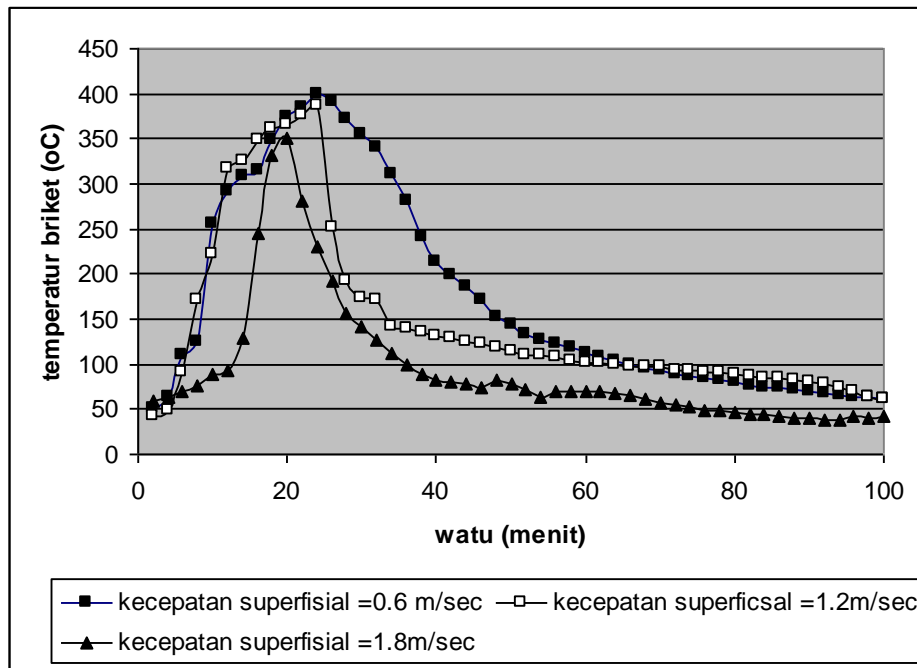
5.4. Pengujian Pengaruh Kecepatan Superfisial Udara Pada Kompor Dengan Kedalaman Chimney 5 Cm

Pada kedalaman chimney 5cm, briket menghasilkan waktu penyalaan yang semakin cepat dengan bertambahnya kecepatan superfisial udara dimana pada kecepatan superfisial udara 0,6; 1,2 dan 1,8 m/s waktu penyalaan masing-masing sebesar 8,0; 7,8 dan 13,0 menit. Pada percobaan ini briket promotor yang berbentuk bola dengan cekukan ditempatkan di lapis kedua dengan loading 25%, sedang briket pemasakan ditempatkan di lapis pertama, sebagian lapis kedua dan di lapis ketiga. Kenaikan kecepatan superfisial menyebabkan bertambahnya turbulensi yang terjadi di bagian wake dan semakin sempitnya volume wake yang berpotensi memecah awan volatile matter di sisi bawah briket pemasakan lapis

pertama. Hal ini akan menaikkan perpindahan panas secara konveksi dari briket promotor ke briket pemasakan bentuk bola di lapis pertama. dan mempersingkat terbentuk titik bara api di sisi bawah briket pemasakan di lapis pertama. Tetapi peningkatan waktu penyalaan ini tidak begitu signifikan yang kemungkinan disebabkan oleh efek *quenching* pada kecepatan superfisial yang lebih besar karena adanya eksesi udara. Hal ini terlihat bahwa pada kecepatan superfisial 1,2 m/s, temperatur briket pemasakan setelah temperatur puncak lebih rendah daripada temperatur briket pada kompor dengan kecepatan superfisial 0,8 m/s (lihat Gbr. 10). Jadi ketika kecepatan superfisial dinaikkan terdapat dua efek yang saling berlawanan yaitu efek turbulensi yang memperkuat perpindahan panas konveksi dan efek *quenching* yang melemahkan perpindahan panas konveksi.

Ketika kecepatan superfisial dinaikkan ke 1,8 m/s, efek *quenching* semakin terlihat di mana hampir selama pembakaran berlangsung, temperatur briket pemasakan selalu lebih rendah dibanding dengan temperatur briket pemasakan pada kompor dengan kecepatan superfisial 0,6 dan 1,2 m/s [20].

Setelah mencapai temperatur maksimum, temperatur briket turun dengan lambat seiring dengan berkurangnya massa briket pemasakan dan berkurangnya *volatile matter* yang kecepatan pembakarannya lebih besar daripada pembakaran material karbon briket pemasakan (lihat Gbr. 10).



Gbr. 10. Grafik perbandingan temperatur briket pemasakan terhadap waktu dengan menempatkan briket promotor bola dengan cekukan dalam kompor dengan loading briket promotor 25% di lapis kedua

6. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian pengaruh adanya tidaknya briket promoter, *loading* briket promoter, ada tidaknya cekukan pada briket promoter dan kecepatan superfisial udara terhadap waktu penyalaan dalam kompor briket batubara adalah sebagai berikut:

- 1) Penggunaan briket promoter dalam kompor briket bisa mempercepat waktu penyalaan sekitar 35 menit.
- 2) Semakin besar *loading* briket promoter, semakin singkat waktu penyalaannya dengan urutan sebagai berikut: $t_{ignition}$ (*loading* briket promoter 100 % : 18 menit > $t_{ignition}$ *loading* briket promoter 75 % : 22 menit > $t_{ignition}$ *loading* briket promoter 50 % : 23 menit > $t_{ignition}$ *loading* briket promoter 25 % : 25 menit.
- 3) Briket promoter bentuk bola dengan cekukan memiliki waktu penyalaan lebih cepat daripada briket promoter bentuk bola dengan waktu penyalaan masing-masing 11 menit dan 18 menit.
- 4) Pada kedalaman *chimney* 5 cm, waktu penyalaan pada kompor dengan kecepatan superfisial udara 0,6 dan 1,2 m/s hampir sama sebesar 8 menit, sedang dengan kecepatan superfisial 1,8 m/s sebesar 13 menit. Kecepatan superfisial 1,8 m/s kemungkinan memberi efek *quenching* lebih besar dibanding efek turbulensi sehingga waktu penyalaan lebih lama.
- 5) Secara keseluruhan, untuk mempercepat waktu penyalaan, pembakaran briket batubara sebaiknya menggunakan briket promoter yang berbentuk bola dengan cekukan dan menempatkannya di lapis kedua unggun briket.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan Nasional atas dukungan dana untuk penelitian ini melalui Hibah Bersaing XVI untuk tahun pendanaan 2007-2008.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purwanto, W.W., Dalimi, R., Soepardjo, H., Supramono, D., Wahid, A., *Indonesia Energy Outlook and Statistics 2006*, Pengkajian Energi Universitas Indonesia, 2006.
- [2] Setiawan, B., *Kebijaksanaan Umum Pemanfaatan Batubara dan Rancangan Undang-undang Mineral dan Batubara*, Direktorat Jenderal Mineral, Batubara dan Gas bumi, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral RI, Maret, 1996.
- [3] DESM, *Rencana Pengembangan Produksi dan Pemanfaatan Briket Batubara 2006-2010*, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral RI, Desember 2005.
- [4] Nurlita, D., *Efek Tinggi Chimney dan Downjet Terhadap Pembentukan Emisi CO pada Kompor Briket Batubara*, Skripsi S1 reguler, Departemen Teknik Kimia UI, 2007.

- [5] Zhang, J., Smith, K.R., Ma, Y., Ye, S., Jiang, F., Qi, W., Liu, P., Khalil, M.A.K., Rasmussen, R.A., Thorneloe, S.A., *Greenhouse Gases and Other Airborne Pollutants from Household Stoves in China: A Database for Emission Factors*, Atmospheric Environment, Vol. 34, 2000, p. 4537-4549.
- [6] Supramono, D., *Reduction of CO Gas Emission in A Coal Briquette Stove by Introduction of Downjet*, Final Report of Osaka Gas 2008, 2008.
- [7] Turns, S.R., *An Introduction to Combustion, Concepts and Applications*, McGraw-Hill, 2nd Edition, 2000.
- [8] Bartok and Sarofim, *Coal Gasification and Combustion*, 1991.
- [9] Durie, R.A., *The Science of Victorian Brown Coal, Structure, Properties and Consequences for Utilisation*, Butterworth Heinemann, 1991.
- [10] Ayling, A.B., and Smith, I.W., *Measured Temperatures of Burning Pulverised-fuel Particles, and The Nature of The Primary Reaction Product*, Combustion and Flame, Vol. 18, 1972, p.173-184.
- [11] Lau, C.W., and Niksa, S., *The Combustion of Individual Particles of Various Coal Types*, Combustion and Flame, Vol. 90, 1992, p. 45-70.
- [12] Gibson, F. A. and Cleary, E., *Carbonaceous Fuel Briquettes with An Oxidizer Salt for Ignition Enhancement*, UK Pat. Appl. GB 2,315,278, 28 Jan 1998, Appl. 96/15,039, 17 Jul 1996, 1998, 12 pp.
- [13] Hasibuan, F., *Peningkatan Kualitas Penyalaan Briket Batubara Promotor melalui Penambahan Oksidator*, Skripsi S1 Reguler, Departemen Teknik Kimia UI, 2007.
- [14] Supramono, D., dan Suminar, R., *Pengaruh Variasi Loading Briket Promotor, Bentuk Briket Promotor dan Bentuk Briket Pemasakan terhadap Waktu Penyalaan Kompor Briket Batubara*, Seminar Nasional Hasil Penelitian 2008, Universitas Djuanda, Bogor, 19-20 Agustus 2008.
- [15] Kirshenbaum, A.D., *Effect of Different Carbons on Ignition Temperature and Activation Energy of Black Powder*, Thermochemica Acta, Vol. 18, issue 1, 1977, p. 113-123.
- [16] Altun, N.E, Hicyilmaz, C., Bagci, A.S., *Influence of Coal Briquette Size on The Combustion Kinetics*, Fuel Processing Technology, Vol. 85, 2004, p. 1345– 1357.
- [17] Wibowo, T., *Efek Faktor Bentuk, Ukuran dan Karbonisasi Briket Batubara terhadap Waktu Penyalaan, Pelepasan Kalor dan Emisi Pembakarannya*, Skripsi S1 Reguler, Departemen Teknik Kimia UI, 2007.
- [18] Newman, Dava J., *Interactive Aerospace Engineering and Design*, McGraw-Hill Education, 2000.
- [19] Choi, J., Jeon, W.P. and Choi, H., *Mechanism of Drag Reduction by Dimples on A Sphere*, *Phys. Fluids*, 18, 2006.
- [20] Suminar, R., *Pengaruh Variasi Loading dan Bentuk Briket Promotor terhadap Waktu Penyalaan Kompor Briket Batubara*, Skripsi S1 Reguler, Departemen Teknik Kimia UI, 2008.